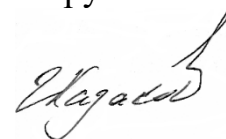


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова»

На правах рукописи



Казakov Игорь Владимирович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСА НОВЫХ  
И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ МАШИН И ОРУДИЙ ДЛЯ  
ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ЗОНЕ  
ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ**

05.21.01 – Технология и машины лесного хозяйства и лесозаготовок

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант –  
доктор технических наук,  
профессор Посметьев В.И.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ЗОНЕ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТ- ВЕННЫХ ЛЕСОВ .....	16
1.1 Характеристика почвенно-лесорастительных и природно-климатических условий в питомниках зоны хвойно-широколиственных лесов .....	16
1.2 Обзор исследований технологических свойств желудей и мелких семян хвойных пород .....	22
1.3 Анализ технологий выращивания посадочного материала в лесных питомниках ..	27
1.4 Обзор средств механизации для выращивания посадочного материала в лесных питомниках .....	31
1.4.1 Сеялки для посева крупноплодных и мелких семян хвойных пород .....	31
1.4.2 Культиваторы для агротехнического ухода в лесных питомниках .....	42
1.4.3 Машины и орудия для выкопки посадочного материала .....	44
1.5 Выводы, цель и задачи исследования .....	46
2 ОБОСНОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОНСТРУК- ТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ НОВЫХ И УСОВЕРШЕНСТВО- ВАННЫХ МАШИН И ОРУДИЙ ДЛЯ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ .....	49
2.1 Исследование процесса посева крупноплодных семян.....	49
2.1.1 Выбор принципиальной схемы сеялки для посева крупноплодных семян .....	49
2.1.2 Обоснование рационального шага расстановки ячеек на транспортной цепи высевающего аппарата .....	51
2.2 Исследование процесса посева мелких семян хвойных пород .....	55
2.2.1 Выбор и обоснование схемы сеялки для посева мелких семян хвойных пород.....	55
2.2.2 Исследование процесса работы штифтового высевающего аппарата.....	58
2.2.3 Обоснование рациональных конструктивно-технологических пара- метров штифтового высевающего аппарата .....	61

2.3 Исследование процесса взаимодействия прикатывающего катка с почвой.....	69
2.4 Исследование устойчивости рабочих органов культиватора при агротехническом уходе в лесных питомниках .....	77
2.5 Исследование процесса выкопки посадочного материала .....	82
2.6 Выводы .....	99
<b>3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАСЫПКИ ПОСЕВНОЙ БОРОЗДКИ ПОЧВОЙ .....</b>	
3.1 Движение частиц почвы при воздействии на неё загортачей .....	100
3.2 Параметры математической модели .....	104
3.3 Результаты компьютерного эксперимента .....	106
3.4 План теоретического исследования и определение влияния параметров загортача на эффективность процесса .....	110
3.5 Выводы .....	126
<b>4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ ПРИ ЕЁ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ВЫКОПОЧНОЙ МАШИНЫ .....</b>	
4.1 Постановка задачи исследования .....	128
4.2 Реология почвы.....	131
4.3 Реологическое уравнение .....	133
4.4 Реологические коэффициенты.....	137
4.5 Начальные и граничные условия.....	141
4.6 Метод исследования математической модели напряженно-деформированного состояния почвы .....	144
4.7 Входные расчетные параметры математической модели .....	145
4.8 Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния почвы при движении рабочих органов выкопочной машины.....	145
4.9 Выводы .....	159
<b>5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА НОВЫХ И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ МАШИН И ОРУДИЙ В ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКАХ.....</b>	
	160

5.1 Исследование технологических свойств желудей дуба черешчатого .....	160
5.2 Влияние параметров и режимов работы сеялки на агротехнические показатели посева желудей .....	165
5.3 Влияние частоты вращения штифтового высевающего аппарата на норму и равномерность посева семян ели .....	175
5.4 Влияние конструктивных параметров прикатывающего катка на уплотнение почвы в зоне заделки семян .....	182
5.5 Исследование агротехнических показателей работы культиватора при уходе в питомнике.....	188
5.6 Влияние режимов работы выкопочной машины на качество выкопки посадочного материала.....	195
5.7 Выводы .....	201
<b>6 РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ КОМПЛЕКСА НОВЫХ И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ МАШИН И ОРУДИЙ ДЛЯ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ .....</b>	<b>203</b>
6.1 Сеялка для посева крупноплодных семян бесприводная СКБ-3-5 .....	203
6.2 Сеялка лесная навесная модернизированная СЛН-5А.....	206
6.3 Культиватор комбинированный для питомников модернизированный ККП-1,5А.....	210
6.4 Машина выкопочная модернизированная МВ-1,3А .....	214
6.5 Выводы .....	217
<b>7 ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСА НОВЫХ И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ МАШИН И ОРУДИЙ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ЗОНЕ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ.....</b>	<b>220</b>
7.1 Снижение металлоемкости и энергоемкости при выращивании посадочного материала с помощью нового комплекса машин и орудий .....	220
7.2 Совершенствование технологии выращивания укрупненных сеянцев ели без перешколивания .....	225
7.3 Повышение интенсификации выращивания посадочного материала и его качества .....	232



7.4 Оценка эффективности комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий при выращивании посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов.....	235
7.5 Выводы.....	238
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	240
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	243
Приложение А Гистограммы экспериментальных данных технологических свойств дуба черешчатого.....	272
Приложение Б Экспериментальные данные распределения желудей дуба черешчатого в бороздке.....	275
Приложение В Выписки из протоколов приемочных, государственных испытаний комплекса машин и орудий для выращивания посадочного материала.....	276
Приложение Г Акты внедрения результатов научно-исследовательской работы докторанта Казакова И.В. в практическую деятельность.....	284
Приложение Д Справка об использовании материалов научных исследований докторанта Казакова И.В.....	291
Приложение Е Акты внедрения результатов научно-исследовательской работы докторанта Казакова И.В. в учебный процесс.....	293

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время в Российской Федерации производственные возможности лесных питомников по выращиванию стандартного посадочного материала хвойных и лиственных пород для целей воспроизводства и лесоразведения составляют не менее 700 млн. шт. в год. Однако учитывая современную устойчивую тенденцию существенного сокращения в стране лесных площадей вследствие плановых и несанкционированных вырубок леса, стихийных бедствий (пожаров, болезней и др.), которые подлежат восстановлению, реальная потребность в посадочном материале значительно больше. В этой связи выращивание в необходимых объемах высококачественного посадочного материала, при минимальных материальных и трудовых затратах, приобретает важное значение.

Наиболее перспективным и экономически оправданным по конечному результату посадочным материалом для создания лесных культур являются саженцы. Однако, традиционная технология выращивания укрупненного посадочного материала в виде саженцев является многооперационной – в начале выращивают семена в посевном отделении, а затем их пересаживают для доращивания в школьное, это увеличивает затраты и удлиняет сроки на их выращивание. В этой связи получение в посевном отделении питомника укрупненного посадочного материала сокращает сроки его выращивания на один год, уменьшает количество операций, перечень и номенклатуру применяемых средств механизации. Необходимым условием реализации этой технологии является равномерно-разреженный посев семян с обеспечением их достаточной площадью питания для роста и развития сеянцев. Широкое применение этой технологии неоправданно ограничено отсутствием совершенного комплекса машин и орудий с научно обоснованными их конструктивными и рабочими параметрами.

Повышение качества посадочного материала, выращиваемого в лесных питомниках, возможно лишь при полноценном выполнении регламентированных технологических операций: первичной обработки почвы, мульчирования, внесе-

ния удобрений, посева, агротехнического ухода, обработки гербицидами, полива, выкопки и др. Наиболее трудоемкими из них являются операции посева, ухода и выкопки, которые все еще выполняются устаревшими конструкциями машин и орудий, по своим характеристикам не отвечающих действующим нормативам и возросшим требованиям к показателям качества, а также к снижению затрат на производство выращиваемого посадочного материала.

Существующие лесные сеялки, используемые в лесных питомниках для высева крупных семян лиственных пород и мелких семян хвойных пород, допускают повреждения и неравномерность их распределения в посевной бороздке. Это объясняется тем, что лесные сеялки не обеспечивают поштучно-равномерный высев крупных семян лиственных пород и равномерно-разряженный высев мелких семян хвойных пород, что ведет к неоправданно высокому расходу дорогостоящих семян, а также к загущению посевов, и как следствие этого, существенному снижению качества выращиваемого посадочного материала. Кроме того, применяемые в сеялках прикатывающие катки из-за недостаточно обоснованных их параметров и режимов работы не обеспечивают требуемую плотность почвы в посевной бороздке, что также отрицательно влияет на всхожесть семян и качество посадочного материала.

Качество агротехнического ухода в лесных питомниках в настоящее время также не соответствует должному уровню. Основной причиной этого является использование культиваторов, конструктивные параметры которых не в полной мере соответствуют требуемым агротехническим показателям ухода за посадочным материалом, выращиваемым в специфических условиях лесных питомников. Рабочие органы таких орудий недостаточно полно удаляют сорную растительность в междурядьях и часто забиваются ею, сгруживают почву, не обеспечивают требуемую стабильность глубины обработки и ширины защитной зоны, а также допускают неоправданно повышенную повреждаемость посадочного материала.

Важной операцией, существенно влияющей на качество выращиваемого посадочного материала, является его выкопка. Применяемые для этой операции тра-

дици-онные машины с пассивными и активными рабочими органами, вследствие несовершенства их конструкций, не обеспечивают получение посадочного материала с минимальными повреждениями и энергозатратами.

Таким образом, решение проблемы, направленной на обоснование параметров комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов, является своевременной и актуальной для отрасли.

Работа выполнена в соответствии с: «Приоритетным направлением научных исследований в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, обеспечивающим их устойчивое управление и развитие лесного комплекса» (Утверждены приказом Рослесхоза от 19.12.2012 № 519); Государственной программой Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства» (утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 318, ред. от 31.03.2020 № 393) – подпрограмма «Обеспечение использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов»; основами государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года (Утверждены распоряжением Правительства Российской Федерации от 26.09.2013 № 1724-р); разд.IV. п.10е «Повышение продуктивности и улучшение породного состава лесов на землях различного целевого назначения», разд.V. п.17в «Осуществление технической модернизации воспроизводства лесов»; Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.02.2021 года № 312-р): раздел 3 – основные направления развития лесного комплекса, подраздел 5 – совершенствование воспроизводства лесов.

**Степень разработанности темы.** Решение различных аспектов проблемы совершенствования конструктивных параметров и режимов работы машин для механизации работ в питомниках было заложено в трудах ученых и специалистов лесного хозяйства А.И. Баранова, И.М. Зима, П.С. Нартова, И.М. Бартенева, Г.А. Ларюхина, Л.Т. Свиридова, Ф.В. Пошарникова, В.Н. Винокурова, М.В. Драпалюка, А.М. Цыпука, В.С. Сюнева, В.И. Казакова, Ю.Ю. Герасимова, А.В. Родионова,

Г.Б. Климова, А.Н. Заикина, В.И. Посметьева, А.А. Котова и др. Ими предложены концепции развития средств механизации для лесного хозяйства и основные направления научных исследований по созданию новых лесных машин, а также разработаны основы расчета и проектирования машин и орудий для механизации основных технологических операций в лесном хозяйстве. В то же время некоторые важные проблемы все еще недостаточно полно решены, в частности, такие как, совершенствование конструктивных параметров и режимов работы машин и орудий, предназначенных для механизации работ в лесных питомниках, учитывающие новые перспективные агроприемы посева семян, ухода за растениями и выкопки посадочного материала.

Изучению вопросов, связанных с проблемой совершенствования существующих и разработки перспективных технологий выращивания посадочного материала для воспроизводства и лесовосстановления, посвящены работы ученых Н.А. Смирнова, А.Р. Родина, А.В. Жигунова, С.А. Родина, Е.М. Романова, А.И. Писаренко, Н.М. Ведерникова, А.И. Чернодубова, Г.Я. Маттиса, А.М. Гиевского, Д.П. Ишина, Н.С. Прошина, С.В. Фокина, И.А. Марковой, Д.И. Мухортова, П.П. Мелешина и др. Однако, в трудах этих ученых, не учтены перспективные возможности новых и модернизированных машин и орудий для механизации работ в лесных питомниках, которые позволяют существенно повысить качество выполняемых ими технологических операций, в частности: посев, уход и выкопку посадочного материала. Кроме этого, все еще недостаточно полно были проработаны вопросы теоретического обоснования, в том числе на уровне имитационного моделирования рабочих процессов, связанных с получением высококачественного посадочного материала.

Таким образом, несмотря на фундаментальные исследования ученых и технологов, требуется дальнейшее развитие и совершенствование, как технологических операций выращивания посадочного материала, так и технических средств для повышения уровня механизации работ в лесных питомниках.

**Цель исследования** – повышение качества выращиваемого посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов с наименьшими материальными

ми и трудовыми затратами за счет обоснования конструктивно-технологических параметров и режимов работы комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для посева, ухода и выкопки.

**Задачи исследования:**

1 Обосновать новые конструктивные схемы, параметры и режимы работы сеялок для поштучно-равномерного посева крупноплодных семян и для равномерно-разреженного посева мелких семян хвойных пород в лесных питомниках.

2 Исследовать технологические показатели желудей дуба черешчатого, необходимые для обоснования конструктивных параметров и режимов работы сеялки для посева крупноплодных семян в лесных питомниках.

3 Разработать математическую модель, алгоритмы, программы для ЭВМ и базы данных рабочего процесса и оптимизации конструктивных параметров рабочих органов сеялок для заделки семян почвой на заданную глубину в посевной бороздке.

4 Обосновать выбор типов, параметры и режимы работы с оптимизацией конструктивных параметров рабочих органов культиватора и выкопочной машины для лесных питомников.

5 Разработать математическую модель напряженно-деформированного состояния слоя почвы в процессе ее взаимодействия с рабочими органами выкопочной машины.

6 Провести опытно-производственную проверку комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала лиственных и хвойных пород в лесных питомниках.

**Объекты и предмет исследования.** Объектами исследования являются перспективные конструктивные решения и рабочие процессы машин и орудий для посева, ухода и выкопки посадочного материала в лесных питомниках. Предметом исследования являются закономерности изменения рабочих процессов и конструктивных параметров новых и усовершенствованных машин и орудий с учетом специфических условий их функционирования в лесных питомниках в зоне хвойно-широколиственных лесов.

**Научная новизна результатов работы.** Научной новизной обладают:

1 Рабочие процессы сеялки для поштучно-равномерного посева крупноплодных семян, сеялки для равномерно-разреженного посева мелких семян хвойных пород, защищенных патентами на изобретения и полезные модели, отличающиеся повышением качества посева в лесных питомниках.

2 Технологические показатели желудей дуба черешчатого, отличающиеся обоснованными параметрами, необходимыми при проектировании высевающего аппарата и конструкции сеялки с учетом основных факторов, определяющих качество посева в лесных питомниках.

3 Математические модели, программы для ЭВМ и базы данных технологических процессов для оптимизации параметров рабочих органов сеялок для посева крупных семян лиственных пород и мелких семян хвойных пород, отличающиеся учетом параметров новых конструкций сеялок, стабильностью заделки семян в почву на заданную глубину в посевной бороздке.

4 Рабочие процессы культиватора и выкопочной машины, защищенные патентами на изобретения и полезные модели, с обоснованными выборами типов, параметров, режимов работы и оптимизацией конструктивных параметров рабочих органов, отличающиеся повышением качества посева, ухода и выкопки посадочного материала в лесных питомниках.

5 Математическая модель напряженно-деформированного состояния почвы, отличающаяся учетом реологических свойств почвы, параметров и режимов работы новой выкопочной машины.

6 Результаты опытно-производственной проверки комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала лиственных и хвойных пород в лесных питомниках, отличающиеся учетом воздействия внешней среды и их конструктивными особенностями.

**Теоретическая значимость работы** заключается в: расширении теории расчета и проектирования ячеисто-транспортного высевающего аппарата для посева крупноплодных семян; исследовании рабочего процесса штифтового высевающего аппарата для посева мелких семян хвойных пород; исследовании вза-

имосвязи прикатывающего катка с почвой при заделке семян в посевной бороздке; расширении теории расчета рабочих органов культиватора; исследовании процесса разрушения почвенного пласта при выкопке посадочного материала; математическом моделировании процесса заделки посевной бороздки почвой, позволившем обосновать оптимальные параметры загортачей; моделировании напряженно-деформированного состояния грунта в процессе его взаимодействия с рабочими органами выкопчной машины.

**Практическая значимость работы.** По результатам исследований получены исходные данные на проектирование и изготовление опытных образцов комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов, разработке математических моделей и программ для ЭВМ, позволившим обосновать рациональные параметры рабочих органов новых машин и орудий; разработке оригинальных конструкций комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала и защищенных патентами на изобретения и полезные модели. Изготовлены, испытаны и внедрены в производство сеялка лесная навесная для мелких семян ели СЛН-5А, сеялка для крупноплодных семян СКБ-3-5, культиватор комбинированный для питомников ККП-1,5А и машина выкопчная МВ-1,3А. В ОАО «ЦОКБлесхозмаш» организовано серийное производство и поставка этого комплекса машин и орудий предприятиям лесного хозяйства.

**Методы исследования.** Теоретические исследования выполнялись с использованием общих законов физики, теоретической механики, математическом и имитационном моделировании, а также численных методов анализа. Экспериментальные исследования выполнялись в ВГЛТУ и ФБУ ВНИИЛМ с использованием опытных образцов машин и орудий для механизации работ в питомниках при проведении лабораторных опытов в почвенных каналах, а также в реальных условиях эксплуатации в лесных питомниках по стандартным программам и методикам МИС. Полученные результаты обрабатывались методом математической статистики, с использованием ЭВМ.



**Научные положения, выносимые на защиту:**

1 Рабочие процессы сеялки для посева крупноплодных семян, сеялки для посева мелких семян хвойных пород, защищенных патентами на изобретения и полезные модели, позволяющие в лесных питомниках зоны широколиственных лесов производить поштучно-равномерный посев крупноплодных семян и равномерно-разреженный посев мелких семян хвойных пород.

2 Технологические свойства желудей дуба черешчатого, позволяющие обосновать тип и оптимизировать конструктивные и рабочие параметры высевающего аппарата и сеялки для посева крупноплодных семян.

3 Математические модели, программы для ЭВМ и базы данных рабочих процессов посева и заделки почвой на заданную глубину в посевной бороздке крупноплодных и мелких семян хвойных пород, позволяющие оптимизировать параметры рабочих органов сеялок.

4 Рабочие процессы культиватора и выкопчной машины, защищенные патентами на изобретения и полезные модели, позволяющие повысить качество ухода и выкопки посадочного материала в лесных питомниках.

5 Математическая модель напряженно-деформированного состояния почвы, позволяющая прогнозировать динамику распределения перемещений, напряжений и деформаций в почве в зависимости от параметров и режимов работы выкопчной машины, а также реологических свойств почвы.

6 Результаты опытно-производственной проверки комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий, позволяющие оценить их эффективность и качество работы при выращивании посадочного материала лиственных и хвойных пород.

**Степень достоверности** результатов исследования и заключения базируется на обоснованной постановке задачи и целей работы, применением общепризнанных методик проведения опытов и обработки полученных результатов. Достоверность результатов теоретических и экспериментальных исследований подтверждена достаточным объемом полученных данных и положительными результатами разработки, испытаний и внедрения в производство комплекса новых и

усовершенствованных машин и орудий.

**Апробация результатов работы.** Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на заседании кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин (2021 г.), на заседаниях Ученого совета ФБУ ВНИИЛМ (2016-2020 гг.) и научных конференциях: профессорско-преподавательского состава ВГЛТУ (1995-2021 гг.); ежегодных национальных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов по итогам НИР Мытищинского филиала МГТУ имени Н.Э. Баумана; международной научно-практической конференции – «Научно-технические проблемы в развитии ресурсосберегающих технологий и оборудования лесного комплекса» (2008 г.); международной конференции в Болгарии «39-the International symposium on forestry mechanization (FORMEC 2006). – Sofia, Bulgaria»; международной заочной научно-практической конференции – «Механика технологических процессов в лесном комплексе» (2014 г.); использовались в учебном процессе следующих вузов: «ВГЛТУ», «Мытищинский филиал МГТУ», «ПГУ» и институте повышения квалификации «ВИПКЛХ».

Разработанная сеялка для посева крупноплодных семян СКБ-3-5 получила 2 место в конкурсе губернатора Московской области. Комплекс машин, включающий сеялку СЛН-5А, культиватор ККП-1,5А и выкопчную машину МВ-1,3А экспонировался на ежегодных Международных выставках «Леспромбизнес» и «Лесдревмаш» (г. Москва) и отмечен призовыми дипломами. Опытные образцы этих машин успешно прошли приемочные испытания на Лесной МИС и рекомендованы к постановке на серийное производство, а также в ОАО «ЦОКБлесхозмаш» организован их выпуск и поставка лесохозяйственным предприятиям Воронежской, Тульской, Московской, Новгородской, Пермской, Ярославской, Тюменской и других областей.

**Соответствие диссертационной работы паспорту научной специальности.** Представленная диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства, пунктам: 5 – «Обоснование и оптимизация параметров и режимов работы лесозагото-

вительных и лесохозяйственных машин», 2 – «Теория и методы воздействия техники и технологий на лесную среду в процессе заготовки древесного сырья и лесовыращивания».

**Публикации.** По теме диссертации опубликована 51 научная работа общим объемом 113 усл. печ. л. (доля автора – 37,7 усл. печ. л.), включая 1 монографию, энциклопедию лесного хозяйства, 2 учебника и 1 брошюру, 8 патентов на изобретения и полезные модели, 7 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных, 2 статьи в журнале базы данных Scopus, а также 11 статей в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России. Автором единолично опубликовано 13 статей.

**Личный вклад автора.** Автор принимал непосредственно личное участие на всех этапах проведения исследования: обосновании постановки темы и ее актуальности, формулировании цели и задач исследования, проведении теоретических и экспериментальных исследований, разработке математических моделей и программ для ЭВМ, анализе полученных теоретических и экспериментальных данных, разработке, испытании и внедрении в производство комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для механизации работ в лесных питомниках.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем работы составляет 297 страниц, из которых 271 основного текста и 6 приложений, 83 иллюстрации, 35 таблиц и 287 наименований использованных источников, включая 24 на иностранных языках.

Автор выражает глубокую благодарность за помощь в подготовке диссертации д. с.-х. наук, профессору, академику РАН Родину С.А. и администрации ФБУ ВНИИЛМ.

# **1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ЗОНЕ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ**

## **1.1 Характеристика почвенно-лесорастительных и природно-климатических условий в питомниках зоны хвойно-широколиственных лесов**

Исследования по совершенствованию технологии и комплекса машин для производства лесного посадочного материала проводились в питомниках зоны хвойно-широколиственных лесов. В этой зоне наряду с естественным возобновлением лесов и мерами содействия, восстановление лесных насаждений проводится посадкой культур.

Зона хвойно-широколиственных лесов – это природная зона, где произрастают хвойные и лиственные породы деревьев (при наличии примеси более 5 % растений другого вида).

Зона хвойно-широколиственных лесов является переходной зоной – от тайги к широколиственным лесам и характеризуется более мягким климатом, теплым и продолжительным летом с количеством осадков 600 ... 700 мм в год, выпадающим в большей части летом. Испарение относительно равно годовой сумме осадков, вследствие этого увлажнение достаточно для благоприятного роста и развития лиственных и хвойных пород деревьев [260].

В зоне хвойно-широколиственных лесов с преимущественным преобладанием лиственных пород деревьев формируются серые и бурые лесные почвы. В таких почвах содержание перегноя больше по сравнению с подзолистыми таежными разновидностями. При преобладании хвойных пород формируются дерново-подзолистые почвы, для которых характерны высокая кислотность и избыточное увлажнение.

Почвы в этой зоне плодородные, а достаточное количество осадков благоприятствует произрастанию как хвойных (сосна, ель, пихта), так и лиственных

(дуб, береза, клен, ясень) пород деревьев. Зона хвойно-широколиственных лесов преобладает широкой полосой на Русской равнине и узкой полоской в Западной Сибири. В среднем, на долю хвойно-широколиственных лесов приходится до половины общей площади лесного фонда страны. Они произрастают по всей территории Западной Европы, доходя до Восточной ее части, где граничат с тайгой по условной линии от Санкт-Петербурга к Нижнему Новгороду и далее тянутся к востоку до Урала.

Хвойно-широколиственные лесные массивы формируются в умеренном климатическом поясе с четкой сменой сезонов года – относительно холодной зимой и жарким летом. При низком испарении отмечается переувлажненность и в ряде случаев происходит заболоченность местности.

Большая часть зоны хвойно-широколиственных лесов находится в условиях умеренно континентального климата, для которого характерно тёплое и продолжительное лето и менее холодная зима. Средние температуры в июле составляют около  $+16 \dots +20$  °С и январе  $-8 \dots -16$  °С. Среднегодовое количество осадков здесь составляет 600 ... 700 мм и несколько превышает испаряемость. Продолжительность вегетационного периода составляет 135 ... 150 дней. На юге зоны широколиственных лесов, лето теплее и продолжительнее, поэтому испаряемость выше, и коэффициент увлажнения почвы приближается к единице. В целом, зону хвойно-широколиственных лесов отличает более мягкий климат по сравнению с таежной зоной, а также более разнообразный видовой состав растительного мира (деревьев и трав). Имеются как хвойные (сосна, ель), так и широколиственные породы деревьев (дуб, липа, клен и др.). При этом, ближе к тайге, в северной части зоны, преобладают хвойные породы, ближе к степям, на юге – широколиственные.

На породы деревьев влияют не только климатические условия, но и механический состав почвы. Для произрастания ели наиболее благоприятны тяжелые суглинки, а для сосны – легкие песчаные почвы. На месте вырубленных лесов появляются вторичные леса с преобладанием мелколиственных пород – берёзы и осины [148, 176, 207].

Условия почвообразования, климат, растительность отличаются в северной и южной части зоны, что является причиной различных типов почв.

В зоне хвойно-широколиственных лесов распространены дерново-подзолистые, а под широколиственными – серые лесные почвы. Эти почвы различаются структурой, мощностью гумусового горизонта, содержанием гумуса и плодородием согласно исследователей В.С. Шумаков и В.Н. Кураева.

Сильноподзолистые почвы и подзолы характерны для почвенного покрова. Развитие подзолистого процесса изменяется в профиле почв как в направлении север-юг, так и с востока на запад. Верхние горизонты подзолистых почв на суглинистых и глинистых материнских породах не значительно опесчанены; иллювиальные горизонты, более оглиненные, уплотненные, легко набухающие и характеризуются низкой водопроницаемостью. Подзолистые почвы бедны гумусом (не более 2,5 ... 3,0 %), содержание которого с увеличением глубины уменьшается до 0,1 ... 0,5 % [207].

Преобладание лиственных пород оказывает существенное влияние на почвообразовательный процесс. Оно проявляется в увеличении биогенной аккумуляции в верхнем слое почвы (горизонт  $A_1$ ) органического вещества, а также в ускорении процессов разложения лесных подстилок. Эти процессы делают почвы более плодородными. Верхний горизонт почвы  $A_1$  мощностью до 20 см содержит 3 ... 4 % гумуса. Таким образом, почвы в зоне хвойно-широколиственных лесов и климатические условия наиболее благоприятны для выращивания посадочного материала [260].

В зоне хвойно-широколиственных лесов четко прослеживается взаимосвязь произрастающих пород деревьев и почвенного покрова. Сосновые леса произрастают на песчаных и супесчаных почвах, а на сильноподзолистых почвах произрастают еловые леса. Между типом почвы и рельефом местности существует определенная связь: с уменьшением относительной высоты местности тяжелые суглинки, покрывающие водоразделы, сменяются средними и легкими почвами. На оподзоленность почвы существенно влияет рельеф местности: на более высоких водоразделах развиты слабооподзоленные почвы, на склонах – среднеоподзо-

ленные, в нижних частях склонов – сильноподзоленные, а в пониженных местах – глеевые.

Между типами лесов и почвами наблюдается сложная и взаимообусловленная связь. Для того или иного типа леса характерна как правило не определенная почва, а их сочетание, состав которых изменяется в пределах вида, подтипа и даже типа почв [96].

Характерной особенностью большинства лесных почв является формирование их профиля на двучленных и многочленных по гранулометрическому составу материнских пород. Супеси или пески часто подстилаются суглинками или глинами. Изменения гранулометрического состава почв оказывают существенное влияние на распространение в ней влаги и формирование иллювиальных, уплотненных горизонтов.

При выборе территории площади под лесной питомник существенное влияние оказывают лесорастительные свойства отдельных генетических горизонтов подзолистых и дерново-подзолистых почв. При этом также необходимо учитывать, чтобы условия выращивания посадочного материала максимально приближались к условиям лесокультурной площади. Кроме того, зная мощность верхнего плодородного слоя почвы ( $A_0A_1$ ), можно выбрать соответствующую агротехнику и средства механизации для выращивания посадочного материала. Мощность верхнего плодородного слоя почвы (горизонты  $A_0$  и  $A_1$ ) незначительна и колеблется в пределах 14 ... 19 см.

Опыт лесокультурного производства показывает, какое отрицательное влияние оказывает удаление верхнего плодородного слоя при обработке почвы путем нарезки борозд двухотвальными плугами. При нарезке борозд вскрываются подзолистый и иллювиальный горизонты, плодородие которых существенно ниже, чем при подготовке пластов. В этих условиях не рекомендуется производить посев семян или посадку культур в дно борозды, так как кроме замедленного роста может происходить их вымокание. Об отрицательном влиянии удаления верхнего плодородного слоя почвы свидетельствуют исследования по энергии роста культур ели, полученные А.И. Писаренко, Г.И. Редько и

М.Д. Мерзленко. Прирост культур ели, посаженных в дно борозды, в среднем в два раза ниже, чем культур ели, выращиваемых без нарушения верхнего плодородного слоя.

В.И. Суворов экспериментально установил, что с целью уточнения влияния отдельных генетических горизонтов подзолистых почв на грунтовую всхожесть семян и рост сосны и ели поставил специальный опыт в условиях аккумулятивно-го  $A_1$  и подзолистого  $A_2$  горизонтов слабодерновой и подзолистой почвы [249]. В горизонте  $A_1$  содержалось 3,3 % гумуса, а в горизонте  $A_2$  – менее 1,6 %. В итоге было установлено, что подзолистый горизонт  $A_2$  оказывает более сильное угнетающее воздействие на грунтовую всхожесть семян ели, чем на всхожесть семян сосны. В горизонте  $A_2$  семена ели хуже прорастали, а всходы росли медленнее, чем в условиях горизонта  $A_1$ . Кроме того, всходы сосны и ели, растущие в условиях подзолистого горизонта  $A_2$ , более подвержены грибным заболеваниям, в частности фузариозу, и в этом горизонте фузариоз развивался значительно интенсивнее, чем в горизонте  $A_1$  [161, 240].

Следует отметить, что не подтвердилось увеличение приживаемости и роста в культурах при выращивании сеянцев и саженцев на сухих или бедных истощенных почвах в целях предварительной закалки посадочного материала.

Проведенные исследования и производственный опыт подтвердили, что такой посадочный материал имеет недостаточно развитую корневую систему, не приспособленную к пересадке, и после посадки наблюдалась его низкая приживаемость и сохранность в лесных культурах [54, 143].

В современных условиях наблюдается децентрализация при организации лесных питомников и новые питомники закладываются на площади, обеспечивающей потребность региона в посадочном материале. Подтверждением этого процесса является повышенный спрос на специальные средства механизации для работы в лесных питомниках [50, 51, 75, 78, 155].

При выборе участков под питомники не рекомендуется использовать площади, вышедшие из-под сельхозпользования, из-за опасности зараженности почвы грибными заболеваниями и различными вредителями. Не пригодны так-



же участки с глинистыми и бесструктурными почвами, так как они существенно затрудняют выращивание посадочного материала. Кроме того, почвы на участках, вышедших из-под сельхозпользования содержат не достаточное количество гумуса, а для внедрения интенсивных технологий выращивания посадочного материала, гумуса в почве должно быть не менее 2,6 ... 3 %. Почвы на этих участках характеризуются ухудшенными физическими свойствами, наличием остатков пестицидов и минеральных удобрений и существенным снижением плодородия [87].

В последние годы наблюдается тенденция увеличения количества питомников с низким содержанием гумуса и почвы на таких участках обладают рядом не благоприятных свойств: малой мощностью перегнойно-аккумулятивного горизонта и значительной кислотностью [212].

Для успешного роста и развития сеянцев также малопригодны песчаные почвы, имеющие большую водопроницаемость и малую влагоемкость. Они бедны гумусом, количество которого в пахотном слое составляет менее 1,5 %. Такие почвы характеризуются низким содержанием подвижных фосфатов и недостаточным количеством обменного калия. Например, в Нижегородской области площади с содержанием  $K_2O$  менее 6 мг/100 г составляют почти 100 % [84].

Установлено, что к главным факторам, ограничивающим рост сеянцев, относятся низкое содержание гумуса и высокая плотность почвы. Производительность питомников может снижаться даже при высокой обеспеченности почв питательными веществами. Это характерно для площадей с тяжелыми глинистыми почвами, используемыми для выращивания посадочного материала в течение длительного времени. Следует также отметить, что многократный проход машин и орудий существенно повышает плотность почвы, нарушает ее структуру, ухудшает водный, воздушный и тепловой режимы и в целом ее лесорастительные условия [161].

В связи с этим, практический интерес представляет направление в развитии лесопитомнических хозяйств, принятое в последние годы, особенность которого заключается в увеличении количества временных питомников. Так, если в 1994

году было всего 3029 питомников, в том числе 1464 временных, то в 2000 году соответственно – 3570 и 2130 штук. Количество постоянных питомников уменьшилось от 1565 до 1440 штук, а количество временных увеличилось на 45,5 %. Например, в Кировской области, где наиболее высокий процент лесной и лесопокрытой площади, составляющий, соответственно, 95,6 и 91,7 %, временные питомники составляют 73,6 %, от общего их количества, а в Нижегородской области достигают 86 %.

Снижение количества постоянных питомников и увеличение временных питомников, обусловлено снижением плодородия почв из-за длительной их эксплуатации. Временные питомники закладывают на площадях после рубки леса, которые наиболее благоприятны для выращивания посадочного материала.

## **1.2 Обзор исследований технологических свойств желудей и мелких семян хвойных пород**

Вопросам исследования технологических свойств желудей и мелких семян хвойных пород, а также созданию благоприятных условий для посева, роста и ухода за сеянцами в лесных питомниках посвящены многочисленные научные работы отечественных и зарубежных ученых [58-61, 111, 115, 117, 164, 178, 179, 208, 210, 216, 258, 264-266, 268-283],

Технологические свойства желудей являются важнейшими показателями для выбора и обоснования технологических и конструктивных параметров лесных сеялок для высева семян дуба. Это может быть учтено при проектировании семенного бункера (определение объема и углов наклона стенок бункера), выборе и обосновании типа и параметров высевающего аппарата, размеров и формы семяпроводов [241, 246].

Основные технологические показатели желудей это: размерные признаки, объемная масса, масса 1000 шт. семян, плотность, угол естественного откоса, и коэффициент трения.

Определением технологических свойств семян дуба занимались ученые:

А.П. Тольский; Н.Н. Степанов; М.Г. Слюсарев; Г.А. Ларюхин; М.В. Плетиков; Г.Р. Эйтинген, Л.Т. Свиридов и др.

По данным исследований проф. А.П. Тольского значительное влияние на среднюю массу семян дуба оказали сроки их сбора, и чем они позже, тем масса желудей больше и увеличилась от 1,39 г (сбор 25 августа) до 4,52 г (сбор 17 ноября), т.е. в 3,25 раза. Также проф. А.П. Тольским установлено, что средняя масса 1000 шт. желудей дуба черешчатого составила 3853 г, при её изменении от 2569 до 4366 г. [226].

В работах Г.Р. Эйтингена существенное внимание было уделено исследованиям изменения массы семян дуба в зависимости от их урожайности. Так, большая доля – 68 % желудей (в семенной год) имела среднюю массу 4 г, и только 26,9 % в не семенной год, и большая доля (57,6 %) желудей была массой 3 г. Из исследований Г.Р. Эйтингена видно, что на длину семян дуба оказывает влияние место произрастания. Например, длина 100 шт. семян дуба из Шушенского лесничества изменялась от 733 до 759 мм, а из Хреновского лесничества – от 1224 мм до 1337 мм, что, соответственно, больше в 1,67 и 1,76 раза.

Однако, эти исследования не отражали один, из наиболее важных показателей, как средняя длина желудей.

В исследованиях Г.А. Ларюхина [141, 144] был установлен коэффициент трения и угол естественного откоса желудей. Для проведения исследований им были использованы семена дуба четырех категорий сыпучести:

- повышенной сыпучести (просеянные от песка и не сортированные);
- относительно сыпучие (с длиной ростков до 3 мм);
- пониженной сыпучести (просеянные от песка, не сортированные, с длиной ростков свыше 3 мм);
- низкой сыпучести (с длиной ростков более 5 мм).

В результате проведенных исследований Г.А. Ларюхин установил, что с уменьшением сыпучести желудей угол естественного откоса увеличивается от  $24^{\circ}$  до  $36^{\circ}$ , т.е. в 1,5 раза, а коэффициент внутреннего трения увеличился от 0,45 до 0,73, т.е. в 1,6 раза. Также, Г.А. Ларюхин, применяя в опытах концентриро-

ванные растворы, установил удельный вес мелких, средних и крупных семян дуба. При этом, удельный вес менялся не существенно и равнялся 1 ... 1,1 г/см<sup>3</sup> [142, 144].

Исследования Г.А. Ларюхина представляют научный и практический интерес. Однако, полученные им показатели технологических свойств семян дубы характерны для желудей с наличием ростков и не могут быть, в полной мере, применены для определения рациональных технологических и конструктивных параметров сеялок для посева крупноплодных лесных семян.

Научные работы М.Г. Слюсарева, по исследованию отдельных технологических свойств семян дуба и технологии их посева, позволили определить коэффициент трения семян в ворохе в зависимости от примеси песка, по дереву и по стали. В итоге этих исследований установлено следующее – увеличение по объему песка от 0,1 до 1 части, повышает коэффициент трения от 0,65 до 0,76. Материал (дерево, сталь) не оказывает существенного влияния на значение коэффициента трения. М.Г. Слюсарев установил, что угол наклона стенки бункера для желудей должен составлять не менее 50°. Однако, трение скольжения в отдельности каждого семени дуба М.Г. Слюсарев не исследовал и результаты его опытов не представляется возможным применить в полной мере для обоснования параметров сеялки для равномерного посева крупноплодных семян, обеспечивающей захват и подачу поштучно каждого семени, без примесей.

В установленных М.Г. Слюсаревым показателях свойств семян дуба, отметим, что длина желудей дуба черешчатого находилась в широком интервале – от 18,8 до 40,4 мм, при средней длине равной 25,7 мм. Ширина семян также существенно изменялась от 11 до 20 мм, при средней величине 15,2 мм. Установленный М.Г. Слюсаревым значительный разброс размерных признаков желудей требует дальнейшего их исследования и анализа.

Исследования технологических свойств мелких семян хвойных пород необходимы для обоснования конструктивных показателей лесных сеялок, в частности, для выбора типа и параметров высевающего аппарата и семяпроводов, а также для выбора и обоснования режимов работы сеялок и нормы высева семян.

Технологические свойства мелких семян хвойных пород достаточно полно были изучены следующими учеными: Свиридовым Л.Т., Тольским А.П., Соболевым А.Н., Энглером и другими.

По данным исследований проф. А. П. Тольского масса 1000 шт. семян сосны обыкновенной (обескрыленных) изменялась от 5,3 до 5,92 г и зависела от региона произрастания. Эти данные подтверждаются исследованиями проф. Л.Т. Свиридова [226].

Однако, у проф. А.Н. Соболева данные 1000 шт. семян сосны и ели, в зависимости от региона произрастания, разнятся в значительных пределах, и составляют для семян сосны от 3,7 до 8,25 г, для семян ели от 3,15 до 6,5 г.

По данным исследований Энглера масса 1000 шт. семян сосны и ели изменялась в зависимости от условий произрастания от 4,27 до 7,82 г (семена сосны обыкновенной) и от 4,48 до 8,50 г (семена ели обыкновенной).

Данные исследований этих ученых были обобщены и более широко и полно исследованы проф. Л.Т. Свиридовым (табл. 1.1-1.3) [226].

По данным исследований проф. Л.Т. Свиридова длина семян сосны обыкновенной без крылаток изменяется в интервале 3,0 ... 5,0 мм, ширина – 1,9 ... 2,5 мм и толщина – 1,3 ... 1,6 мм. Удельная масса семян сосны обыкновенной изменяется в существенном интервале – 825 ... 1000 г/дм<sup>3</sup>.

Семена сосны обыкновенной без крылаток имеют в целом несколько удлиненную яйцевидную с закрытым кончиком форму, которая варьирует от шаровидно-эллипсоидной до продолговато-яйцевидной.

Семена ели обыкновенной, без крылаток имеют яйцевидно-угловатую форму с двумя хорошо выраженными гранями и кончиком, который вытянут в отогнутое отверстие. Длина семян изменяется в интервале – 3,0 ... 5,0 мм, ширина – 1,8 ... 2,0 мм и толщина – 1,1 ... 1,5 мм. Удельная масса семян ели обыкновенной, аналогично с семенами сосны, изменяется в интервале – 850 ... 920 г/дм<sup>3</sup>.

Семена лиственницы сибирской в отличие от семян сосны и ели обыкновенной имеют кокосообразно-яйцевидную форму. Верхушечный конец семени

Таблица 1.1 – Технологические свойства семян сосны обыкновенной (без крылаток)

Основные показатели	Среднее арифметическое значение, X	Среднее квадратическое отклонение, S	Коэффициент вариации V, %	Средняя квадратическая ошибка среднего значения, S <sub>x</sub>	Точность измерения P, %
Масса 1000 шт., г	5,62	0,26	4,60	0,08	0,70
Объемная масса, г/дм <sup>3</sup>	483,70	1,23	0,25	0,19	0,08
Плотность семян, г/дм <sup>3</sup>	880,0	11,0	1,25	3,40	0,39
Угол естественного откоса, град.	25°43′	3°29′	13,49	0°37′	2,13
Размеры, мм:					
– длина	3,87	0,48	12,51	0,048	1,25
– ширина	2,38	0,31	13,07	0,031	1,30
– толщина	1,36	0,22	16,33	0,022	1,63

Таблица 1.2 – Технологические свойства семян ели обыкновенной (без крылаток)

Основные показатели	Среднее арифметическое значение, X	Среднее квадратическое отклонение, S	Коэффициент вариации V, %	Средняя квадратическая ошибка среднего значения, S <sub>x</sub>	Точность измерения P, %
Масса 1000 шт., г	5,82	0,34	5,84	0,11	1,80
Объемная масса, г/дм <sup>3</sup>	469,80	5,25	1,11	0,96	0,20
Плотность семян, г/дм <sup>3</sup>	868,0	30,0	3,45	9,38	1,08
Угол естественного откоса, град.	32°30′	1°23′	3,78	0°23′	0,69
Размеры, мм:					
– длина	4,3	0,12	2,77	0,17	0,39
– ширина	2,19	0,09	4,24	0,013	0,59
– толщина	1,49	0,07	4,39	0,009	0,62

Таблица 1.3 – Технологические свойства семян лиственницы сибирской (без крылаток)

Основные показатели	Среднее арифметическое значение, X	Среднее квадратическое отклонение, S	Коэффициент вариации V, %	Средняя квадратическая ошибка среднего значения, S <sub>x</sub>	Точность измерения P, %
Масса 1000 шт., г	7,73	0,78	10,09	0,24	3,15
Объемная масса, г/дм <sup>3</sup>	419,70	8,87	2,11	1,62	0,39
Плотность семян, г/дм <sup>3</sup>	889,0	230,0	2,59	7,19	0,81
Угол естественного откоса, град.	30°12′	0°99′	3,29	0°18′	0,61
Размеры, мм:					
– длина	4,95	0,11	2,26	0,016	0,32
– ширина	2,93	0,08	2,66	0,011	0,37
– толщина	1,77	0,05	2,94	0,007	0,41

притуплен, а нижний имеет остроклиновидную форму. Размерные показатели семян варьируют в следующих пределах: длина 4,0 ... 5,0 мм; ширина 2,0 ... 3,0 мм; толщина 1,5 ... 2,0 мм.

Таким образом, данные результаты исследований технологических свойств мелких семян хвойных пород, полученные проф. Л.Т. Свиридовым, могут быть в полной мере применены для обоснования рациональных параметров и режимов работы лесных сеялок для мелких семян хвойных пород. Однако, проведенные исследования технологических показателей желудей не могут быть использованы при выборе типа высевающего аппарата и обосновании его параметров и конструкции сеялки для посева крупноплодных семян (семян дуба). Поэтому необходимо проведение дополнительных исследований, уточняющих технологические показатели желудей.

### **1.3 Анализ технологий выращивания посадочного материала в лесных питомниках**

Применяемая в последнее время технология выращивания крупномерного посадочного материала в виде саженцев является многооперационной. Структура лесного питомника представлена двумя основными отделениями – посевным и школьным. В первом отделении осуществляется выращивание сеянцев, назначение второго – дорастивание пересаженных сеянцев с применением средств механизации [3, 4, 30, 35, 38, 46, 79, 110, 113, 116, 120, 123, 125, 156, 175, 215, 217].

Технологические операции выращивания саженцев включают:

- подготовку семян;
- обработку почвы;
- внесение удобрений;
- посев семян;
- агротехнический уход (с применением механических и химических средств);
- полив и подкормку сеянцев;
- выкопку двух или трехлетних сеянцев;

- пересадку сеянцев в школьное отделение,
- выкопку саженцев.

Перед посадкой сеянцев в школьном отделении питомника проводят обработку почвы. Высев семян производится по схемам, которые обеспечивают максимальную длину посевных строчек на единице площади и возможность использования средств механизации для выращивания посадочного материала. Широко используются ленточные 5 ... 6-строчные схемы посева при ширине посевной строчки 2 ... 3 см и с расстояниями между центрами строчек: 10-25(30)-10-25(30)-10-70 или 10-10-40-10-10-70 см и 22,5-22,5-22,5-22,5-70 см [101, 131].

К агротехническому уходу относятся следующие операции: уничтожение нежелательной сорной растительности, полив, рыхление почвы, отенение, подкормка сеянцев, а также борьба с болезнями и вредителями растений [36, 145].

Рыхление почвы и уничтожение сорной растительности между посевными лентами и строчками, зачастую, проводится сельскохозяйственными культиваторами-растениепитателями КРН-2,8МО и КРСШ-2,8А, не предназначенными для использования их в лесных питомниках и снятыми с производства [150, 152, 154].

В посевных отделениях лесных питомников сеянцы хвойных пород выращивают в течении 2 ... 3 лет, затем их выкапывают и пересаживают в школьное отделение, или высаживают на лесокультурную площадь. Выкопку сеянцев производят весной путем подрезки их корней на глубине 15 ... 25 см [46, 166, 190].

Для выкопки сеянцев в лесных питомниках используется навесная выкопочная скоба НВС-1,2, копач сеянцев на шасси КСШ-0,35, а также выкопочная машина ВМ-1,25 [119, 126].

Для производства саженцев хвойных пород закладывают уплотненные школы с их ленточным размещением. Наиболее распространенными схемами размещения сеянцев ели в школьном отделении питомника, являются ленточные трех- и пятирядные: 40-40(80)-70 и 25-25-25-25-75 см. Такие же схемы размещения рядков растений применяются и в посевном отделении питомника, что позволяет применять культиваторы при проведении уходов, как в школьном, так и в посевном отделениях питомника без их переналадки [99, 101].



Оптимальная густота размещения сенцев ели в школьном отделении питомника составляет 250 ... 300 тыс. шт./га, при сроке выращивания саженцев 2...3 года.

Междурядную обработку почвы, как в школьном, так и в посевном отделениях питомника, проводят для уничтожения травянистой растительности и рыхления почвы. В школьном отделении питомника применяются те же средства механизации, как и в посевном отделении при выращивании сеянцев [151].

При данной технологии производства саженцев подрезка корневой системы растений в процессе их роста не осуществляется. Выкопанные саженцы уступают в массе и объему жизнеобеспечивающих корней укрупненным сеянцам, у которых за год до выкопки проводят подрезку их корней.

Выращивание крупномерного посадочного материала (саженцев), характеризуется многооперационностью, значительными затратами средств и труда, увеличенными сроками и недостаточно высоким их качеством и, как следствие, со слаборазвитой корневой системой, что обуславливает низкую приживаемость лесных культур [101].

Проведенные исследования показывают, что укрупненные сеянцы ели, выращенные в посевном отделении без перешколивания в течение четырех лет, по своим качественным показателям они превышают 5-летние саженцы, так как при их выкопке обрезается до 75 % наиболее деятельной части корневой системы [101]. Переход на выращивание укрупненного посадочного материала в посевном отделении питомника без перешколивания, с хорошо развитой кроной и мочковатой корневой системой, позволяет существенно повысить качество посадочного материала. Использование такого посадочного материала позволяет создавать высокоэффективные лесные культуры, снизить металлоемкость машин, материальные затраты и сократить сроки выращивания [127, 134, 213].

Таким образом, для выращивания качественного, стандартного посадочного материала необходимо:

- проводить равномерно-разреженный высев мелких семян хвойных пород и поштучно-равномерный посев крупноплодных семян (желуди);
- обеспечивать оптимальные условия для роста и развития растений благо-

даря проведению регулярных агротехнических уходов и подкормок;

– производить выкопку саженцев и сеянцев, одновременно отделяя от их корневых систем почву.

Для обеспечения оптимальных условий для роста и развития сеянцев или саженцев, а также для экономии посевного материала и рационального использования посевных площадей в лесных питомниках сеялки для высева крупных семян должны производить поштучно-равномерное их размещение в посевной бороздке и равномерно-разреженный высев мелких семян с заданной нормой высева. При этом, семена должны равномерно заделываться почвой с обеспечением плотности почвы в зоне их заделки в пределах от 1,0 до 1,2 г/см<sup>3</sup>. Также при работе высевающих аппаратов и в целом сеялок недопустимо травмирование и повреждение семян, что приводит к снижению их всхожести.

Для оптимального развития растений расстояния между семенами в бороздке для крупноплодных семян должно быть не менее 4 см. Необходимо, чтобы глубина посева семян была стабильной и равномерной по длине посевной строчки и составляла 1 ... 1,5 см для мелких семян и 4 ... 7 см для крупноплодных семян [202].

Для хорошего роста и развития сеянцев в посевных лентах лесных питомников машины и орудия должны выполнять операции по рыхлению почвы и уничтожение сорняков механическим способом. Для этого применяются различные культиваторы, которые должны иметь рабочие органы, позволяющие максимально эффективно рыхлить почву и удалять сорную растительность. При этом корни сеянцев или саженцев не должны повреждаться, т. е. при движении культиватора должна соблюдаться необходимая ширина защитной зоны. Глубина предпосевной обработки почвы должна быть в интервале 4,0 ... 8,0 см.

При выкопке растений в питомнике, а также при получении готовых к укладке в пучки сеянцев и саженцев для экономии рабочего времени и труда рабочих, отделение корней от почвы необходимо производить машинами для выкопки лесного посадочного материала. Для этого они должны иметь активные рабочие органы. Отделение корней от почвы необходимо для более полной механизации выращивания сеянцев и саженцев в лесных питомниках.

## **1.4 Обзор средств механизации для выращивания посадочного материала в лесных питомниках**

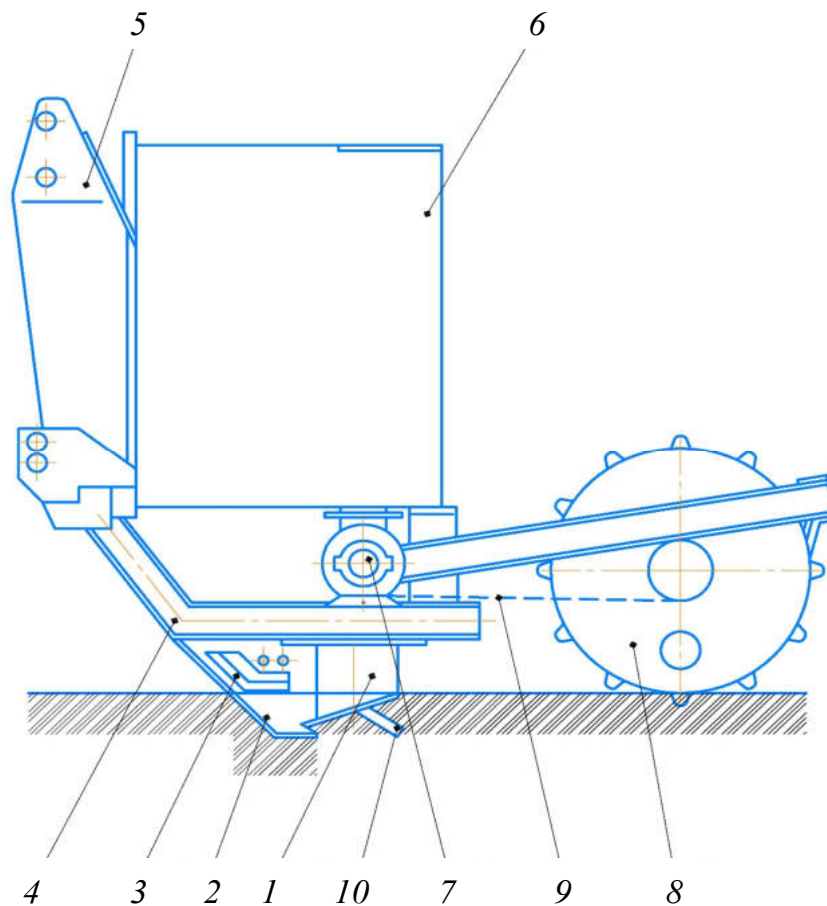
### **1.4.1 Сеялки для посева крупноплодных и мелких семян хвойных пород**

Из большого разнообразия современных сеялок для использования в есных питомниках, рассмотрим сеялки, предназначенные для посева крупноплодных семян (дуб, каштан, орех и т.п.) и мелких семян хвойных пород (ель, сосна, лиственница) [5, 8, 13, 17, 19-21, 25, 30, 32, 40, 88, 138, 168, 182, 186, 187, 261].

Сеялка комбинированная шестирядная СКП-6 предназначена для посева мелких сыпучих семян, заделываемых в почву на небольшую глубину. Наиболее широкое применение эта сеялка нашла при посеве семян хвойных пород – ели, сосны и лиственницы. Отличительной особенностью ее конструкции является то, что она оборудована устройством, позволяющим одновременно с посевом семян осуществлять их присыпку субстратом или производить мульчирование посевных лент. Недостатком сеялки СКП-6 является наличие на ней катушечно-желобчатых высевающих аппаратов, которые не позволяют проводить равномерно-разреженный посев и повреждают семена при посеве. Также сеялка СКП-6 имеет семяпроводы из прорезиненного материала, не долговечные при воздействии на них низкой температуры и влаги.

Широкострочная сеялка «Литва-25» применяется для высева мелких семян, преимущественно хвойных пород (сосна, ель, лиственница). Сеялка высевает семена по пятирядной ленточной схеме 25-25-25-25-25 см при ширине посевной строчки равной 12 см. Норма высева осуществляется путем изменения частоты вращения высевающих аппаратов с помощью сменных звездочек их привода.

Сеялка желудевая навесная СЖН -1 (рис. 1.1) предназначена для однорядного посева желудей по дну борозд, подготовленных плугами, по разрыхленным полосам, а также на незадернелых вырубках [142]. Эта сеялка имеет катушечно-лопастной высевающий аппарат, который высевает 4 ... 20 штук семян дуба на 1



1 – сошник; 2 – нож; 3 – полозовидные опоры; 4 – рама; 5 – навесное устройство;  
 6 – бункер для семян; 7 – высевающий аппарат; 8 – прикатывающий каток;  
 9 – цепная передача; 10 – рассеиватель

Рисунок 1.1 – Сеялка желудевая навесная СЖН-1

м посевной строки. Глубина хода сошника составляет 4 ... 10 см, необходимая для посева семян дуба. В нижней части сошника смонтирован рассеиватель, который распределяет семена по всей ширине посевной бороздки. Объем семенного бункера составляет 0,4 м<sup>3</sup>, что недостаточно для крупноплодных семян и необходимо периодически пополнять его семенным материалом. Производительность сеялки составляет 2 ... 3 пог. км. за один час чистой работы. Сеялка агрегируется с тракторами МТЗ-80/82, Т-40А и Т-25А. Высевающий аппарат сеялки приводится во вращение от прикатывающего катка, что является отличительной особенностью конструкции этой сеялки. Каток сеялки пустотелый, но, для усиления давления на почву, может заполняться балластом (песком). На ободке катка имеются шпоры, что исключает его пробуксовывание. Достоин-

ством этой сеялки является возможность ее монтажа на плуг ПКЛ-70 и обеспечивать посев желудей одновременно с обработкой почвы. Лопастные высевающие аппараты сеялки, изготовлены из капрона, что исключает вероятность повреждения семян при их высевах.

Существенным недостатком сеялки СЖН-1 является неравномерность распределения желудей в посевной бороздке. Кроме того, сеялка высеивает только один рядок, что не соответствует технологии выращивания посадочного материала в лесных питомниках.

Сеялка СЖН-4 предназначена для высеива семян дуба ленточным способом. Сеялка производит посев семян в четыре рядка. Однако, ее высеивающий аппарат с высеивающей рейкой не соответствует требованиям посева желудей в лесных питомниках [51].

Сеялка желудевая универсальная СЖУ-1 предназначена для однорядного посева желудей строчным, строчно-луночным и групповым способами [43]. Эта сеялка снабжена лабиринтным высеивающим аппаратом, не обеспечивающим рядовой посев, что не отвечает требованиям технологии выращивания посадочного материала в лесных питомниках.

Созданная в Московском лесотехническом институте сеялка МЛТИ-1 с лабиринтным высеивающим аппаратом предназначена для строчно-луночного посева желудей и других крупных семян [84]. Эта сеялка позволяет проводить посев желудей в смеси с микоризной почвой. Существенным недостатком сеялки МЛТИ-1 является невозможность рядового посева желудей.

В Московском лесотехническом институте также разработана универсальная навесная сеялка МЛТИ-2, предназначенная для высеива семян дуба при защитном лесоразведении. Эта сеялка также может применятся для высеива желудей на раскорчеванных вырубках (полосами или сплошь), прогалинах и т. п. Отличительной особенностью этой сеялки является возможность посева семян дуба рядовым, строчно-луночным или групповым способами. На сеялке установлен специальный кулачково-шарнирный механизм, обеспечивающий групповой посев семян дуба. Сеялка МЛТИ-2 имеет высокую рабочую скорость (до 9,0 км/ч). Вы-

севают желуди со значительным интервалом нормы посева – от 2 до 39 шт./пог.м. Недостаток сеялки МЛТИ-2 заключается в не равномерном размещении желудей в рядках и не большой объем бункера для семян (0,35 м<sup>3</sup>) [52].

В Воронежской государственной лесотехнической академии создана лесная универсальная питомниковая сеялка СПП-3Ш (рис. 1.2), которую можно использовать для высева, как крупных, так и средних и мелких сыпучих семян (сосна, ель, лиственница, дуб, акация, кедр, каштан и др.) по двухстрочной схеме размещения рядков на ленте [206].

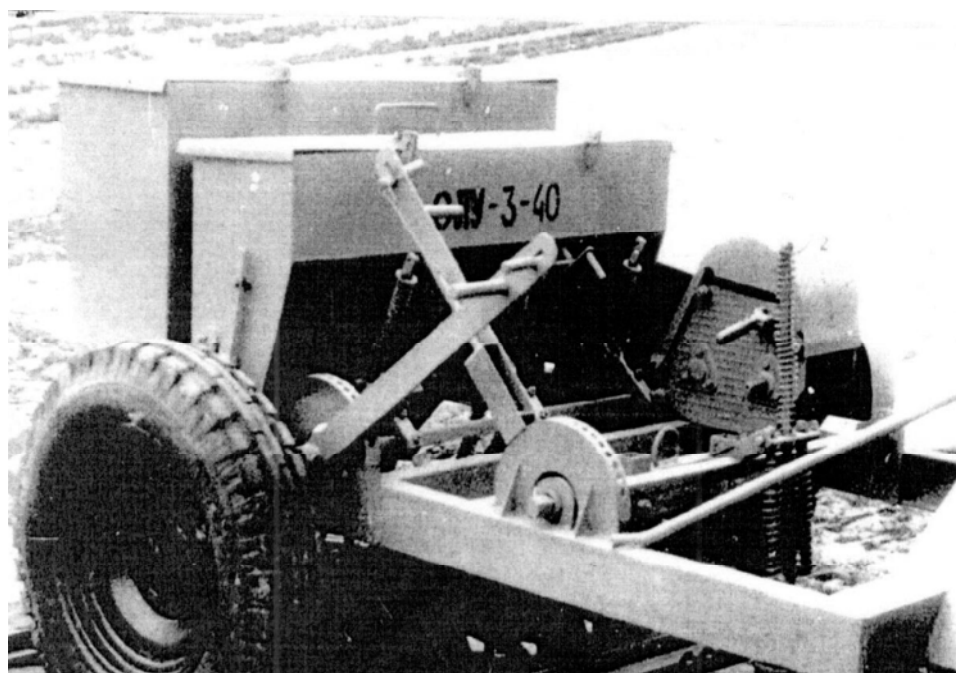


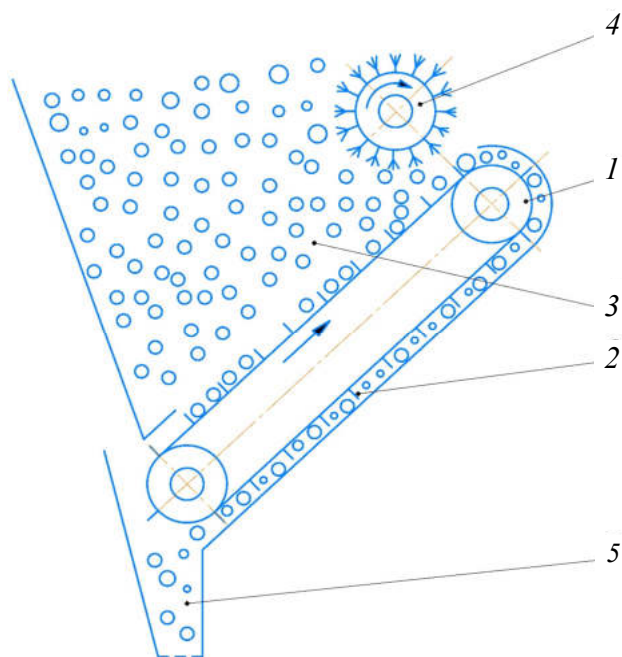
Рисунок 1.2 – Универсальная лесопитомниковая сеялка СПП-3Ш (СЛУ-3-40)

Отличительной особенностью этой сеялки является специальный планировщик, предназначенный для выравнивания посевной ленты, и сошники с устройствами, позволяющими выставлять необходимую глубину посева от 0,5 до 10 см. Для равномерного распределения мелких (сосна, ель и др.) и средних по размерам семян (кедр) в посевной бороздке, в сеялке установлены специальные рассекатели. Сеялка СПП-3Ш имеет высокую рабочую скорость (4,57 км/ч), а также не травмирует семена в процессе их посева. Следует отметить, что в результате посева семян сеялкой СПП-3Ш в широких бороздках сеянцы имеют различные

условия для их роста и в центре бороздок они менее развиты. Сеялка СПП-3Ш не обеспечивает поштучного высева желудей. В широких посевных строчках затруднен механизированный уход за сеянцами. Кроме того, размещение сеянцев в широких строчках затрудняет процесс механизации при их выкопке. Эта сеялка не нашла широкого применения в лесных питомниках из-за сложной ее конструкции [204].

Сеялка лесная СЛ-3-40, предназначенная для высева мелких семян с повышенной равномерностью их распределения в посевной строчке, производит однорядный посев с более точным распределением семян в посевной бороздке. Особенность конструкции этой сеялки заключается в использовании дисковых высевающих аппаратов с специальными ячейками для захвата семян [205].

Сеялка лесная для питомников модернизированная СЛПМ предназначена для посева несypучих семян с крылатками в смеси с субстратом и в плодах [128]. В этой сеялке применяются высевающие аппараты транспортерного типа (рис. 1.3).



1 – транспортер; 2 – гребенки; 3 – бункер; 4 – щетки барабанные; 5 – семяпровод

Рисунок 1.3 – Схема высевающего аппарата сеялки СЛПМ

Транспортеры состоят из крючковых цепей, снабженных специальными черпаками. Норма высева семян и равномерность их подачи обеспечиваются с помо-

щью щеток барабанного типа. Сеялка СЛПМ высевает крупноплодные семена в три бороздки шириной равной 15см и с расстоянием между ними равном 30 см [155]. Существенным недостатком работы сеялки СЛПМ является неравномерность распределения семян в бороздке.

Сеялка желудевая для питомников СЖП-4М (рис. 1.4) предназначена для высева крупных семян с последующей их заделкой слоем влажной почвы на определенную глубину. Сеялка может быть применена в питомниках, занимающихся выращиванием сеянцев дуба для восстановления леса. Агрегатируется тракторами ЛТЗ-55 и МТЗ-80/82 тягового класса 9 и 14 кН.

Основными составными частями сеялки являются (рис. 1.4): рама 1, механизм навески 2, колесная пара 3, семенной ящик 4, блок сошников 5, механизм для заделки семян 6 и площадка для оператора 7.

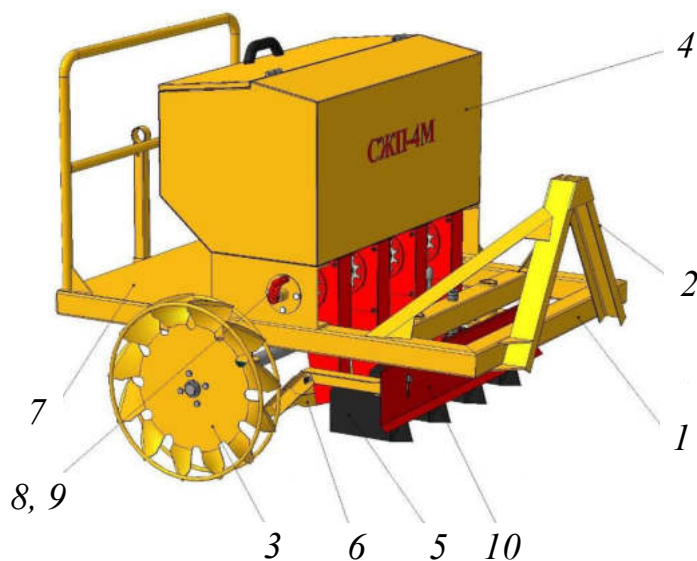


Рисунок 1.4 – Сеялка желудевая для лесных питомников модернизированная СЖП-4М

Колесная пара 3 и высевающие аппараты семенного ящика 4 кинематически связаны между собой с помощью цепной передачи. Кроме того, высевающие аппараты и сошники соединены между собой семяпроводами. Семенной ящик 4 имеет крышку и содержит: высевающие аппараты, винтовой механизм регулирования нормы высева 8. Высевающие аппараты имеют общий вал, один конец которого подвижно соединен со ступицей приводной звездочки, а на



другом конце ящика установлен винтовой механизм для регулирования нормы высева. Для фиксации катушек высевающих аппаратов в необходимом положении служит контргайка. Для удобства вращения винта при установке нормы высева предусмотрена ручка 9. Сеялка СЖП-4М имеет катушечные высевающие аппараты и высеивает желуди по четырехстрочной схеме с шириной рядков 75 мм.

Таким образом, известные лесные сеялки обеспечивают групповой, строчно-луночный и рядовой посев крупноплодных и мелких семян в лесных питомниках. Но следует заметить, что из-за несовершенства конструкций (высевающих аппаратов) часто наблюдается повреждение семян в процессе посева, а также неравномерное распределение семян в посевной борозде.

Проведенный анализ известных конструкций лесных сеялок для мелких и крупноплодных семян, показал, что они не отвечают требованиям равномерности посева семян и перспективным технологиям производства лесного посадочного материала в питомниках.

Представляют интерес конструкции сельскохозяйственных луковичных сеялок [255]. Например, сеялки для посева лука-севка СЛС-12 и СЛС-5,4 имеют высеивающий аппарат в виде транспортера с вильчатыми двухрожковыми захватами семян, разработанными в институте ВИМ совместно с Кировоградским ПКИ и НИИОХ [244]. Вильчатые захваты этих высеивающих аппаратов состоят из расположенных под острым углом друг к другу и по отношению к поверхности кожуха транспортера рожков. В процессе работы луковиче обеспечивается устойчивое положение, так как она имеет трехточечный контакт с рабочими поверхностями: два – с рожками, один – с кожухом транспортера. Захваты движутся вместе с цепью транспортера. При прохождении через слой лука-севка каждым вильчатым элементом захватывается одна или несколько лукович.

Высеивающий аппарат транспортерного типа обеспечивает равномерный посев лука-севка. Сеялка СЛС-12 обеспечивает необходимую норму высеива с помощью сменных приводных звездочек, что позволяет высеивать луковичи с шагом от 8 до 12 см. При этом, установка требуемой нормы посева сеялки СЛН-8Б сложна

и не дает возможность обеспечить необходимый шаг высева [184]. Сеялка СЛС-12 позволяет производить посев на высоких скоростях – 5,4 ... 7,2 км/ч. Повреждение луковиц сеялкой СЛС-12 не превышает допустимые 4 %.

Анализ конструкций сельскохозяйственных сеялок, предназначенных для посева лука-севка, показывает, что они имеют оригинальные высевающие аппараты в виде транспортной цепи и специальные семязахватывающие рабочие органы, позволяющие производить равномерный посев луковиц. Однако, эти сеялки не приспособлены для работы в специфичных условиях лесных питомников, из-за существенных отличий, как технологий выращивания посадочного материала, так и свойств лесных семян.

В зарубежных сеялках, применяются аналогичные конструктивные элементы, как и в отечественных, однако, они имеют свои отличительные особенности. Например, в Германии для посева крупноплодных или несypучих семян разработана сеялка KSE-1 [128]. При работе этой сеялки, семена, выбрасываемые высевающим валом, попадают на наклонный лоток и по направляющим поступают в семь посевных бороздок, образованные сошники грейдерного типа. Эту сеялку можно также использовать для заделки семян песком в посевных бороздах.

В Чехословакии разработан посевной агрегат 4-SeA, предназначенный для посева семян различных размеров по схеме 25-25-25 при ширине посевной бороздки в пределах 5,0 ... 7,5 см. Этот агрегат комплектуется набором сменных катушек с ячейками для посева различных по размерам семян. При посеве мелких семян на сеялку устанавливают каток с ребордами, обеспечивающих подготовку посевных бороздок. При высеве крупноплодных семян – вместо катка с ребордами устанавливают четыре сошника коробчатой формы. Привод высевающих аппаратов сеялки осуществляется от гидромотора, снабженного переключателем на верхний или нижний высеv семян. Число оборотов высевающего аппарата этой сеялки регулируется с помощью дроссельного клапана.

Сеялку «Ойджордж» (США) отличает то, что сначала высеваемые семена вдавливаются в почву специальными катками, и потом дополнительно их заделы-

вают загортачами.

Отметим, что в сеялках точного высева с механическими высевающими аппаратами, таких как ССТ-12, А-695, «Саксония» (Германия), «Глостер» (Англия), «Джон Дир» (США) на каждую посевную бороздку устанавливается высевающий аппарат, семенной бункер, сошник и заделывающие элементы [128, 147, 238].

Проведенный анализ конструкций лесных сеялок показал, что качество посева семян, равномерность посева и отсутствие повреждения семян зависят от типа и конструктивно-технологических параметров высевающих аппаратов. В связи с этим рассмотрим разработанные ранее и получившие более широкое применение высевающие аппараты сеялок.

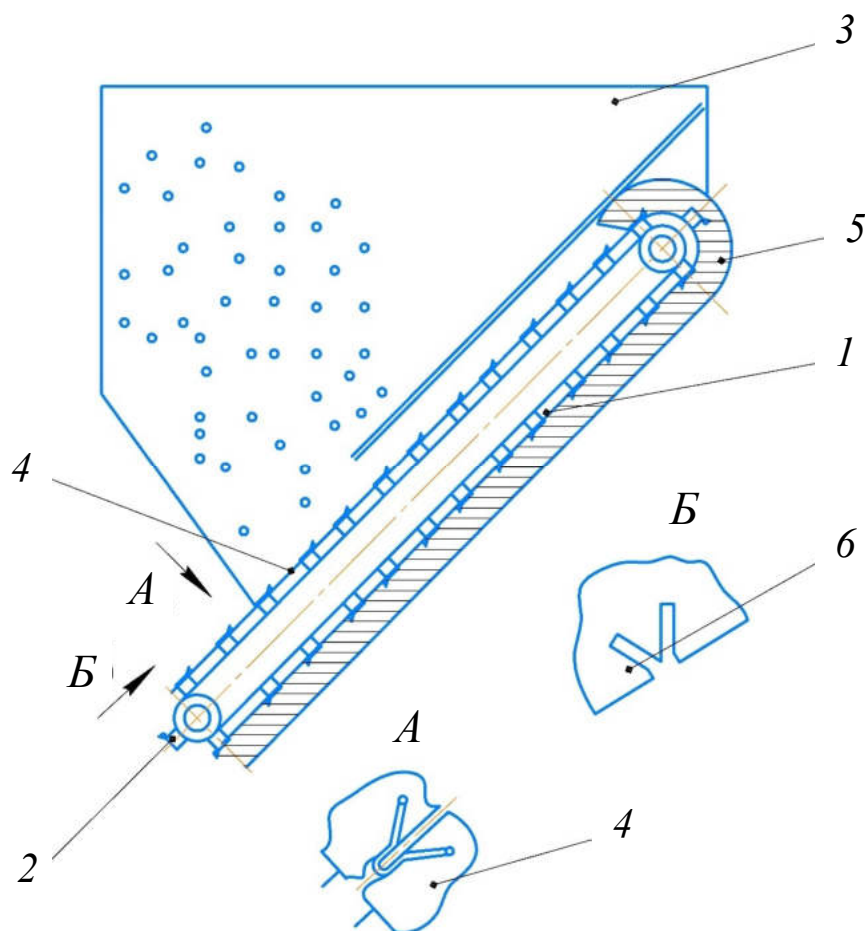
Основным рабочим органом сеялок является высевающий аппарат, от которого зависит точность посева и степень повреждения семян. В известных конструкциях лесных сеялок наибольшее распространение получили следующие типы высевающих аппаратов: катушечно-лопастные, катушечно-желобчатые и транспортерные [20, 25].

Катушечно-лопастной высевающий аппарат в лесных сеялках используется для посева крупных семян, а также семян с крылатками и со средой стратификации. Этот высевающий аппарат представляет собой катушку, установленную на валике в семенной коробке с лопастями из стальных пластин. Широко применяется в лесных и сельскохозяйственных сеялках. Также применяются катушечно-лопастные высевающие аппараты с подвижными лопастями, которые позволяют производить, как рядковый, так и групповой посев семян, и более точно устанавливать норму высева. Однако при работе этих высевающих аппаратов наблюдаются случаи повреждения семян. В некоторых конструкциях зарубежных сеялок, таких как «Хестайр» (Англия), «Флексимодуле Видесидер» (Австрия), для снижения травмирования семян применяются катушечно-лопастные высевающие аппараты с эластичными лопастями [147]. Основным недостатком катушечно-лопастного высевающего аппарата является существенная неравномерность распределения семян в посевной бороздке.

Транспортерный высевающий аппарат используется для посева крупно-

плодных семян и применяется в сеялках СЛПМ, СЛС-12, СЛС-5,4 и некоторых других [244]. Основным недостатком транспортерного высевяющего аппарата является неравномерное распределение семян в посевной богроздке. В некоторых сельскохозяйственных сеялках применяются высевяющие аппараты, обеспечивающие поштучный высеv семян, преимущественно лука-севка [255].

Высевяющий аппарат транспортерного типа, показанный на рисунке 1.5, представляет собой транспортер 1 с вильчатыми захватами 2 (А. с. № 568418). Преимуществом этого аппарата является то, что он обеспечивает поштучный захват и высеv семян лука-севка на достаточно высоких рабочих скоростях.



1 – транспортер; 2 – вильчатые захваты; 3 – бункер; 4 – дно бункера; 5 – щетка;  
6 – прорезы наклонной стенки бункера

Рисунок 1.5 – Схема транспортерного высевяющего аппарата

Однако, при продолжительной работе происходит износ ворса щеток, что отрицательно влияет на равномерность посева. Кроме того, при попадании семян под рожки захватов и контакте их со щеткой наблюдается травмирование

семян [13].

С целью уменьшения травмирования семян при высеве, разработан высевной аппарат (рис. 1.6), аналогичный предыдущему, в котором устройство для предохранения семян от выпадения, изготовлено в виде двух скрепленных перемычек боковин и деки, расположенной между рожками вильчатых захватов [158, 238].

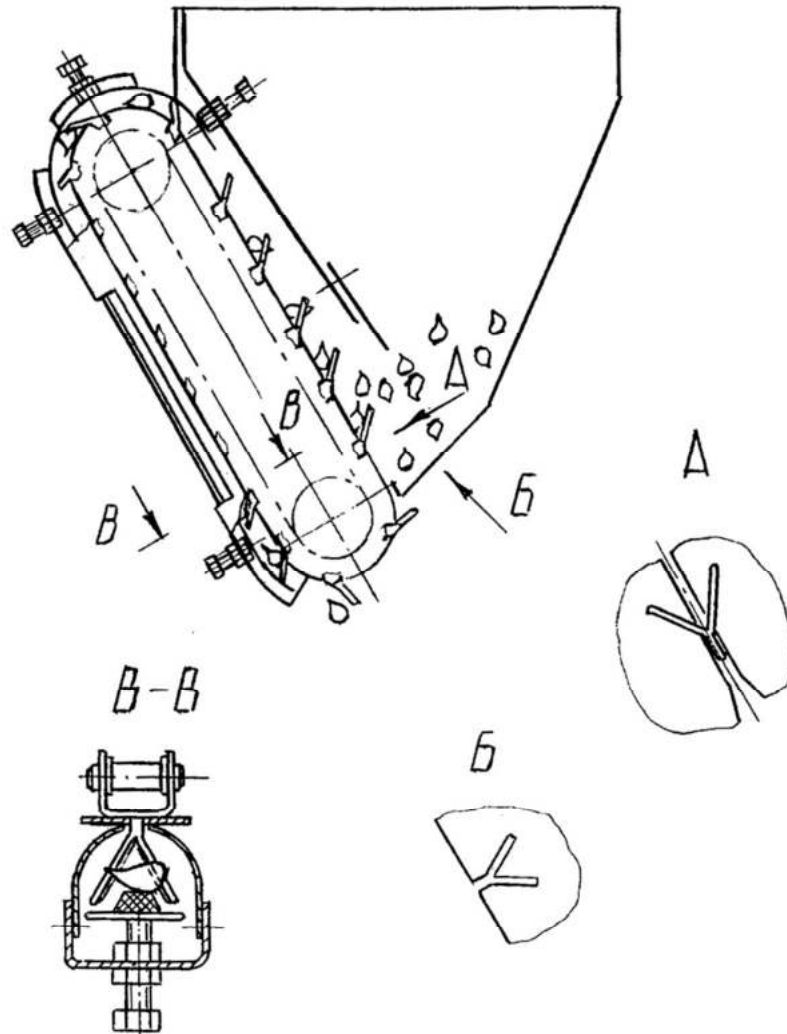


Рисунок 1.6 – Схема высевного аппарата сеялки для посева лука-севка СЛС-12

В отличие от рассмотренного ранее высевного аппарата, устройство для предохранения семян от их выпадения изготовлено из двух боковин, установленных с двух сторон вильчатых захватов. Это устройство для исключения выпадения семян, в отличие от рассмотренного ранее высевного аппарата, не предохраняет семена от выпадения из захватов при движении семян в бункере. Транспортерный

высевающий аппарат с вильчатыми захватами успешно используется в сеялках для лука-севка СЛС-12, СЛС-5,4 и обеспечивает поштучный посев лука-севка и исключает его травмирование. Однако, семена лука-севка отличаются от лесных семян, в частности по размерам. Ввиду этого, возможно выпадение семян из захватов, это усиливается при вибрации, присущей для работы транспортерных высевающих аппаратов. Поэтому невозможно применение этого высевающего аппарата для поштучно-равномерного посева лесных семян, например желудей.

Проведенный анализ конструкций высевающих аппаратов для посева различных семян показывает, что отсутствуют высевающие аппараты и сеялки, обеспечивающие поштучный и равномерный высев семян рядками с точным их распределением в посевных бороздках, надежностью в работе и незначительном повреждении семян.

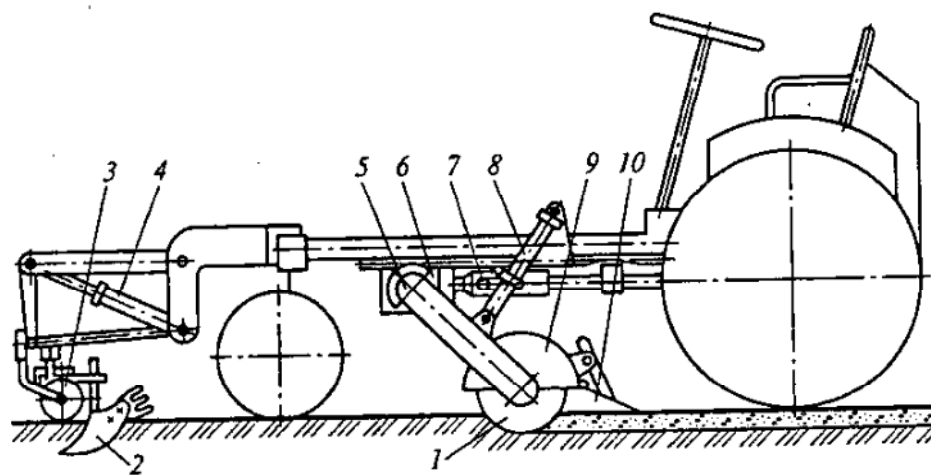
#### **1.4.2 Культиваторы для агротехнического ухода в лесных питомниках**

Из большого разнообразия конструкций фрез и культиваторов, разработанных до последнего времени, рассмотрим некоторые из них, предназначенные для проведения агротехнических уходов в лесных питомниках [9, 10, 12, 14-16, 18, 22, 23, 27, 160, 170, 174, 189, 192-195, 245].

К лесотехническим требованиям, предъявляемым к культиваторам для агротехнического ухода за посадочным материалом в лесных питомниках, относятся следующие: повреждение посадочного материала не должно превышать 1 %; отклонение от заданной глубины рыхления почвы должно быть не более 1 см при мелком рыхлении и 2 см при глубоком; отсутствие выноса влажного слоя почвы на поверхность; максимальное уничтожение сорной растительности в междурядьях. При подкормке растений отклонение фактической нормы удобрений от заданной должно быть не более 15 %, отклонение глубины заделки туков от заданной – не более 3 см [154, 251].

Ниже рассмотрим основные технические особенности разработанных ранее и получивших широкое применение культиваторов.

Фрезерный культиватор для питомников КФП-1,5А [251] применяется для рыхления почвы и удаления сорных растений в междурядьях посевных и школьных отделениях лесных питомников. Причем, его конструкция аналогична приспособлению к фрезе почвенной ФПШ-1,3 для ухода за сеянцами в питомниках (рис. 1.7). Ширина захвата составляет 1,25 м, глубина обработки до 10 см [251]. Эти орудия обеспечивают высокую степень уничтожения сорной растительности и рыхления почвы, однако, наблюдаются повреждения сеянцев активными рабочими органами.



1 – фрезерный барабан; 2 – грядообразующий корпус; 3 – опорное колесо; 4 – выносной гидроцилиндр; 5 – цепная передача; 6 – редуктор; 7 – карданная передача; 8 – гидроцилиндр подъема фрезерного барабана; 9 – защитный кожух; 10 – разравниватель

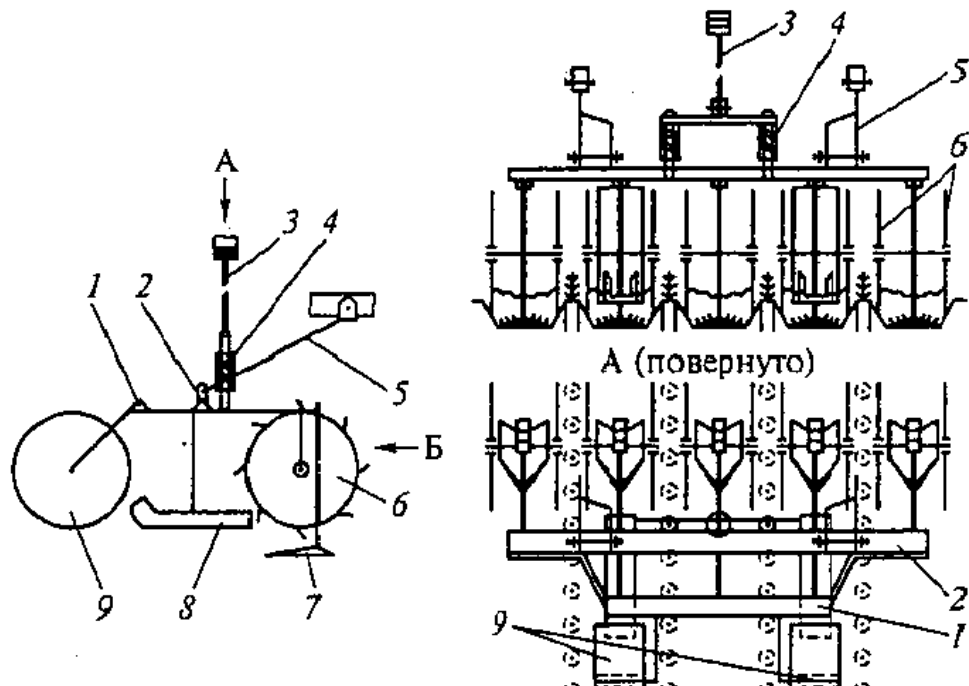
Рисунок 1.7 – Схема фрезы почвенной ФПШ-1,3

Культиватор для питомников конструкции А.П.Шадрина КПШ-1,25 (рис. 1.8) служит для рыхления почвы и удаления сорных растений в междурядьях четырехстрочных схем посева после появления первых всходов и на второй год до высоты сеянцев равной 14 см. Глубина обработки почвы 1,5 ... 3,0 см, ширина захвата 120 см, ширина защитной зоны 2,7 ... 4,3 см (рис. 1.8).

Культиватор лесной КЛ-1,25 предназначен для рыхления почвы и удаления сорных растений в междурядьях посевов при расстоянии между строчками не менее 22,5 см. Рабочие органы культиватора – стрельчатые лапы и спаренные игольчатые диски [251]. Культиватор КЛ-1,25 в отличие от КПШ-1,25 производит обработку посевов с различным расстоянием между строчками, за счет изменения рас-

становки рабочих органов на брусе и может использоваться, как в посевном, так и в школьном отделениях питомника. Глубина рыхления почвы составляет – 1 ... 6 см, защитная зона – 2 ... 3 см.

Культиваторы для агротехнического ухода в лесных питомниках в ряде случаев не обеспечивают требуемого качества междурядной обработки почвы: рабочие органы забиваются сорняками, сдвигают почву, засыпают и повреждают



1 – передний брус; 2 – установочный брус; 3 – гидроцилиндр подъема и опускания культиватора; 4 – механизм догружения; 5 – тяга; 6 – игольчатые рабочие органы; 7 – стрелчатая лапа; 8 – опорный ползок; 9 – опорные колеса

Рисунок 1.8 – Схема культиватора для питомников Шадрина КПШ-1,25

сеянцы, а также не обеспечивают полное удаление сорной растительности в междурядьях. При использовании рыхлительных лап почва рыхлится недостаточно, что также не отвечает агротехническим требованиям.

### 1.4.3 Машины и орудия для выкопки посадочного материала

Научные исследования отечественных и зарубежных ученых, посвященных машинам и орудиям для выкопки посадочного материала, представлены широким спектром решаемых задач, связанных с организацией проведения, соответствующей



щими технологическими операциями, конструкциями и оценкой их эффективности [1, 24, 57, 69, 89, 126, 159, 171, 177, 181, 239, 250, 265, 278].

Для выкопки сеянцев в лесных питомниках ранее были разработаны различные скобы, выкопочные плуги и копачи: НВС-1,2, ВПН-2, КСШ-0,35 и др.

Основными агротехническими требованиями к ним являются: подрезание почвенного пласта и корней растений на заданной глубине, максимально полное освобождение выкапываемых растений от почвы. При выкопке не допускается повреждение стволиков и корневых систем растений.

Навесная выкопочная скоба НВС-1,2 предназначена для выкопки сеянцев и саженцев как хвойных, так и лиственных пород. Эта скоба состоит из рамы с устройством для присоединения к навесной системе трактора, двух опорных колес и рабочего органа. К основным достоинствам навесной выкопочной скобы НВС-1,2 можно отнести простоту конструкции и удобство ее эксплуатации [126].

Копач сеянцев КСШ-0,35 монтируется на самоходное шасси Т-16М и предназначен для выкопки сеянцев. В сравнении с выкопочной скобой НВС-1,2 копач КСШ-0,35 имеет более сложную конструкцию. Выкопочная скоба НВС-1,2 подкапывает растения на всей ленте, а копач КСШ-0,3 только на ее части. Существенным недостатком скобы НВС-1,2 и копача КСШ-0,3 является то, что они при выкопке посадочного материала, несколько приподнимают его над дном борозды и рыхлят почву на крупные фракции. При этом корневая система сеянцев не полностью освобождается от почвы и при их извлечении, из-за недостаточной степени рыхления почвы, происходит обрыв наиболее ценных мелких корней, что является причиной низкой их приживаемости в лесных культурах. Эти орудия при выкопке растений не полностью отделяют почву от их корневых систем и необходимо вручную выполнять эту операцию, что утяжеляет труд рабочих и увеличивает затраты времени.

Для облегчения выборки растений из почвы были разработаны выкопочные машины с рабочими органами активного действия: выкопочная машина ВМ-1,25 и выкопочная машина для крупномера ВМКМ-0,6.

Рабочий орган выкопочной машины ВМ-1,25, выполнен в виде подкапыва-

ющей скобе и снабжен прутковым элеватором с эллипсовидными встряхивающими звездочками (по типу картофелекопателей) и двумя лопастными отряхивателями. Привод пруткового элеватора и отряхивателей осуществляется от вала отбора мощности трактора. Выкопочная машина ВМ-1,25 по сравнению со скобой НВС-1,2 позволяет в 3 ... 5 раз уменьшить усилие на извлечение сеянцев из почвы при их выборке. Основным недостатком выкопочной машины ВМ-1,25 является повреждение прутковым элеватором стволиков растений.

Использование выкопочной машины ВМ-1,25 и скобы НВС-1,2 не решают проблему сохранения мелких корней, являющихся наиболее ценными для приживаемости лесных культур.

Выкопочная однорядная машина ВМКМ-0,6 применяется для выкопки крупномерного посадочного материала высотой до трех метров при одновременном встряхивании почвенного пласта. Рабочими органами этой машины являются: подкапывающая скоба, боковой продольный и задний поперечный прутковые транспортеры. Отличительной особенностью технологического процесса, выполняемого выкопочной машиной ВМКМ-0,6 является перемещение выкопанных саженцев в сторону до 2,5 м от рядка. Это ограничивает применение этой машины в питомниках, где используется пяти строчная схема посева.

Таким образом, существующие и разработанные ранее выкопочные машины (ВМ-1,25 и ВМКМ-0,6) хотя и производят выкопку посадочного материала, однако практика их применения показала, что эти машины только частично освобождают корни растений от почвы, причем они имеют сложные конструкции, кроме того они морально устарели и сняты с производства.

### **1.5 Выводы, цель и задачи исследования**

1 Результаты исследований технологических свойств мелких семян хвойных пород, полученные проф. Л.Т. Свиридовым и другими учеными, могут быть в полной мере и полноценно применены для обоснования рациональных параметров и режимов работы лесных сеялок для высева мелких семян хвойных пород.

2 Проведенные исследования технологических свойств желудей не могут быть в полной мере использованы для обоснования параметров высевающего аппарата и конструкции сеялки для высева крупноплодных семян. Поэтому необходимо проведение дополнительных исследований для уточнения технологических свойств желудей.

3 Конструкции известных сеялок, предназначенных для посева мелких и крупноплодных семян, не позволяют осуществлять равномерно-разреженный посев семян хвойных пород и поштучно-равномерный посев желудей.

4 Применяемые в современных конструкциях лесных сеялок высевающие аппараты не обеспечивают равномерного распределения семян в посевных бороздках и травмируют их в процессе высева.

5 В смежных отраслях народного хозяйства для высева различных по размерам семян широко применяются сеялки, которые обеспечивают удовлетворительный их посев. Однако, они не соответствуют специфическим условиям работы сеялок в лесных питомниках и не в полной мере отвечают требованиям высева лесных семян.

6 Культиваторы для агротехнического ухода в лесных питомниках в ряде случаев не обеспечивают требуемого качества обработки почвы и максимального удаления сорной растительности в междурядьях.

7 Для уборки посадочного материала в лесных питомниках необходимо применять выкопочные машины с активными рабочими органами, обеспечивающие более интенсивное отделение почвы от корневых систем растений, что значительно облегчает труд рабочих и повышает качество посадочного материала.

8 Практика применения разработанных ранее выкопочных машин, предназначенных для выкопки сеянцев и саженцев в лесных питомниках, показала, что эти машины только частично освобождают корни растений от почвы и не в полной мере отвечают предъявляемым к ним агротехническим требованиям, а также многие из них морально устарели и сняты с производства.

На основании выполненного анализа состояния проблемы были сформулированы цель исследования и задачи для ее осуществления.

**Цель исследования** – повышение качества выращиваемого посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов с наименьшими материальными и трудовыми затратами за счет обоснования конструктивных параметров и режимов работы комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для посева, ухода и выкопки.

**Задачи исследования:**

1 Обосновать конструктивные схемы, параметры и режимы работы сеялок для поштучно-равномерного посева крупноплодных семян и для равномерно-разреженного посева мелких семян хвойных пород, а также выбор типов и с оптимизацией параметров рабочих органов культиватора и выкопочной машины для работы в лесных питомниках в зоне хвойно-широколиственных лесов.

2 Разработать математическую модель, алгоритмы и программы для ЭВМ рабочего процесса и оптимизировать параметры рабочих органов сеялок для заделки семян почвой на заданную глубину в посевной бороздке.

3 Получить аналитические зависимости параметров и режимов работы от кинематических и геометрических параметров сеялок для посева крупноплодных семян и мелких семян хвойных пород.

4 Разработать математическую модель напряженно-деформированного состояния слоя почвы в процессе ее взаимодействия с рабочими органами выкопочной машины.

5 Исследовать технологические показатели желудей дуба черешчатого, необходимые для обоснования конструктивных параметров и режимов работы сеялки для посева крупноплодных семян в лесных питомниках.

6 Провести опытно-производственную проверку комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала в лесных питомниках.

## **2 ОБОСНОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ НОВЫХ И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ МАШИН И ОРУДИЙ ДЛЯ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ**

### **2.1 Исследование процесса посева крупноплодных семян**

#### **2.1.1 Выбор принципиальной схемы сеялки для посева крупноплодных семян**

Анализ конструкций современных сеялок для лесных питомников показывает, что они не производят поштучно-равномерный посев крупноплодных семян (желудей) для обеспечения нормативного выхода стандартного посадочного материала.

Сельскохозяйственные сеялки, предназначенные для посева лука-севка, не приспособлены для высева крупноплодных семян древесных пород и их применение в лесных питомниках не в полной мере отвечает требованиям, предъявляемым к лесным сеялкам. В связи с этим, необходим выбор схемы и конструкции сеялки для посева крупноплодных семян и обоснование ее параметров и режимов работы.

Современные технологии выращивания посадочного материала в лесных питомниках предусматривают, как правило, 5-рядную схему размещения рядков на посевной ленте с расстоянием между ними равном 22,5 см [101, 162, 165].

В соответствии с известными конструкциями сеялок, принципиальная схема сеялки для лесных питомников должна включать: бункер 1, высевающие аппараты 2, семяпроводы 3, сошники 4, загортачи 5 и прикатывающие катки 6 (рис. 2.1).

Емкость бункера 1 для семян должна быть достаточной для заполнения в нем семян, необходимых для посева ленты на длине гона протяженностью не менее 100 м. Бункер рекомендуется выполнить в виде короба, с возможностью размещения в нем высевающего аппарата. Высевающий аппарат 2 предлагается выполнить в виде подающей транспортной цепи, с прикрепленными к ней

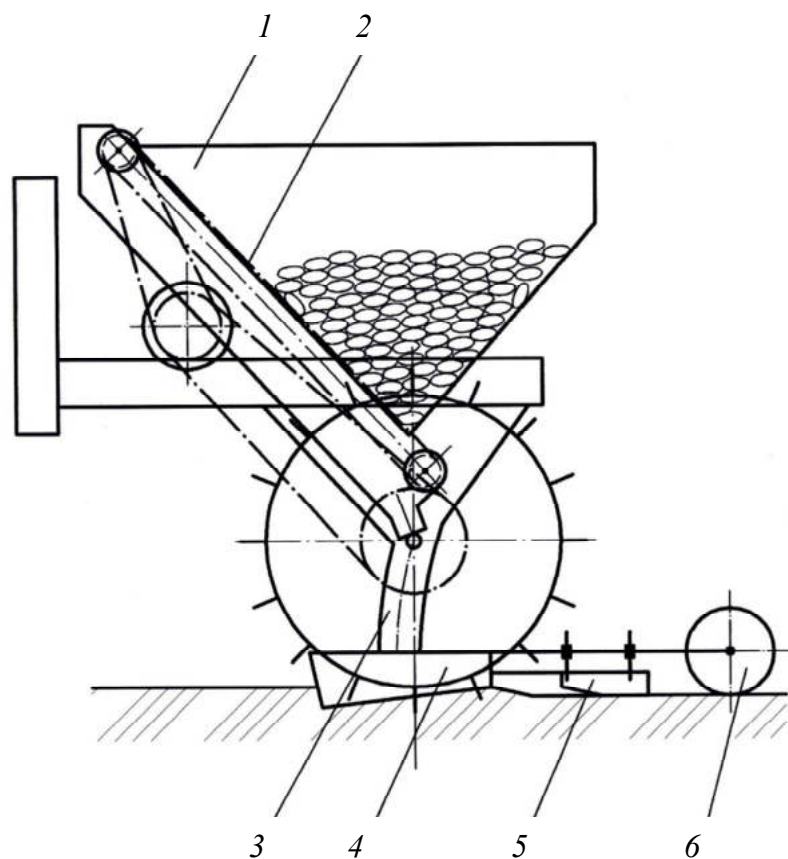


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема сеялки для крупноплодных семян

ячейками для захвата семян из бункера и подачи их в семяпроводы.

Для поштучно-равномерной захвата различных по размерам крупноплодных семян ячейки должны иметь устройство для изменения ее параметров с учетом размеров семян. Сеялка должна иметь пять высевующих аппаратов, для обеспечения общепринятой в лесных питомниках 5-рядной схемы посева. Привод транспортной цепи целесообразно обеспечить от опорных колес сеялки с помощью цепных передач. Для установления необходимой нормы высева семян в системе привода должны быть сменные звездочки для изменения передаточного отношения привода высевующих аппаратов и скорости их подачи.

Для обеспечения равномерной подачи желудей семяпроводы 3 должны иметь форму, соответствующую траектории «полета» семян [121, 196, 201]. Сошники 4 должны иметь устройство для изменения глубины бороздок от 4 до 7 см и обеспечивать ее ширину в пределах от 6 до 8 см. Загортачи 5, выполненные в виде отвалов и установленные под углом к направлению движения, предназначены для заделки посевных бороздок. Уплотняющие катки 6 служат для уплотнения почвы

в посевной бороздке и смонтированы на раме с возможностью изменения усилия, действующего на них с учетом типа почв. Перед сошниками должны быть выравниватели поверхности посевной ленты для обеспечения стабильной глубины их хода [31, 90, 109, 146, 149, 173, 254].

Таким образом, на основании проведенного анализа конструкций сеялок, предложена принципиальная схема сеялки для поштучно-равномерного посева крупноплодных семян (рис. 2.1). Технологический процесс работы, выполняемый сеялкой, заключается в следующем. При поступательном движении агрегата выравниватель дополнительно планирует поверхность посевной ленты, а опорные колеса с помощью цепных передач обеспечивают привод высевающих аппаратов, ячейки которых захватывают желуди из бункера и по семяпроводу подают их в образованные сошниками посевные бороздки. Загортачи, идущие по следу посевных бороздок, заделывают их почвой, а прикатывающие катки уплотняют почву в них.

### **2.1.2 Обоснование рационального шага расстановки ячеек на транспортерной цепи высевающего аппарата**

Кинематика привода высевающих аппаратов сеялки представлена на рисунке 2.2. В процессе работы привод высевающих аппаратов сеялки осуществляется от опорных колес с помощью цепных передач.

Поступательная скорость движения агрегата равна скорости трактора:  $V_c = V_{mp}$ . Окружная скорость вращения опорных колес определяется с учетом коэффициента их проскальзывания –  $S$ , по следующей формуле м/с:

$$V_{окр} = V_c(1 - S). \quad (2.1)$$

Скорость движения транспортерной цепи определяется из следующего выражения [25], м/с:

$$V_{ц} = \frac{\pi n t_{ц}}{60 \sin \frac{180^\circ}{Z}} \quad (2.2)$$

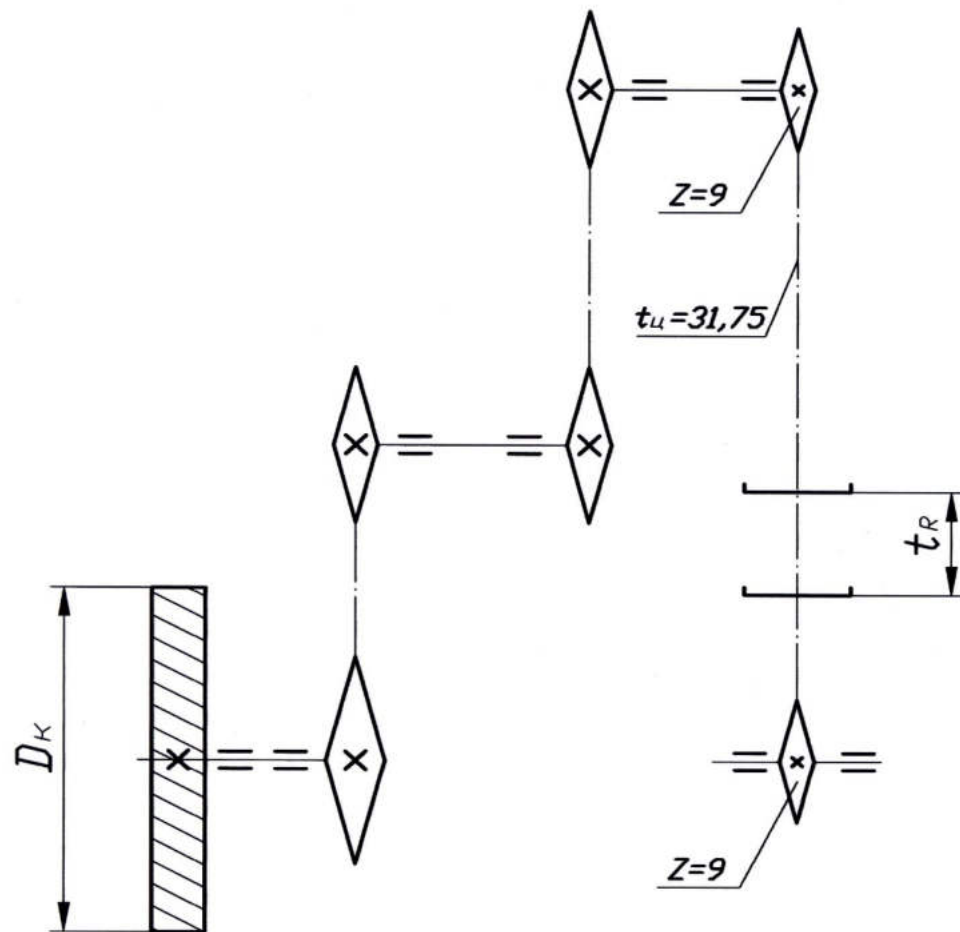


Рисунок 2.2 – Кинематическая схема привода высевающих аппаратов сеялки

где  $n$  – частота вращения вала высевающих аппаратов,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $t_u$  – шаг транспортной цепи;  $Z$  – число зубьев звездочки привода транспортной цепи.

Скорость движения транспортной цепи  $V_u$  определяется по следующей формуле, м/с:

$$V_u = \kappa V_{mp} = \kappa V_c, \quad (2.3)$$

где  $\kappa$  – кинематический параметр привода высевающих аппаратов.

Привод высевающих аппаратов должен обеспечивать равномерную подачу желудей в посевную бороздку.

Промежуток времени между высеваемыми желудями составит, с:

$$t = \frac{t_{жс}}{V_{mp}} = \frac{t_{жс}}{V_c}, \quad (2.4)$$

где  $t_{жс}$  – шаг размещения желудей в посевной бороздке.

Таким образом, поступательная скорость сеялки  $V_c$  влияет на промежуток



времени  $t$  между соседними высеваемыми желудями. Расчеты показывают, что с увеличением поступательной скорости сеялки промежутки времени между высеваемыми желудями уменьшаются, но рациональный шаг их размещения в посевной бороздке  $t_{жс}$  остается постоянным.

Проведем кинематический анализ привода высевających аппаратов, который позволит определить рациональные соотношения в его механизме.

Расстояние между желудями в посевной бороздке определяется следующим выражением, мм:

$$t_{жс} = V_{mp} t. \quad (2.5)$$

Время между подачами желудей составит, с:

$$t' = \frac{t_{я}}{V_{ц}}, \quad (2.6)$$

где  $t_{я}$  – шаг расстановки ячеек, мм;  $V_{ц}$  – скорость подачи высевających аппаратов, определяется по формуле (2.2), м/с. Для обеспечения минимального отклонения шага посева желудей  $t_{жс}$  должно соблюдаться равенство:  $t = t'$ . С учетом этого условия можно записать:

$$t_{жс} = V_{mp} \frac{t_{к}}{V_{ц}} = V_{mp} \frac{t_{к}}{V_{mpк}} = \frac{t_{к}}{к}.$$

Тогда получим:

$$t_{к}^{рац} = к t_{жс}, \quad (2.7)$$

где  $t_{к}^{рац}$  – рациональный шаг расстановки ячеек, мм. Учитывая, что  $T = T'$  из формулы (2.6), получим, мм:

$$t_{к} = T V_{ц}.$$

После проведения преобразований формула (2.2) примет следующий вид:

$$V_{ц} = \frac{\pi t_{ц} 60 V_{mp} (1-S)}{I_o \pi D_{к} 60 \sin \frac{180^\circ}{Z}}, \quad (2.8)$$

где  $I_o$  – передаточное отношение привода высевających аппаратов.

Как видно из выражения (2.8) скорость движения транспортной цепи зависит от поступательной скорости сеялки, почвенных условий и параметров механизма привода:

$$V_u = \frac{V_{mp}(1-S)t_u}{I_o D_k \sin \frac{180^\circ}{Z}} \quad (2.9)$$

Очевидно, что выражение для кинематического параметра привода транспортерной цепи с ячейками примет следующий вид:

$$k = \frac{t_u(1-S)}{I_o D_k} \operatorname{cosec} \frac{180^\circ}{Z}. \quad (2.10)$$

Рациональный шаг расстановки ячеек на транспортерной цепи определится по следующей формуле:

$$t_k^{paц} = \frac{t_{жс} t_u (1-S)}{I_o D_k} \operatorname{cosec} \frac{180^\circ}{Z}. \quad (2.11)$$

Следовательно, рациональный шаг расстановки ячеек не зависит от скорости движения сеялки. Это обстоятельство следует учитывать при определении передаточного отношения привода от опорного колеса до вала высевających аппаратов:

$$I_o^{paц} = \frac{t_{жс} t_u (1-S)}{D_k t_k} \operatorname{cosec} \frac{180^\circ}{Z}. \quad (2.12)$$

Таким образом, передаточное отношение привода высевających аппаратов  $I_o^{paц}$ , не зависит от поступательной скорости сеялки  $V_{mp}$ , и этот параметра можно определить в процессе проектирования.

Полученные аналитические зависимости, позволяют определить рациональные параметры сеялки для поштучно-равномерного посева крупноплодных семян: скорость подачи высевających аппаратов, шаг расстановки ячеек на транспортерной цепи и передаточное отношение привода. Эти зависимости рекомендуются для расчета и проектирования сеялок для посева крупноплодных семян [34, 47, 106, 133].

По полученным формулам разработана программа для определения шага расстановки ячеек [229]. В результате использования этой программы определен минимальный шаг расстановки ячеек высевającego аппарата сеялки, обеспечивающий поштучно-равномерный посев желудей, равный 0,13 м.

## **2.2 Исследования процесса посева мелких семян хвойных пород**

### **2.2.1 Выбор и обоснование схемы сеялки для посева мелких семян хвойных пород**

Известные конструкции сеялок, предназначенных для посева семян в лесных питомниках, имеют ряд недостатков, отрицательно влияющих как на качество посева, так и на качество выращиваемого посадочного материала. Кроме того, существующие конструкции сеялок для лесных питомников не отвечают требованиям перспективной технологии, позволяющей вырастить укрупненные сеянцы, равноценных саженцам [101].

Основными технологическими операциями при посеве семян в лесных питомниках являются: образование посевных бороздок, подача семян в бороздку и заделка семян почвой. Для образования посевных бороздок применяются различного типа сошники и бороздообразующие катки. На лесных сеялках наибольшее применение нашли сошники двух типов: анкерные и коробчатые. Недостатком конструкций этих сошников является нестабильность глубины подготовленной бороздки и различная ее ширина, кроме того после прохода сошника получается разрыхленное дно бороздки, что нежелательно для посева мелких семян. Бороздообразующие катки при подготовке посевных бороздок обеспечивают стабильную ее глубину и ширину, а также уплотняют почву на дне бороздки. Это позволяет высевать мелкие семена на уплотненный слой почвы и обеспечить необходимую глубину заделки их почвой, что в последующем положительно повлияет на их всхожесть. Поэтому в сеялке для посева мелких семян хвойных пород целесообразно использовать бороздообразующий каток с ребрами и почвозацепами для подготовки посевных бороздок и обеспечения привода высевающих аппаратов [95].

Подача семян из бункера в бороздку выполняется различными конструкциями высевающих аппаратов, среди которых наибольшее распространение в лесных сеялках нашли катушечно-желобчатые аппараты, унифицированные с сельскохозяйственными зерновыми сеялками. Эти высевающие аппараты отличаются

простотой исполнения и регулированием нормы высева. Существенным недостатком этих высевающих аппаратов является повреждение семян, особенно при установке минимальной (менее 0,5 г/пог.м.) нормы высева.

В современных сельскохозяйственных сеялках, предназначенных для посева семян овощных культур, аналогичных мелким семенам хвойных пород, применяются штифтовые высевающие аппараты (рис. 2.3), которые выполняют их посев

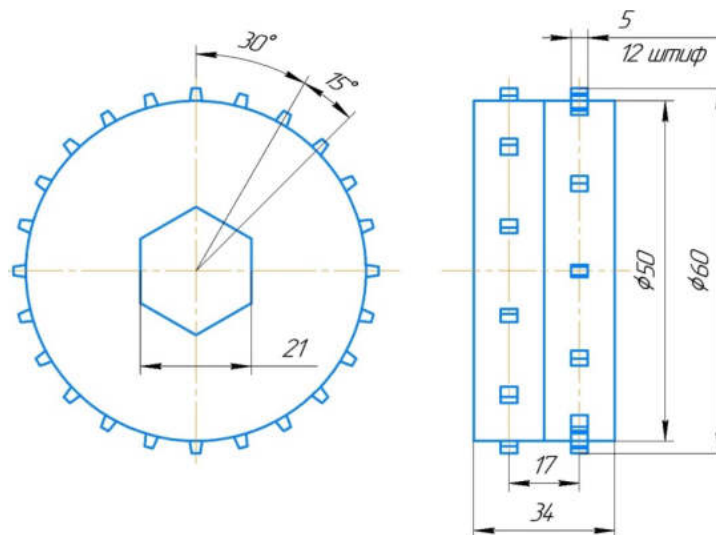


Рисунок 2.3 – Катущка штифтового высевающего аппарата

с минимальными нормами. Поэтому в качестве высевающих аппаратов на сеялке, предназначенной для посева мелких семян хвойных пород, целесообразно применить аналогичные штифтовые высевающие аппараты. Эти аппараты представляют собой катушку диаметром 60 мм со штифтами шириной 5 мм и высотой 5 мм, расположенными на ее периферии в два ряда по 12 штук в каждом ряду и с расстоянием между ними равным 12 мм. Катушка изготовлена из полимерного материала и установлена на шестигранном валу. Между рядами штифтов установлена разделительная вилка. Норма высева семян штифтовыми высевающими аппаратами регулируется путем изменения частоты их вращения. Поэтому в системе привода штифтовых высевающих аппаратов должен быть многоступенчатый редуктор для изменения частоты их вращения с целью обеспечения различных норм высева семян.

Для перемещения семян из высевающего аппарата в посевную бороздку используются различные семяпроводы, основным требованием к которым является

исключение повреждения семян и направление их в посевную бороздку, причем ширина семяпровода должна соответствовать ширине посевной бороздки. Предварительно проведенные опыты использования штифтовых высевających аппаратов при посеве семян ели подтвердили возможность их применения в сеялках для лесных питомников.

Для заделки семян в посевных бороздках на сеялках применяются различные конструкции шлейф-боронок. Недостатком этих устройств является нарушение технологического процесса их работы при встрече с крупными фракциями почвы и различными включениями в ней, а также неравномерность глубины заделки семян. Наиболее целесообразной конструкцией устройства, для заделки мелких семян почвой являются загортачи, выполненные в виде V-образных ползков, состоящих из двух частей: левой и правой (рис. 2.4).

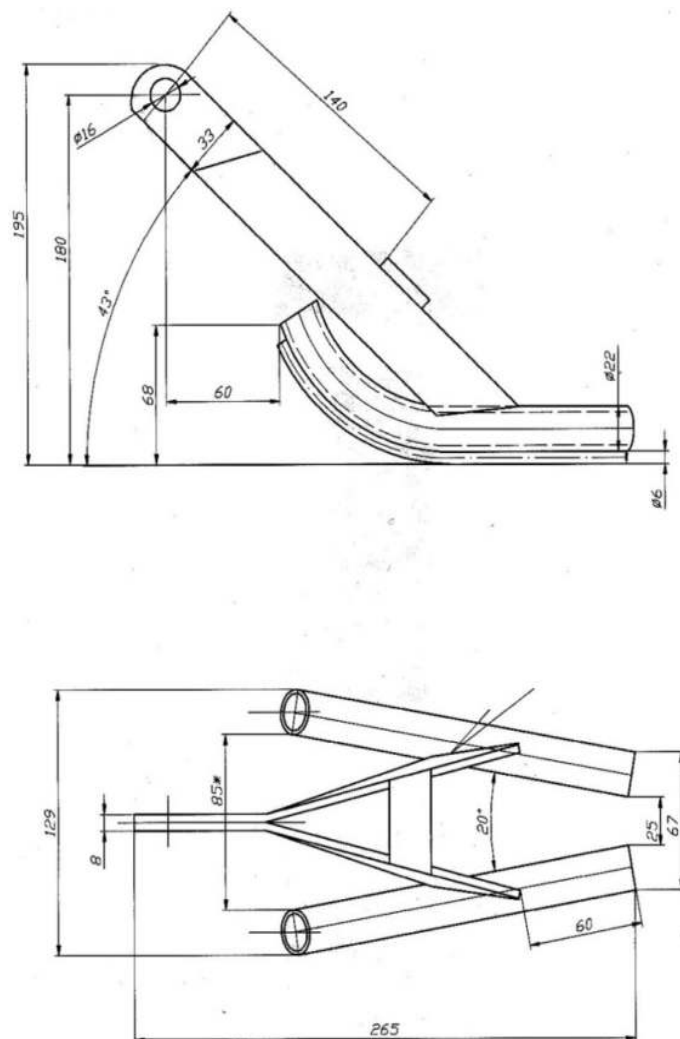


Рисунок 2.4 – Конструкция загортача для заделки семян в посевной бороздке

Загортачи устанавливаются по следу каждой посевной бороздки и шарнирно соединяются с рамой сеялки. Каждый полозок загортача должен быть отклонен в сторону от его середины, причем в задней части ползки сходятся на величину равную или несколько превышающую ширину посевной бороздки. Для обеспечения дозированного перемещения почвы в посевную бороздку в нижней части ползков должны быть приварены прутки диаметром не менее 6 мм. Предварительное опробование работы загортача такой конструкции показало хорошее качество заделки семян почвой.

Таким образом, выбраны основные конструктивные элементы схемы сеялки для посева мелких семян хвойных пород (ель, сосна, лиственница) в лесных питомниках. Сеялка должна состоять из рамы, бороздообразующего катка, бункера для семян, штифтовых высевающих аппаратов, привода, семяпроводов, загортачей, прикатывающего катка и навесной системы.

### **2.2.2 Исследование процесса работы штифтового высевающего аппарата**

Одной из проблем при посеве мелких семян лесных пород является неравномерность их распределения в посевной бороздке. Использование в конструкциях лесных сеялок штифтовых высевающих аппаратов позволяет решить эту проблему.

Для изучения влияния параметров и режимов работы штифтовых высевающих аппаратов на агротехнические показатели посева мелких семян хвойных пород необходимо проведение аналитических исследований процесса их работы [58, 104, 105, 157, 198, 199, 237, 266].

С целью изучения процесса работы штифтовых высевающих аппаратов на лесных сеялках, рассмотрим кинематическую схему их привода, представленную на рисунке 2.5. Для проведения анализа примем известными следующие конструктивные параметры сеялки:

$D_6$  – наружный диаметр бороздообразующего катка;

$h_{\delta}$  – глубина погружения бороздообразующего катка в почву, мм;

$V_{agr}$  – скорость движения сеялки, м/с.

При перекачивании по поверхности почвы бороздообразующего катка с

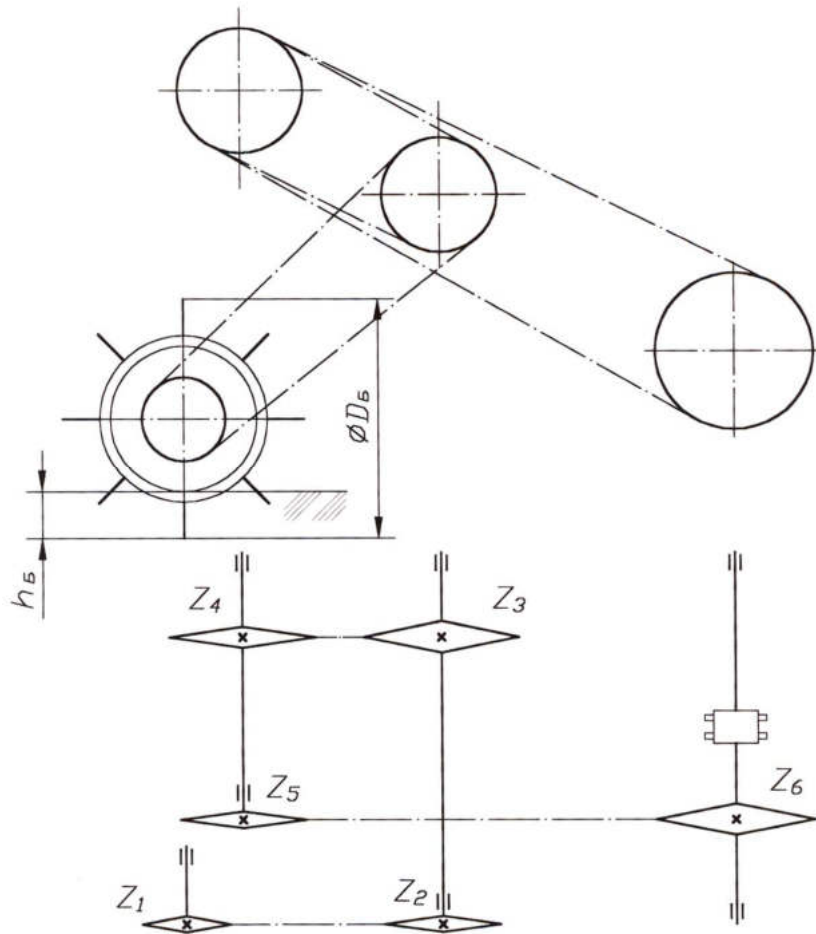


Рисунок 2.5 – Кинематическая схема привода высевающих аппаратов сеялки

проскальзыванием его условный радиус составит, мм:

$$R_y = \frac{D_{\delta}}{2} - h_{\delta}. \quad (2.13)$$

При проведении анализа приравняем поступательную скорость сеялки и окружную скорость бороздообразующего катка, удаленную от его центра вращения на условный радиус  $R_y$ , и получим следующее выражение, м/с:

$$V_{agr}(1 - \xi) = \omega_{\delta} R_y = \omega_{\delta} \left( \frac{D_{\delta}}{2} - h_{\delta} \right), \quad (2.14)$$

где  $\xi$  – коэффициент проскальзывания бороздообразующего катка;  $\omega_{\delta}$  – угловая скорость бороздообразующего катка,  $c^{-1}$ .

Коэффициент проскальзывания бороздообразующего катка ( $\xi \leq 1$ ) определяется экспериментальным путем, с учетом почвенных условий и момента сопротивления его перекачиванию.

Угловую скорость бороздообразующего катка можно определить по формуле:

$$\omega_{\bar{o}} = \frac{V_{aep}(1-\xi)}{\frac{D_{\bar{o}}}{2} - h_{\bar{o}}}. \quad (2.15)$$

Частота вращения бороздообразующего катка определяется по формуле,  $\text{мин}^{-1}$ :

$$n_{\bar{o}} = \frac{30\omega_{\bar{o}}}{\pi} = \frac{30V_{aep}(1-\xi)}{\pi\left(\frac{D_{\bar{o}}}{2} - h_{\bar{o}}\right)}. \quad (2.16)$$

Частота вращения высевающих аппаратов, составит:

$$n_{ea} = \frac{n_{\bar{o}}}{I_{общ}}, \quad (2.17)$$

где  $I_{общ}$  – передаточное отношение привода высевающих аппаратов сеялки (рис. 2.5), причем:

$$\left. \begin{aligned} I_{общ} &= I_1 I_2 I_3 = var; \\ I_1 &= \frac{Z_2}{Z_1}; \\ I_2 &= \frac{Z_4}{Z_3}; \\ I_3 &= \frac{Z_6}{Z_5}, \end{aligned} \right\}. \quad (2.18)$$

где  $I_1, I_2, I_3$  – передаточные отношения привода цепных передач;  $Z_1, \dots, Z_6$  – количество зубьев звездочек.

Значит тогда можно записать:

$$n_{ea} = \frac{n_{\bar{o}}}{I_1 I_2 I_3} = \frac{n_{\bar{o}} Z_1 Z_3 Z_5}{Z_2 Z_4 Z_6}. \quad (2.19)$$

Окончательно получим формулы для определения параметров вращения высевающих аппаратов:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{ea} &= \frac{\omega_{\bar{o}}}{I_{общ}} = \frac{V_{aep}(1-\xi)Z_1 Z_3 Z_5}{\left(\frac{D_{\bar{o}}}{2} - h_{\bar{o}}\right)Z_2 Z_4 Z_6} \\ n_{ea} &= \frac{30V_{aep}(1-\xi)Z_1 Z_3 Z_5}{\pi\left(\frac{D_{\bar{o}}}{2} - h_{\bar{o}}\right)Z_2 Z_4 Z_6} \end{aligned} \right\}. \quad (2.20)$$



Таким образом, для определения рациональных параметров привода штифтовых высевяющих аппаратов, обеспечивающих равномерно-разреженный посев мелких семян хвойных пород, определены основные кинематические зависимости.

### 2.2.3 Обоснование рациональных конструктивно-технологических параметров штифтового высевяющего аппарата

Основным показателем работы сеялок является норма посева семян по массе  $Q_m$  (кг/га) или количеству штук семян  $Q_k$  (шт./га) на единицу площади. Для анализа этих показателей воспользуемся формулой для определения массы семян, высеваемых за один оборот бороздообразующего катка сеялки, кг/об.:

$$M = \frac{\pi D_k Q_m B}{10000 \cdot 100}, \quad (2.21)$$

где  $Q_m$  – норма посева, кг/га;  $B$  – ширина посева, см.

С учетом проскальзывания бороздообразующего катка и ширины захвата агрегата (рис. 2.6) формула (2.21) примет вид:

$$M = \frac{\pi D_y Q_m B_{agr}}{10000(1-\xi)}, \quad (2.22)$$

где  $D_y$  – диаметр бороздообразующего катка, м;  $B_{agr}$  – ширина захвата агрегата, м.

Тогда можно записать:

$$\left. \begin{aligned} D_y &= D_{\delta} - 2h_{\delta} \\ B_{agr} &= A(i_c - 1) \end{aligned} \right\}, \quad (2.23)$$

где  $A$  – ширина междурядий, м;  $i_c$  – количество высевяющих аппаратов на сеялке, шт.

После преобразований окончательно получим формулу для определения нормы посева семян за один оборот бороздообразующего катка, кг/об.:

$$M = \frac{\pi(D_{\delta} - 2h_{\delta})Q_m A(i_c - 1)}{10000(1-\xi)}, \quad (2.24)$$

или в граммах за один оборот бороздообразующего катка, г/об.:

$$M_2 = \frac{\pi}{10} \cdot \frac{(D_{\delta} - 2h_{\delta})Q_m A(i_c - 1)}{1 - \xi} \quad (2.25)$$

Высевающие аппараты при этом будут высеивать, г/об.:

$$M_{\text{общ}} = \frac{M_2}{i_c} = \frac{\pi(D_{\delta} - 2h_{\delta})Q_m A(i_c - 1)}{10i_c(1 - \xi)} \quad (2.26)$$

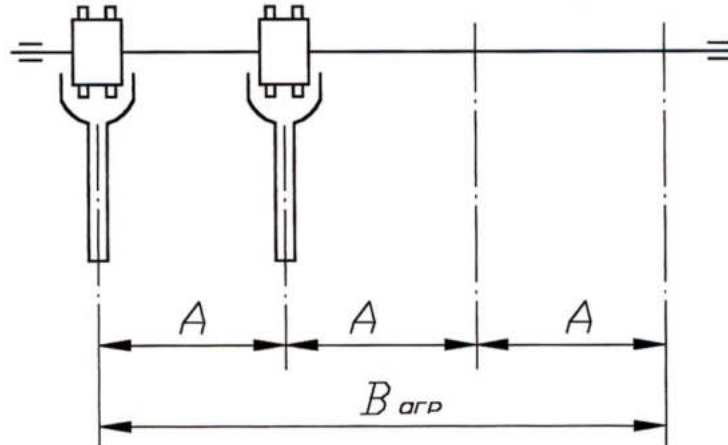


Рисунок 2.6 – К определению ширины захвата агрегата

При известной объемной массе семян  $\gamma$  (г/см<sup>3</sup>), получим объемную удельную норму посева в следующем виде, см<sup>3</sup>/об.:

$$M_o = \frac{M_{\text{общ}}}{\gamma} = \frac{\pi(D_{\delta} - 2h_{\delta})Q_m A(i_c - 1)}{10(1 - \xi)i_c \gamma} \quad (2.27)$$

При определении поштучной нормы посева, представляет также интерес количество семян, высеиваемых каждым высеивающим аппаратом за один оборот бороздообразующего катка, шт./об.:

$$M_{\text{шт}} = \frac{10^3 M_{\text{общ}}}{m} \quad (2.28)$$

где  $m$  – масса тысячи штук семян, г. После преобразований эта формула примет следующий вид, шт./об.:

$$M_{\text{шт}} = \frac{100\pi(D_{\delta} - 2h_{\delta})Q_m A(i_c - 1)}{i_c(1 - \xi)m} \quad (2.29)$$

Дальнейший анализ полученных формул проводим с учетом того, что размеры параметров сеялки  $D_{\delta}$ ,  $h_{\delta}$  и  $A$  выражены в метрах, а объемная масса семян  $\gamma$  в г/см<sup>3</sup>. Объем семян, высеиваемых за один оборот бороздообразующего катка  $M_o$ ,

см<sup>3</sup>/об. При этом количество оборотов высевающих аппаратов составит, об.

$$I_o^{-1} = (I_1 I_2 I_3)^{-1} = \frac{Z_1 Z_3 Z_5}{Z_2 Z_4 Z_6}. \quad (2.30)$$

Для определения объема высеваемых семян за один оборот высевающего аппарата, рассмотрим схему, представленную на рисунке 2.7, где  $d_H$  – наружный диаметр катушки высевающего аппарата, мм;  $d_B$  – внутренний диаметр катушки высевающего аппарата, мм;  $b_{ШТ}$  – ширина штифта, мм;  $a_{ШТ}$  – наименьшая толщина штифта, мм;  $A_{ШТ}$  – толщина штифта у его основания, мм;  $h_{ШТ}$  – высота штифта, мм;  $\alpha$  – угол между соседними штифтами, град;  $2\beta$  – угол конуса штифта, град;  $i_P$  – количество рядов штифтов, шт.

Представленный на рисунке 2.7 высевающий аппарат, предусматривает выполнение следующих соотношений:

$$\left. \begin{aligned} h_{ШТ} &= \frac{1}{2} (d_H - d_B) \\ i_{ШТ} &= \frac{360^\circ}{\alpha} = \frac{2\pi}{\alpha} \end{aligned} \right\} \quad (2.31)$$

где  $i_{ШТ}$  – количество штифтов в ряду, шт.

Для определения объема кольцевого слоя, между двумя соседними штифтами, выразим площадь проекции штифта на диаметральную плоскость, в следующем виде, мм<sup>2</sup>:

$$S'_{ШТ} = b_{ШТ} h_{ШТ} = \frac{b_{ШТ}}{2} (d_H - d_B). \quad (2.32)$$

Площадь кольцевого слоя  $NFTK$  (рис. 2.7) выразим, как сумму составляющих площадей, мм<sup>2</sup>:

$$S = S_1 + 2S_2 = S_{NEGK} + 2S_{EFN}. \quad (2.33)$$

Тогда площадь кольца составит, мм<sup>2</sup>:

$$S_1 = \frac{\pi}{4} (d_H^2 - d_B^2) \frac{(\alpha')}{2\pi}, \quad (2.34)$$

или в радианном измерении:

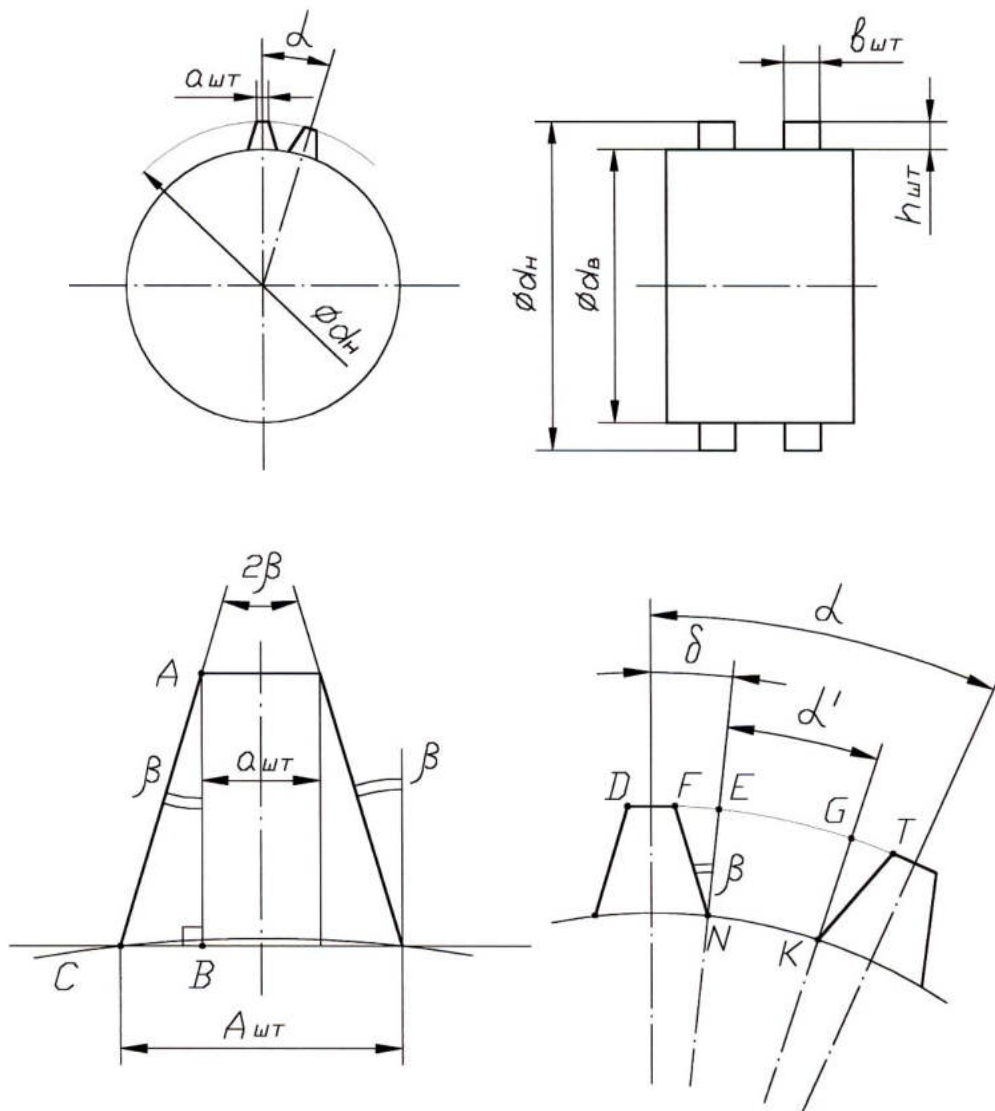


Рисунок 2.7 – Схема для определения параметров штифтового высевающего аппарата

$$S_1 = \frac{\pi}{4} (d_H^2 - d_B^2) \frac{\alpha'}{2\pi}, \quad (2.35)$$

где  $\alpha'$  – центральный угол между основаниями соседних штифтов, град.

Основание штифта будет, мм:

$$A_{шт} = a_{шт} + 2CB.$$

Из треугольника  $ABC$  получим следующие зависимости:

$$\left. \begin{aligned} \angle ABC &= 90^\circ = \frac{\pi}{2} \\ AB &= h_{шт} = \frac{1}{2}(d_H - d_B) \\ \angle CAB &= \beta \end{aligned} \right\}. \quad (2.36)$$

Тогда можем записать, мм:

$$CB = AB \operatorname{tg} \beta = \frac{1}{2} (d_H - d_B) \operatorname{tg} \beta. \quad (2.37)$$

Значит основание штифта, мм:

$$A_{\text{ШТ}} = a_{\text{ШТ}} + (d_H - d_B) \operatorname{tg} \beta. \quad (2.38)$$

Ориентировочно считаем, что, мм:

$$S_2 = S_{FEN} \approx S_{\Delta ABC}.$$

Значимость этого выражения возрастает при увеличении внутреннего диаметра катушки высевающего аппарата  $d_B$  и уменьшении высоты штифта. Тогда можем записать:

$$2S_2 \approx h_{\text{ШТ}} CB. \quad (2.39)$$

С учетом ранее полученных зависимостей получим:

$$2S_2 \approx \frac{1}{2} (d_H - d_B) \frac{1}{2} (d_H - d_B) \operatorname{tg} \beta. \quad (2.40)$$

Угол конуса штифта  $2\beta$  является известным конструктивным параметром:

$$2S_2 \approx \frac{1}{4} (d_H - d_B)^2 \operatorname{tg} \beta. \quad (2.41)$$

Величина центрального угла  $\alpha'$  между основаниями соседних штифтов составит, град:

$$\alpha' = \alpha - 2\delta,$$

где  $\delta$  – угол между центром и основанием штифта, град.

На основании, представленной на рисунке 2.7 схемы и с учетом принятых допущений, можно записать, мм:

$$DE \approx DE = \frac{1}{2} a_{\text{ШТ}} + CB. \quad (2.42)$$

Далее получим:

$$DE \approx \frac{1}{2} a_{\text{ШТ}} + \frac{1}{2} (d_H - d_B) \operatorname{tg} \beta = \frac{1}{2} (a_{\text{ШТ}} + (d_H - d_B) \operatorname{tg} \beta). \quad (2.43)$$

Расстояние  $DE$  представим в виде хорды с углом  $\delta$ :

$$DE = 2 \frac{d_H}{2} \sin \frac{\delta}{2} = d_H \sin \frac{\delta}{2}. \quad (2.44)$$

Приравняв между собой два последних выражения, получим:

$$d_H \sin \frac{\delta}{2} = \frac{1}{2} (a_{\text{ШТ}} + (d_H - d_B) \operatorname{tg} \beta). \quad (2.45)$$

Тогда угол  $\delta$  между центром и основанием штифта можно выразить, град:

$$\sin \frac{\delta}{2} = \frac{a_{\text{ШТ}} + (d_H - d_B) \operatorname{tg} \beta}{2d_H}, \quad (2.46)$$

и окончательно получим, град:

$$\delta = 2 \arcsin \left[ \frac{a_{\text{ШТ}} + (d_H - d_B) \operatorname{tg} \beta}{2d_H} \right], \quad (2.47)$$

и угол  $\delta$  составит:

$$\delta = 2 \arcsin \left[ \frac{a_{\text{ШТ}} + (d_H - d_B) \operatorname{tg} \beta}{2d_H} \right]. \quad (2.48)$$

Общая площадь кольцевого слоя, мм<sup>2</sup>:

$$S = \frac{\pi}{4} (d_H^2 - d_B^2) \frac{(\alpha)}{360^\circ} + \frac{1}{4} (d_H - d_B)^2 \operatorname{tg} \beta. \quad (2.49)$$

Для удобства расчетов перейдем к радианной мере углов и представим зависимость (2.35) в следующем виде:

$$S_1 = \frac{1}{4} (d_H^2 - d_B^2) \frac{\alpha'}{2}, \quad (2.50)$$

тогда получим:

$$S = \frac{1}{4} \left[ (d_H^2 - d_B^2) \frac{\alpha'}{2} + (d_H - d_B)^2 \operatorname{tg} \beta \right]. \quad (2.51)$$

Фактический объем семян, заполненный в промежутке между двумя соседними штифтами, представим в следующем виде, мм<sup>3</sup>:

$$V_O' = S v_{\text{ШТ}} k_3, \quad (2.52)$$

где  $k_3$  – коэффициент заполнения объема семян между соседними штифтами.

С учетом вышеизложенного предложен коэффициент заполнения объема между двумя соседними штифтами ( $k_3 \leq 1$ ), который определяется экспериментальным путем (при  $n_{\text{га}} = \text{const}$  и  $V_{\text{агр}} = \text{const}$ ) и зависит от показателей свойств семян хвойных пород и режимов работы сеялки. При повороте катушки высевающего аппарата на угол  $\alpha$  с одним рядом штифтов, она захватывает объем семян:

$$V_O' = \frac{v_{\text{ШТ}}}{4} \left[ (d_H^2 - d_B^2) \frac{\alpha'}{2} + (d_H - d_B)^2 \operatorname{tg} \beta \right] k_3. \quad (2.53)$$

При использовании катушки с большим количеством рядов штифтов она захватывает объем семян, мм<sup>3</sup>:

$$V' = V'_{\text{общ}} i_P \left. \vphantom{V'} \right\} \quad (2.54)$$

$$V' = \frac{1}{4} i_P v_{\text{ШТ}} k_3 \left[ (d_H^2 - d_B^2) \frac{\alpha'}{2} + (d_H - d_B)^2 \text{tg} \beta \right]$$

В выражениях (2.53) и (2.54) размеры ширины штифта  $v_{\text{ШТ}}$ , внутреннего  $d_B$  и наружного  $d_H$  диаметров катушки высевающего аппарата даны в сантиметрах.

Объем семян, захватываемый высевающим аппаратом за один оборот бороздообразующего катка, составляет:

$$V'' = V' \frac{360^\circ}{\alpha} I_{\text{общ}}^{-1}, \quad (2.55)$$

или:

$$V'' = V' I_{\text{общ}}^{-1} \frac{2\pi}{\alpha}. \quad (2.56)$$

С учетом формулы (2.54) это выражение примет следующий вид, см<sup>3</sup>/об:

$$V'' = \frac{\pi k_3}{2\alpha I_{\text{общ}}} i_P v_{\text{ШТ}} \left[ (d_H^2 - d_B^2) \frac{\alpha'}{2} + (d_H - d_B)^2 \text{tg} \beta \right]. \quad (2.57)$$

Анализ полученных выражений показывает, что с увеличением размеров штифтов, коэффициента заполнения объема между ними и количества их рядов на катушке, производительность высевающих аппаратов возрастает, а с увеличением передаточного отношения привода – уменьшается. Угол между основаниями соседних штифтов и их конуса не влияют на производительность высевающих аппаратов.

Для настройки сеялки на заданную норму высева семян необходимо получить зависимость нормы от всех параметров сеялки. Приравняв значения по формулам (2.27) и (2.57), см<sup>3</sup>/об:

$$M_o = V''. \quad (2.58)$$

В развернутом виде получим:

$$\frac{\pi(D_6 - 2h_6)}{10i_c \gamma (1 - \xi)} = \frac{\pi k_3 i_P v_{\text{ШТ}}}{2 \alpha I_{\text{общ}}} \left[ (d_H^2 - d_B^2) \frac{\alpha'}{2} + (d_H - d_B)^2 \text{tg} \beta \right]. \quad (2.59)$$

После сокращения на  $\text{const} = \frac{\pi}{2}$ , получим:

$$\frac{k_3 i_{P\text{ШТ}}}{\alpha I_{\text{общ}}} \left[ (d_H^2 - d_B^2) \frac{\alpha'}{2} + (d_H - d_B)^2 \text{tg}\beta \right] = \frac{(D_6 - 2h_6)QA(i_c - 1)}{5i_c \gamma (1 - \xi)}. \quad (2.60)$$

Отсюда получим формулу для определения нормы высева семян, кг/га:

$$Q = \frac{5m_0 i_c (1 - \xi) i_{P\text{ШТ}} k_3}{I_{\text{общ}} \alpha' (D_6 - 2h_6) A(i_c - 1)} \left[ (d_H^2 - d_B^2) \frac{\alpha'}{2} + \frac{1}{4} h_{\text{ШТ}}^2 \text{tg}\beta \right]. \quad (2.61)$$

Или для нормы при определении поштучного высева семян, шт./га:

$$Q_{\text{ШТ}} = \frac{i_c (1 - \xi) i_{P\text{ШТ}} k_3 m}{200 I_{\text{общ}} \alpha' (D_6 - 2h_6) A(i_c - 1)} \left[ (d_H^2 - d_B^2) \frac{\alpha'}{2} + \frac{1}{4} h_{\text{ШТ}}^2 \text{tg}\beta \right]. \quad (2.62)$$

Таким образом, увеличение проскальзывания бороздообразующего катка уменьшает фактическую норму высева, что недопустимо. Настройку требуемой нормы высева семян целесообразно обеспечивать путем изменения общего передаточного отношения привода высевающих аппаратов  $I_{\text{общ}}$ , т. е. в системе их привода необходимо иметь многоступенчатый редуктор с несколькими вариантами ступеней передач.

Важным показателем посева семян является неравномерность подачи семян в посевную бороздку. При постоянной ширине штифтов высевающих аппаратов неравномерность подачи семян можно оценить соотношением площади проекции на горизонтальную плоскость всех штифтов и площади «промежутков» между штифтами:

$$P = \frac{S_{\text{ШТ}} i_{\text{ШТ}}}{S i_{\text{ПР}} k_3}, \quad (2.63)$$

где  $i_{\text{ПР}} = i_{\text{ШТ}}$  – количество «промежутков» между штифтами. Значит, можно записать:

$$P = \frac{S_{\text{ШТ}}}{S k_3} \rightarrow \min. \quad (2.64)$$

Площадь штифтов, мм<sup>2</sup>:

$$S_{\text{ШТ}} = a_{\text{ШТ}} h_{\text{ШТ}} + 2S_2,$$

или:

$$S_{\text{ШТ}} = a_{\text{ШТ}} h_{\text{ШТ}} + h_{\text{ШТ}}^2 \text{tg}\beta. \quad (2.65)$$



Окончательно получим формулу для определения неравномерности подачи семян:

$$P = \frac{a_{\text{ШТ}} h_{\text{ШТ}} + h_{\text{ШТ}}^2 \operatorname{tg} \beta}{\left[ \frac{1}{8} (d_H^2 - d_B^2) \alpha' + h_{\text{ШТ}}^2 \operatorname{tg} \beta \right] k_3}. \quad (2.66)$$

Таким образом, с увеличением размеров штифтов, неравномерность подачи семян возрастает, следовательно, минимальные размеры штифта необходимо принимать с учетом его прочности [70, 129, 137]. При многорядном размещении штифтов на катушке их рекомендуется располагать со смещением соседних рядов.

На основании проведенных исследований процесса посева мелких семян хвойных пород, получены зависимости для расчета конструктивно-технологических параметров штифтовых высевальных аппаратов и оценки их влияния на агротехнические показатели посева.

### **2.3 Исследование процесса взаимодействия прикатывающего катка с почвой**

В лесных питомниках в процессе посева семян для обеспечения хорошей их всхожести, важное значение имеет плотность почвы в зоне заделки семян, которая должна быть в пределах 1,0 ... 1,2 г/см<sup>3</sup> [240]. Для выполнения этого условия, в конструкциях сеялок для лесных питомников имеются устройства в виде прикатывающих катков, предназначенных для уплотнения почвы в зоне заделки семян [221, 223, 224].

Известные исследования процесса уплотнения почвы при посеве семян не могут быть использованы при расчете и проектировании сеялок для лесных питомников, в виду специфики, как семян древесных пород, так и оригинальности конструкций лесных сеялок.

В связи с этим аналитические исследования процесса уплотнения почвы в зоне заделки семян имеют важное значение при разработке новых и модернизации существующих конструкций сеялок, предназначенных для посева семян в лесных питомниках [107].

На рисунке 2.8 представлена принципиальная схема устройства и механизма подвески прикатывающего катка сеялки для лесных питомников.

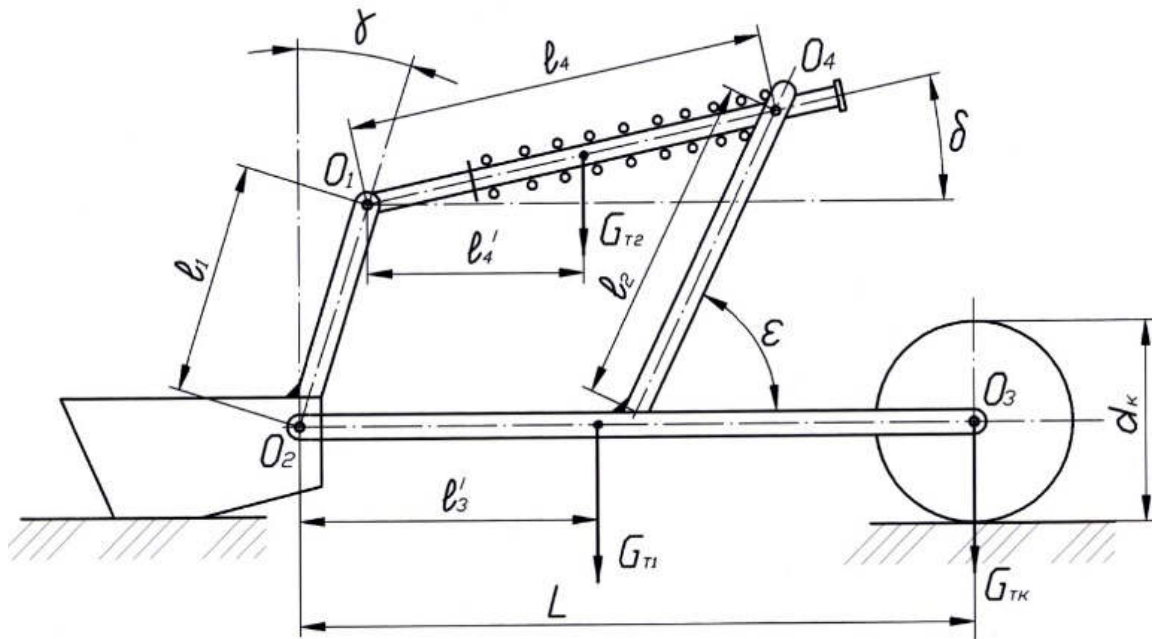


Рисунок 2.8 – Принципиальная схема устройства и механизма подвески прикатывающего катка сеялки для лесных питомников

Представленная на рисунке 2.8 схема устройства и механизма подвески прикатывающего катка с сошником и загортачами позволяет обеспечить копирование микрорельефа и возможность регулирования усилия поджатия катка к почве.

Для рассмотрения и анализа устройства и механизма подвески прикатывающего катка введем следующие обозначения его конструктивных элементов (рис. 2.8 и 2.9):

$O_1$  – центр вращения верхнего рычага;

$O_2$  – центр вращения нижнего рычага;

$O_3$  – центр вращения прикатывающего катка;

$O_4$  – подвижный центр контакта вилки рычага с пружиной;

$l'_3$  – расстояние от точки  $O_1$  до центра тяжести нижних рычагов, мм;

$l'_4$  – расстояние от точки  $O_1$  до центра тяжести верхних рычагов, мм;

$L$  – расстояние между центрами тяжести сошника и катка  $O_2O_3$ , мм.

На рисунке 2.9 представлена схема сил, действующих на прикатывающий каток. Взаимное положение центров вращения  $O_1$ ,  $O_2$  и  $O_3$  определяется графическим или аналитическим методами. Расстояния  $l'_3$  и  $l'_4$  определяются с использованием известных из теории машин и механизмов методов [7, 41]. Углы наклонов элементов механизма подвески прикатывающего катка рекомендуется принять из конструктивных соображений и, соответственно, равными:  $\gamma = 15^\circ$ ;  $\delta \approx 4^\circ$ ;  $\varepsilon = 60^\circ$ .

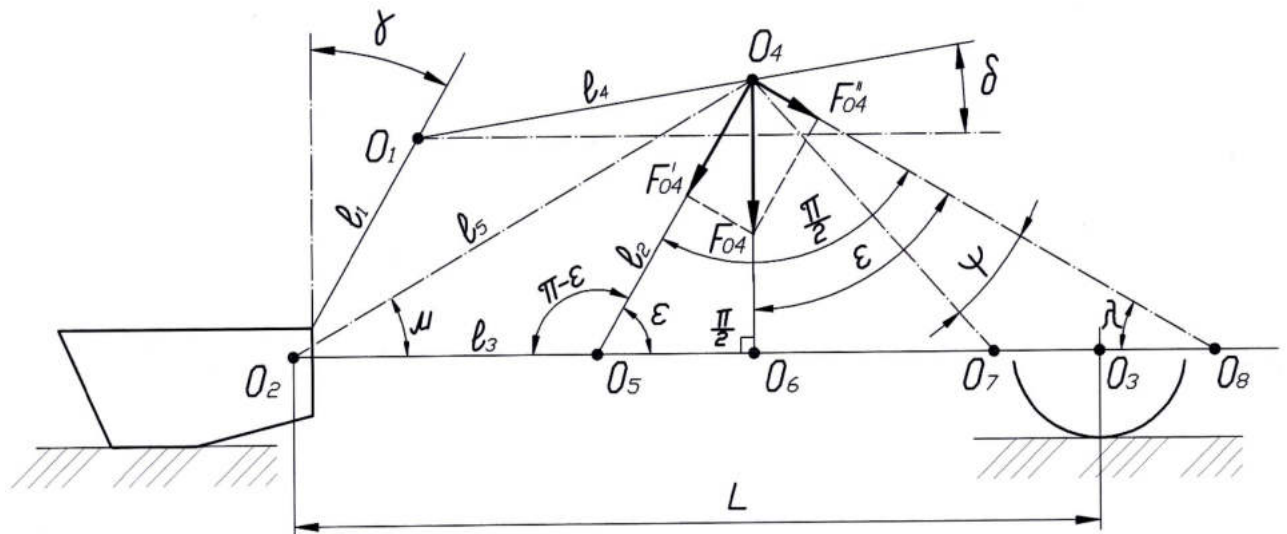


Рисунок 2.9 – К определению сил, действующих на прикатывающий каток

Для определения усилия, действующего на прикатывающий каток и обеспечивающего оптимальную плотность почвы в зоне заделки семян, рассмотрим силы, возникающие в механизме его подвески (рис. 2.9).

Усилие, действующее на прикатывающий каток, определяется следующими составляющими, Н:

$$F_K = G_{TK} + G_{T1} + G_{T2} + F''_{ПР}, \quad (2.67)$$

где  $G_{TK}$  – усилие от массы прикатывающего катка, Н;  $G_{T1}$  – усилие от массы верхних рычагов, Н;  $G_{T2}$  – усилие от массы нижних рычагов, Н;  $F''_{ПР}$  – усилие, создаваемое пружиной, Н.

Сила, создаваемая массой катка, определяется следующим выражением:

$$G_{TK} = m_K g,$$

где  $m_K$  – масса прикатывающего катка, кг;  $g$  – ускорение центра тяжести катка,  $m^{-2}$ .

Для определения усилия  $G_{T1}$ , создаваемого массой нижних рычагов, составим сумму моментов сил относительно центра их вращения:

$$M_{O2} = G_{TH}l'_3 = G_{TH}L,$$

где  $G_{TH} = m_n g$  – сила, создаваемая массой нижних рычагов;  $m_n$  – масса нижних рычагов, кг.

В результате получим следующее выражение:

$$G_{T1} = m_H g \frac{l'_3}{L}. \quad (2.68)$$

Рассмотрим силы, создаваемые массой верхних рычагов (рис. 2.9). Верхняя часть рычага конструктивно выполнена в виде вилки со скользящим контактом кромок с полуосями и воспринимает усилие от сжатия пружины. Из уравнений моментов сил относительно центра вращения  $O_1$  запишем составляющую силы действующей на вилку от массы верхних рычагов:

$$\sum M_{O1} = G_{TB}l'_4 = F_{O4}l_4,$$

где  $F_{O4}$  – составляющая силы действующей на вилку от массы верхних рычагов, Н:

$$F_{O4} = m_v g \frac{l'_4}{l_4}. \quad (2.69)$$

Силу  $F_{O4}$  представим в виде:

$$\overrightarrow{F_{O4}} = \overrightarrow{F'_{O4}} + \overrightarrow{F''_{O4}}$$

и определим модуль силы  $F''_{O4}$ , создающей дополнительную нагрузку на прикатывающийся каток.

Усилие на катке, создаваемое массой нижних рычагов:

$$G_{T2}L = F''_{O4} \cos \psi l_5,$$

где  $l_5 = O_2O_4$  – известная конструктивная величина, мм.

Рассматривая треугольник  $O_5O_4O_8$ , (рис. 2.9) можно записать:

$$O_5O_4 = l_2 = \text{const}; \angle O_5O_4O_8 = \frac{\pi}{2} = 90^\circ; \angle O_4O_5O_8 = \varepsilon.$$

Отсюда получим выражение для угла  $\lambda$ :

$$\angle O_4O_8O_5 = \lambda = \frac{\pi}{2} - \varepsilon. \quad (2.70)$$

Следовательно, в  $\Delta O_6 O_4 O_8$  угол  $\angle O_6 O_4 O_8 = \frac{\pi}{2} - \lambda = \frac{\pi}{2} - \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon\right) = \varepsilon$ .

Поскольку  $\angle O_6 O_4 O_8 = \varepsilon$ , то  $\angle O_6 O_7 O_4 = \frac{\pi}{2} - \mu$ .

Следовательно, из  $\Delta O_4 O_6 O_7$  получим, что угол  $\angle O_6 O_4 O_7 = \mu$ , но поскольку  $\psi = \angle O_6 O_4 O_8 - \angle O_6 O_4 O_7$ , то окончательно запишем, град:

$$\psi = \varepsilon - \mu. \quad (2.71)$$

Поскольку составляющая  $F''_{O4}$  перпендикулярна  $l_2$ , то можно записать:

$$\chi = \frac{\pi}{2} - \varepsilon. \quad (2.72)$$

Учитывая, что  $F''_{O4} = F_{O4} \sin \chi = F_{O4} \sin \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon\right)$ , окончательно получим:

$$F''_{O4} = F_{O4} \cos \varepsilon. \quad (2.73)$$

Усилие, создаваемое массой нижних рычагов и передаваемое на прикатывающий каток, составляет:

$$G_{T2} = F_{O4} \cos \varepsilon \cos \chi \frac{l_5}{L}, \quad (2.74)$$

или, с учетом выражений (2.69) и (2.72), можно записать:

$$G_{T2} = m_B g \frac{l'_4 l_5}{l_4 L} \cos \varepsilon \cos \phi. \quad (2.75)$$

Усилие  $F''_{ПР}$ , создаваемое пружиной, подобно усилию от массы рычагов, определяется:

$$F''_{ПР} = F_{ПР} \sin(\varepsilon - \delta) \cos \varepsilon \cos \phi \frac{l_5}{L}. \quad (2.76)$$

Составляющая усилия, создаваемая пружиной  $F'_{ПР}$ , перпендикулярна к рычагу  $l_2$  (рис. 2.10) и создает дополнительный момент относительно центра вращения  $O_2$ :

$$F'_{ПР} = F_{ПР} \cos v. \quad (2.77)$$

Из схемы, представленной на рисунке 2.10, можно определить угол между усилием, создаваемым пружиной и перпендикуляром к рычагу  $l_2$ , град:

$$v = \frac{\pi}{2} - (\varepsilon - \delta) = \frac{\pi}{2} - \varepsilon + \delta. \quad (2.78)$$

Учитывая, что  $F'_{ПР} = F_{ПР} \cos \left(\frac{\pi}{2} - (\varepsilon - \delta)\right)$ , после преобразований получим:

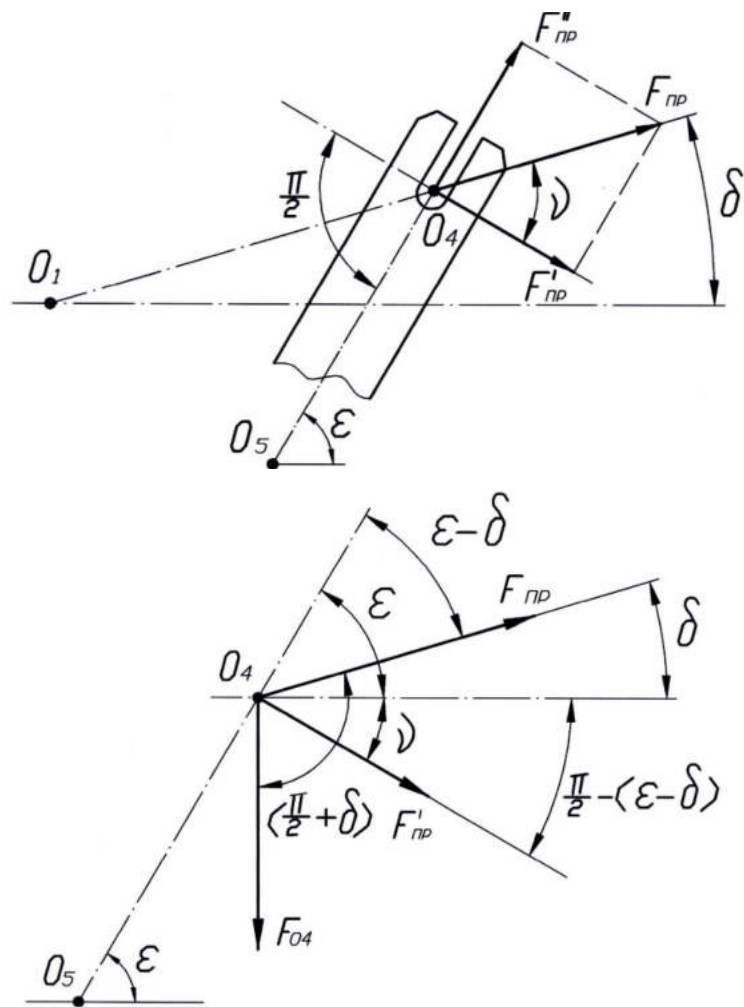


Рисунок 2.10 – К определению усилия, создаваемого пружиной на прикатывающем катке

$$F'_{np} = F_{np} \sin(\epsilon - \delta).$$

С учетом выражения (2.76) можно записать:

$$F''_{np} = F_{np} \sin(\epsilon - \delta) \cos \epsilon \cos \phi \frac{l_5}{L}. \quad (2.79)$$

Полученные формулы позволяют рассчитать силы, действующие на прикатывающий каток, при заделке семян в посевной бороздке. Масса, размеры плеч и базовые углы принимаются из конструктивных соображений.

Сила, создаваемая за счет сжатия пружины, с учетом выражений (2.68), (2.71), (2.75) и (2.79), представим в следующем виде:

$$F_{np} = \frac{[F'_K - (G_{TK} + G_{T1} + G_{T2})]L}{\sin(\epsilon - \delta) \cos \epsilon \cos(\epsilon - \mu) l_5}, \quad (2.80)$$

где  $F'_K$  – сила, действующая на прикатывающий каток и обеспечивающая требуе-

мую плотность почвы в зоне заделки семян, Н.

Определим нагрузку на прикатывающем катке, обеспечивающую колею в почве глубиной  $h_K$ , после прохода катка. Для этого воспользуемся известной зависимостью, связывающей параметры колеса (катка), нагрузку на нем и глубину колеи:

$$F'_K = \frac{2}{3} q_0 b_\delta h_K \sqrt{d_K h_K^3}, \quad (2.81)$$

где  $q_0 = \rho_{ont}$  – удельное давление на поверхности катка, Па;  $b_\delta$  – ширина прикатывающего катка, мм;  $h_K$  – глубина колеи, мм;  $d_K$  – диаметр прикатывающего катка, мм.

Ориентировочно давление на почву можно определить из следующего выражения:

$$q_0 \approx \frac{F_K}{S_{CM}}, \quad (2.82)$$

где  $S_{CM}$  – площадь деформации почвы, мм<sup>2</sup>.

Площадь деформации почвы прямо пропорциональна нагрузке, действующей на прикатывающий каток  $F_K$ . Эту величину можно определить с учетом следующих размеров прикатывающего катка:  $R_K$  – радиус прикатывающего катка;  $b_\delta \approx b_c$  – ширина катка, ориентировочно равная ширине посевной бороздки, мм;  $\Delta$  – предполагаемое смятие почвы. Определим длину контакта прикатывающего катка с почвой  $l_K \approx b_c$  как хорду окружности с радиусом  $R_K$ , мм:

$$b_c = l_K \approx b_c = 2R_K \sin \frac{\alpha_1}{2}.$$

Угол хорды  $\alpha_1$  (рис. 2.11) для окружности с центром в точке  $O_1$  представим следующим выражением, град:

$$\alpha_1 = 2 \arcsin \frac{b_\delta}{2R_K}. \quad (2.83)$$

Величины деформации почвы  $\Delta$  прикатывающим катком можно определить по следующим формулам:

в поперечном сечении

$$\Delta = \frac{b_\delta}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{4}; \quad (2.84)$$

в продольном сечении

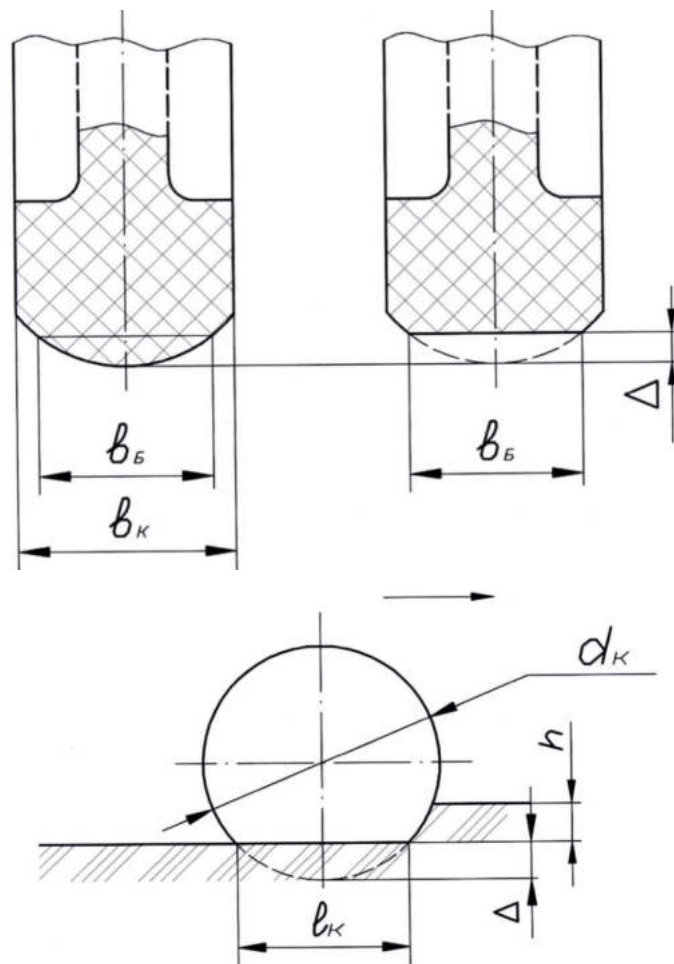


Рисунок 2.11 – К определению деформации почвы прикатывающим катком

$$\Delta = \frac{l_k}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha_2'}{4}. \quad (2.85)$$

В выражении (2.85) представляет интерес длина контакта  $l_k$  катка с почвой, которую можно выразить через деформацию почвы  $\Delta$  и радиус прикатывающего катка  $\frac{d_k}{2}$ , мм:

$$l_k = 2\sqrt{2\Delta \frac{d_k}{2} - \Delta^2}; \quad l_k = 2\sqrt{d_k \Delta (1 - \Delta)}. \quad (2.86)$$

Окончательно получим длину контакта катка с почвой:

$$l_k = 2\sqrt{d_k \frac{b_{\sigma}}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{4} \left(1 - \frac{b_{\sigma}}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{4}\right)}. \quad (2.87)$$

Таким образом, в результате аналитических исследований процесса взаимодействия прикатывающего катка с почвой, обоснованы конструктивно-кинематические параметры механизма подвески катка и получены зависимости для определения



диаметра и ширины прикатывающего катка и силы, действующей на него.

#### **2.4 Исследование устойчивости рабочих органов культиватора при агротехническом уходе в лесных питомниках**

При агротехническом уходе в лесных питомниках проводится рыхление почвы и уничтожение сорной растительности. На основании проведенного анализа культиваторов, применяемых в сельском и лесном хозяйствах, предложен рабочий орган для ухода за растениями в лесных питомниках (рис. 2.12), выполненный в виде рыхлительно-подрезающей лапы и представляющий собой стойку, нижняя часть которой отклонена назад и имеет заточку, а ее нижний торец с двух сторон снабжен крыловидными ножами [101].

Для расчета параметров рабочих органов культиватора необходимо проведение аналитических исследований процесса их работы при уходе. В связи с этим необходимо провести анализ технологического процесса выполняемого рыхлительно-подрезающей лапой и действующих на нее сил. Длина рабочей части рыхлительно-подрезающей лапы составит:

$$l_{\text{раб}} = L - l,$$

где  $L$  – высота стойки лапы, мм;  $l$  – дополнительная часть лапы, мм.

Угол наклона рыхлительно-подрезающей лапы к направлению движению культиватора обозначим  $\alpha$ . Ширину захвата нижних ножей рыхлительно-подрезающей лапы обозначим  $B_{\text{л}}$ , а угол их «атаки» обозначим  $\beta$  и угол отклонения режущей части ножей к направлению движения культиватора обозначим  $\delta$ .

Сила сопротивления рабочих органов культиватора и ее составляющие по осям  $X$  и  $Z$  определяются путем проведения экспериментальных исследований. Известные формулы позволяют рассчитать силу сопротивления для определенных видов рабочих органов и не являются универсальными.

Силу сопротивления почвообрабатывающих рабочих органов принято пред-

ставлять в виде функции глубины обработки почвы  $h$  и ширины захвата  $B_{\text{л}}$ .

Составляющие силы сопротивления стойки рыхлительно-подрезающей лапы можно представить в следующем виде, Н:

$$R_x = k_{\text{л}}sh = k_{\text{л}}S_{\text{ф}}, \quad (2.88)$$

где  $k_{\text{л}}$  – коэффициент удельного сопротивления почвы;  $s$  – толщина стойки лапы, мм;  $S_{\text{ф}}$  – проекция стойки лапы, мм;  $h$  – глубина обработки почвы ( $h \leq (L - l)$ ), мм.

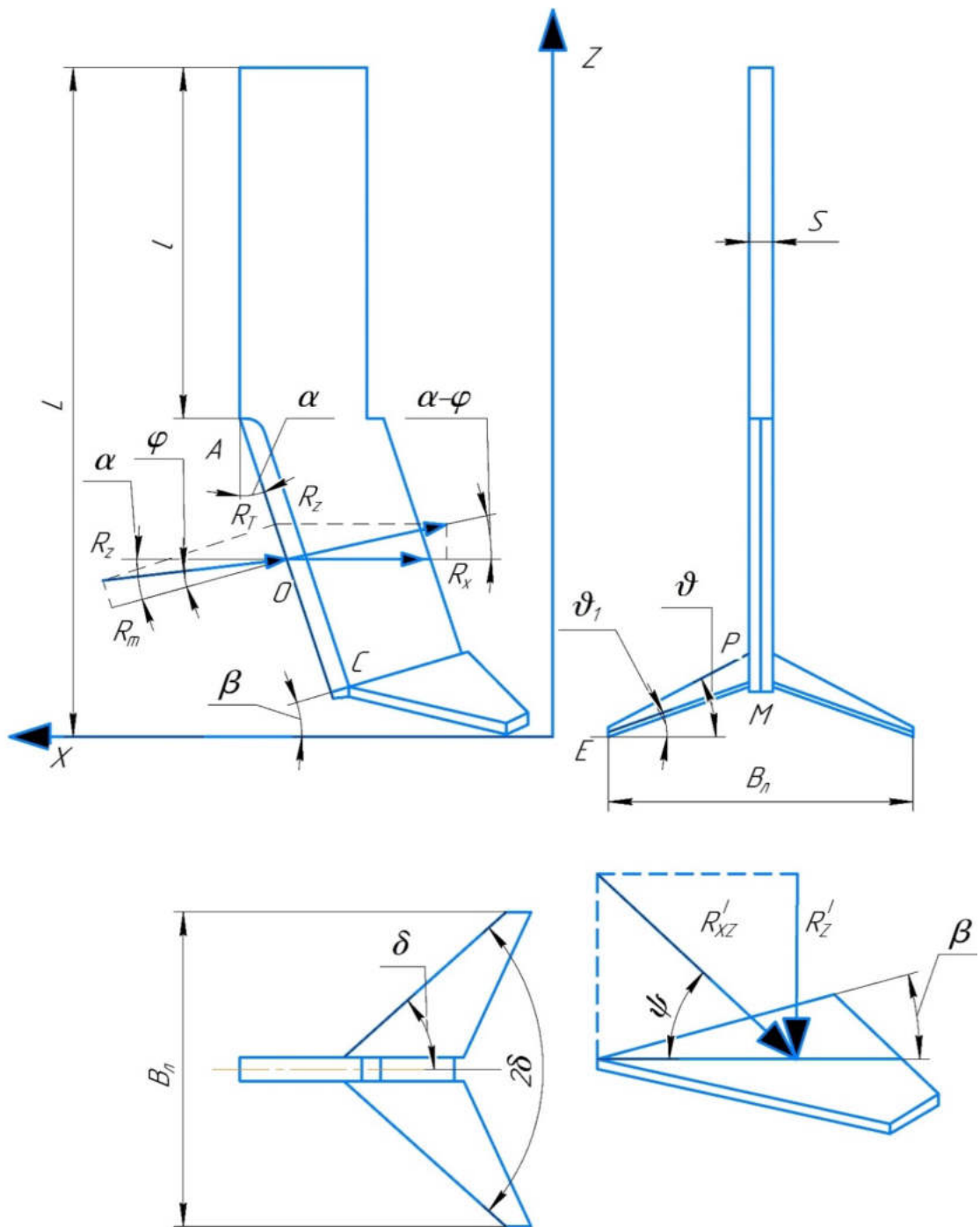


Рисунок 2.12 – Силы, действующие на рыхлительно-подрезающую лапу культиватора

Удельное сопротивление почвы зависит от ее плотности, влажности и угла заточки рабочих органов  $\varepsilon$ . Из-за сложности теоретических расчетов, удельное сопротивление почвы рекомендуется определять экспериментально методом тензометрирования [189, 190].

Выражение (2.88) может применяться для определения силы сопротивления аналогичных рабочих органов культиваторов.

Анализ сил, действующих на рыхлительно-подрезающую лапу (рис. 2.12), позволяет сделать следующий вывод. Сила сопротивления  $R_{\Sigma}$  и ее составляющие ( $R_x$  и  $R_z$ ) приложены в точке  $O$  на наклонной части рыхлительно-подрезающей лапы  $AC$ . Нормальная составляющая силы сопротивления, направлена по нормали к наклонной части рыхлительно-подрезающей лапы  $AC$ ,  $H$ :

$$R_N = R_x / \cos \alpha = R_x \sec \alpha, \quad (2.89)$$

и тангенциальная составляющая,  $H$ :

$$R_T = R_N f = f R_x \sec \alpha, \quad (2.90)$$

где  $f$  – коэффициент трения почвы по стали.

Сила сопротивления зависит от нормальной и тангенциальной составляющих и ее можно выразить как,  $H$ :

$$R_{\Sigma} = (R_x^2 \sec^2 \alpha + f^2 R_x^2 \sec^2 \alpha)^{1/2}. \quad (2.91)$$

С учетом формулы (2.88) выражение (2.91) после преобразований примет вид:

$$R_{\Sigma} = k_{л} sh \sec \alpha (1 + f^2)^{1/2}. \quad (2.92)$$

Коэффициент трения почвы по стали:

$$f = \operatorname{arctg} \varphi,$$

где  $\varphi$  – угол трения почвы по стали, град. После проведения преобразований суммарная сила сопротивления рыхлительно-подрезающей лапы примет следующий вид:

$$R_{\Sigma} = k_{л} s_c h_2 \sec \alpha_{л} (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_T)^{1/2}. \quad (2.93)$$

Анализ полученного выражения (2.93) показывает, что тяговое сопротивление стойки лапы прямо пропорционально ее толщине, глубине обработки и удельному сопротивлению почвы. Как видно уменьшение угла заточки  $\varepsilon$  стойки лапы и увеличение угла ее наклона  $\alpha$  уменьшает тяговое сопротивление.

Угол между общей силой сопротивления и ее нормальной составляющей представляет собой угол динамического трения и ее результирующая направлена под углом  $(\alpha - \varphi)$ . Вертикальная составляющая  $R_Z$  силы сопротивления препятствует заглублению лапы в почву и ее представим в следующем виде:

$$R_Z = R_{\Sigma} \sin(\alpha - \varphi). \quad (2.94)$$

Стабильная глубина хода рабочих органов культиватора в почве зависит от вертикальной составляющей силы сопротивления  $R_Z$ , которую необходимо компенсировать. Это возможно путем увеличения массы культиватора или путем выбора рациональных конструктивных параметров рабочих органов.

Силу сопротивления ножей лапы можно определить по формуле:

$$R_X = k_{\text{л}} S_{\text{фр}}. \quad (2.95)$$

Параметры образующих нижней части лапы (рис. 2.12) можно определить по следующим выражениям:

$$EM = 0,5 (B_{\text{л}} - s) \sec \gamma_1;$$

$$EP = 0,5 (B_{\text{л}} - s) \sec \gamma,$$

где углы  $\gamma$  и  $\gamma_1$  – конструктивно заданные параметры, град. Тогда площадь фронтальной проекции нижней части лапы составит, мм<sup>2</sup>:

$$S_{\text{фр}} = 0,5 EM EP \sin (\gamma - \gamma_1). \quad (2.96)$$

После преобразований получим выражение фронтальной площади крыловидных ножей:

$$S_{\text{фр}} = (B_{\text{л}} - s)^2 \sin (\gamma - \gamma_1) / 8 \cos \gamma \cos \gamma_1. \quad (2.97)$$

Сила сопротивления крыловидных ножей составит, Н:

$$R'_{XZ} = R'_X \sec \psi. \quad (2.98)$$

Вертикальная составляющая силы сопротивления крыловидных ножей определяется по формуле, Н:

$$R'_Z = R'_{XZ} \sin \psi = R'_X \sec \psi \sin \psi = R'_X \operatorname{tg} \psi. \quad (2.99)$$

Через  $\psi$  обозначим угол между реакцией всех сил сопротивления и ее продольной составляющей. Влияние различных факторов на угол  $\psi$  подробно исследован экспериментальным путем и для его определения воспользуемся данными, приведенными в работах [200, 202].

Формула вертикальной составляющей (2.99) силы сопротивления нижних ножей лапы, с учетом выражения (2.95) примет следующий вид:

$$R'_Z = k_{\text{л}} S_{\text{фр}} \operatorname{tg} \psi. \quad (2.100)$$

Принимая во внимание, что в полученных выражениях учтена только половина симметричной схемы ножей лапы, то формула общей вертикальной силы сопротивления рыхлительно-подрезающей лапы, примет следующий вид, Н:

$$R_Z^{\text{общ}} = 0,25 k_{\text{л}} (B_{\text{л}} - s)^2 \sin(\gamma - \gamma_1) \operatorname{tg} \psi \sec \gamma \sec \gamma_1. \quad (2.101)$$

Таким образом, условием устойчивой и стабильной глубины хода рыхлительно-подрезающей лапы в почве, является следующее:

$$R_Z \leq R_Z^{\text{общ}},$$

или с учетом выражения (2.94) можно записать:

$$R_{\Sigma} \sin(\alpha - \varphi) \leq R_Z^{\text{общ}}. \quad (2.102)$$

С учетом соотношений (2.03) и (2.101) можно сделать вывод, что устойчивость и стабильность глубины хода рыхлительно-подрезающей лапы возможно при выполнении следующего условия:

$$Sh \sin(\alpha - \varphi) (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)^{1/2} \sec \alpha \leq 0,25 (B_{\text{л}} - s)^2 \sin(\gamma - \gamma_1) \sec \gamma_1 \sec \gamma \operatorname{tg} \psi. \quad (2.103)$$

Анализ полученного выражения (2.103) показывает, что тип почвы и ее

удельное сопротивление оказывают существенное влияние на составляющие силы сопротивления рабочего органа. Устойчивую и стабильную глубину обработки почвы при агротехническом уходе в лесных питомниках с различными почвенными условиями, можно обеспечить путем выбора рациональной геометрии и параметров рыхлительно-подрезающей лапы: угла наклона стойки  $\alpha$ , угла атаки  $\beta$  и угла установки ножей  $\gamma$ .

На основании проведенных исследований получена формула для расчета общего тягового сопротивления рабочих органов культиватора при агротехническом уходе в лесных питомниках:

$$R_x^{\text{общ}} = k_l [s_c h_c + 0,25(B_l - s_c)^2 \sin(\gamma_n - \gamma_{n1}) \sec \gamma_n \sec \gamma_{n1}]. \quad (2.104)$$

Полученные результаты аналитических исследований рыхлительно-подрезающей лапы культиватора при агротехническом уходе за выращиваемым посадочным материалом рекомендуется использовать при расчете и проектировании новых и совершенствовании существующих конструкций культиваторов для лесных питомников.

## 2.5 Исследования процесса выкопки посадочного материала

Выкопка посадочного материала в лесных питомниках является одной из наиболее важных технологических операций, так как от ее выполнения зависит качество и приживаемость сеянцев и саженцев при создании лесных культур. В наибольшей мере требованиям качества выкопки посадочного материала отвечают выкопочные машины с активными рабочими органами, обеспечивающими интенсивное рыхление слоя почвы и ее отделение от корневой системы растений [77, 108]. Однако, недостаточное количество исследований и отсутствие теоретических основ для расчета и проектирования выкопочных машин с активными рабочими органами сдерживает их разработку и применение в лесных питомниках. В связи с этим исследование процесса работы выкопочных машин с активными рабочими органами имеет важное теоретическое и практическое значение для их

расчета и проектирования.

Рассмотрим схему привода (рис. 2.13) активных рабочих органов на машины выкопчной МВ-1,3А.

Вращающий момент на приводной кривошип выкопчной машины МВ-1,3А передается от вала отбора мощности трактора и частота его вращения составит:

$$n_{KP} = n_{BOM} I_P I_{ЦП}, \quad (2.105)$$

где  $n_{KP}$  – частота вращения кривошипа,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $n_{BOM}$  – частота вращения вала отбора мощности трактора,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $I_P$  – передаточное отношение редуктора;  $I_{ЦП}$  – передаточное отношение цепной передачи.

Угловая скорость входного звена кривошипа определяется по формуле, град:

$$\omega_1 = \omega_{KP} = \frac{\pi n_{KP}}{30}. \quad (2.106)$$

Считаем известными следующие конструктивные параметры выкопчной машины:

$r_{KP}$  – длина приводного кривошипа, мм;

$l_{Ш}$  – длина шатуна, мм;

$l_P$  – длина промежуточного рычага, мм;

$L$  – расстояние от центра вращения кривошипа (т. А) до центра вращения выходного звена (т. D), мм;

$\beta$  – угол между горизонталью и рычагом DC в исходном положении кривошипа, град (рис. 2.13).

Для кинематического анализа примем за исходное вертикальное положение кривошипа AB. При этом промежуточный рычаг DC будет находиться в крайнем верхнем положении. Расстояние между центрами вращения входного и выходного звеньев механизма привода AD назовем «базовой длиной» и обозначим  $AD = l_B$ , а угол между вертикалью и его направлением – «базовым углом»:  $\angle EAD = \delta$ .

Определим основные параметры механизма привода, представляющего собой шарнирный четырехзвенник [84].

Из треугольника  $\Delta CDK$  найдем длину плеча CK, мм:

$$CK = DC \sin \beta = l_p \sin \beta, EE_1 = CK = l_p \sin \beta. \quad (2.107)$$

Далее получим:

$$E_1B = L - CK + r_{KP} = (L + r_{KP}) - l_p \sin \beta. \quad (2.108)$$

Из треугольника  $BE_1C$  имеем следующее:

$$BC \cos \alpha = BE_1 \text{ или } l_{III} \cos \alpha = (L + r_{KP}) - l_p \sin \beta. \quad (2.109)$$

Из этого выражения определим величину угла между вертикалью и направ-

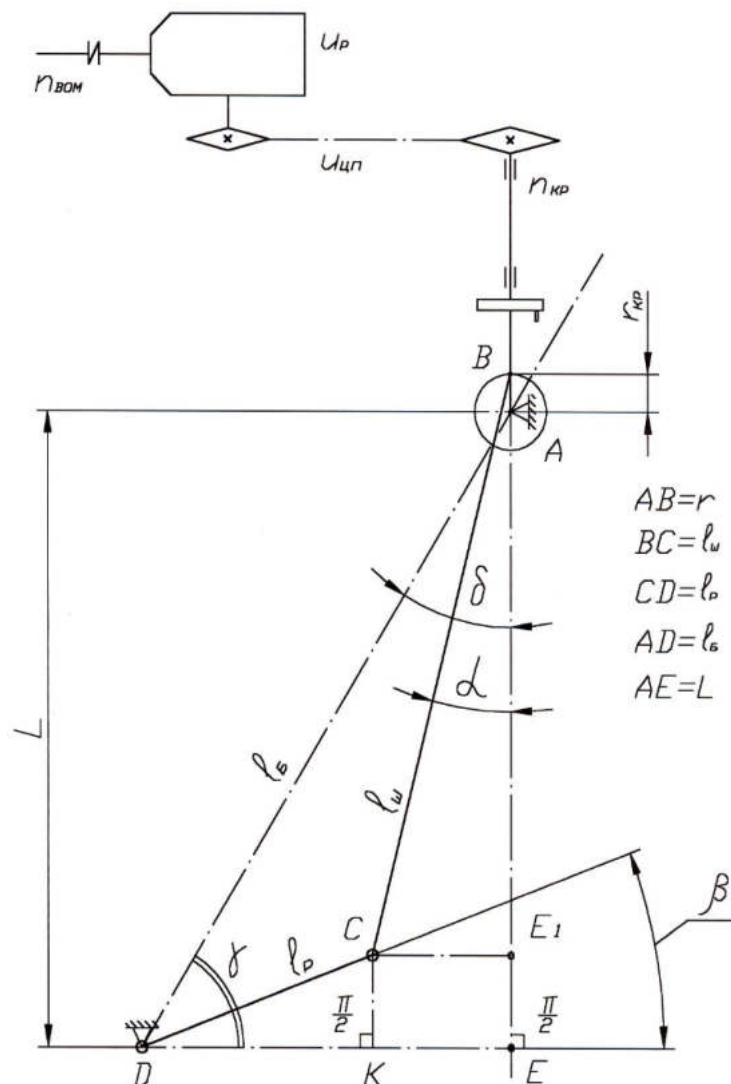


Рисунок 2.13 – Кинематическая схема приводов рабочих органов машины выкопной МВ-1,3А

лением шатуна в исходном положении кривошипа, град:

$$\alpha = \arccos \frac{(L+r_{KP})-l_p \sin \beta}{l_{III}}. \quad (2.110)$$



В прямоугольном треугольнике  $AED$  имеем:  $AE = L$ ,  $\angle AED = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$ ,  
 $DE = l_p \cos \beta + C_1E$ , причем:  $C_1E = l_{III} \sin \alpha$ . С учетом этого получим:  
 $DE = l_p \cos \beta + l_{III} \sin \alpha$ . Расстояние между центрами вращения привода рабочих  
органов, т. е. «базовую длину» можно выразить так:  $l_B = AD = \frac{AE}{\sin \gamma}$ , где угол  $\gamma$   
обозначен как  $\gamma = \angle ADE$  или  $\gamma = \arctg \frac{AE}{ED}$ .

На основании этих рассуждений получим выражение для угла  $\gamma$ , град:

$$\gamma = \arctg \frac{L}{l_p \cos \beta + l_{III} \sin \alpha}. \quad (2.111)$$

Тогда величина «базовой длины» составит, мм:

$$l_B = AD = \frac{AE}{\sin \gamma}, \quad (2.112)$$

или из следующих выражений:

$$\left. \begin{aligned} l_B &= \frac{L}{\sin \gamma} \\ l_B &= L \operatorname{cosec} \left( \arctg \frac{L}{l_p \cos \beta + l_{III} \sin \alpha} \right) \end{aligned} \right\}. \quad (2.113)$$

Для определения «базового угла» воспользуемся следующим соотношением:  $\delta = \frac{\pi}{2} - \gamma$ .

Тогда можно записать, град:

$$\delta = \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{L}{l_p \cos \beta + l_{III} \sin \alpha}. \quad (2.114)$$

Полученные выражения (2.113) и (2.114) рекомендуются для определения базовых параметров механизма привода машины выкопчной.

На основании известной методики и данных рекомендаций [29, 131, 226, 236] по аналогии работы решет, совершающих круговые колебания, получим выражение для угла отклонения от исходного положения выходного звена механизма  $\psi$  в функции угла поворота  $\omega t$  кривошипа (рис. 2.14):

$$\psi = \arccos \left( \frac{K_1 + K_2 \cos(\chi - \omega t)}{2l_p \sqrt{K_3 - K_2 \cos(\chi - \omega t)}} \right) + \arctg \left( \frac{-r_{KP} \sin(\chi - \omega t)}{l_B - r_{KP} \cos(\chi - \omega t)} \right) - \chi''. \quad (2.115)$$

В выражение (2.115) введем следующие обозначения:

$$\left. \begin{aligned}
 K_1 &= l_{III}^2 + l_P^2 - l_B^2 - r_{KP}^2; \\
 K_2 &= l_B r_{KP}; \\
 K_3 &= l_B^2 + r_{KP}^2; \\
 \chi &= \pi - \delta; \\
 \chi' &= \frac{3\pi}{2} + \beta - \delta = \pi + \beta - \gamma; \\
 \chi'' &= \pi + \beta - \arctg(L^{-1}(l_P \cos \beta + l_{III} \sin \alpha)).
 \end{aligned} \right\} (2.116)$$

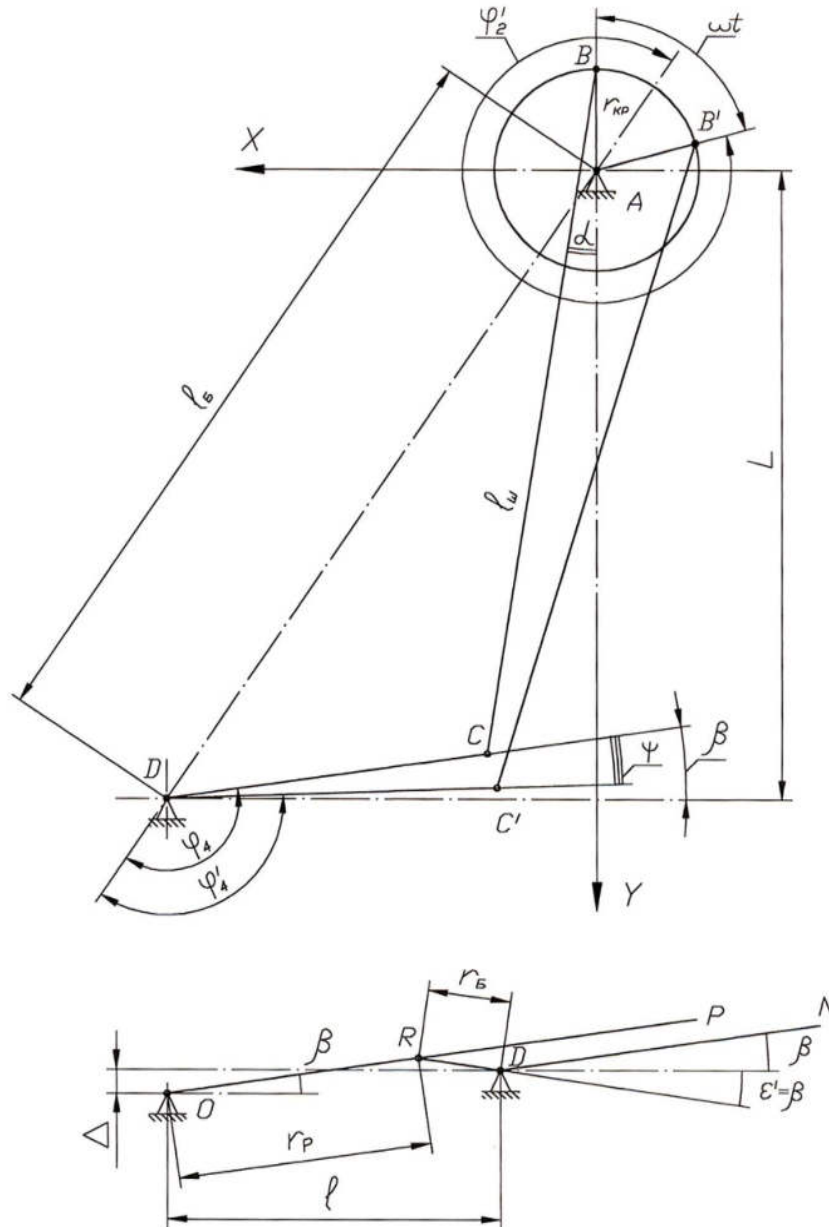


Рисунок 2.14 – Принципиальная схема рабочих органов машины выкопчной

Следует отметить, что углы поворота звеньев механизма привода машины выкопчной от базового направления принято отсчитывать против часовой стрелки. Угол поворота  $\omega t$  входного звена кривошипа отсчитывается от исходного вер-

тикального положения по часовой стрелке (рис. 2.14).

Било  $DN$  перемещается синхронно с планкой  $DC$ , благодаря жесткой связи между ними, т. е. угол  $\psi$  в каждый момент времени для планки и била остается постоянным. Обозначив длину била  $l_B = DN$ , получим выражение для дугового перемещения конечной точки  $N$  била в следующем виде, мм:

$$S_B = l_B \psi, \quad (2.117)$$

это перемещение пропорционально удалению точки  $N$  била от шарнира  $D$ , и для текущего ее значения можно записать, мм:

$$S_B^{TEK} = l_{TEK} \psi, \quad (2.118)$$

тогда линейное перемещение (по хорде) составит:

$$\left. \begin{aligned} S_B' &= 2l_B \sin \frac{\psi}{2} \\ (S')_B^{TEK} &= 2l_{TEK} \sin \frac{\psi}{2} \end{aligned} \right\} \quad (2.119)$$

Рассмотрим взаимодействие работы планок длиной  $l_P = OP$ , и бил длиной  $l_B = DN$ , которые колеблются в противофазе друг с другом: когда поднимаются планки, то била опускаются и наоборот (рисунок 2.14).

Примем известными следующие конструктивные размеры:

$OD = l$  – расстояние между центрами вращения бил и планок, мм;

$DR = r_B$  – радиус кронштейна, толкающего билы, мм;

$OR = r_P$  – расстояние от центра  $O$  вращения планок до точки приложения силы в исходном положении бил при  $\omega t = 0$  и  $\psi = 0$ , мм;

$\Delta$  – расстояние между центрами точек  $D$  и  $O$  по вертикали, мм;

$\varepsilon'$  – угол отклонения кронштейна  $DR$  от горизонтали, град.

Примем следующие конструктивные соотношения:

$$\varepsilon' = \beta \text{ и } \Delta \ll l,$$

для рассматриваемого случая примем следующее приближительное равенство:

$$|\psi_P| \approx \left| \psi \frac{DR}{OD} \right| = \left| \psi \frac{r_B}{r_P} \right|, \quad (2.120)$$

где  $\psi_P$  – текущее значение угла отклонения планки от ее исходного положения при  $\beta_P = \beta$ .

В соответствии выражением (2.120) можем записать следующее равенство:

$$r_P \cos \beta + r_B \cos \beta = (r_P + r_B) \cos \beta \approx l.$$

Откуда получим:

$$r_P \approx \frac{l - r_B \cos \beta}{\cos \beta}. \quad (2.121)$$

Тогда выражение (2.120) представим в следующем виде:

$$|\psi_P| \approx \psi \frac{r_B \cos \beta}{l - r_B \cos \beta}. \quad (2.122)$$

Принимая во внимание, что угол  $\psi$  отклонения планок и бил от исходного положения отсчитывается по часовой стрелке (рис. 2.14), то можно уйти от модуля:

$$\psi_P 2\pi = \psi \frac{r_B \cos \beta}{l - r_B \cos \beta}. \quad (2.123)$$

От угловых перемещений рабочих органов целесообразно перейти к угловым скоростям их вращения (рис. 2.14).

Очевидно, что:

$$\omega_{KP} t = \omega t = \chi - \phi_2 = (\pi - \delta) - \phi_2.$$

Значит:

$$\phi_2 = (\pi - \delta) - \omega t. \quad (2.124)$$

Угол  $\phi_3$  между базовым направлением и шатуном определим по аналогии с механизмом колебания решет. Для нашего случая имеем:

$$\phi_3 = \arccos \left( \frac{K_4 - K_2 \cos \phi_2}{2l_{III} \sqrt{K_3 - K_2 \cos \phi_2}} \right) + \arctg \left( \frac{-r_{KP} \sin \phi_2}{l_B - r_{KP} \cos \phi_2} \right), \quad (2.125)$$

где введено обозначение для константы:

$$K_4 = l_{III}^2 + l_B^2 - l_P^2 - r_{KP}^2. \quad (2.126)$$

Угол  $\phi_4$  между базовым направлением и промежуточным рычагом механизма привода составит, град:

$$\phi_4 = \arccos \left( \frac{K_1 + K_2 \cos \phi_2}{2l_P \sqrt{K_3 - K_2 \cos \phi_2}} \right) + \operatorname{arctg} \left( \frac{-r_{KP} \sin \phi_2}{l_B - r_{KP} \cos \phi_2} \right). \quad (2.127)$$

Окружная скорость била составит, м/мин<sup>-1</sup>:

$$V_{OKP}^B = V_B = \omega_4 l_B, \quad (2.128)$$

где  $\omega_4$  – угловая скорость била, мин<sup>-1</sup>:

$$\omega_4 = \omega_B = \frac{d\psi}{dt}.$$

Так как дифференцируемая функция  $\psi = f(t)$  является достаточно сложной и громоздкой, то перейдем к угловой скорости выходного звена механизма привода, используя «передаточные функции» и тогда получим [41]:

$$\omega_B = \omega_{KP} u_{42} = \frac{\pi n}{30} I_{42}, \quad (2.129)$$

где  $I_{42}$  – соотношение между окружной скоростью кривошипа и била. Для нашего случая имеем [250]:

$$I_{42} = \frac{r_{KP} \sin(\phi_2 - \phi_3)}{l_P \sin(\phi_4 - \phi_3)}.$$

Введем постоянную константу, учитывающую конструктивные параметры механизма привода планок:

$$\frac{r_B \cos \beta}{l - r_B \cos \beta} = \operatorname{const} = \lambda. \quad (2.130)$$

Тогда можем записать следующее выражение для угловой скорости планок, мин<sup>-1</sup>:

$$\omega_P = \omega_B \lambda, \quad (2.131)$$

С учетом этого получим:

$$\left. \begin{aligned} V_P &= \omega_P l_P = \omega_B \lambda \cdot l_P \\ V_P &= \frac{\pi n_{KP}}{30} I_{42} l_P \lambda \end{aligned} \right\} \quad (2.132)$$

Составляющие скоростей для рабочих органов по горизонтальной и вертикальной осям (рис. 2.14), получим на основании очевидной аналогии:

$$\left. \begin{aligned} V_{BX} &= V_B \cos(\beta + \psi); \\ V_{BY} &= V_B \sin(\beta + \psi); \\ V_{PX} &= V_B \cos(\beta + \psi) = \lambda V_{BX}; \\ V_{PY} &= V_B \sin(\beta + \psi) = \lambda V_{BY}. \end{aligned} \right\} \quad (2.133)$$

Для силового анализа действия рабочих органов машины на пласт почвы рассмотрим ускорение точек била, представляющее собой сумму вращательной и центростремительной ее составляющих:

$$\vec{j}_B = \vec{j}_{BP} + \vec{j}_C, \quad (2.134)$$

причем:

$$j_{BP} = \varepsilon_B l_B, \quad (2.135)$$

где  $\varepsilon_B$  – угловое ускорение била.

$$j_C = \omega_B V_B = \omega_B^2 l_B.$$

В этом выражении:

$$\omega_B = \frac{\pi n_{KP}}{30} I_{42}. \quad (2.136)$$

С учетом известных положений можем записать:

$$\varepsilon_4 = \omega_{KP}^2 I'_{42} = \left( \frac{\pi n_{KP}}{30} \right)^2 I'_{42}, \quad (2.137)$$

где  $I'_{42}$  – представляет собой соотношение квадрата угловой скорости кривошипа и углового ускорения била.

В рассматриваемом случае величину  $I'_{42}$  можно выразить так:

$$I'_{42} = \frac{l_P \sin(\phi_4 - \phi_3)}{r_{KP} \cos(\phi_2 - \phi_3) + I_{32}^2 l_{III} - I_{42}^2 l_P \cos(\phi_4 - \phi_3)}, \quad (2.138)$$

где:

$$\left. \begin{aligned} I_{32} &= \frac{-r_{KP} \sin(\phi_2 - \phi_4)}{l_{III} \sin(\phi_3 - \phi_4)} \\ I_{42} &= \frac{r_{KP} \sin(\phi_2 - \phi_3)}{l_P \sin(\phi_4 - \phi_3)} \end{aligned} \right\} \quad (2.139)$$

Модуль полного ускорения била:

$$j_B = l_B \sqrt{\varepsilon_4^2 + \omega_{KP}^2}. \quad (2.140)$$

После преобразования получим:

$$j_B = \omega_{KP}^2 l_B \sqrt{(I'_{42})^2 + I_{42}^4}. \quad (2.141)$$

Составляющая ускорения планки:

$$\left. \begin{aligned} j_{BP}^{BP} &= j_{BP} \lambda \\ j_{p}^{Ц} &= j_{Ц} \lambda \end{aligned} \right\}. \quad (2.142)$$

Полное ускорение планки:

$$j_P = j_B \lambda. \quad (2.143)$$

Окончательно получим выражения для полного ускорения планок и бил, рабочих органов машины выкопчной:

$$\left. \begin{aligned} j_B &= \omega_{KP}^2 r_{KP} \left[ \frac{l_B}{r_{KP}} \sqrt{(I'_{42})^2 + I_{42}^4} \right]; \\ j_P &= j_B \lambda \end{aligned} \right\}. \quad (2.144)$$

Следует отметить, что  $j_B$  и  $j_P$  – в противофазах по направлению колебаний.

Центростремительные составляющие ускорений направлены к точкам колебаний  $D$  и  $O$  (рис. 2.14), а вращательные – по касательным к дугам, описываемым билами  $DN$  и планками  $OP$ .

Введя обозначение:

$$E = \arctg \frac{\varepsilon_4}{\omega_4^2} = \arctg \frac{\varepsilon_B}{\omega_B^2} = \arctg \frac{I'_{42}}{I_{42}^2}, \quad (2.145)$$

и запишем составляющую полного ускорения рабочих органов:

$$\left. \begin{aligned} j_{YB} &= j_B \sin \left( \frac{\pi}{2} - E + \beta + \psi \right); \\ j_{XB} &= j_B \cos \left( \frac{\pi}{2} - E + \beta + \psi \right) \end{aligned} \right\}. \quad (2.146)$$

и для планок:

$$\left. \begin{aligned} j_{YP} &= \lambda j_{YB} \\ j_{XP} &= \lambda j_{XB} \end{aligned} \right\} \quad (2.147)$$

Линейные ускорения рабочих органов изменяются пропорционально расстоянию от их шарниров:

$$j_B^{TEK} = \frac{\pi n_{KP}}{30} l_{TEK} \sqrt{(I'_{42})^2 + I_{42}^4},$$

или:

$$\left. \begin{aligned} j_B^{TEK} &= \omega^2_{KP} r_{KP} \left[ \frac{l_{TEK}}{r_{KP}} \sqrt{(I'_{42})^2 + I_{42}^4} \right]; \\ j_P^{TEK} &= \lambda j_B^{TEK} \end{aligned} \right\} \quad (2.148)$$

как видно, с изменением размеров бил и планок, переменный кинематический режим изменяется от нуля до максимума.

Таким образом, интенсификация процесса разрушения пласта почвы и отделения ее от корневых систем растений возможна, как видно из выражения (2.115), путем увеличения углов  $\psi$  и  $\psi_P$ , для этого необходимо стремиться к уменьшению длины промежуточного рычага  $l_P$ , при постоянной длине кривошипа (при  $r_{KP} = \text{const}$ ).

Для анализа состояния почвы на рабочих органах выкопчной машины рассмотрим участок шириной  $L_B$ , на котором размещены два била и одна планка (рис. 2.15), со следующими обозначениями, мм:

$L_B$  – расстояние между билами;

$l_{PAB}$  – длина планки.

Тогда можем записать:

$$l_{PAB} = l_{PBYXЛ} - l, \quad (2.149)$$

где  $l_{PBYXЛ}$  – длина планок, мм:  $l_{PBYXЛ} < l_B$ ;  $h_{ПЛ}$  – глубина подрезания пласта почвы, мм. На этом участке происходит непосредственное рыхление почвы.

Объем разрыхляемого слоя почвы составит, м<sup>3</sup>:



$$V'_{ПЛ} = h L_B (l_{РВХЛ} - l). \quad (2.150)$$

При рассмотрении почвы, как связанной среды с массой, равномерно расп-

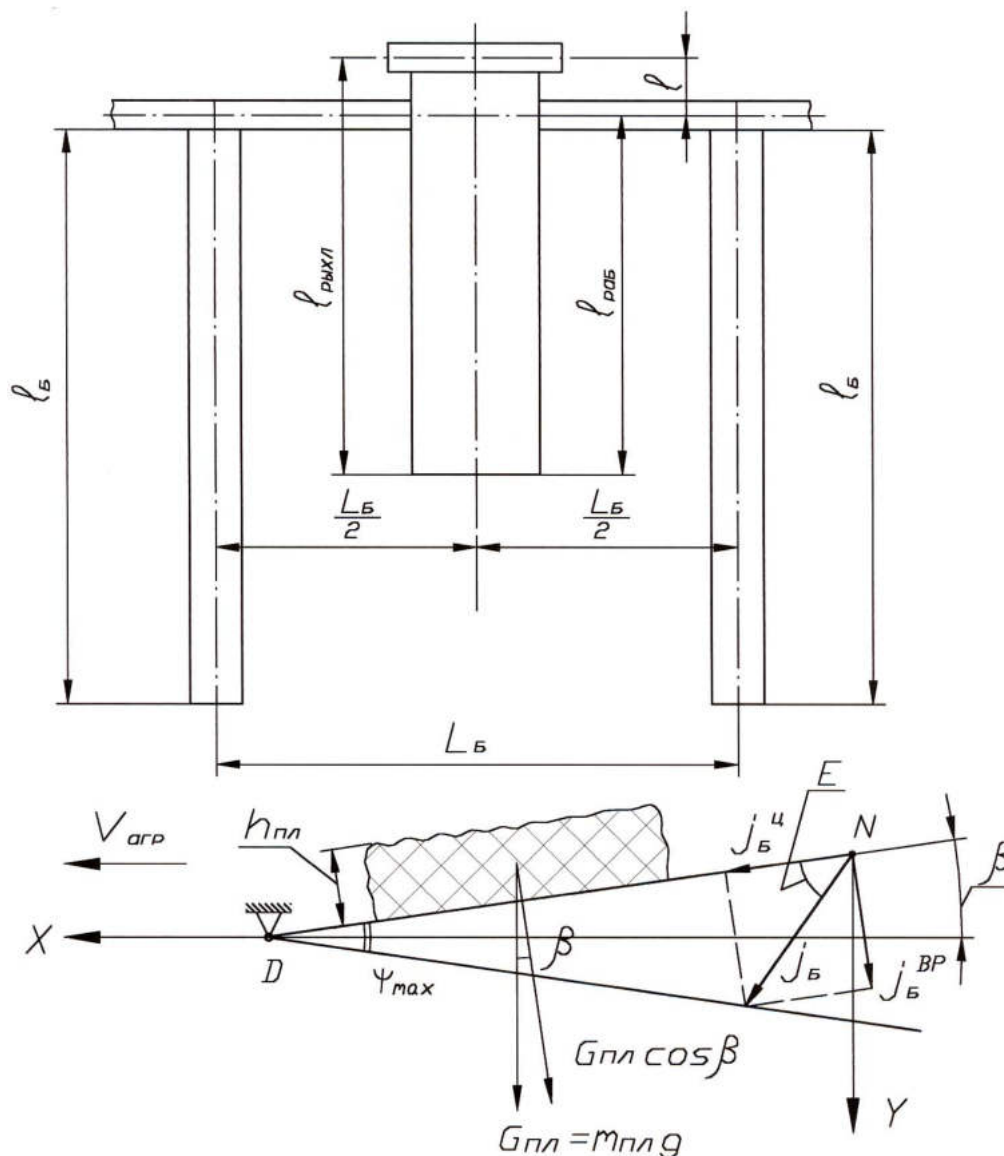


Рисунок 2.15 – Схема расположения пласта почвы на рабочих органах машины выкопчной

ределенной по всему объему, то массу пласта почвы можно выразить следующим выражением:

$$m_{ПЛ} = V'_{ПЛ} \rho_{П}, \quad (2.151)$$

где  $\rho_{П}$  – плотность почвы, кг/см<sup>3</sup>.

При рассмотрении пласта почвы в квазистатическом положении, расположенным под углом  $\beta$  к продольной оси  $X$  и условию, что  $\omega t = 0$  и  $\psi = \psi_P = 0$

и незначительном угле  $\beta$  можно предположить, что  $\cos \beta \approx 1$ . Тогда можно представить пласт почвы в виде тела, опирающегося на опоры (рис. 2.15), и его разрушение будет происходить под действием максимального изгибающего момента:

$$M_{\max} = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} q \left( \frac{L_B}{2} \right)^2, \quad (2.152)$$

где  $q$  – интенсивность действующей нагрузки:

$$q = \frac{m_{\text{ПЛ}}}{2}; \quad \frac{L_B}{2} = \frac{m_{\text{ПЛ}}}{L_B}. \quad (2.153)$$

Далее получим:

$$M_{\max} = \frac{1}{8} q \frac{L_B^2}{4} = \frac{1}{32} q L_B^2. \quad (2.154)$$

Интенсивность нагрузки  $q$  с учетом выражений (2.150) и (2.151) составит:

$$q = \frac{h_{\text{ПЛ}} L_B \rho_{\text{П}} (l_{\text{РЫХЛ}} - l)}{L_B} = h_{\text{ПЛ}} \rho_{\text{П}} (l_{\text{РЫХЛ}} - l). \quad (2.155)$$

Далее можем записать, кг/м:

$$M'_{\max} = \frac{h_{\text{ПЛ}} \rho_{\text{П}}}{32} (l_{\text{РЫХЛ}} - l) L_B^2. \quad (2.156)$$

После проведенных преобразований получим выражение для максимального «статического» изгибающего момента:

$$M_{\max} = \frac{g h_{\text{ПЛ}}}{32} \rho_{\text{П}} L_B^2 (l_{\text{РЫХЛ}} - l). \quad (2.157)$$

Максимальные напряжения изгиба, возникающие в сечении пласта почвы, проходят через центр его тяжести:

$$\sigma_{\text{и}}^{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{\text{и}}}, \quad (2.158)$$

где  $W_{\text{и}}$  – момент сопротивления изгибу:

$$W_u = \frac{h_{\Pi\Pi} \left(\frac{L_B}{2}\right)^2}{6} = \frac{h_{\Pi\Pi} L_B^2}{24}. \quad (2.159)$$

Тогда максимальное напряжение изгиба:

$$\sigma_{\text{и}}^{\text{max}} = \frac{g h_{\Pi\Pi} \rho_{\Pi} (l_{\text{рыхл}} - l)}{32 h_{\Pi\Pi} L_B^2}. \quad (2.160)$$

После сокращений получим:

$$\sigma_{\text{и}}^{\text{max}} = 0,75 g \rho_{\Pi} (l_{\text{рыхл}} - l). \quad (2.161)$$

Условием разрушения (крошения) пласта почвы является следующее:

$$\sigma_{\text{и}}^{\text{max}} \geq [\sigma_u], \quad (2.162)$$

где  $[\sigma_u]$  – предельное напряжение изгиба.

В процессе рыхления пласта почвы при движении бил вниз планки поднимаются вверх и пласт почвы занимает положение, показанное на рисунке 2.16. Для дальнейшего анализа введем коэффициенты кинематического режима рабочих органов:  $k'_B$  – для бил и  $k'_P$  – для планок, представляющие собой отношение вертикальной проекции полного ускорения к ускорению свободного падения  $g$ :

$$k'_B = \frac{j_Y}{g}; \quad k'_P = \frac{j_Y^P}{g} = \frac{\lambda \cdot j_Y}{g} \approx \lambda k'_B.$$

Значения этих коэффициентов изменяются от 0 в шарнирах до предельных значений в конечных точках  $N$  и  $P$  по линейному закону:

$$\left. \begin{aligned} k'_B &= k_B^{\text{max}} \frac{l_{\text{ТЕК}}}{l_B}; \\ k'_P &= k_P^{\text{max}} \frac{l_{\text{ТЕК}}}{l_B} = \lambda k'_B \end{aligned} \right\} \quad (2.163)$$

максимальное значение коэффициента кинематического режима составляет:

$$k_B^{\text{max}} = \frac{j_Y^{\text{max}}}{g} = \frac{\omega_{\text{КР}}^2 r_{\text{КР}}}{g} \left(\frac{l_P}{r_{\text{КР}}}\right) \sup \left( \sqrt{(I'_{42})^2 + I_{42}^4} \right). \quad (2.164)$$

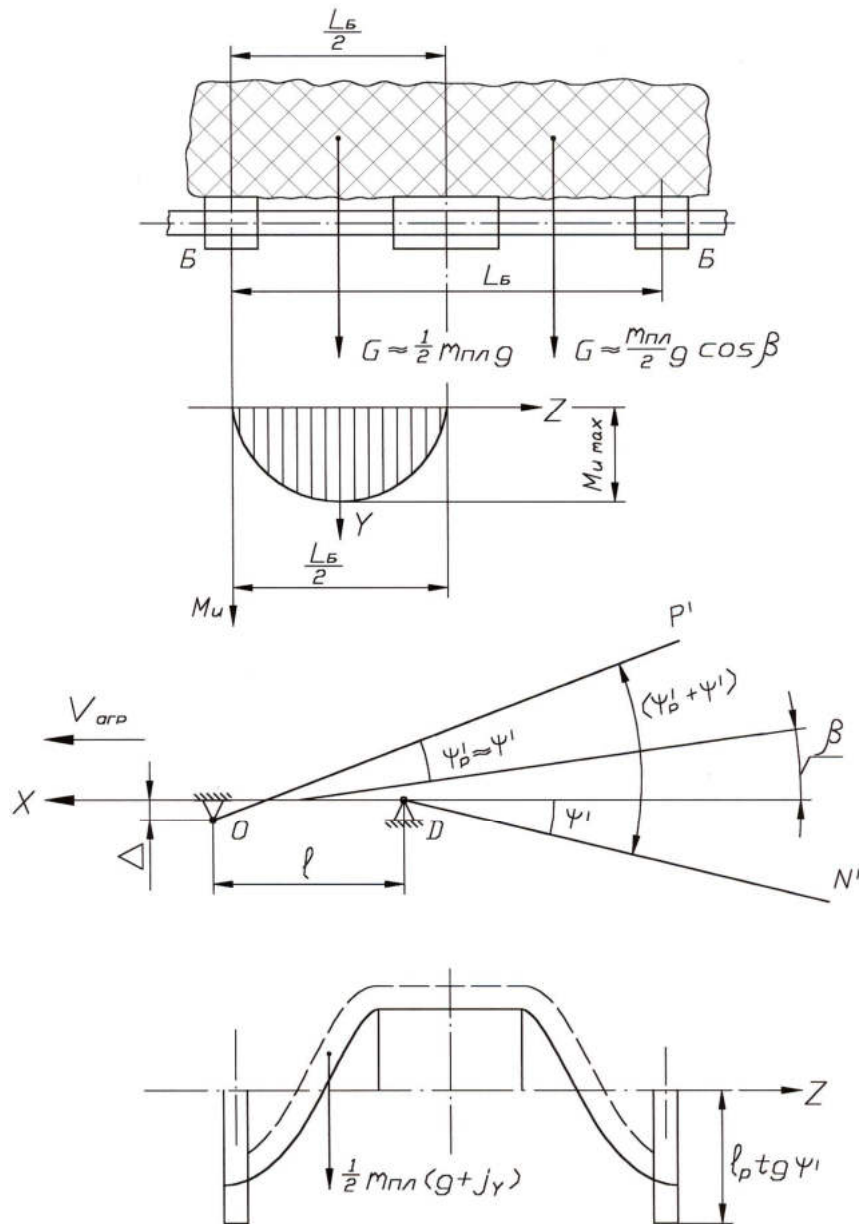


Рисунок 2.16 – Схема для анализа процесса рыхления пласта почвы

Поскольку величина:

$$k = \frac{\omega_{KP}^2 r_{KP}}{g} = \text{const},$$

то коэффициент кинематического режима привода примет следующий вид:

$$k_B^{\max} = k \frac{l_p}{r_{KP}} \sup \left( \sqrt{(I'_{42})^2 + I_{42}^4} \right). \quad (2.165)$$

и аналогично получим:

$$k_P^{\max} \approx \lambda k_B^{\max}. \quad (2.166)$$

Для оценки эффективности рыхления почвенного пласта рабочими органами выкопчной машины введем следующие усредненные величины коэффициентов:

$$k_B^{CP} = k_B \text{ и } k_P^{CP} = k_P,$$

$$\left. \begin{aligned} k_B &= \frac{\omega^2 r_{KP} r_{KP}}{g} \left( \frac{l_P}{2r_{KP}} \right) \sup \left( \sqrt{(I'_{42})^2 + I_{42}^4} \right) \\ k_P &= \lambda k_B \end{aligned} \right\} \quad (2.167)$$

При коэффициенте кинематического режима бил  $k_B > 1$  и их опускании вниз, пласт почвы «отстает» от бил, а затем догоняет и ударяется, что увеличивает интенсивность процесса рыхления почвы. При коэффициенте кинематического режима планок  $k_P > 1$  и их подъеме вверх, пласт почвы поднимается и на центр его тяжести действует дополнительная сила, Н:

$$G_g = \frac{1}{2} m_{ПЛ} (g + jY). \quad (2.168)$$

Тогда можем записать, Н:

$$G_{дин} = G k_P = \lambda G k_B. \quad (2.169)$$

С учетом взаимного перемещения планок и бил максимальные изгибающие моменты в пласте почвы составят:

в верхнем положении пласта почвы:

$$M_{\max}^B = M_{\max} \frac{jY}{g} \lambda \cos(\beta + \psi_P); \quad (2.170)$$

в нижнем положении пласта почвы:

$$M_{\max}^H = M_{\max} \frac{jY}{g} \lambda \cos(\psi - \beta). \quad (2.171)$$

Средний динамический изгибающий момент, действующий на пласт почвы, составит:

$$M_{CP}^{дин} = \frac{1}{2} [M_{\max}^B + M_{\max}^H], \quad (2.172)$$

или в развернутом виде :

$$M_{CP}^{\text{дин}} = \frac{M_{\text{max}}}{2} \lambda \frac{jY}{g} [\cos(\beta + \psi_p) + \cos(\psi - \beta)]. \quad (2.173)$$

После подстановки выражения (2.163) это выражение примет следующий вид:

$$M_{CP}^{\text{дин}} = \frac{h_{\text{ПЛ}} \rho_{\text{П}}}{64} \lambda_{\text{к}} j_Y (l_{\text{РЫХЛ}} - l) L_{\text{Б}}^2 [\cos(\psi_p + \beta) + \cos(\psi - \beta)]. \quad (2.174)$$

Напряжение изгиба:

$$\sigma_u^{\text{дин}} = \frac{M_{CP}^{\text{дин}}}{W_u} = \frac{24 M_{CP}^{\text{дин}}}{h_{\text{ПЛ}} L_{\text{Б}}^2}. \quad (2.175)$$

Окончательно напряжение изгиба пласта почвы:

$$\sigma_u^{\text{дин}} = 0,375 \rho_{\text{П}} \lambda j_Y (l_{\text{РЫХЛ}} - l) [\cos(\psi_p + \beta) + \cos(\psi - \beta)]. \quad (2.176)$$

Эта зависимость (2.176) позволяет оценивать значение  $\sigma_u$  в каждый момент времени. Следовательно, условием гарантированного разрушения пласта почвы является следующее:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\text{и}}^{\text{дин}} \text{ max} &= 0,375 g \sigma_{\text{П}} \lambda_{\text{к}} k_{\text{Б}} (l_{\text{РЫХЛ}} - l) [\cos(\psi_p^{\text{max}} + \beta) + \cos(\psi_{\text{max}} - \beta)] \\ \sigma_{\text{и}}^{\text{дин}} \text{ max} &\geq [\sigma_{\text{и}}] \end{aligned} \right\}. \quad (2.177)$$

В формуле (2.177) значение  $\psi_{\text{max}}$  определяется в соответствии с выражением (2.115) при  $\omega t = (\pi + \alpha)$ , так как:

$$\psi_p^{\text{max}} = \lambda \psi_{\text{max}}. \quad (2.178)$$

Таким образом, проведенные исследования позволяют установить, что эффективность процесса рыхления пласта почвы и отделения ее от корневых систем растений, повышается с увеличением коэффициента кинематического режима рабочих органов. Расстояние между центрами вращения звеньев механизма привода, определяется проведением экспериментальных исследований и с учетом требуемой степени рыхления почвы. Существенное влияние на процесс рыхления пласта почвы оказывают режимы работы выкопной машины и свойства почвы.

## 2.6 Выводы

1 Выбраны конструктивно-технологические схемы сеялок для посева крупноплодных семян (желудей) и мелких семян хвойных пород (ель, сосна, лиственница) в лесных питомниках.

2 Предложены формулы для определения параметров и режимов работы ячеисто-транспортного высевающего аппарата сеялки при поштучно-равномерном посеве желудей.

3 Определены основные выражения для расчета параметров и режимов работы штифтового высевающего аппарата, обеспечивающих равномерно-разреженное распределение мелких семян хвойных пород в посевной строчке.

4 Получены аналитические зависимости для расчета нормы высева и количества высеваемых семян ели в зависимости от конструктивно-технологических параметров и режимов работы сеялки.

5 На основании аналитических исследований процесса посева штифтовым высевающим аппаратом получены зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы сеялки, обеспечивающей равномерно-разреженный посев мелких семян хвойных пород.

6 Получены зависимости для определения параметров и режимов работы прикатывающего катка, обеспечивающих оптимальную плотность почвы в зоне заделки семян.

7 Предложены аналитические выражения для определения параметров рыхлительно-подрезающей лапы культиватора, обеспечивающих устойчивую и стабильную ее работу при агротехническом уходе в лесных питомниках.

8 Установлено влияние параметров и режимы работы выкопчной машины на эффективность процесса рыхления пласта почвы и отделения почвы от корневых систем растений.

### 3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАСЫПКИ ПОСЕВНОЙ БОРОЗДКИ ПОЧВОЙ

#### 3.1 Движение частиц почвы при воздействии на неё загортачей

Для обоснования основных конструктивных параметров загортача сеялки СЛН-5А, предназначенного для заделки семян в посевной бороздке почвой, целесообразно разработать математическую модель, с физической адекватностью процесса.

Конструкцию загортача для заделки посевной бороздки почвой предлагается выполнить, в виде двух *V*-образных направляющих *1* с ориентировочным их диаметром *D* равным 20 ... 22 мм и прикрепленными к ним в нижней части прутков *2* диаметром *d*, размер которого необходимо обосновать, и смонтированных на кронштейне *3* (рис. 3.1).

Для обеспечения технологического процесса направляющие загортача должны быть отклонены в стороны под углом  $\alpha$  между ними. Передние части нап-

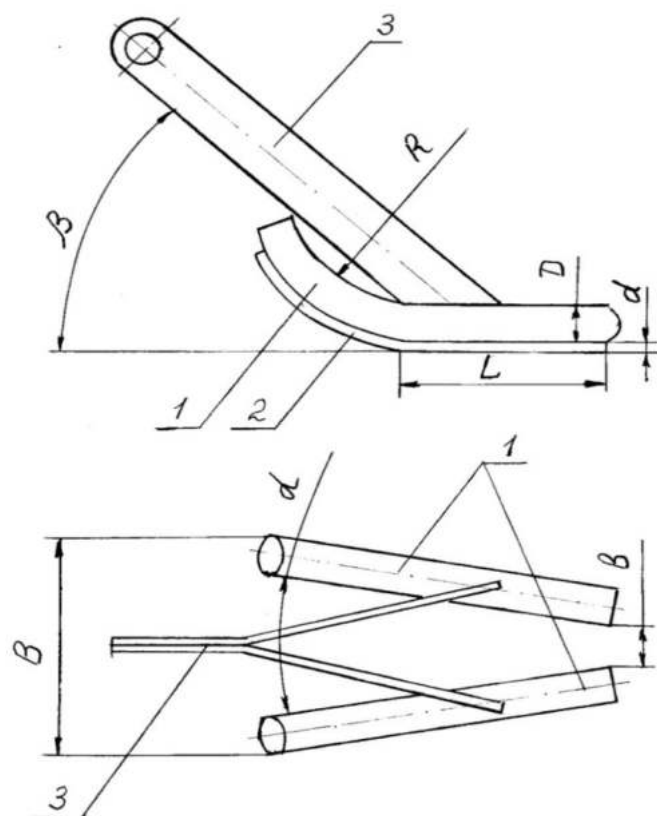


Рисунок 3.1 – Конструкция загортача для заделки посевной бороздки почвой



направляющих загортача, должны быть отклонены вверх с радиусом  $R_{и}$ , с расстоянием  $B$  между ними. В задней части расстояние  $b$  между направляющими загортача должно быть в пределах ширины посевной бороздки. В процессе выполнения технологического процесса рабочая часть направляющих загортача обеспечивает сдвигание почвы в посевную бороздку и ее параметры необходимо определить.

В рамках конечного приближения почва представляется совокупностью большого количества ( $10^4 \dots 10^6$ ) частиц, которые взаимодействуют между собой и с загортачом в процессе выполнения технологического процесса (рис. 3.2).

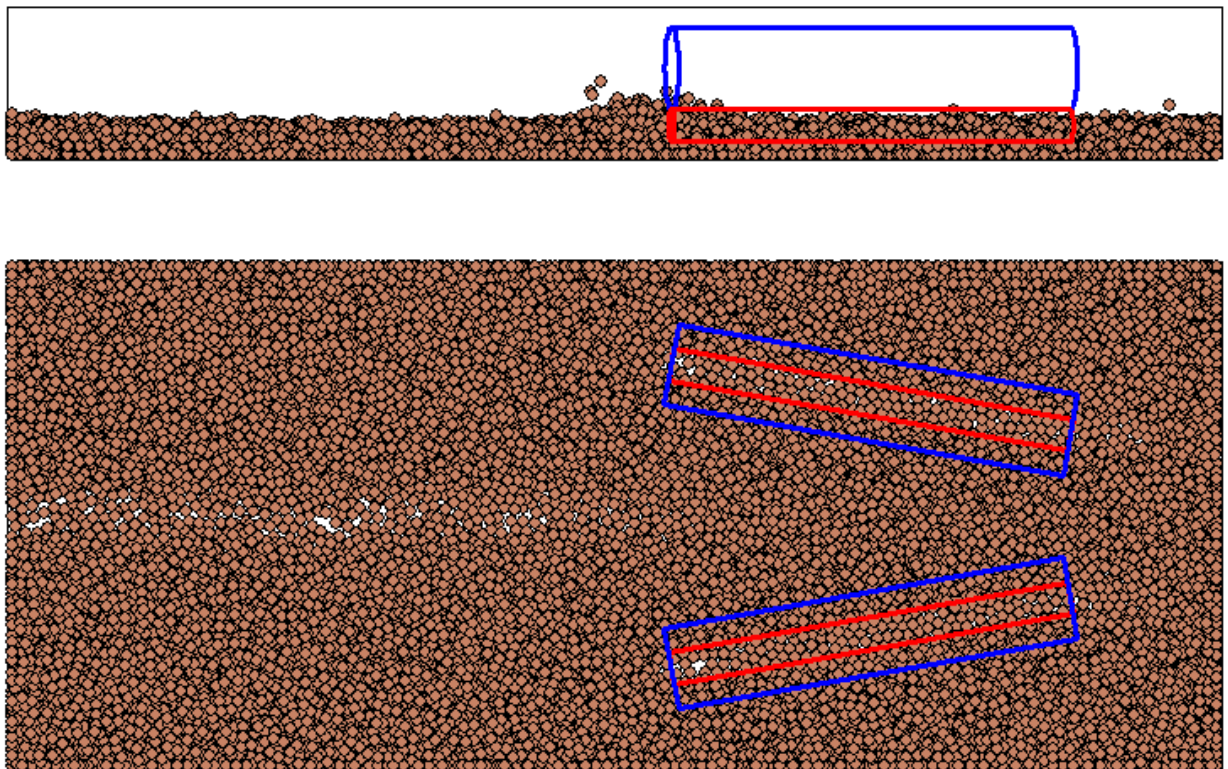
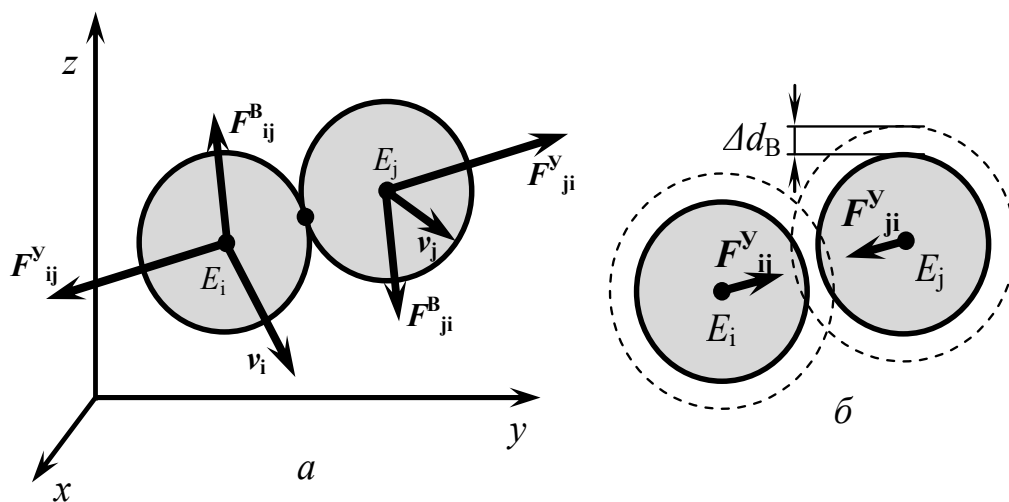


Рисунок 3.2 – Характер взаимодействия почвы и загортача

Для моделирования процесса перемещения загортачем частиц почвы при заделке посевной бороздки возможно использование метода динамики частиц, который применяется при моделировании различных средств и показал эффективность [67, 76, 139, 256, 263, 284-287].

Для анализа процесса сдвигания почвы загортачем принято допущение, что

почва состоит из частиц с условным диаметром  $d_{\text{Э}}$  равным 1 мм. При взаимодействии частиц почвы друг с другом между ними возникают силы трения и упругие силы (рис. 3.3). Для рассмотрения процесса взаимодействия частиц почвы друг с другом воспользуемся общепринятыми законами динамики.



$a$  – силы отталкивания;  $b$  – силы притяжения

Рисунок 3.3 – Силы, действующие на частицы почвы

При моделировании процесса движения частиц почвы их положение  $E_i$  представим в трехмерном пространстве  $XYZ$  с переменными координатами  $(x_i, y_i, z_i)$  и составляющими скоростями  $(v_{xi}, v_{yi}, v_{zi})$ . Взаимодействие частиц почвы друг с другом примем упруго-вязким, это позволит использовать в модели следующие показатели: модуль упругости, коэффициент трения и деформацию на разрыв. Между частицами почвы возникают силы их отталкивания, при расстоянии между  $r_{ij}$  центрами  $i$ -ой и  $j$ -ой частицы менее ее диаметра  $d_{\text{Э}}$  (рис. 3.3,  $a$ ), и силы притяжения, при расстоянии  $d_{\text{Э}} > r_{ij} > r_k$  (рис. 3.3,  $b$ ). Где  $r_k = k_0 d_{\text{Э}}$  – критическое расстояние при котором частицы почвы взаимодействуют друг с другом;  $k_0$  – коэффициент выражения критического расстояния, рекомендуется принимать равным 1,1 мм. Сила  $\vec{F}_{ij}$ , действующая  $i$  частицы почвы на частицу  $j$ , принимается на основании третьего закона Ньютона и с учетом того, что сила со стороны частицы  $j$ , действующая на частицу  $i$ , является такой же по модулю и противоположной по

направлению:  $\vec{F}_{ij} = -\vec{F}_{ji}$ .

Запишем уравнения движения частиц почвы, с учетом второго закона Ньютона, в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{\ominus}} \left( \begin{array}{l} c_{ij}(d_{\ominus} - r_{ij}) \frac{(x_i - x_j)}{r_{ij}} + k_{ij}(r_{ij} - d_{\ominus})(v_{xi} - v_{xj}), \quad r_{ij} < k_{Oij}d_{\ominus}; \\ 0, \quad r_{ij} \geq k_{Oij}d_{\ominus}; \end{array} \right); \\ m_i \frac{d^2 y_i}{dt^2} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{\ominus}} \left( \begin{array}{l} c_{ij}(d_{\ominus} - r_{ij}) \frac{(y_i - y_j)}{r_{ij}} + k_{ij}(r_{ij} - d_{\ominus})(v_{yi} - v_{yj}), \quad r_{ij} < k_{Oij}d_{\ominus}; \\ 0, \quad r_{ij} \geq k_{Oij}d_{\ominus}; \end{array} \right); \\ m_i \frac{d^2 z_i}{dt^2} = -m_i g + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{\ominus}} \left( \begin{array}{l} c_{ij}(d_{\ominus} - r_{ij}) \frac{(z_i - z_j)}{r_{ij}} + k_{ij}(r_{ij} - d_{\ominus})(v_{zi} - v_{zj}), \quad r_{ij} < k_{Oij}d_{\ominus}; \\ 0, \quad r_{ij} \geq k_{Oij}d_{\ominus}; \end{array} \right), \end{array} \right. \quad (3.1)$$

где  $i$  – номер частицы почвы;  $m_i$  – масса частицы почвы;  $x_i, y_i, z_i$  – координаты частиц почвы;  $t$  – время;  $N_{\ominus}$  – количество частиц;  $j$  – номер частицы, контактирующей с частицей  $i$ -й;  $c_{ij}$  и  $k_{ij}$  – коэффициенты взаимодействия и трения частиц  $i$  и  $j$ ;  $r_{ij}$  – расстояние между частицами  $i$  и  $j$ ;  $v_{xi}, v_{yi}$ , и  $v_{zi}$  – координаты составляющих скорости  $i$ -ой частицы;  $g$  – ускорение свободного падения. Расстояние  $r_{ij}$  между частицами почвы  $E_i(x_i, y_i, z_i)$  и  $E_j(x_j, y_j, z_j)$  можно определить на основании теоремы Пифагора по следующей формуле:

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}. \quad (3.2)$$

Решая систему дифференциальных уравнений, получим функции  $x_i(t), y_i(t), z_i(t)$ , описывающие траектории движения частиц почвы.

Предложенная математическая модель является алгоритмической, а не аналитической и ее выходные показатели можно определить с помощью пространственной и временной дискретизации алгоритма расчета [ 136, 243, 285]. Такой расчет является достаточно сложным и состоит из трех циклов, вложенных один в другой: по номеру компьютерного эксперимента, по номеру временного шага и по номеру частицы почвы.

### 3.2 Параметры математической модели

Параметры математической модели можно определить используя ряд показателей, связанных с дискретизацией почвы:  $m_i$ ,  $d_{\text{э}}$ ,  $c_{ij}$ ,  $k$ . Для расчета масса частицы почвы  $m_{\text{э}}$  определяется по табличным значениям ее плотности:

$$m_i = \rho \cdot V_{\text{э}} = \rho \cdot \frac{4\pi}{3} \left( \frac{d_{\text{э}}}{2} \right)^3 \cdot k_{\phi} = \frac{\pi}{6} \rho d_{\text{э}}^3 k_{\phi}, \quad (3.3)$$

где  $\rho$  – плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{\text{э}}$  – объем частицы почвы, м<sup>3</sup>;  $k_{\phi}$  – коэффициент, учитывающий, что частицы почвы не полностью заполняют все пространство и между ними остаются поры. Коэффициент  $k_{\phi}$ , зависящий от плотности почвы и его рекомендуется принимать равным 1,4 мм.

Для расчета взаимодействия двух частиц почвы примем табличное значение модуля упругости почвы и воспользуемся выражением:

$$c_{\Pi} = E \cdot \frac{\pi d}{4} k_{\phi}, \quad (3.4)$$

где  $E$  – модуль упругости почвы, Па.

Коэффициент вязкого трения  $k_{ij}$  зависит от внутреннего трения почвы и рекомендуется принимать по справочным данным.

Коэффициент  $\alpha$  взаимодействия между частицами почвы определяется с учетом ее деформации при растяжении.

Методом численного интегрирования дифференциальные уравнения движения частиц почвы можно представить в следующем виде:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = k_1 \frac{dx}{dt} + k_2 x + k_3 \quad \text{или} \quad (3.5)$$

$$ma = k_1 v + k_2 x + k_3, \quad (3.6)$$

где:  $m$  – масса частицы почвы;  $x$  – функция, определяемая координатами  $x$ ,  $y$  и  $z$ ;  $t$  – время;  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  – величины, зависящие от других функций дифференциальных

уравнений;  $a$  – ускорение декартовой компоненты  $a_x$ ,  $a_y$  и  $a_z$ ;  $v$  – скорость декартовой компоненты  $v_x$ ,  $v_y$  и  $v_z$ .

С учетом принятых допущений, эти уравнения представляют собой задачу Коши и для ее решения рекомендуется использовать численный метод Рунге-Кутты второго порядка (модифицированный метод Эйлера-Коши) [85] и представленный следующими зависимостями:

$$x^{\tau+1} = x^{\tau} + v^{\tau} \cdot \Delta t + \frac{k_1 v^{\tau} + k_2 x^{\tau} + k_3}{m} \cdot \frac{(\Delta t)^2}{2}; \quad (3.7)$$

$$v^{\tau+1} = v^{\tau} + \frac{k_1 v^{\tau} + k_2 x^{\tau} + k_3}{m} \cdot \Delta t, \quad (3.8)$$

где  $\tau$ ,  $\tau+1$  и  $\Delta t$  – шаги интегрирования.

Этот метод решения имеет второй порядок точности, по отношению к искомой функции  $x(t)$ . Шаг интегрирования  $\Delta t$  рекомендуется принять равным 0,001 с.

Для системы дифференциальных уравнений примем следующие первоначальные условия: положение в пространстве и скорость движения. В начальный момент частицы почвы расположены в прямоугольном параллелепипеде и их координаты можно определить с помощью генератора случайных чисел и в соответствии с законом равномерного распределения:

$$x_i(t=0) = x_{\Gamma 1} + F_{1i} \cdot (x_{\Gamma 2} - x_{\Gamma 1}); \quad (3.9)$$

$$y_i(t=0) = y_{\Gamma 1} + F_{2i} \cdot (y_{\Gamma 2} - y_{\Gamma 1}); \quad (3.10)$$

$$z_i(t=0) = z_{\Gamma 1} + F_{3i} \cdot (z_{\Gamma 2} - z_{\Gamma 1}); \quad (3.11)$$

где  $F_{1i}$ ,  $F_{2i}$ ,  $F_{3i}$  – случайные величины, значения которых принимаются в пределах от 0 до 1;  $x_{\Gamma 1}$ ,  $x_{\Gamma 2}$ ,  $y_{\Gamma 1}$ ,  $y_{\Gamma 2}$ ,  $z_{\Gamma 1}$ ,  $z_{\Gamma 2}$  – координаты границ куба.

Скорость движения частиц почвы в начальный момент времени принимается равной нулю:

$$v_{xi}(t=0) = 0; v_{yi}(t=0) = 0; v_{zi}(t=0) = 0. \quad (3.12)$$

Движение частиц почвы ограничено по каждой декартовой координате размерами модельного пространства  $L_x, L_y, L_z$ . В частности, при координате  $x_i$  частицы почвы превышающей длину модельного пространства  $L_x$ , требуется коррекция ее и скорости движения:

$$\text{если } x_i > L_x, \text{ то } x_i = L_x; v_{xi} = -v_{xi}. \quad (3.13)$$

В математической модели приняты следующие допущения и приближения:

- форма частиц почвы принята шарообразной;
- частицу почву считаем однородной сплошной средой;
- частицы почвы движутся в соответствии с общепринятыми законами динамики;
- взаимодействие частиц почвы друг с другом и с загортачом имеет упруго-вязкий характер;
- свойства почвы имеют следующие параметры: диаметр, масса, коэффициенты жесткости и коэффициент вязкого трения.

Таким образом, математическая модель процесса заделки посевной бороздки почвой предлагаемой конструкцией загортача, позволяет с высокой детализацией и пространственным разрешением исследовать этот процесс.

### 3.3 Результаты компьютерного эксперимента

Математическая модель представляет собой систему дифференциальных и алгебраических уравнений и для ее анализа разработана компьютерная программа «Программа для моделирования заделки семян» на языке Object Pascal в среде программирования Borland Delphi 7.0. Эта программа использована при проведении компьютерных экспериментов заделки посевной бороздки почвой. Перед началом моделирования параметры загортача и свойства почвы должны быть скорректированы в окнах интерфейсной форме (рис. 3.4) и в программе.

При проведении компьютерных экспериментов эта программа позволяет выводить на экран компьютера три проекции фрагмента почвы, две проекции загор-

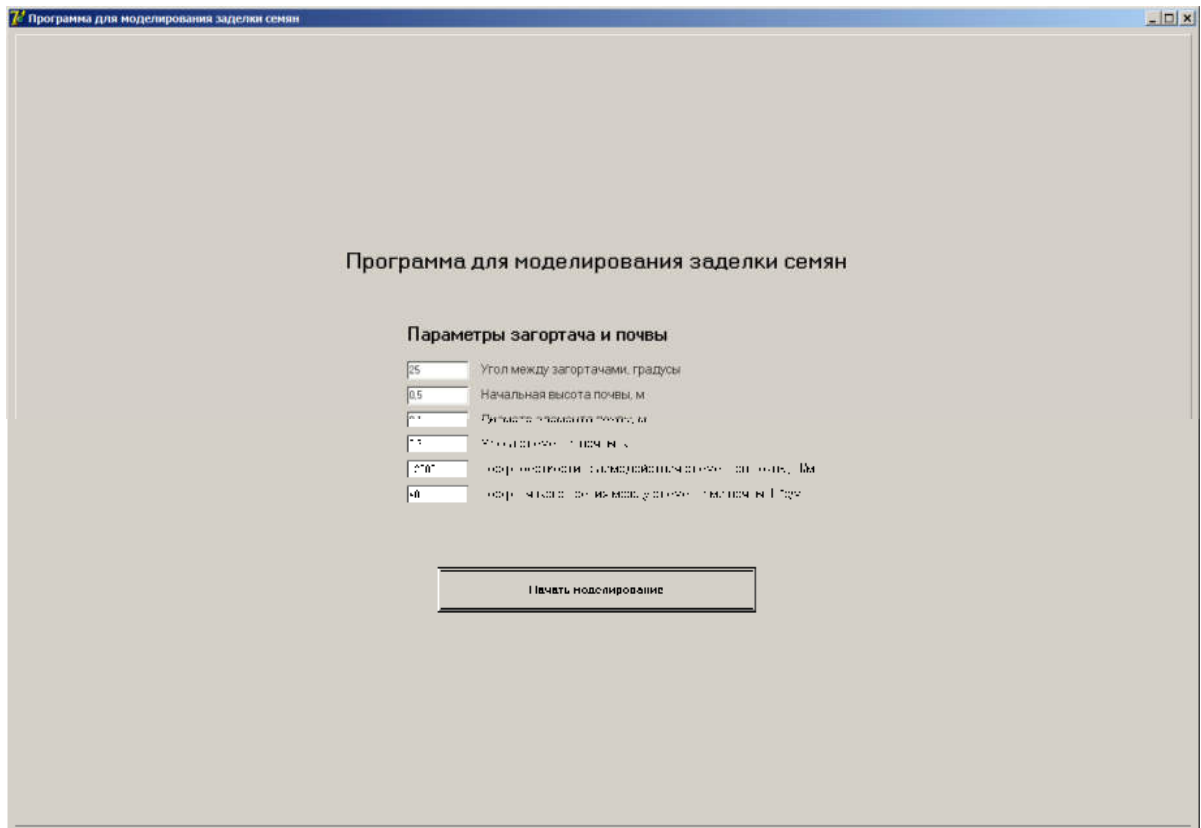


Рисунок 3.4 – Интерфейсная форма ввода показателей почвы и параметров загорточа

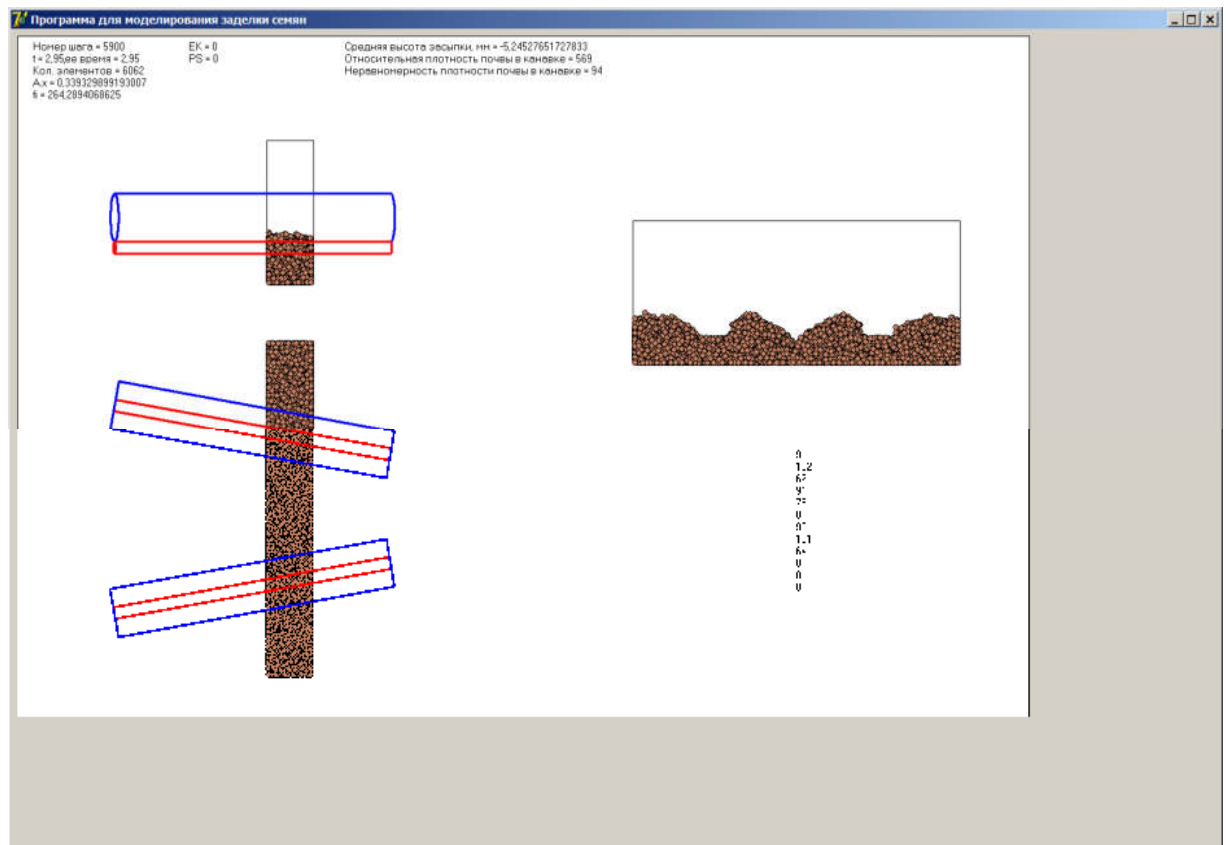


Рисунок 3.5 – Вывод результатов моделирования

тача и показатели эффективности процесса (рис. 3.5). Программа также применима для различных типов почвы и сохраняет работоспособность при изменении конструктивно-технологических параметров загортача в широких пределах.

Таким образом, разработанная программа для моделирования процесса заделки посевной бороздки почвой, позволяет на основе компьютерных экспериментов определять оптимальные конструктивно-технологические параметры загортача [68, 71, 132, 137, 228, 233].

Для проверки работоспособности математической модели и ее оценки был проведен базовый компьютерный эксперимент с определенными параметрами загортача и типом почвы.

В процессе проведения базового компьютерного эксперимента загортач двигался по поверхности почвы, взаимодействуя с ее верхним слоем (рис. 3.6). В процессе проведения исследований был использован фрагмент почвы длиной около 20 мм вдоль направления движения загортача и с учетом выполняемого технологического процесса. Фрагмент почвы принят шириной 150 мм и высотой 25 мм и представляет собой сечение, в котором можно исследовать процесс перемещения почвы загортачом при заделке посевной бороздки.

Перед началом проведения исследований в фрагменте почвы была подготовлена посевная бороздка сечением  $20 \times 20$  мм (рис. 3.6, б). Следует отметить, что при взаимодействии загортача с почвой края бороздки смещаются навстречу друг другу (рис. 3.6, г). При заделке посевной бороздки загортач сдвигает объем почвы приблизительно прямоугольной формы (рис. 3.6, е, з). После прохода загортача посевная бороздка оказывается засыпанной почвой с формированием «горки» (рис. 3.6, к), которая частично осыпается в соответствии с ее физическими свойствами (рис. 3.6, л).

При моделировании процесса заделки посевной бороздки почвой использован не узкий ее фрагмент, а протяженный ее участок (рис. 3.7). Продолжительность проведения компьютерных экспериментов занимает значительное время и продолжается около 40 минут с использованием персонального компьютера. Однако, компьютерные эксперименты практически не отличаются от размеров фраг-



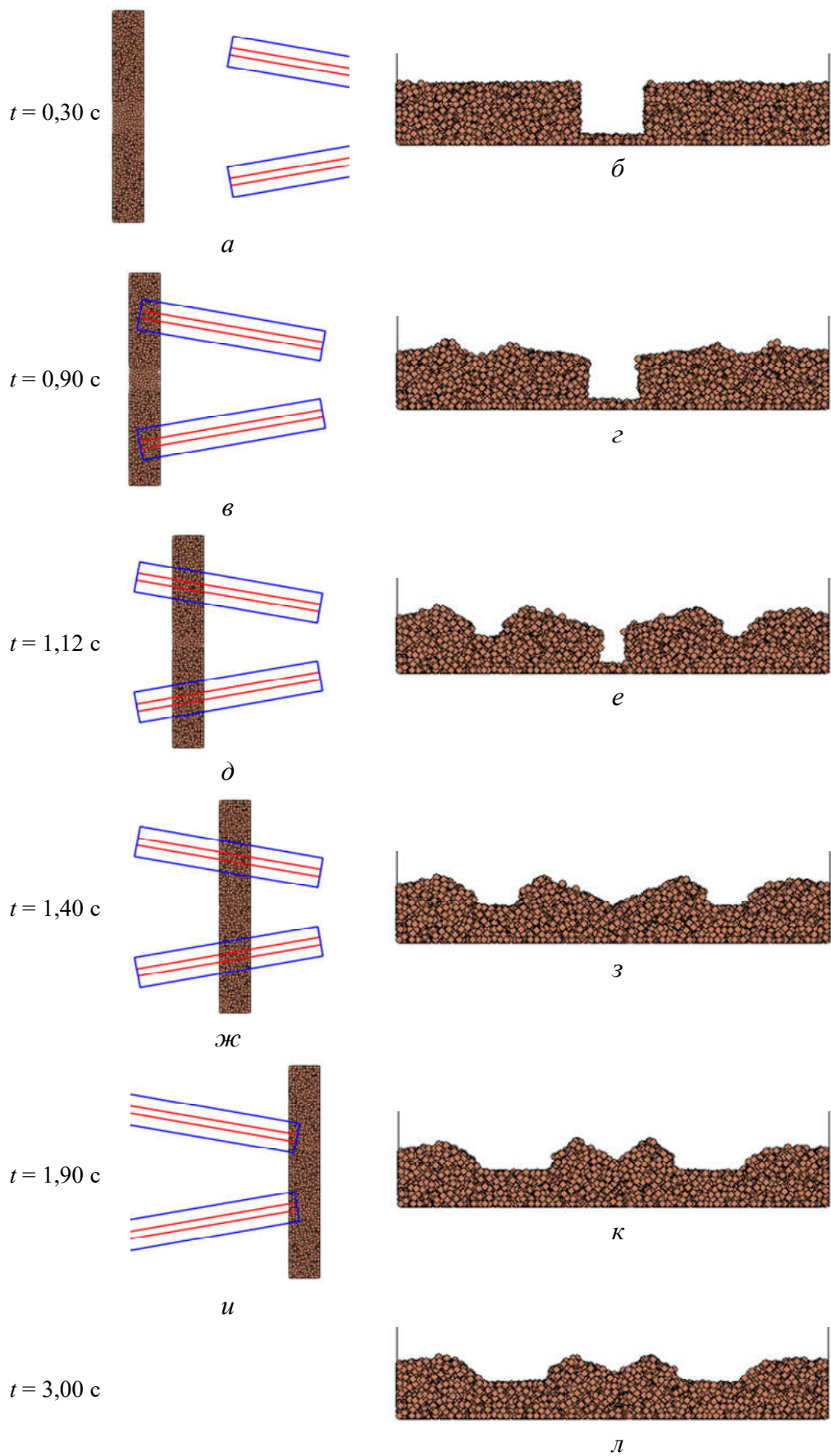
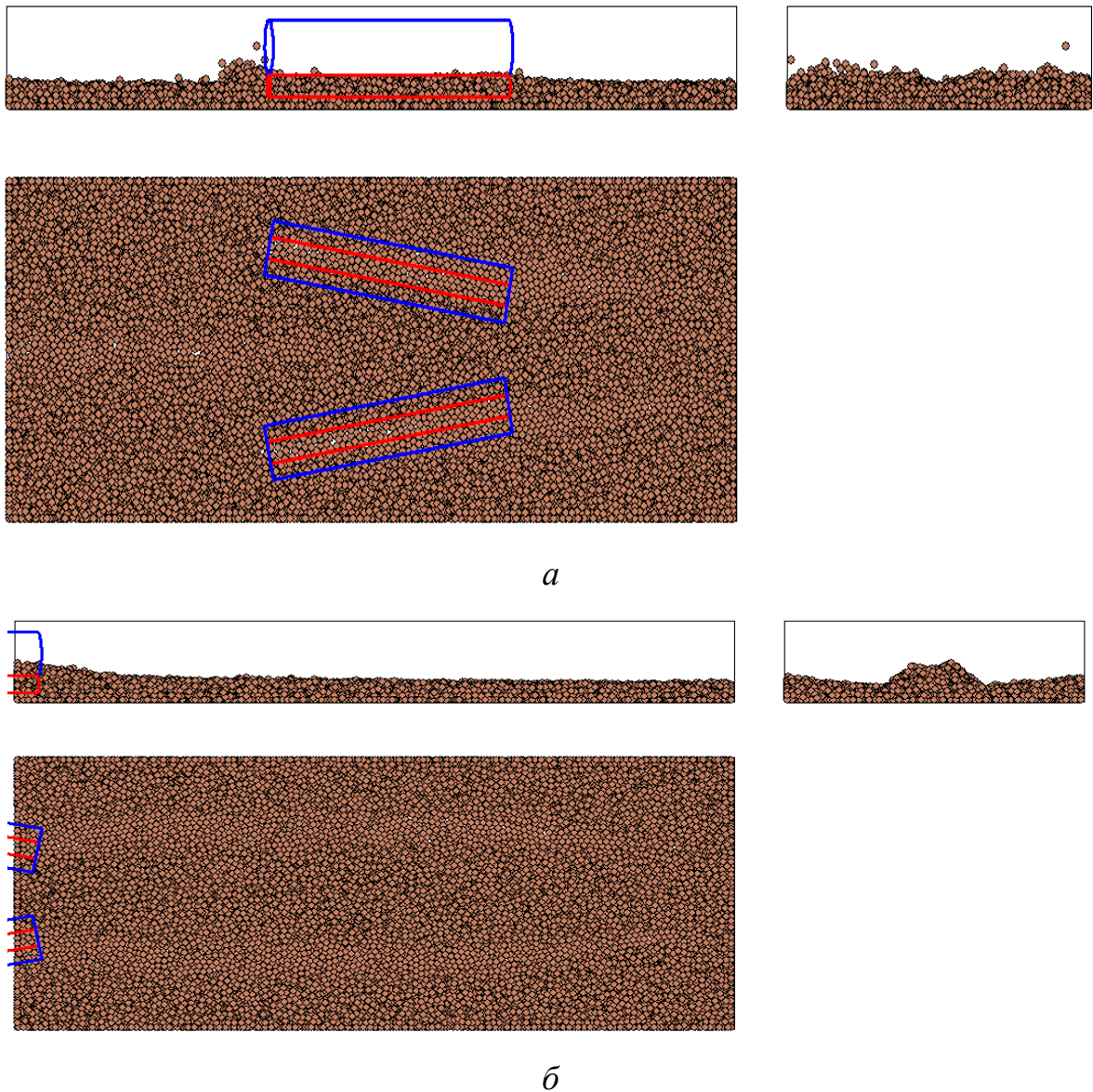


Рисунок 3.6 – Движение направляющих загортача при проведении базового компьютерного эксперимента и профили засыпанной почвой бороздки



*a* – при заделке бороздки; *б* – после прохода загортача

Рисунок 3.7 – Компьютерный эксперимент при заделке посевной бороздки почвой

мента почвы, при которых эксперимент продолжается около 2,5 минут.

Таким образом, разработанная математическая модель является вполне адекватной для исследования процесса заделки посевной бороздки почвой.

### 3.4 План теоретического исследования и определение влияния параметров загортача на эффективность процесса

Теоретическое исследование математической модели проводили в соответствии со следующей схемой входных и выходных параметров при изменении сле-

дующих конструктивных параметров загортача и типа почвы (рис. 3.8):

$\alpha$  – угол между направляющими загортача;

$L$  – длина рабочей части направляющих загортача;

$d$  – диаметр прутков загортача;

$k_o$  – коэффициент взаимодействия частиц почвы, определяющий связность почвы и позволяющий воспроизводить в модели различные типы почвы (от рассыпчатой песчаной до связной глинистой).

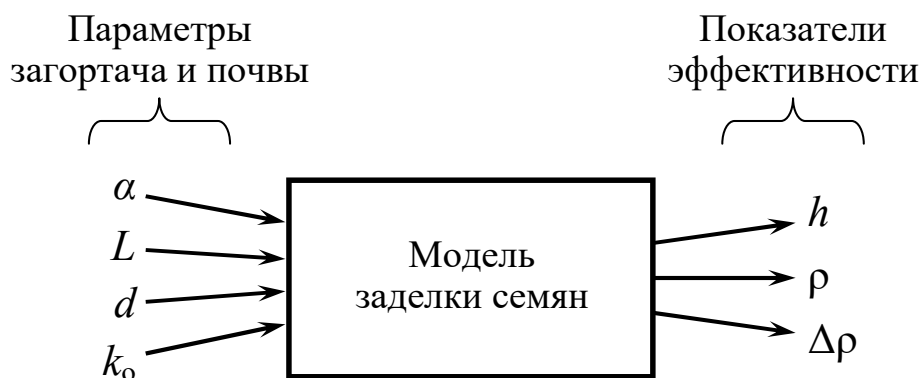


Рисунок 3.8 – Постановка задачи при теоретическом исследовании

При проведении компьютерных экспериментов определяли следующие показатели:

$h$  – высота засыпания посевной бороздки, которая определяется с учетом первоначального уровня почвы. Отрицательные значения высоты засыпания посевной  $h$  означают, что бороздка засыпана почвой не полностью;

$\rho$  – плотность почвы в посевной бороздке. Если бороздка засыпана недостаточно, то плотность почвы окажется ниже ее первоначальной плотности (принята равной  $1 \text{ г/см}^3$ );

$\Delta\rho$  – неоднородность плотности почвы в посевной бороздке. Неоднородность плотности почвы в посевной бороздке определяется путем деления сечения бороздки на 9 фрагментов ( $3 \times 3$ ) с определением плотности в каждом сечении и разности между максимальными и минимальными ее значениями  $\Delta\rho = \rho_{\max} - \rho_{\min}$ .

При проведении исследования принята «звездообразная» схема: входные

параметры изменяли поочередно относительно основных параметров загортача ( $\alpha = 20^\circ$ ,  $L = 120$  мм,  $d = 5$  мм,  $k_0 = 1,003$ ).

От угла схождения направляющих загортача  $\alpha$  зависит количество сдвигаемой почвы, и бороздка может быть как не полностью засыпанной, так и чрезмерно переполненной по отношению к первоначальному ее уровню. Для определения оптимального угла схождения направляющих загортача  $\alpha$  проведены компьютерные эксперименты, в которых угол  $\alpha$  изменялся от  $10^\circ$  до  $40^\circ$  с шагом  $10^\circ$  (рис. 3.9) и табл. 3.1). С увеличением угла схождения направляющих загортача  $\alpha$  процесс засыпания бороздки почвой улучшается и повышается ее уровень в центре бороздки (рис. 3.10).

При угле схождения направляющих загортача  $\alpha$  равном  $24^\circ$  бороздка засыпается до первоначального уровня почвы (рис. 3.11, *a*). Однако, с учетом уплотнения

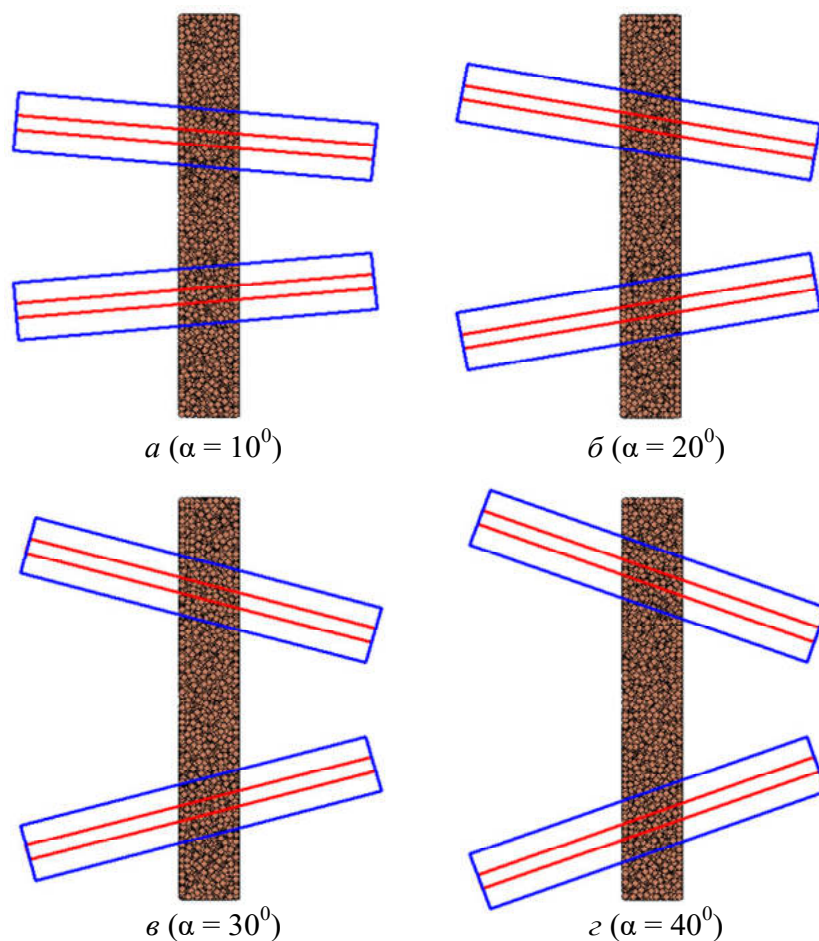
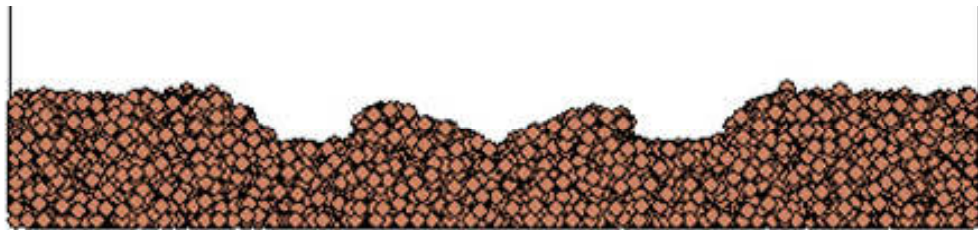
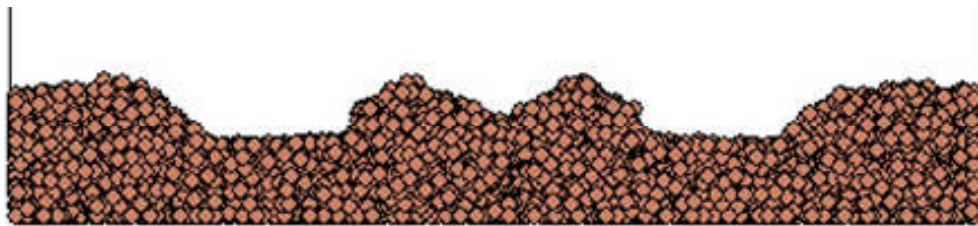
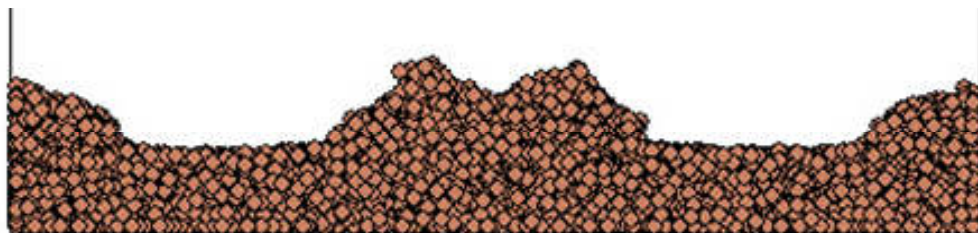
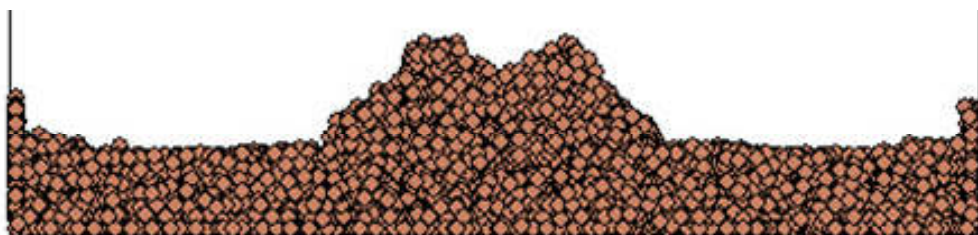


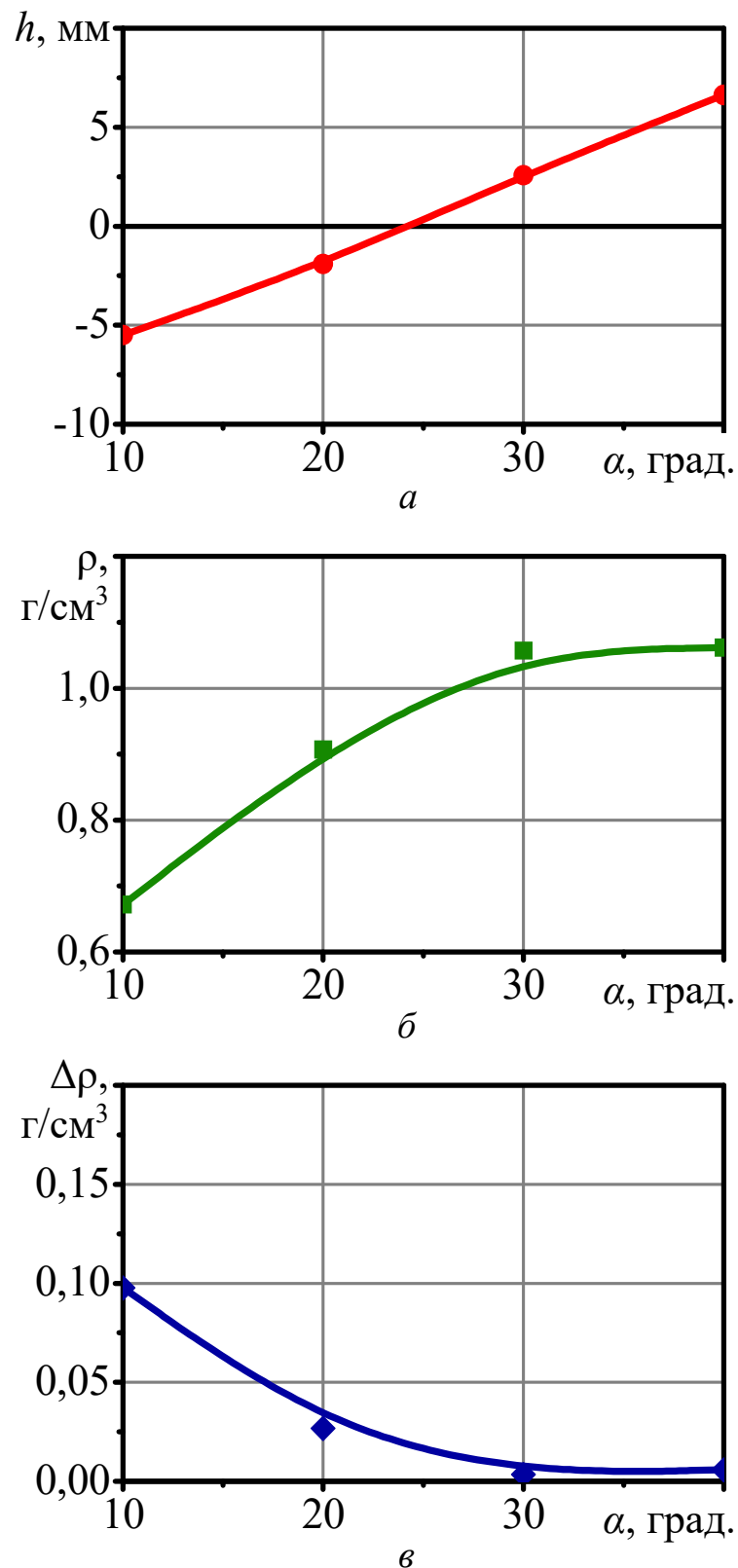
Рисунок 3.9 – Моделирование работы загортача с различными углами схождения его направляющих  $\alpha$



Таблица 3.1 – Влияние угла схождения направляющих загортача на эффективность процесса

Номер эксперимента	Угол схождения направляющих загортача $\alpha$ , градусы	Показатели эффективности процесса		
		высота заделки бороздки почвой $h$ , мм	плотность почвы в бороздке $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	неоднородность плотности почвы в бороздке $\Delta\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	10	-5,51	0,672	0,098
2	20	-1,92	0,907	0,027
3	30	2,57	1,057	0,003
4	40	6,63	1,062	0,006

 $a (\alpha = 10^\circ)$  $b (\alpha = 20^\circ)$  $b (\alpha = 30^\circ)$  $c (\alpha = 40^\circ)$ Рисунок 3.10 – Профили заделанной почвой бороздки при различных углах  $\alpha$  схождения направляющих загортача



$a$  – высота заделки бороздки  $h$ ;  $b$  – плотность почвы  $\rho$ ;  $v$  – неоднородность плотности  $\Delta\rho$

Рисунок 3.11 – Графики влияния угла  $\alpha$  схождения направляющих загортача

почвы в посевной бороздке прикатывающим катком, целесообразно рекомендовать больший угол  $\alpha$ , равный  $30^0$ , который обеспечивает образование «горки»

почвы над бороздкой.

При угле схождения направляющих загортача  $\alpha$  более  $15^{\circ}$  плотность почвы в бороздке превышает минимально допустимое значение равное  $0,8 \text{ г/см}^3$  (рис. 3.11, б) При дальнейшем увеличении угла схождения направляющих загортача  $\alpha$  плотность почвы  $\rho$  возрастает и достигает  $1,0 \text{ г/см}^3$  и при  $\alpha = 27^{\circ}$  плотность увеличивается до  $1,03 \text{ г/см}^3$ .

С увеличением угла  $\alpha$  и, соответственно, улучшением процесса заделки посевной бороздки, плотность почвы в ней становится более однородной, и при угле  $\alpha$  более  $25^{\circ}$  неоднородность плотности почвы  $\Delta\rho$  становится незначительной и не превышает  $0,02 \text{ г/см}^3$  (рис. 3.11, в).

Таким образом, при длине рабочей части направляющих загортача равной 120 мм, угол их схождения должен быть в пределах  $25 \dots 30^{\circ}$ .

Регулировать процесс заделки посевной бороздки почвой можно, как путем изменения угла схождения направляющих загортача, так и длиной их рабочей части. Для исследования влияния длины рабочей части направляющих загортача  $L$  на эффективность процесса заделки посевной бороздки почвой были проведены эксперименты при ее изменении от 80 до 140 мм с шагом 20 мм и угле между направляющими загортача  $\alpha$  равном  $20^{\circ}$  (табл. 3.2, рис. 3.12 и рис. 3.13).

Таблица 3.2 – Влияние длины рабочей части направляющих загортача на эффективность процесса

Номер эксперимента	Длина направляющих загортача $L$ , мм	Показатели эффективности процесса		
		высота заделки бороздки почвой $h$ , мм	плотность почвы в бороздке $\rho$ , $\text{г/см}^3$	неоднородность плотности почвы в бороздке $\Delta\rho$ , $\text{г/см}^3$
1	80	-4,5	0,744	0,079
2	100	-3,1	0,823	0,055
3	120	-1,9	0,907	0,027
4	140	-0,16	0,993	0,012

В результате проведенных экспериментов установлено, что при увеличении длины рабочей части направляющих загортача  $L$  увеличивается высота засыпания

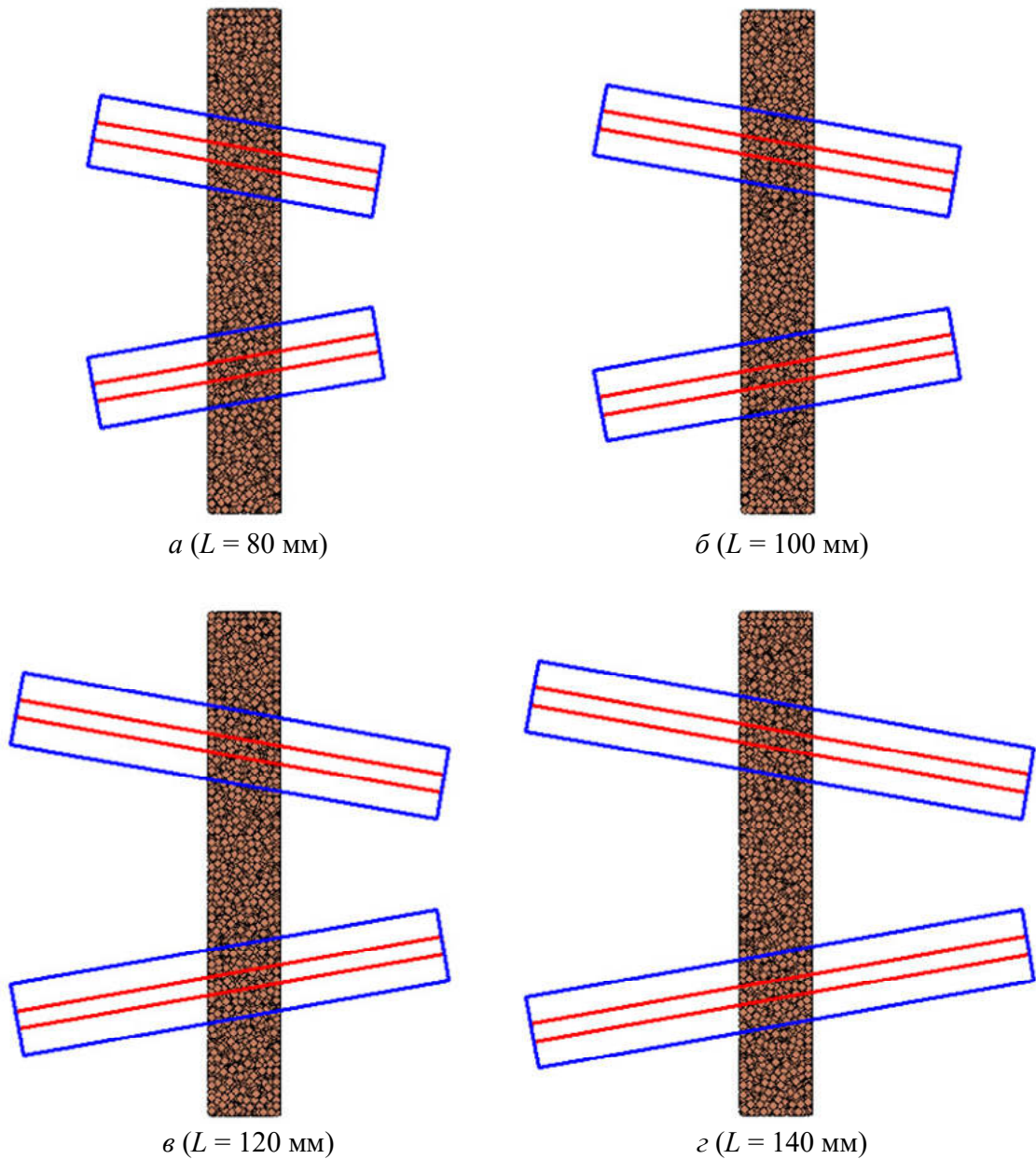


Рисунок 3.12 – Моделирование процесса работы загортача при различной длине его направляющих  $L$

бороздки (рис. 3.14, *a*). При угле  $\alpha = 20^\circ$  бороздка оказывается засыпанной до первоначального уровня почвы ( $h = 0$  мм) при длине направляющих загортача равной 140 мм. Плотность почвы в посевной бороздке приближается к первоначальной  $1 \text{ г/см}^3$  при длине рабочей части направляющих загортача равной 140 мм (рис. 3.14, *б*). При меньшей длине направляющих загортача плотность почвы в бороздке была неоднородной и с увеличением длины направляющих загортача  $L$  до 140 мм плотность почвы в бороздке становится однородной (рис. 3.14, *в*).



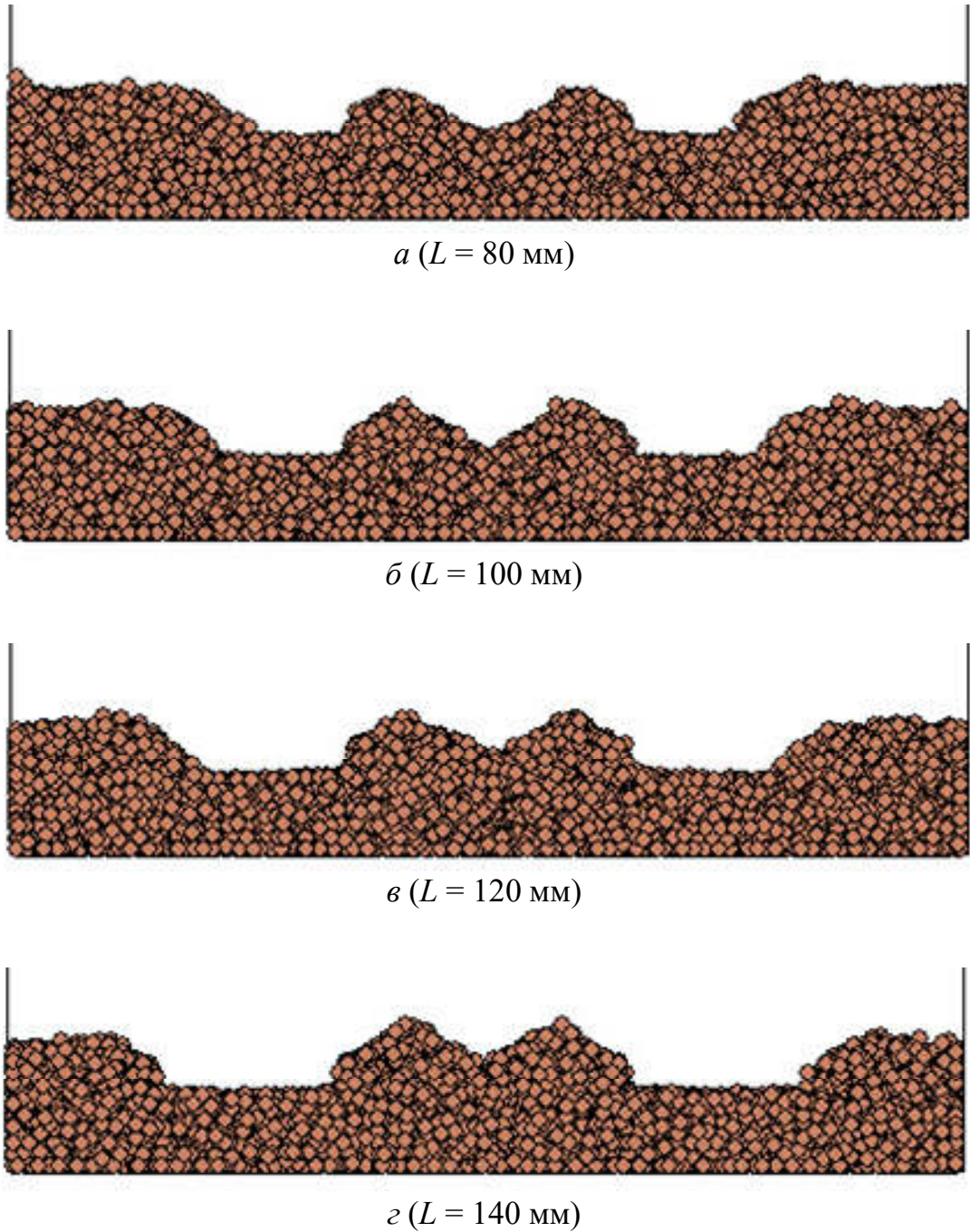
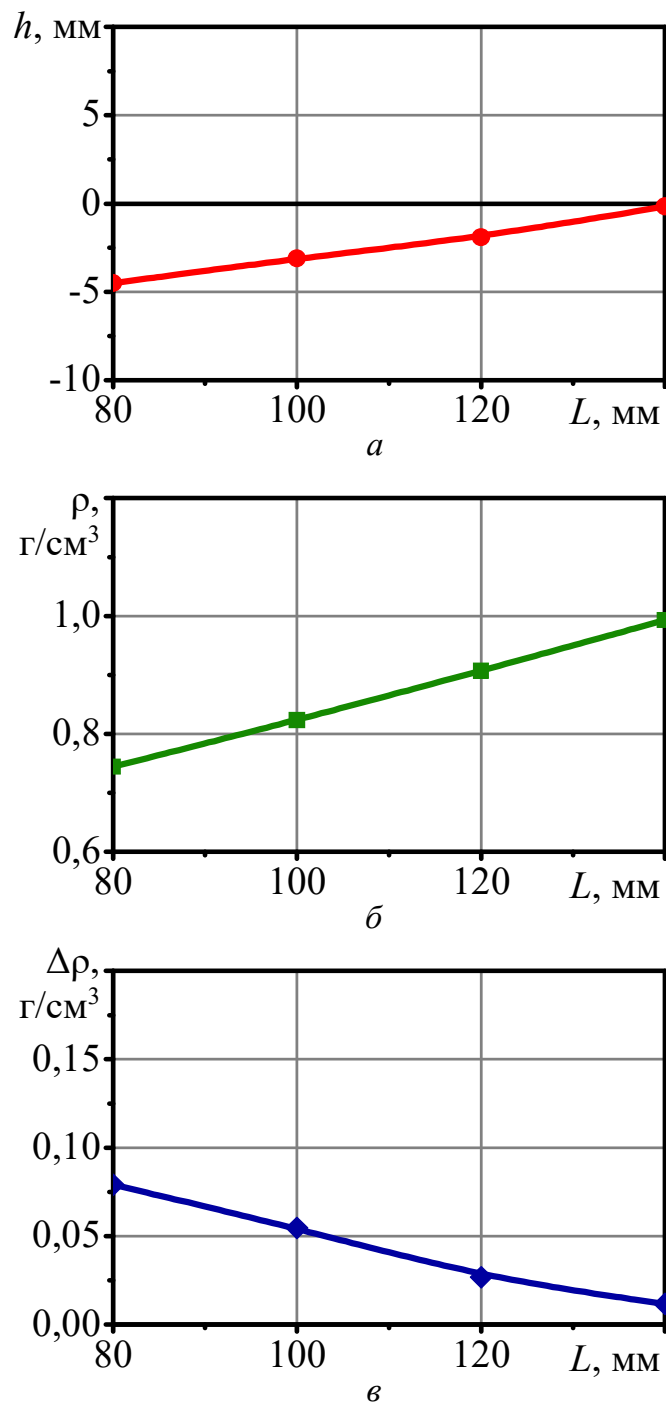


Рисунок 3.13 – Профили заделанной почвой бороздки при различной длине направляющих загортача  $L$

Таким образом, при угле схождения направляющих загортача  $\alpha$  равном  $20^\circ$ , длина рабочей их части должна быть в пределах 140 ... 150 мм.

С целью изучения влияния диаметра  $d$  прутка загортача на эффективность процесса засыпания бороздки почвой проведены компьютерные эксперименты при изменении диаметра от 4 до 7 мм с шагом равным 1 мм (табл. 3.3, рис. 3.15 и 3.16).



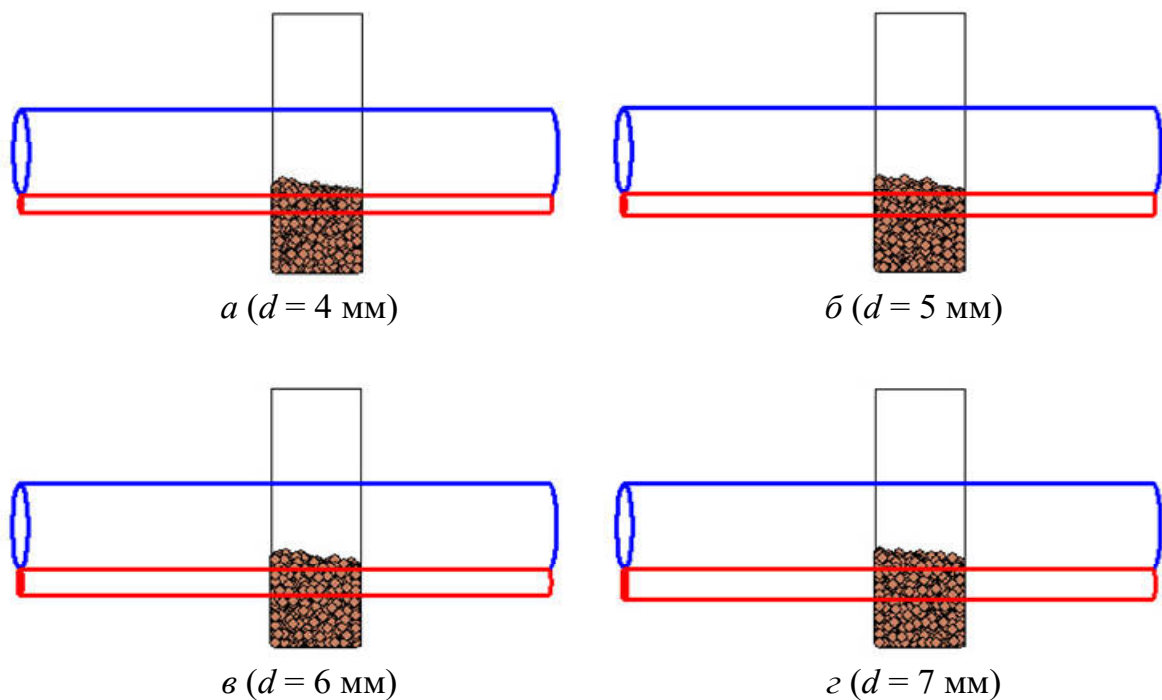
$a$  – высота заделки бороздки  $h$ ;  $\bar{b}$  – плотность почвы  $\rho$ ;  $\bar{в}$  – неоднородность плотности  $\Delta\rho$

Рисунок 3.14 – Графики влияния длины направляющих загортача  $L$

Диаметр  $d$  прутка загортача оказывает существенное влияние на количество сдвигаемой в бороздку почвы и с его увеличением повышается высота почвы в бороздке (рис. 3.17,  $a$ ) и при диаметре прутка равном 7 мм плотность почвы в бороздке находится в рекомендуемом пределе значений от 1,0 до 1,2 г/см<sup>3</sup> (табл. 3.3 и рис. 3.17,  $\bar{b}$ ).

Таблица 3.3 – Влияние диаметра прутка загортача на эффективность процесса

Номер эксперимента	Диаметр прутка загортача $d$ , мм	Показатели эффективности процесса		
		высота заделки бороздки почвой $h$ , мм	плотность почвы в бороздке $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	неоднородность плотности почвы в бороздке $\Delta\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	4	-3,42	0,813	0,067
2	5	-2,35	0,888	0,030
3	6	-0,48	0,977	0,010
4	7	0,67	1,031	0,007

Рисунок 3.15 – Моделирование процесса работы загортача при различных диаметрах  $d$  прутка загортача

В результате выполненных исследований также было установлено, что при диаметре  $d$  прутка загортача менее 5 мм плотность почвы в бороздке была неоднородной, а с увеличением диаметра прутка до 6 мм и более, неоднородность плотности почвы в бороздке уменьшается и составляет 0,007-0,010 г/см<sup>3</sup> (табл. 3.3 и рис. 3.17, в).

Таким образом, при длине рабочей части направляющих загортача равной 120 мм и угле их схождения равном  $20^{\circ}$ , диаметр  $d$  прутка загортача рекомендуется принять равным 7 мм.

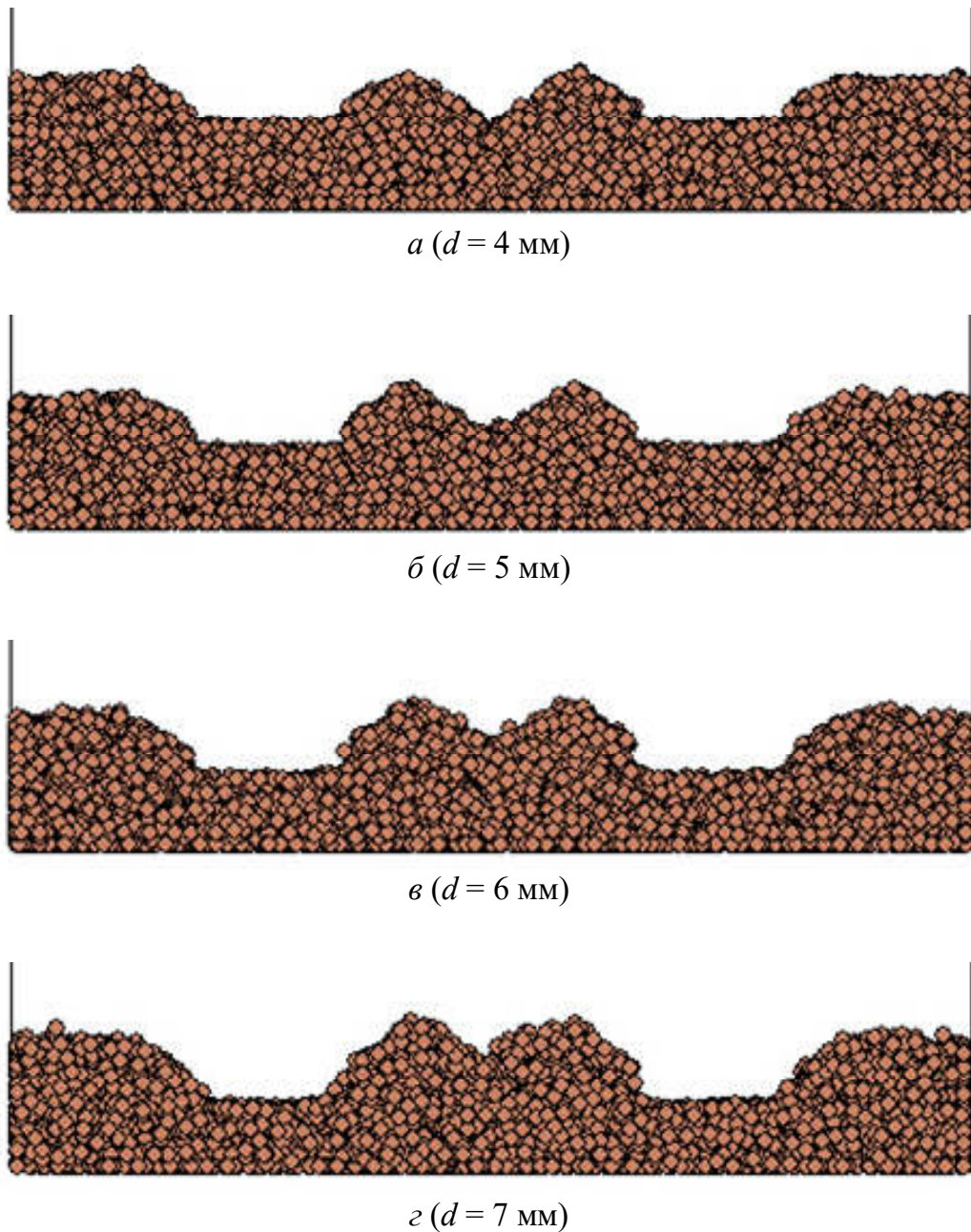
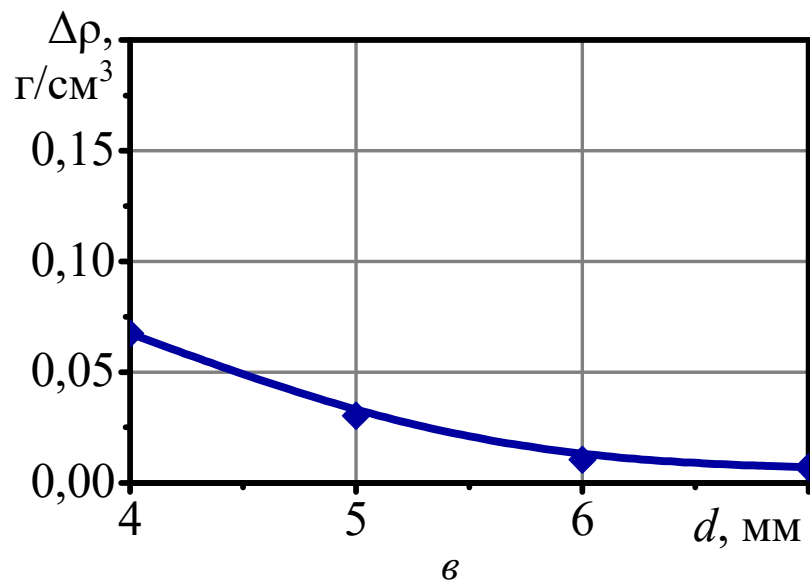
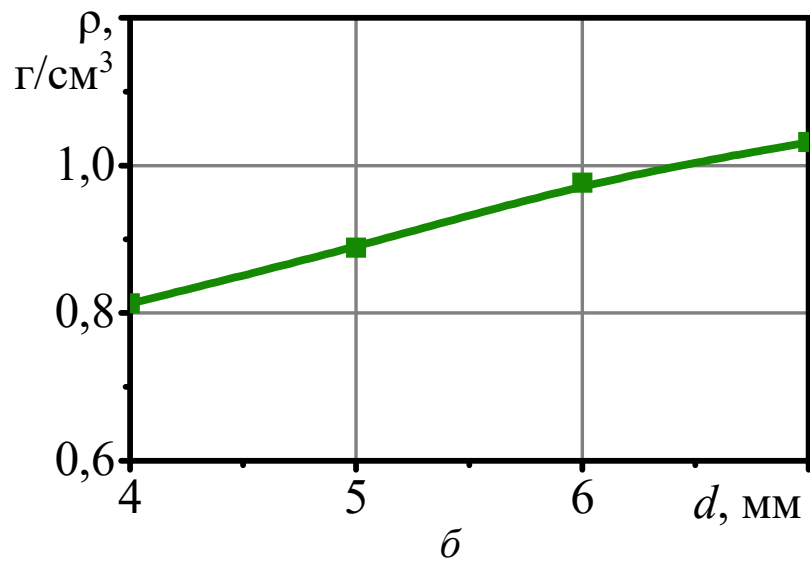
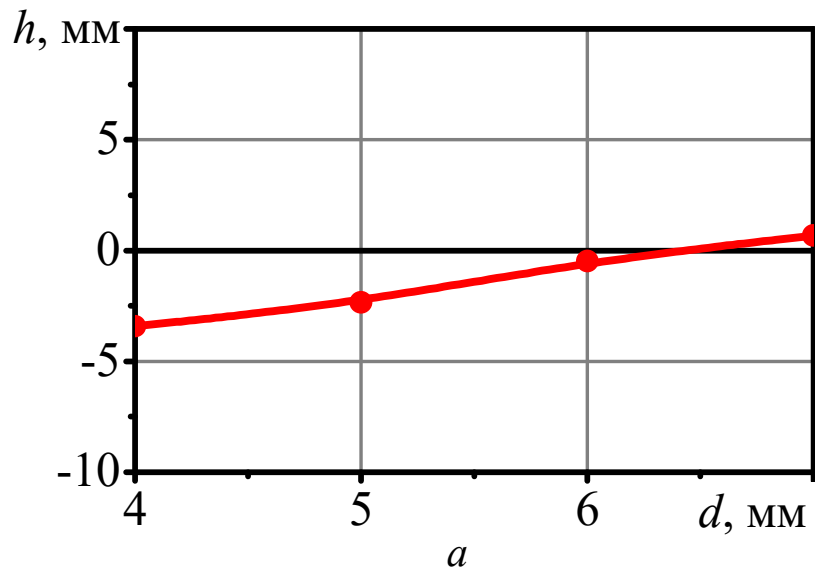


Рисунок 3.16 – Профили заделки бороздки почвой при различных диаметрах  $d$  прутка загортача

Для исследования влияния типа почвы на работоспособность загортача и показатели эффективности процесса засыпания посевных бороздок почвой были проведены компьютерные эксперименты при различных почвенных условиях. Полученные результаты исследований приведены в таблице 3.4 и представлены на рисунке 3.18.

Анализ полученных результатов показывает, что предложенная конструкция загортача работоспособна на различных типах почвы и качество заделки по-



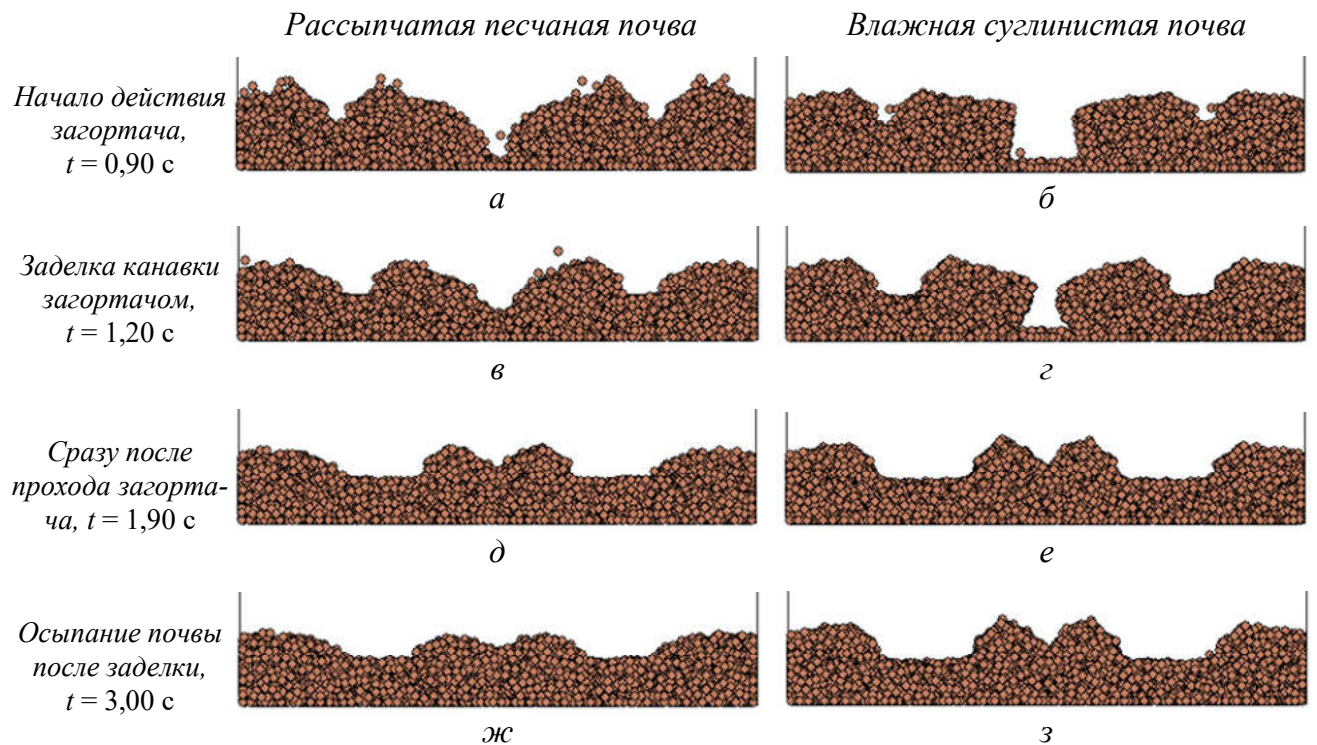
$a$  – высота заделки бороздки  $h$ ;  $b$  – плотность почвы  $\rho$ ;  $v$  – неоднородность плотности  $\Delta\rho$

Рисунок 3.17 – Графики влияния диаметра  $d$  прутка загортача



Таблица 3.4 – Влияние рассыпчатости почвы на показатели эффективности процесса

Номер эксперимента	Коэффициент ограничения взаимодействия частиц почвы $k_0$	Показатели эффективности процесса		
		высота заделки бороздки почвой $h$ , мм	плотность почвы в бороздке $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	неоднородность плотности почвы в бороздке $\Delta\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	1,0007	-2,45	0,895	0,017
2	1,015	0,27	0,891	0,031



*a, в, д, ж* – рассыпчатой песчаной почвой; *б, г, е, з* – влажной суглинистой почвой

Рисунок 3.18 – Профили засыпанной посевной бороздки

посевных бороздок почвой в полной мере отвечает предъявляемым к ней требованиям (табл. 3.4). Показатели эффективности процесса показывают, что на рассыпчатой песчаной почве коэффициент ограничения взаимодействия частиц почвы составляет  $k_0 = 1,0007$  и на высокосвязной влажной суглинистой почве  $k_0 = 1,015$ .

Несмотря на существенное различие реологического состояния почвы, разработанная конструкция загорточа обеспечивает надежную заделку посевной бороздки почвой. Высота заделки бороздки почвой близка к первоначальному ее уровню (-2,45 и 0,27 мм, табл. 3.4). Плотность почвы в посевной бороздке полу-

чена практически одинаковой и составляет – 0,895 и 0,891 г/см<sup>3</sup> и зависит только от конструктивных параметров загортача  $\alpha$ ,  $L$  и  $d$ , влияющих на объем сдвигаемой почвы. Почва в посевной бороздке однородна и ее неоднородность составляет 0,017 и 0,031 г/см<sup>3</sup> и не зависит от типа почвы.

Таким образом, предлагаемая конструкция загортача обеспечивает требуемую засыпку посевных бороздок на различных типах почв, как рассыпчатых песчаных, так и на высокосвязных суглинистых.

Проведенные исследования позволяют определить влияние отдельных конструктивных параметров загортача на качественные показатели процесса заделки посевных бороздок почвой. Для практических целей наиболее важное значение имеет исследование влияния одновременного изменения нескольких конструктивных параметров загортача на показатели эффективности процесса. В связи с этим была проведена двухфакторная оптимизация параметров загортача: длины рабочей части направляющих загортача  $L$  и угла  $\alpha$  их схождения.

Поставленная задача может быть представлена аналитически в следующем виде:

$$\begin{cases} h(L, \alpha) \rightarrow 0 \text{ мм}; \\ \rho(L, \alpha) \rightarrow 1 \text{ г/см}^3; \Rightarrow L_{\text{опт}}, \alpha_{\text{опт}}. \\ \Delta\rho(L, \alpha) \rightarrow 0. \end{cases} \quad (3.14)$$

Для исследования взаимосвязи между факторами оптимизации  $L$ ,  $\alpha$  и критериями  $h$ ,  $\rho$ ,  $\Delta\rho$  было проведено 16 экспериментов, в которых длина направляющих  $L$  составляла 80, 100, 120 и 140 мм, и угол схождения направляющих  $\alpha$  составлял 10, 20, 30 и 40<sup>0</sup> (табл. 3.5).

Полученные данные исследований обработаны с помощью регрессионного анализа и для функций  $h(L, \alpha)$ ,  $\rho(L, \alpha)$ ,  $\Delta\rho(L, \alpha)$  получены полиномы второго порядка и построены графики (рис. 3.19). Графики функций  $h(L, \alpha)$ ,  $\rho(L, \alpha)$ ,  $\Delta\rho(L, \alpha)$  представлены в виде картограмм, представляющих собой набор линий уровня в плоскости факторного пространства  $(L, \alpha)$  (рис. 3.20).

На картограммах затемнены области наиболее благоприятных показателей

Таблица 3.5 – Результаты оптимизации компьютерных экспериментов

Номер эксперимента	Параметры направляющих загортача		Показатели эффективности процесса		
	длина направляющих загортача $L$ , мм	угол схождения направляющих загортача $\alpha$ , градусы	высота заделки бороздки $h$ , мм	плотность почвы в бороздке $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	неоднородность плотности почвы в бороздке $\Delta\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	80	10	-6,19	0,599	0,105
2	80	20	-4,62	0,744	0,079
3	80	30	-1,69	0,892	0,029
4	80	40	1,54	1,030	0,017
5	100	10	-5,87	0,623	0,095
6	100	20	-3,11	0,823	0,055
7	100	30	0,72	1,005	0,006
8	100	40	4,17	1,051	0,007
9	120	10	-5,50	0,672	0,098
10	120	20	-1,92	0,907	0,027
11	120	30	2,57	1,057	0,003
12	120	40	6,63	1,062	0,006
13	140	10	-5,30	0,690	0,095
14	140	20	-0,16	0,993	0,012
15	140	30	4,99	1,064	0,007
16	140	40	6,84	1,080	0,003

критерия. Для высоты слоя почвы в посевной бороздке  $h$  принят диапазон от  $-2$  до  $2$  мм относительно первоначального ее уровня (рис. 3.20, *а*); плотность почвы  $\rho$  в пределах от  $0,8$  до  $1,2$  г/см<sup>3</sup> (рис. 3.20, *б*); неоднородность плотности  $\Delta\rho$  менее  $0,02$  г/см<sup>3</sup> (рис. 3.20, *в*).

Для одновременного учета влияния всех критериев оптимизации на показатели эффективности процесса найдено пересечение наиболее благоприятных областей (рис. 3.20, *г*), Выделенная черным цветом область представляет собой зону, в которой все критерии  $h$ ,  $\rho$ ,  $\Delta\rho$  имеют оптимальные значения.

Оптимальные области критериев  $h$ ,  $\rho$ ,  $\Delta\rho$  являются достаточно протяженными, что характеризует стабильность работы загортача при различных внешних факторах, которые возможны при эксплуатации.



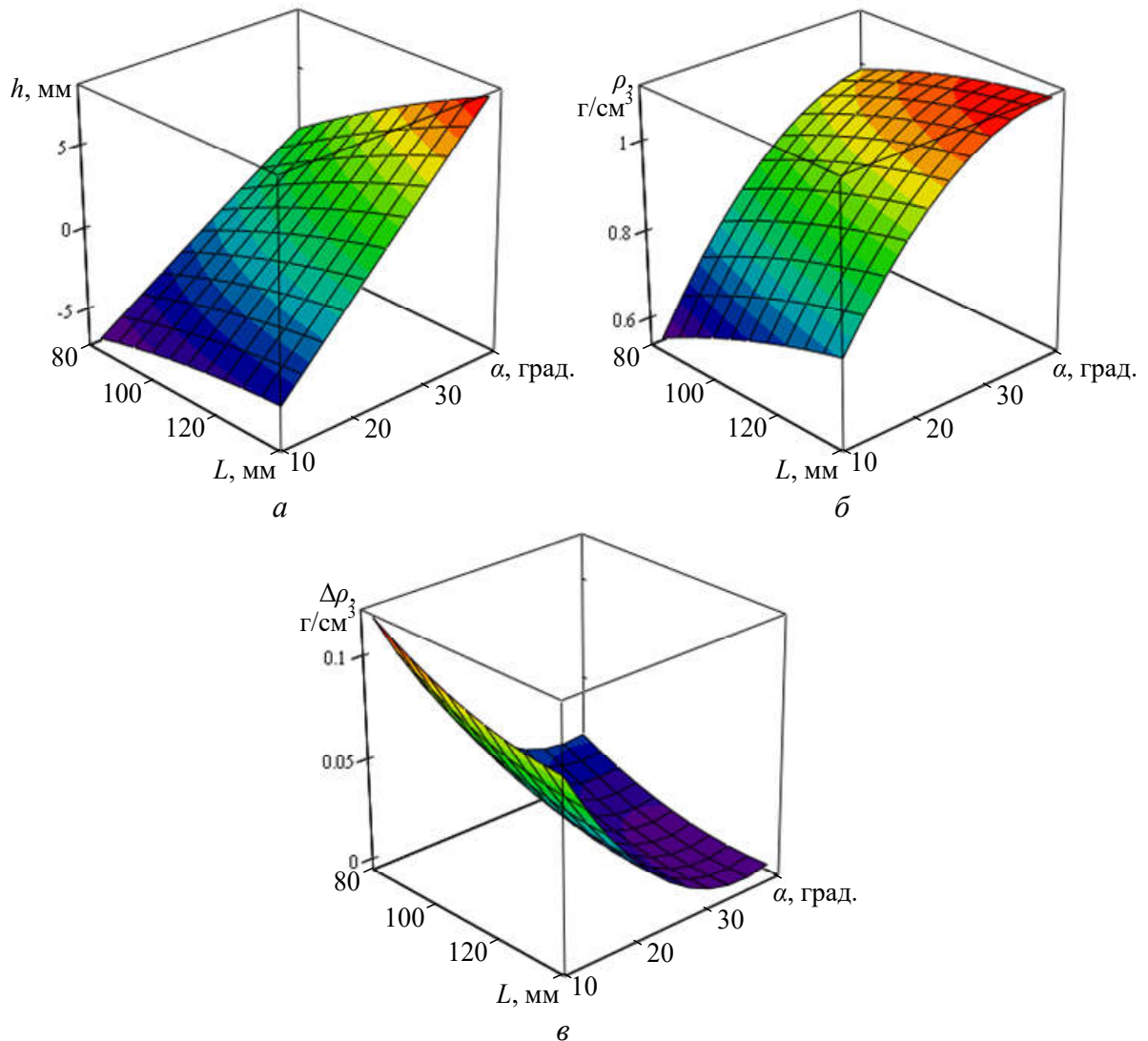


Рисунок 3.19 – Зависимости эффективности процесса заделки посевной бороздки почвой от параметров загортача

В качестве оптимальных параметров загортача можно рекомендовать любую точку из выделенной черным цветом области, в частности, точку при  $L = 120$  мм и  $\alpha = 28^\circ$ , при которой над посевной бороздкой формируется «горка» почвы высотой 1 ... 2 мм.

При таких оптимальных параметрах загортача высота засыпания бороздки почвой  $h$  составляет 10 мм над исходным ее уровнем, плотность почвы в бороздке составляет 1,01 г/см<sup>3</sup> и неоднородность плотности почвы равна 0,01 г/см<sup>3</sup>.

Таким образом, решена задача двухфакторной оптимизации конструктивных параметров загортача и получены картограммы их оптимизации при оценке эффективности процесса засыпания посевной бороздки почвой.

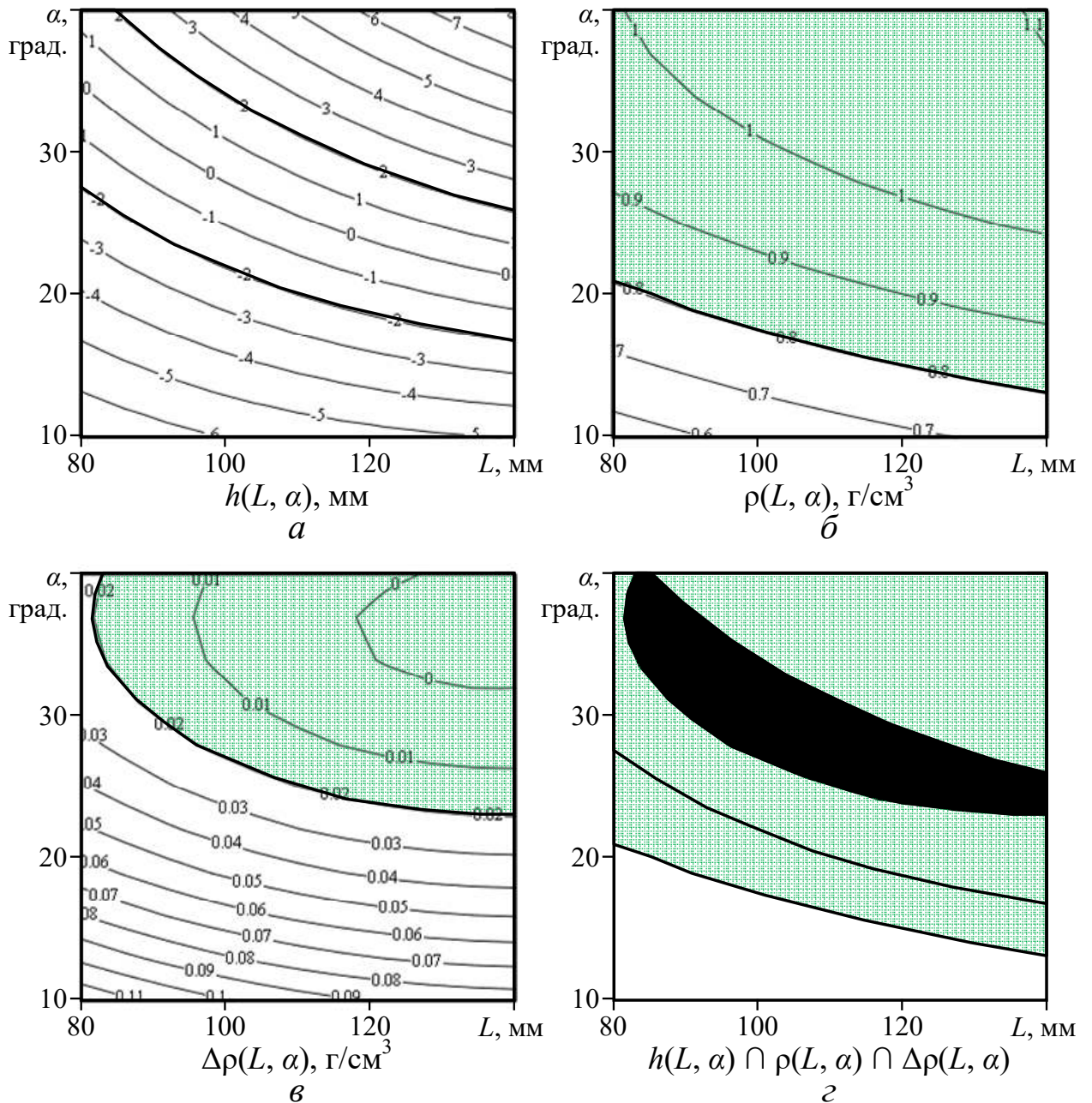


Рисунок 3.20 – Картограммы оптимизации конструктивных параметров загортача  $L$  и  $\alpha$  (затемнены благоприятные зоны и черным цветом выделена оптимальная область)

### 3.5 Выводы

1 Разработана математическая модель процесса засыпания посевной бороздки почвой загортачом предлагаемой конструкции, позволяющая с высокой детализацией и пространственным разрешением исследовать его эффективность.

2 Предложена компьютерная программа для моделирования процесса засыпания посевных бороздок почвой, которая позволяет определить оптимальные

конструктивные параметры загортача.

3 Обоснованы оптимальные параметры загортача: длина рабочей части направляющих загортача 120 мм при угле их схождения 28 и диаметре прутков загортача равным 7 мм. Эти параметры загортача обеспечивают высоту засыпания посевной бороздки почвой равной 10 мм, плотность почвы 1,01 г/см<sup>3</sup> и неоднородность плотности почвы 0,01 г/см<sup>3</sup>.

4 Разработанная конструкция загортача, обеспечивает эффективную заделку семян в посевной бороздке как на рассыпчатых песчаных, так и на высокосвязных влажных суглинистых почвах.

5 Решена задача двухфакторной оптимизации параметров загортача и получены картограммы оптимизации для оценки эффективности работы загортача с различными его конструктивными параметрами.

## **4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ ПРИ ЕЁ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ВЫКОПОЧНОЙ МАШИНЫ**

### **4.1 Постановка задачи исследования**

Одной из наиболее важных технологических операций при выращивании посадочного материала в лесных питомниках является его выкопка. Технология выкопки посадочного материала с применением машины выкопочной МВ-1,3А имеет ряд существенных преимуществ перед используемыми в настоящее время способами выполнения этой операции. Основным достоинством этой технологии является исключение повреждения корневых систем сеянцев и саженцев и сохранение мелких, наиболее ценных корней. Кроме того, значительно уменьшаются затраты ручного труда, существенно повышаются производительность труда и качество выращенного посадочного материала.

Различные лесорастительные условия требуют обоснования эффективных параметров и режимов работы выкопочных машин для рыхления слоя почвы при ее отделении от корневых систем сеянцев и саженцев. Для решения этой проблемы разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать напряжённо-деформированное состояние почвы в зоне расположения корневых систем растений при различных параметрах и режимах работы машины выкопочной и различных реологических свойствах почвы. В литературных источниках, посвященных созданию различных выкопочных машин, рассматривались только отдельные их конструктивные элементы. Однако, влияние их конструктивных параметров на напряжённо-деформированное состояние почвы, в процессе взаимодействия с рабочими органами выкопочной машины, не учитывалось и не исследовалось [74].

Для формирования математической модели процесса взаимодействия рабочих органов машины выкопочной – планок и бил с почвой, на рисунке 4.1 представлена расчётная схема. Фрагмент почвы, подрезаемый ножом выкопочной ма-

шины, представляет собой выделенный из слоя почвы прямоугольник, высота которого составляет  $b_1 + b_2 + b_3$ . Глубина хода вала привода рабочих органов, с определенным количеством планок и бил, составляет  $-b_1 + b_2$ . Слой почвы величиной  $b_1$  определяется глубиной расположения большей части корневых систем растений. Для большинства посадочного материала, выращиваемого в лесных питомниках, этот слой почвы находится в пределах 30 см. Величина слоя почвы  $b_2$  также связана с наибольшим углом поворота планок и бил  $\varphi_{\max}$ :  $b_2 = l_1 \cdot \sin(\varphi_{\max})$ .

Длина рабочих органов машины выкопчной принята из конструктивных соображений и с учетом особенностей выполняемого технологического процесса и для планок составляет  $l_1 = 450$  мм и бил –  $l_1 = 300$  мм. Ширина фрагмента почвы  $a_1$  принята ориентировочно равной примерно  $5l_1$ . В зоне боковых границ слоя почвы ее деформация предполагается незначительной. На схеме рисунка 4.1 показаны радиус-векторы центра  $O_1$ , лежащего на оси вращающегося вала, который перемещается со скоростью движения выкопчной машины  $V$ , а также некоторой точки  $M$ , расположенной на рабочей поверхности планки.

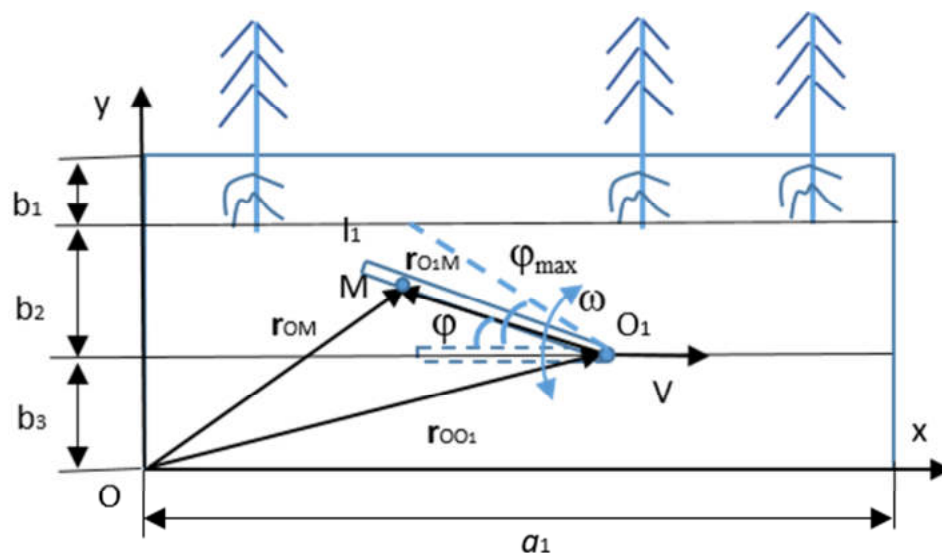


Рисунок 4.1 – Расчётная схема

Математическая модель процесса взаимодействия рабочих органов машины выкопчной при выкопке посадочного материала в лесных питомниках составлена при следующих допущениях:

- 1) материал грунта принимается в виде сплошной среды;
- 2) по реологическим свойствам почва является нелинейно-упругопластической средой;
- 3) влажность слоя почвы принимается однородной;
- 4) взаимное влияние планок и бил на деформацию слоя почвы не учитывается;
- 5) процесс рыхления почвы принимается изотермическим;
- 6) состояние почвы при деформировании рассматривается в рамках плоской задачи.

Уравнения математической модели в неподвижной системе координат  $OXY$  (рис. 4.1) можно записать в следующем виде [235]:

$$\begin{aligned}\rho \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} &= \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y}, \\ \rho \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2} &= \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} - \rho g,\end{aligned}\quad (4.1)$$

где  $\rho$  – плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>;  $u_x, u_y$  – компоненты вектора движения частиц почвы, м;  $x, y$  – координаты, м;  $t$  – время, с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\sigma_{ij}$  ( $i, j = x, y$ ) – компоненты тензора напряжений, Па.

В случае конечных деформаций связь между компонентами тензора деформаций и вектора движения частиц почвы, запишем в следующем виде [235]:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right). \quad (4.2)$$

Для замыкания уравнений (4.1 и 4.2) воспользуемся реологическим уравнением, связывающим тензоры напряжений и деформаций почвы.

Исследования процесса деформирования различных типов почв показывают, что они проявляют сложное реологическое состояние в области деформирования [73]. Это обусловлено рядом факторов, вызванных неоднородностью почвы и наличием в ней остаточных напряжений, а также развитием микродефектов при действии напряжений, превышающих предел ее текучести [74].

## 4.2 Реология почвы

Почва это поверхностный плодородный слой дисперсного грунта, образованный под влиянием различных биогенных и атмосферных факторов. Почва представляет собой гетерогенную многокомпонентную систему с нерегулярным строением. Описание реологического поведения грунтов, представленное в современной научной литературе, основано на идеализированном представлении о грунте, как гомогенном материале, который в зависимости от условий нагружения, может рассматриваться как упругий, упругопластичный, упруговязкий, вязкопластичный и упруговязкопластичный. По нашему мнению, последний тип реологического поведения наиболее полно отражает особенности механического поведения почв. На рисунке 4.2 представлены характерные зависимости напряжения от времени при ступенчатом изменении деформации для материалов с разными реологическими свойствами [248].

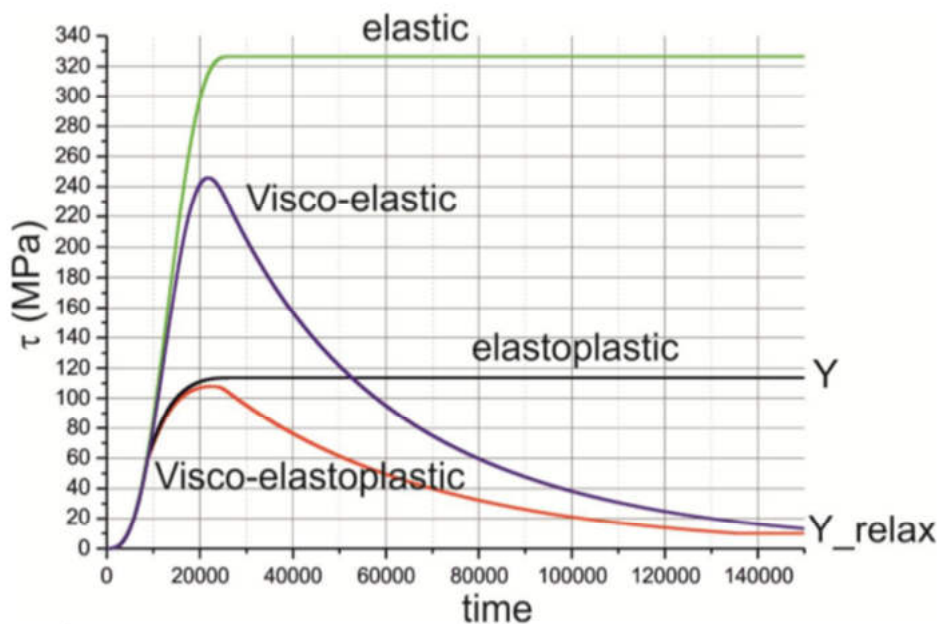


Рисунок 4.2 – Диаграмма деформирования с течением времени упругой, вязкоупругой, упругопластической и вязкоупругопластической среды

Реологические параметры могут зависеть от структурных и текстурных характеристик почвы [56]. Такие зависимости получают путем проведения экспериментальных исследований. Известно, что особенность почв, которые согласно ГОСТ 25100-95 относятся к классу дисперсных природных грунтов с механиче-

скими и водно-коллоидными связями, заключается в том, что их реологические характеристики изменяются в широких диапазонах по сравнению с грунтами других классов [62].

В работах [80-83] созданы теоретические основы описания реологического поведения почвы на основе теории вязкоупругости, а также разработана методика определения реологических коэффициентов и функций влияния. Эти характеристики получены для различных видов почв (суглинистых, песчаных, черноземных) применительно к процессам качения колес сельскохозяйственных машин. В работе [267] исследован вопрос применения интегрального уравнения Больцмана-Вольтерра с ядром Колтунова, которое адекватно отражает поведение материала для малых значений времени при ступенчатом деформировании образца [130].

В данном исследовании поставлена задача моделирования специфического процесса деформирования слоя почвы рабочим органом выкопчной машины. Выполним оценку, касающуюся соотношения времени релаксации напряжений  $\lambda$  и характерного времени воздействия планок и бил на элементарный объем почвы в основных режимах  $T$ .

Значение  $T$  определяется по частоте ротора, которая изменяется в пределах 200 ... 500 об/мин с учетом того, что значение углового перемещения планки или билы меньше, чем угловое перемещения ротора минимум в шесть раз. Длительность одного цикла вращения планки или билы при рабочем режиме составляет  $T \approx 0,02 \dots 0,05$  с.

Время релаксации напряжений  $\lambda$  экспериментально определено в работе [65] для лесных почв. На основе статистической обработки результатов эксперимента получены аппроксимационные зависимости в двух формах. Для расчетов выбран вариант следующего вида:

$$\lambda = 1,7 + 0,565 W - 0,0436 T - 0,000747 W T, \quad (4.3)$$

где  $W$  – влажность, %;  $T$  – температура, °С.

В таблице 4.1 представлены расчетные значения времени релаксации почвы по формуле (4.3) [65].



Таблица 4.1 – Время релаксации лесных почв по данным

$W, \%$	30	45	60	30	45	60	30	45	60
$T, ^\circ\text{C}$	5	5	5	15	15	15	25	25	25
$\lambda, \text{c}$	3,19	3,915	4,814	2,243	2,824	3,522	1,855	2,4	3,031

Таким образом, время релаксации напряжений существенно больше, чем длительность отдельного прохода планки или билы ( $\lambda \gg T$ ). Поэтому в данных условиях можно рассматривать динамику изменения напряженно-деформированного состояния почвы без учета эффектов механической памяти, которые практически не успевают проявиться в изучаемом процессе интенсивного деформирования поверхностного слоя почвы, а для описания реологии почвы необходимо выбрать уравнение состояния, не зависящее от временного фактора, но описывающее упругопластическое поведение не насыщенной дисперсной системы.

### 4.3 Реологическое уравнение

Воздействие рабочих органов выкопной машины на почву приводит к возникновению в ней напряжений, которые превышают предел упругости. В результате структура материала изменяется, увеличивается его пористость и происходит необратимое изменение формы поверхности обрабатываемого слоя почвы. В ходе деформирования происходит образование трещин и пустот, разрыхление почвы, что приводит к увеличению ее объема. Исследование напряженно-деформированного состояния грунта возможно с использованием упругопластической модели. Среди моделей такого типа выбрана нелинейная модель Рамберга-Осгуда. Реологическая модель Рамберга-Осгуда представляется для одноосного напряженно-деформированного состояния в следующем виде [140, 211, 220, 262]:

$$\varepsilon = \begin{cases} \frac{\sigma}{E}, \sigma \leq \sigma_T \\ \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_0 \left[ \frac{\sigma}{\sigma_T} \right]^n, \sigma > \sigma_T \end{cases}, \quad (4.4)$$

где  $\varepsilon$  – деформация;  $\sigma$  – напряжение;  $E$  – модуль упругости;  $\sigma_T$  – условный предел текучести;  $\varepsilon_0$  и  $n$  – константы материала.

Модель Рамберга-Осгуда описывает упругое деформирование материала при напряжениях ниже условного предела текучести и переход к пластическому течению выше этого значения. При этом в пластической области полная деформация складывается из двух слагаемых. Первое слагаемое – это упругая деформация

$\left(\frac{\sigma}{E}\right)$ , второе слагаемое – пластическая деформация  $\varepsilon_0 \left[\frac{\sigma}{\sigma_T}\right]^n$ .

Уравнение (4.4) – в литературных источниках иногда называют модифицированным уравнением Рамберга-Осгуда и авторское уравнение записывается в следующей форме:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_0 \left[\frac{\sigma}{\sigma_T}\right]^n. \quad (4.5)$$

Как изложено в [262], реологическая модель (4.5) является частным случаем модели Надаи:

$$\varepsilon = \begin{cases} \frac{\sigma}{E}, \sigma \leq \sigma_p \\ \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_0 \left[\frac{\sigma - \sigma_p}{\sigma_T - \sigma_p}\right]^n, \sigma > \sigma_p \end{cases}, \quad (4.6)$$

где  $\sigma_p$  – предел пропорциональности.

Предполагая, что предел пропорциональности равен нулю, имеем:

$$\begin{cases} \sigma_p = 0 \\ \varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_0 \left[\frac{\sigma}{\sigma_T}\right]^n \end{cases}, \quad (4.7)$$

т. е. получаем основную форму уравнения Рамберга-Осгуда (4.5). В этом случае величина пластической деформации отлична от нуля при любых значениях напря-

жений. При этом вклад пластической составляющей становится существенным только при  $\sigma > \sigma_T$ .

Модель Рамберга-Осгуда может быть применена для изучения сложного напряженно-деформированного состояния материала только после обобщения, которое предлагается провести, записав реологическое уравнение в инвариантной форме:

$$\underline{\varepsilon} = \begin{cases} \frac{\underline{\sigma}}{E}, F_T(I_1, I_2, I_3) \leq 0; \\ \frac{\underline{\sigma}}{E} + \frac{\varepsilon_0}{\sigma_T} \underline{\sigma} \left[ \sqrt{\frac{1}{2} \text{tr} \underline{\sigma}^2} / \sigma_T \right]^{n-1}, F_T(I_1, I_2, I_3) > 0. \end{cases} \quad (4.8)$$

В уравнении (4.8) волнистой линией подчеркнуты:  $\underline{\varepsilon}$  – тензор деформаций;  $\underline{\sigma}$  – тензор напряжений;  $I_1, I_2, I_3$  – инварианты тензора напряжений. Реологические параметры математической модели, определяют при проведении экспериментальных исследований:  $\sigma_T$  – предел текучести, Па;  $E$  – модуль упругости, Па;  $n$  и  $\varepsilon_0$  – константы материала. Неравенство  $F_T(I_1, I_2, I_3) > 0$  позволяет установить условие текучести материала.

В процессе работы выкопчной машины в слое почвы возникают процессы пластической деформации и образуются зоны разрушения. Показателем разрушения слоя почвы рекомендуется принять критерий Друккера-Прагера, используемый при оценке состояния строительных материалов и при изучении прочности различных материалов [83, 211]. С учетом этого уравнение Друккера-Прагера запишем в следующем виде:

$$F_T = J_2 - B \cdot I_1 - A, \quad A = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\sigma_p \sigma_c}{\sigma_p + \sigma_c}, \quad B = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\sigma_p - \sigma_c}{\sigma_p + \sigma_c}, \quad J_2 = \sqrt{\frac{1}{2} \text{tr} \tau^2}, \quad (4.9)$$

где  $I_1$  – первый инвариант тензора напряжений;  $\frac{1}{2} \text{tr} \tau^2$  – второй инвариант тензора напряжений  $\tau$ , МПа<sup>2</sup>;  $\sigma_c$  и  $\sigma_p$  – пределы прочности почвы на сжатие и растяжение, МПа. Предлагая, что при  $B = 0$  функция текучести Друккера-Прагера переходит в функцию текучести Хубера-Мизеса, то получим следующее выражение:

$$F_T = J_2 - A. \quad (4.10)$$

Для определения компонента девиатора тензора напряжений  $\tau$  воспользуемся следующим соотношением:

$$\tau_{ij} = \sigma_{ij} - I_1 \delta_{ij}. \quad (4.11)$$

С учетом плоского деформированного состояния почвы, выражения для инвариантов  $I_1, J_2$  примут следующий вид:

$$I_1 = tr \underline{\sigma} = \frac{1}{3}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}); \quad \frac{1}{2} tr \tau^2 = J_2^2 = \tau_{xx} \tau_{yy} + \tau_{xx} \tau_{zz} + \tau_{zz} \tau_{yy} - \tau_{xy}^2; \quad p = -\frac{1}{3} tr \underline{\sigma};$$

$$\tau_{xx} = \frac{1}{3}(2\sigma_{xx} - \sigma_{yy}); \quad \tau_{yy} = \frac{1}{3}(2\sigma_{yy} - \sigma_{xx}), \quad \tau_{xx} = -\frac{1}{3}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}). \quad (4.12)$$

Уравнения (4.9), (4.10) и выражение (4.12) дают возможность для оценки целостности пласта почвы.

Отметим, что при расчете напряженно-деформированного состояния геоматериалов с различными воздействиями на него и когда реализуется знакопеременная пластичность при значительном количестве циклов колебаний, рекомендуется использовать модели Мейзинг-типа [135]. В этих моделях кроме деформационного упрочнения учитывается эффект Баушингера, вследствие этого на диаграмме напряжение-деформация появляется петля гистерезиса. Для модели Рамберга-Осгуда может быть введена зависимость для скелетной ветви диаграммы следующего вида:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \left( \frac{\sigma}{\sigma_T} + \alpha \left[ \frac{\sigma}{\sigma_T} \right]^n \text{sign}(\sigma) \right), \quad \varepsilon_0 = \frac{\sigma_T}{E(1 + \alpha)}, \quad (4.13)$$

а также для ветви повторного нагружения или разгрузки в форме:

$$\varepsilon = \varepsilon^* + \varepsilon_0 \left( \frac{\sigma - \sigma^*}{\sigma_T} + 2\alpha \left[ \frac{\sigma - \sigma^*}{2\sigma_T} \right]^n \text{sign}(\sigma - \sigma^*) \right). \quad (4.14)$$

Величины  $\sigma^*$ ,  $\varepsilon^*$  соответствуют напряжению и деформации в начальный момент повторного нагружения или разгрузки. В данных исследованиях явление гистерезиса нагружения-разгрузки не рассматривается. Реологическая модель почвогрунта определяется уравнениями (4.8 и 4.10).

#### 4.4 Реологические коэффициенты

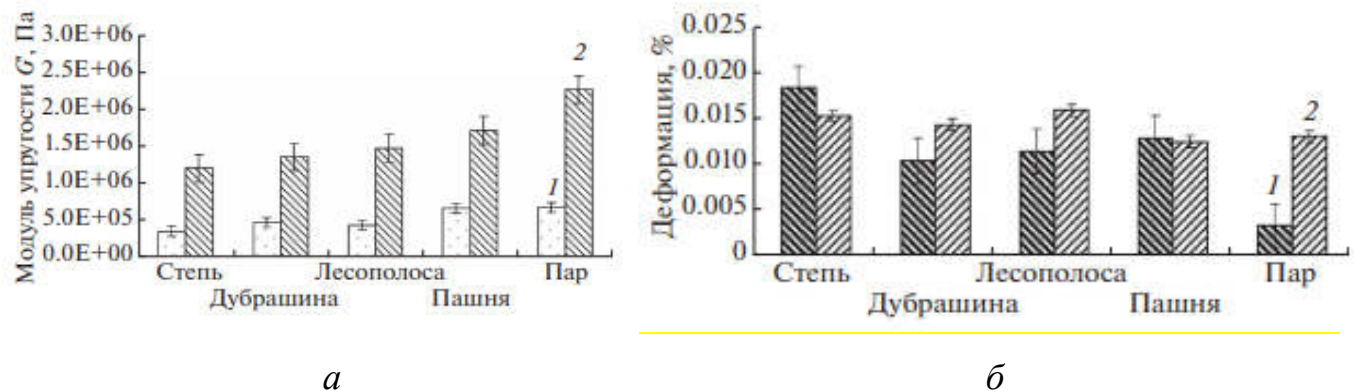
Реологическое уравнение (4.8) содержит 4 реологических константы – модуль упругости  $E$ , предел текучести  $\sigma_T$ , параметры  $\varepsilon_0$  и  $n$ . Следует отметить, что модуль упругости является материальной константой среды, которая определяется из опытов. Методика определения трех других реологических констант уравнения Рамберга-Осгуда предложена автором модели, а также приводятся в других публикациях [140, 211, 220, 262].

Упругие свойства грунтов изучены достаточно полно и известны различные методики определения модуля их упругости  $E$ .

В работе [247] использовалось специальное устройство, создающее колебания малой интенсивности. При влажности суглинистой почвы в пределах 8,9 ... 20,7 % значения модуля ее упругости составляют 2,027 ... 4,430 МПа. Минимальное значение модуля упругости почвы получено при абсолютной ее влажности 10 %, а максимальное – при 15,5 %. Авторами [247, 259] сделан вывод, что повышение модуля упругости почвы, при увеличении ее влажности, обусловлено ролью прочно и рыхлосвязанной воды, которая повышает упругость межагрегатных связей.

В работе [257] для определения модуля упругости использовался колебательный метод с использованием реометра MCR-302. Измерения показали, что в автоморфных почвах среднее значение модуля упругости увеличивается с  $7,95 \cdot 10^5$  Па – в почве зоны южной тайги, до  $1,69 \cdot 10^6$  Па – в почве лесотундры. Кроме того, выявлено снижение значений пределов упругости и пластичности в северном направлении. Диапазон упругой деформации по данным ограничен значением  $\approx 0,0015$  для среднесуглинистых почв и  $\approx 0,0033$ , для легкосуглинистых почв северной тайги.

Экспериментальные данные, полученные для черноземных почв [259] представлены на рисунке 4.3. Эти данные позволяют оценить модуль сдвига в диапазоне  $(0,5 \dots 2,2) \cdot 10^6$  Па, а также максимальные деформации в зоне линейного вязкоупругого деформирования  $\approx 0,012 \dots 0,017$ .



*a* – модуль сдвига; *б* – деформация; 1 – максимальное набухание; 2 – превышение предела текучести

Рисунок 4.3 – Характеристики типичных черноземов в различных условиях использования при значениях влажности

Результаты исследования модуля упругости, полученные с использованием прибора АСИС (производство компании ООО «НПП «Геотек»»), согласуются с данными, приведенными выше: модуль упругости глинистой почвы, независимо от скорости ее нагружения, составляет около 50 МПа [183].

Применительно к дорожному строительству модуль упругости грунта определяют в лабораторных условиях на рычажном прессе, а в полевых условиях с помощью динамической измерительной установки с жестким штампом, в соответствии с требованиями СТБ 1566-2005 «Дороги автомобильные. Методы испытаний». Результаты измерений приведены в таблице 4.2. Для супеси и суглинка модуль упругости  $E$  составляет 25 ... 108 МПа. В этот же диапазон модуля упругости попадают пылевидный песок и глина.

Таким образом, по разным данным диапазон измерений модуля упругости грунта составляет 2 порядка.

Реологическая константа  $\epsilon_0$  определяется как значение пластической деформации, соответствующей условному пределу текучести, из уравнения:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_T - \frac{\sigma_T}{E}, \quad (4.15)$$

где  $\varepsilon_T$  – общая деформация материала, соответствующая условному пределу текучести.

Таблица 4.2 – Значения модуля упругости (ДМД 02191.5.008-2009)

Степень связности грунта	Тип грунта	Разновидность	Среднее значение модуля упругости при уплотнении $E$ , МПа
Несвязный	Песок	Крупный	130
		Средний	120
		Мелкий	100
		Пылеватый	96 ... 43
Слабо связный	Супесь	Легкая крупная	65
		Легкая	70 ... 40
		Пылеватая	108 ... 25
		Тяжелая пылеватая	108 ... 25
Связный	Суглинок	Легкий, легкий пылеватый, тяжелый, тяжелый пылеватый	108 ... 23
Сильно связный	Глина	Песчанистая	50
		Пылеватая	40
		Жирная	30

Отметим, что условным пределом текучести  $\sigma_T$  называется напряжение, при котором остаточная деформация составляет 0,2 % (в зарубежной литературе 0,5 %) [63]. Предел текучести в грунтоведении имеет смысл, отличный от принятого в механике, а также имеет и другую размерность.

Поскольку напряжение, соответствующее условному пределу текучести  $\sigma_T$ ,

относится к состоянию разрушения грунта без нарушения его сплошности, то значение  $\sigma_T$  принадлежит к диапазону определяемых в экспериментах значений  $[\sigma_{\text{пн}}, \sigma_{\text{пр}}]$ , где  $\sigma_{\text{пн}}$  – предел пропорциональности,  $\sigma_{\text{пр}}$  – предел прочности (временное сопротивление разрушению).

Диапазон значений для  $\sigma_{\text{пр}}$  зависит от влажности, консистенции, состава и концентрации поровой жидкости [183]. Существенное влияние на временное сопротивление сжатию грунтов оказывает их влажность. С учетом этого их прочность на сжатие изменяется в широких пределах (табл. 4.3). Для полутвердой и тугопластичной консистенции глинистого грунта установлены значения предела прочности от 0,1 до 0,4 МПа. Для глинистого грунта твердой консистенции  $\sigma_{\text{пр}} > 0,4$  МПа, причем глинистый грунт с влажностью 12 % характеризуется пределом прочности 0,65 МПа [183].

Таблица 4.3 – Пределы прочности на сжатие для различной консистенции глинистых грунтов

Консистенция грунта	Временное сопротивление сжатию грунта $\sigma_{\text{пр}}$ , МПа
Текучая	< 0,025
Текучепластичная	0,025 ... 0,05
Мягкопластичная	0,05 ... 0,1
Тугопластичная	0,1 ... 0,2
Полутвердая	0,2 ... 0,4
Твердая	> 0,4

Для песчаных грунтов коэффициент Пуассона определен в интервале от 0,2 до 0,27 и для маловлажных лёссовых грунтов от 0,1 до 0,45, причем, чем больше влажность, тем больше коэффициент Пуассона.

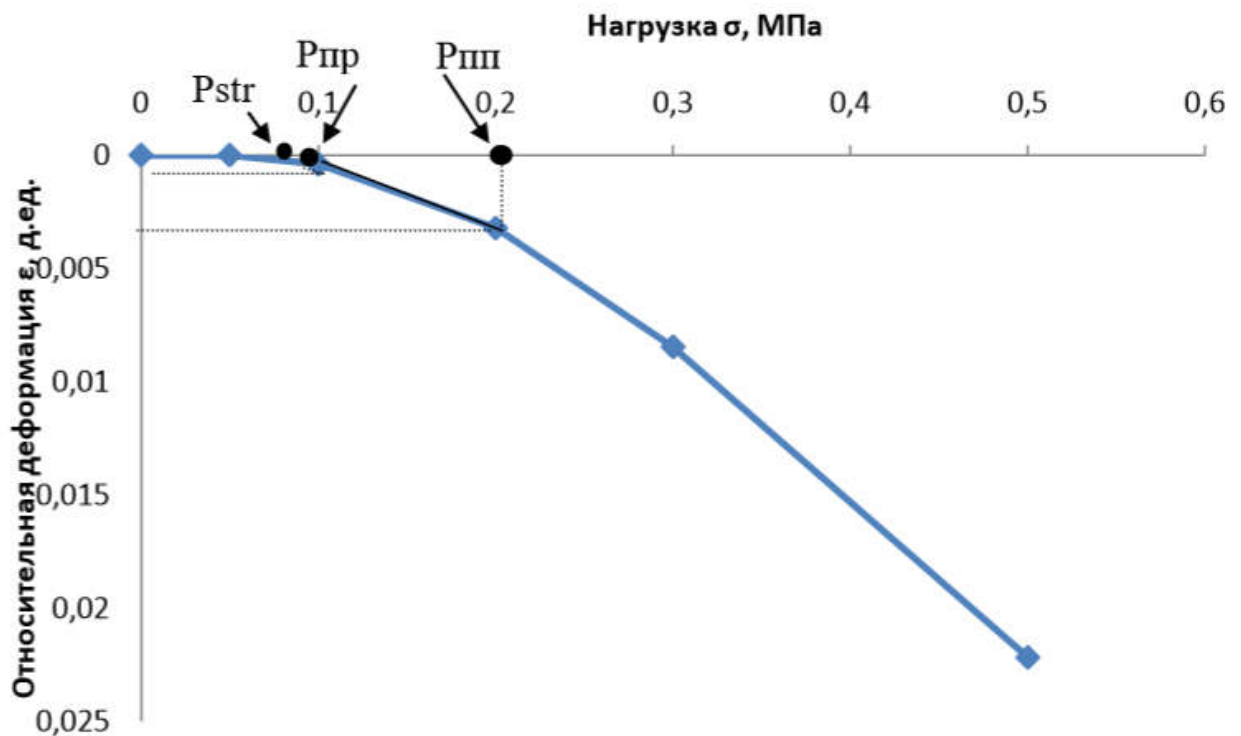
Предел пропорциональности грунта  $\sigma_{\text{пн}}$  зависит от тех же факторов, что и предел прочности. Значение величины  $\sigma_{\text{пн}}$  по результатам [183] можно принять равным около 0,2 МПа. Отметим, что как следует из рисунка 4.4, соответствующая деформация сжатия составляет 0,005.



Для отыскания параметра  $n$ , необходимо в уравнение Рамберга-Осгуда подставить вместо  $\sigma$  предел прочности ( $\sigma_{пр}$ ), а вместо  $\varepsilon$  – полную деформацию, соответствующую пределу прочности. Для такого случая:

$$n = \frac{\ln(\varepsilon_{пр} - \sigma_{пр} / E) - \ln(\varepsilon_0)}{\ln(\sigma_{пр} / \sigma_T)} . \quad (4.16)$$

На рисунке 4.5 представлены кривые «напряжение-деформация» слоя почвы, соответствующие уравнению Рамберга-Осгуда, при следующих значениях реологических параметров:  $E = 8 \cdot 10^7$  Па,  $\sigma_m = 1,5 \cdot 10^5$  Па,  $\varepsilon_0 = 1,25 \cdot 10^{-4}$ . Величина  $n$  изменяется в пределах от 1 до 4.



$P_{str}$  – структурная прочность;  $P_{пр}$  – природное давление;  $P_{III}$  – предел пропорциональности

Рисунок 4.4 – Диаграмма относительной деформации  $\varepsilon(\sigma)$  по результатам компрессионных испытаний

#### 4.5 Начальные и граничные условия

В уравнения (4.1, 4.2, 4.8 и 4.10) необходимо ввести начальные и граничные условия. Граничные условия представляются двумя типами: на границах фрагмента

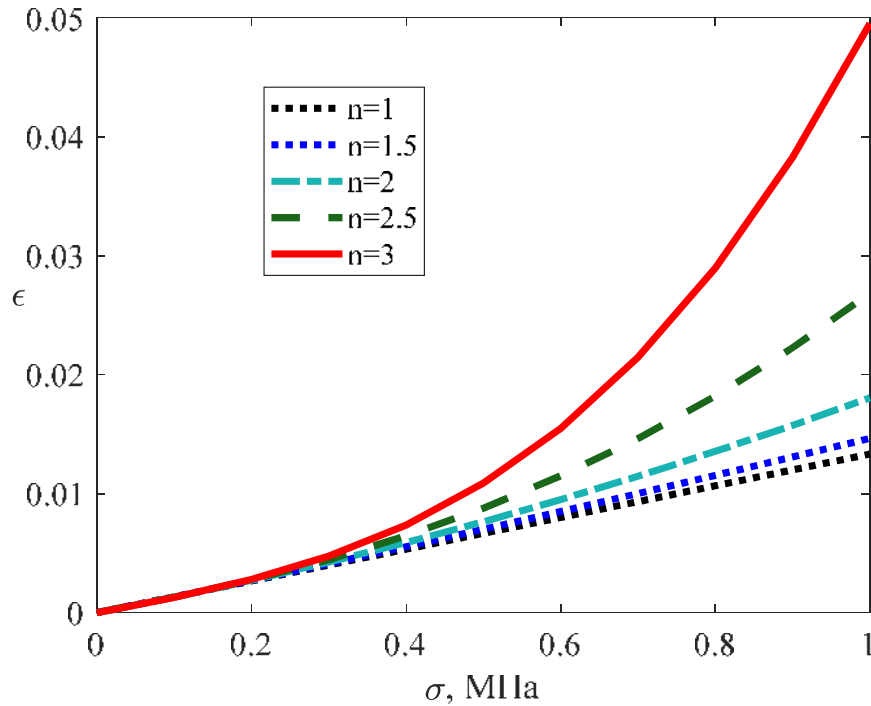


Рисунок 4.5 – Реологические кривые для одноосного сжатия грунта, рассчитанные по уравнению Рамберга-Осгуда при  $E = 8 \cdot 10^7$  Па,  $\sigma_T = 1,5 \cdot 10^5$  Па,  $\varepsilon_0 = 1,25 \cdot 10^{-4}$  и различных параметрах  $n$

почвы и на поверхностях контакта планок и бил с почвой. На границах выделенного фрагмента почвы имеются смешанные граничные условия.

Верхняя граница фрагмента почвы:

$$\sigma \cdot \vec{n} \Big|_{y=h_1+h_2} = 0, \quad (4.17)$$

где  $\vec{n}$  – вектор единичной внешней нормали.

Нижняя граница фрагмента почвы считается закрепленной на основании, на которое не оказывают влияние рабочие органы выкопчной машины и вектор перемещения равен нулю:

$$\vec{u} \Big|_{y=0} = 0. \quad (4.18)$$

На боковых границах фрагмента считаем, что грунт неподвижен:

$$\vec{u} \Big|_{\substack{x=0 \\ x=a_1}} = 0. \quad (4.19)$$

Внутренние границы фрагмента почвы совпадают с границами движущихся

планок и бил при известной и постоянной их угловой скорости  $\omega$ . Амплитуда колебаний планок и бил составляет около  $30^\circ$ . Планки и била выкопчной машины совершают сложное плоскопараллельное движение, которое является результирующей их поступательного и вращательного движения.

При математическом моделировании процесса выкопки посадочного материала необходимо определить рациональные режимы работы выкопчной машины:  $\omega$  – угловая скорость рабочих органов и  $V$  – скорость движения выкопчной машины.

Принимая во внимание, что планки и била практически не деформируемы в процессе их взаимодействия с почвой, то скорости могут быть определены по формуле (см. рис. 4.1):

$$\vec{v} = \vec{v}_{O_1} + [\vec{\omega}, \vec{r}_{O_1M}]. \quad (4.20)$$

Для проекций вектора скорости частицы  $M$  почвы, связанной с поверхностью рабочего органа условием прилипания, получаем следующие выражения:

$$\begin{aligned} v_{Mx} &= v_{O_1x} - \omega(y_M - y_{O_1}), \\ v_{My} &= v_{O_1y} + \omega(x_M - x_{O_1}). \end{aligned} \quad (4.21)$$

Предполагая, что  $v_{O_1x} = V$ ,  $v_{O_1y} = 0$ , на подвижных границах имеем следующие условия для скоростей движения частиц почвы:

$$\begin{aligned} v_x &= V - \omega(y - b_3); \\ v_y &= \omega(x - Vt). \end{aligned} \quad (4.22)$$

В качестве начальных условий принято следующее условие:

$$\vec{u} = 0. \quad (4.23)$$

Математическая модель состояния почвы, при взаимодействии ее с рабочими органами выкопчной машины, представляет собой нелинейную двумерную начально-краевую задачу, поставленную для объема среды со свободной грани-

цей, в которой также имеются внутренние подвижные границы (4.1), (4.2), (4.8), (4.17), (4.18), (4.19), (4.22), (4.23). Математическая модель является не стационарной и не линейной и представляет собой сложную задачу для ее анализа и исследования. Таким образом, анализ такой математической модели возможен с использованием численных методов.

#### **4.6 Метод исследования математической модели напряженно-деформированного состояния почвы**

Исследование состояния почвы при проникновении и движении в ней твердого не деформируемого тела проводилось преимущественно для задач, связанных с проблемами ударных и взрывных процессов [129, 253]. Задачи, связанные с обработкой почвы и посвященные проблемам ее деформирования, представлены сравнительно не большим количеством исследований. Аналитические результаты получены для случаев, когда рассматривались линейные деформации материала, как правило, в одномерной постановке. В данном исследовании рассматривается деформирование почвенного фрагмента в виде слоя со свободной границей вследствие движения в нем планок бил выкопчной машины. Теоретическое изучение задач аналогичного типа ранее не проводилось.

Анализ сформулированной математической модели проведен с использованием метода конечных элементов на основе программного пакета COMSOL Multiphysics 5.3a (лицензия № 9601053). Для проведения расчета создана модель с использованием базовой части универсальной среды численного моделирования и специализированного модуля «Structuralmechanics», который позволяет решать уравнения движения твердого деформируемого тела совместно с реологическим уравнением его состояния. Модуль позволяет вычислять распределение полей перемещений, деформаций и напряжений в материале. Пакет программ «COMSOL» предусматривает использование инструментария подвижных сеток с оптимальным количеством степеней свободы. В связи с этим имеется возможность определить форму свободной поверхности слоя почвы в любой момент времени.

#### 4.7 Входные расчетные параметры математической модели

Численный анализ деформирования почвы при движении рабочих органов выкопчной машины проводился при следующих базовых значениях.

Плотность почвы  $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ .

Геометрические параметры: длина билы  $l_1 = 0,3 \text{ м}$ ; длина планки  $l_1 = 0,45 \text{ м}$ . Высота верхнего разрыхляемого слоя почвы  $b_1 = 0,1 \text{ м}$ , максимальная высота слоя почвы, контактирующего с билой или планкой  $b_2 = l_1 \sin(\varphi_{\max})$  (рис. 4.1). Максимальный угол поворота элементов рабочих органов выкопчной машины  $\varphi_{\max} = \pi/6$ . Высота слоя почвы в рабочей зоне  $b_3 = 0,1 \text{ м}$ . Ширина домена  $a_1 = 5l_1$ .

Реологические параметры почвы: модуль упругости  $E = 8 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ; предел текучести  $\sigma_T = 5 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ; показатель  $n = 2$ ; деформация при  $\sigma = \sigma_T$  соответствует значению  $\varepsilon_0 = 0,04$ ; предел пропорциональности почвы  $\sigma_{\text{ПП}} = 0,1 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ; предел прочности почвы  $\sigma_{\text{ПР}} = 1,4 \cdot 10^6 \text{ Па}$ .

Режимные параметры: скорость движения выкопчной машины  $V = 1 \dots 5 \text{ м/с}$ ; частота вращения вала рабочего органа  $\omega = 200 \dots 500 \text{ об./мин}$ .

Отметим, что характерное время процесса может оцениваться как время одного цикла вращения билы или планки составляет  $T = \varphi_{\max}/\omega$ .

#### 4.8 Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния почвы при движении рабочих органов выкопчной машины

Рисунки 4.6, 4.7 и 4.8 иллюстрируют динамику распределения по объему почвенного фрагмента интенсивности напряжений по Мизесу, давления, вертикального и горизонтального перемещения и объемной деформации при  $l_1 = 0,45 \text{ м}$ ,  $V = 1 \text{ м/с}$ ,  $\omega = 500 \text{ об./мин}$ .

Величина интенсивности напряжений по Мизесу  $J_2$ , определяемая через 2-ой инвариант девиатора тензора напряжений:

$$J_2 = (1/2 \text{ tr} \tau^2)^{1/2}, \quad (4.24)$$

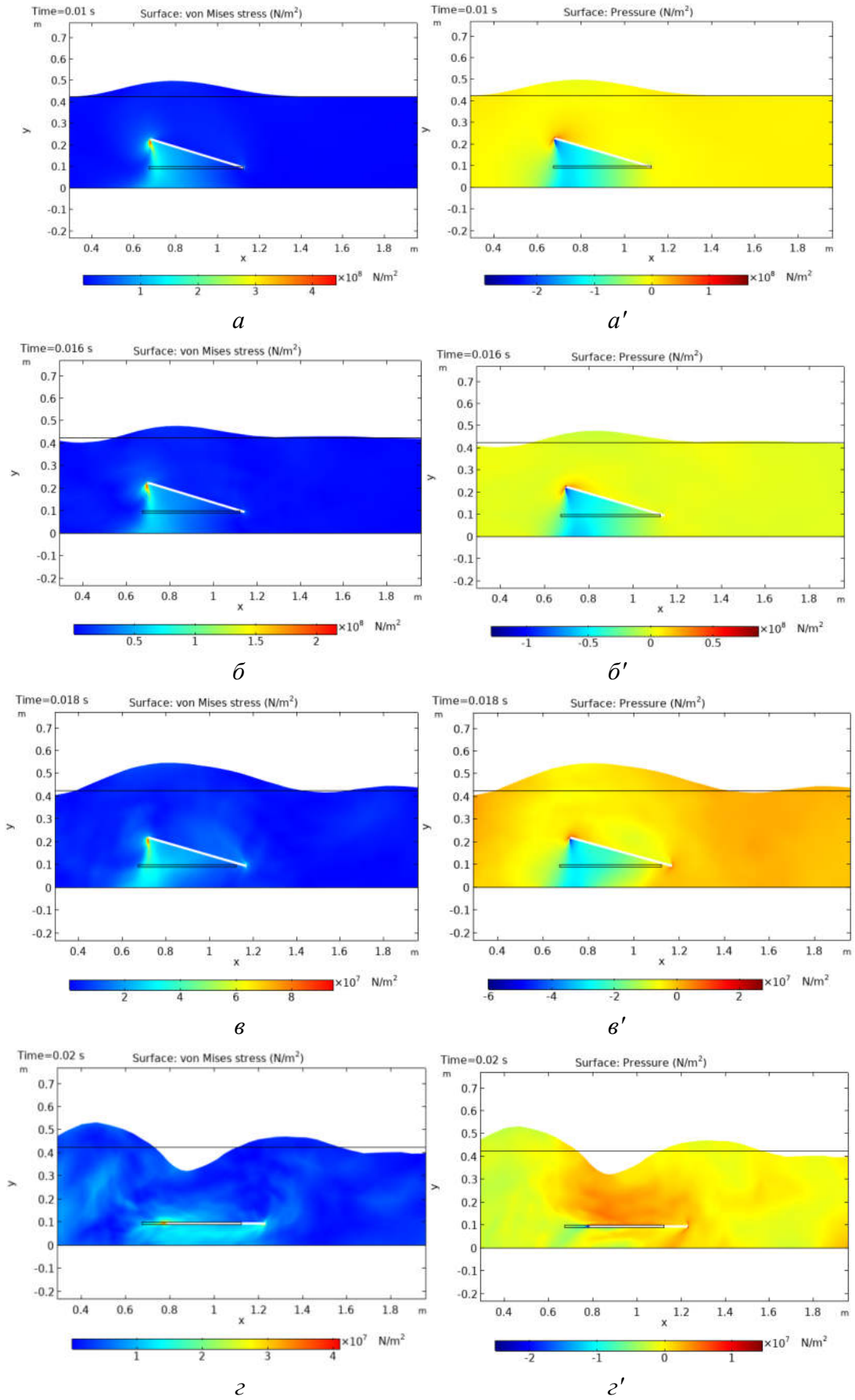
используется при формировании критериев разрушения Хубера-Мизеса (4.10). Повреждения локализуются в тех зонах, где напряжение по Мизесу становится равным предельному напряжению. Как видно из рисунков 4.6 *a* ... *z*, наибольшая интенсивность напряжений наблюдается в области точек планки, наиболее удаленных от центра вала  $O_1$  (рис. 4.1) в момент времени, соответствующий половине периода колебаний билы  $T_{d2} = T/2$ , когда планка занимает верхнее положение. При этом та область почвенного домена, которая не контактировала с рабочим органом, первоначально в течение примерно  $3/4$  первого периода колебаний перемещается как твердое недеформируемое тело, благодаря наличию свободной поверхности, не препятствующей любым перемещениям почвы. К концу периода имеет место существенно-неоднородное распределение напряжений, которому соответствует достаточно сильная деформация свободной поверхности разрыхленной почвы.

Анализ поля давления в почве показывает (рис. 4.6 *a'* ... *z'*), что в период подъема билы в нижней области формируется зона растягивающих напряжений, которые могут, как известно, приводить к нарушениям сплошности среды. К концу периода эти области практически исчезают. Над горизонтальной поверхностью била неравномерно опускаются элементы поднятой почвы, создавая зону повышенного давления. В процессе моделирования время одного полного цикла движения планки составляло 0,02 с.

Рисунок 4.7 представляет изменение за период колебаний характера перемещений вдоль горизонтального и вертикального направлений. Распределение горизонтальных перемещений существенно неоднородно, при этом знак перемещения частиц почвы  $u$ , находящихся с верхней стороны планки, может быть и положительным, и отрицательным.

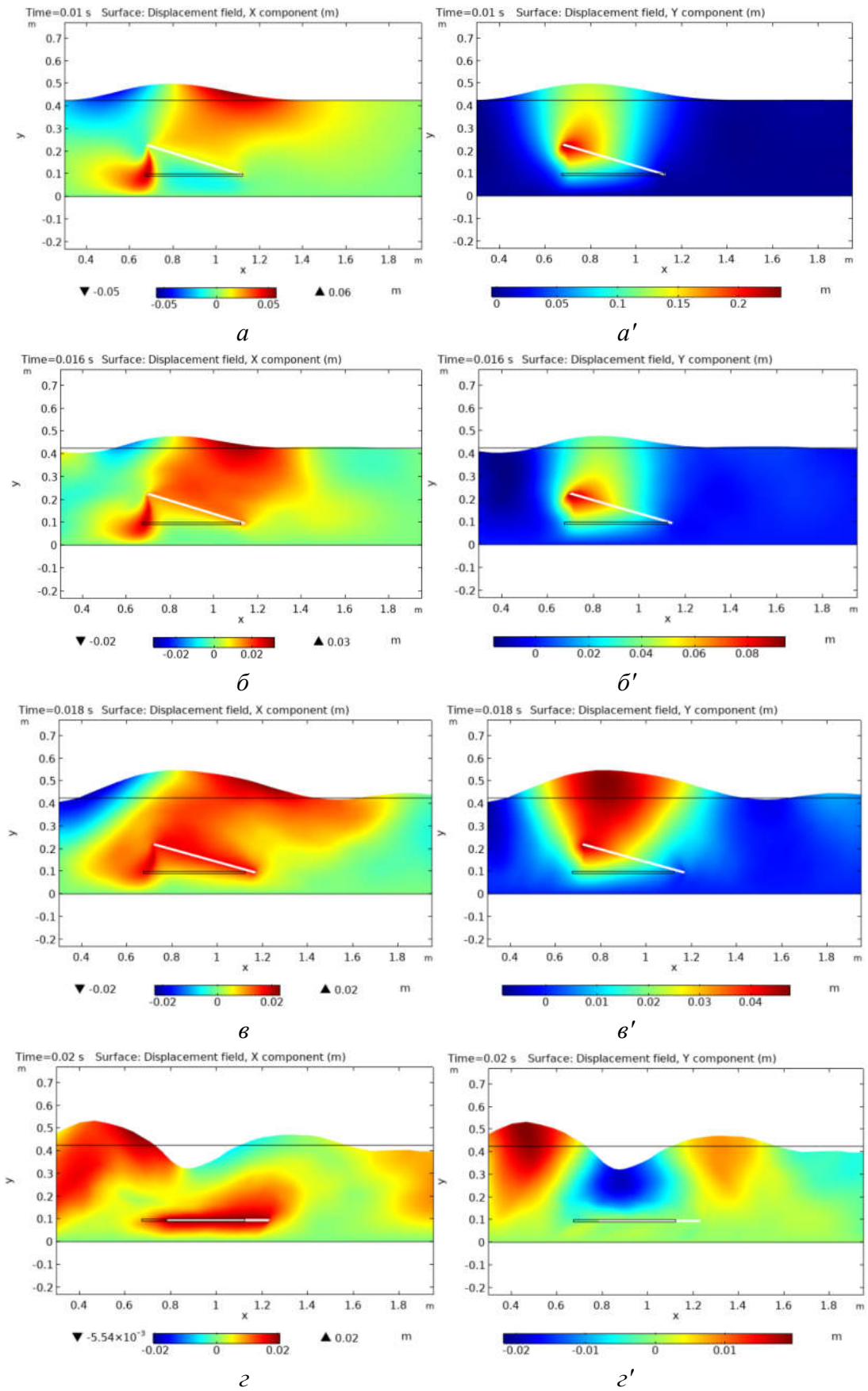
Вертикальные смещения почвы  $v$ , связанные с движением билы, приводят к формированию «горбов» на поверхности почвы при росте значений вертикального перемещения и «впадин», когда происходит падение компоненты  $v$  с переходом к отрицательным значениям.

Объемная деформация почвы изменяется аналогично давлению среды, что характерно для упругих материалов (рис. 4.8). При этом области почвы, где давле-



$a \dots g$  – интенсивность напряжения по Мизесу  $J_2$ , Па;  $a' \dots g'$  – давление  $p$ , Па;  $a, a' - t = 0,01$  с;  
 $б, б' - t = 0,016$  с;  $в, в' - t = 0,018$  с;  $г, г' - t = 0,02$  с

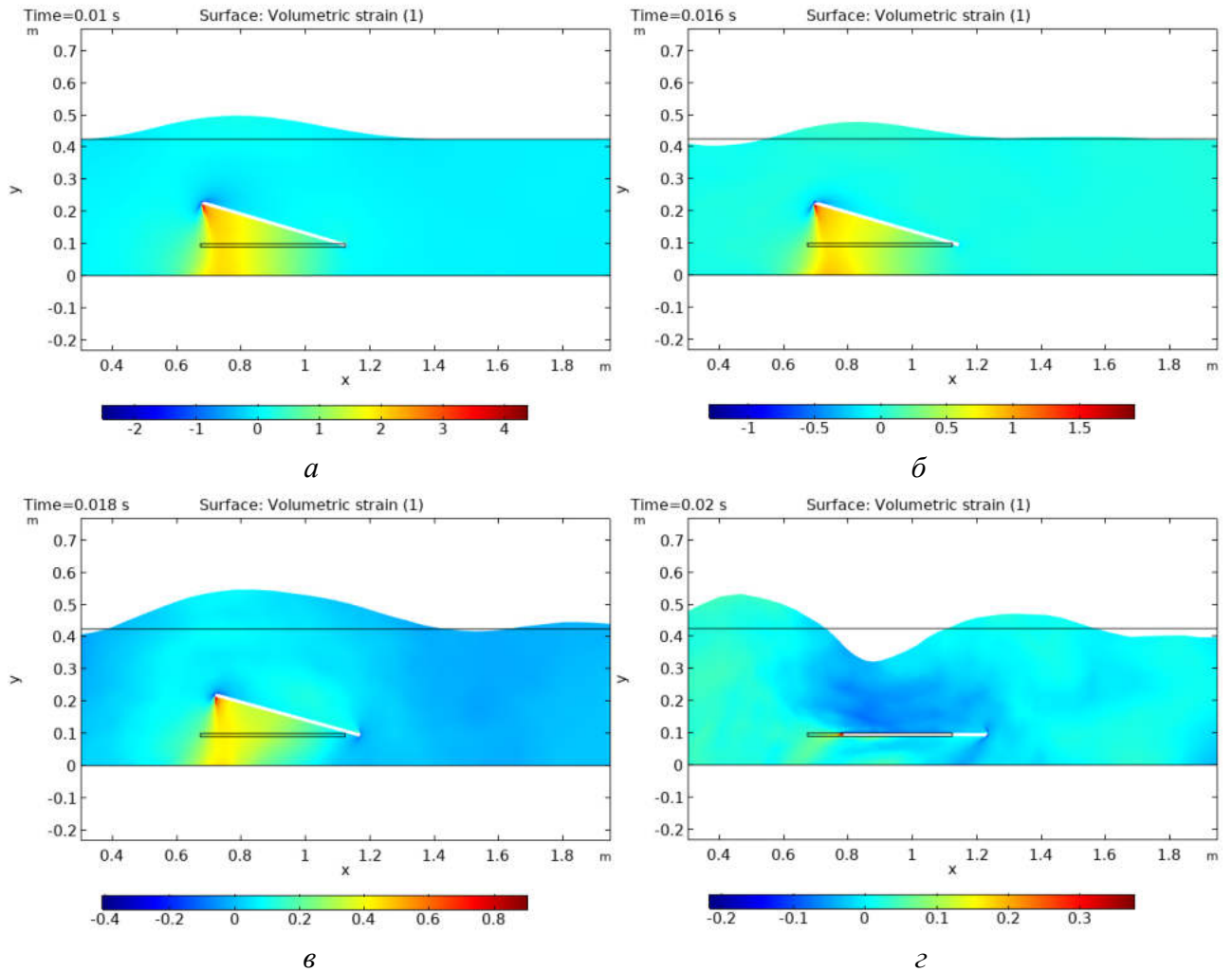
Рисунок 4.6 – Распределение в слое почвы для различных моментов времени



$a \dots \zeta$  – горизонтальной  $u$ , м;  $a' \dots \zeta'$  – вертикальной  $v$ , м;  $a, a' - t = 0,01$  с;  $\delta, \delta' - t = 0,016$  с;  $\epsilon, \epsilon' - t = 0,018$  с;  $\zeta, \zeta' - t = 0,02$  с

Рисунок 4.7 – Распределение компонент вектора перемещений в слое почвы для различных моментов времени





$$a - t = 0,01 \text{ c}; \quad б - t = 0,016 \text{ c}; \quad в - t = 0,018 \text{ c}; \quad г - t = 0,02 \text{ c}$$

Рисунок 4.8 – Распределение первого инварианта тензора деформаций в слое почвы для различных моментов времени

ление среды отрицательно подвержены растягивающим объемным деформациям и наоборот. Для характеристики влияния параметров и режимов работы выкопчной машины на проходящие в слое почвы процессы используются временные зависимости некоторых усредненных по ее высоте значений вертикального перемещения почвы и интенсивности напряжений по Мизесу. Слой почвы, по высоте которого происходит усреднение для  $t = 0$ , показан на схеме (рис. 4.9). Этот слой почвы имеет верхнюю подвижную, изменяющуюся вдоль продольной координаты границу, определяемую в процессе решения. При  $t = 0$  уравнение верхней границы  $y = b_1 + b_2 + b_3$ . Нижняя граница неизменна и определяется уравнением  $y = b_3$ . На рисунке 4.9 показаны линии (отрезки), выделенные в домене, вдоль которых проводилось усреднение выходных параметров модели. Линии 1 ... 4 описы-

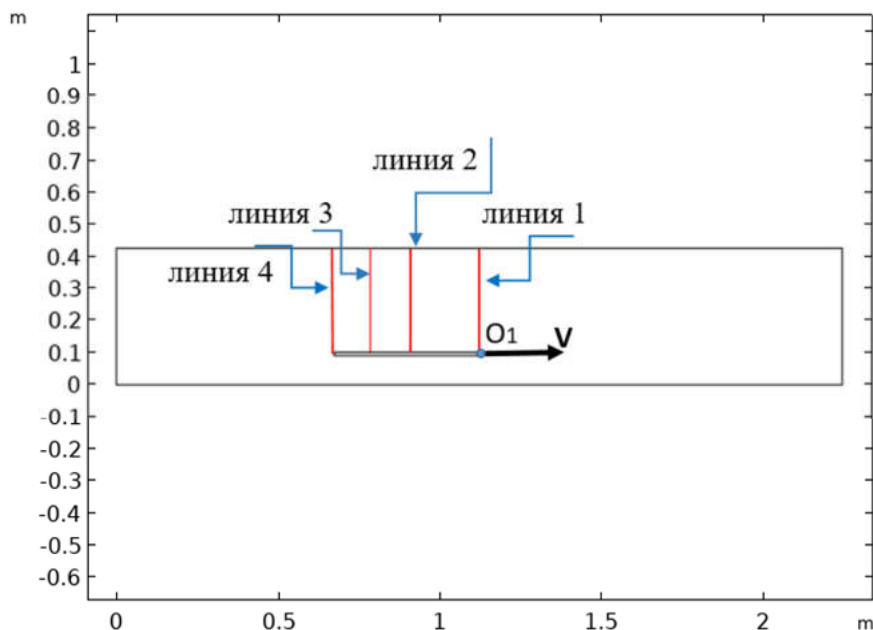


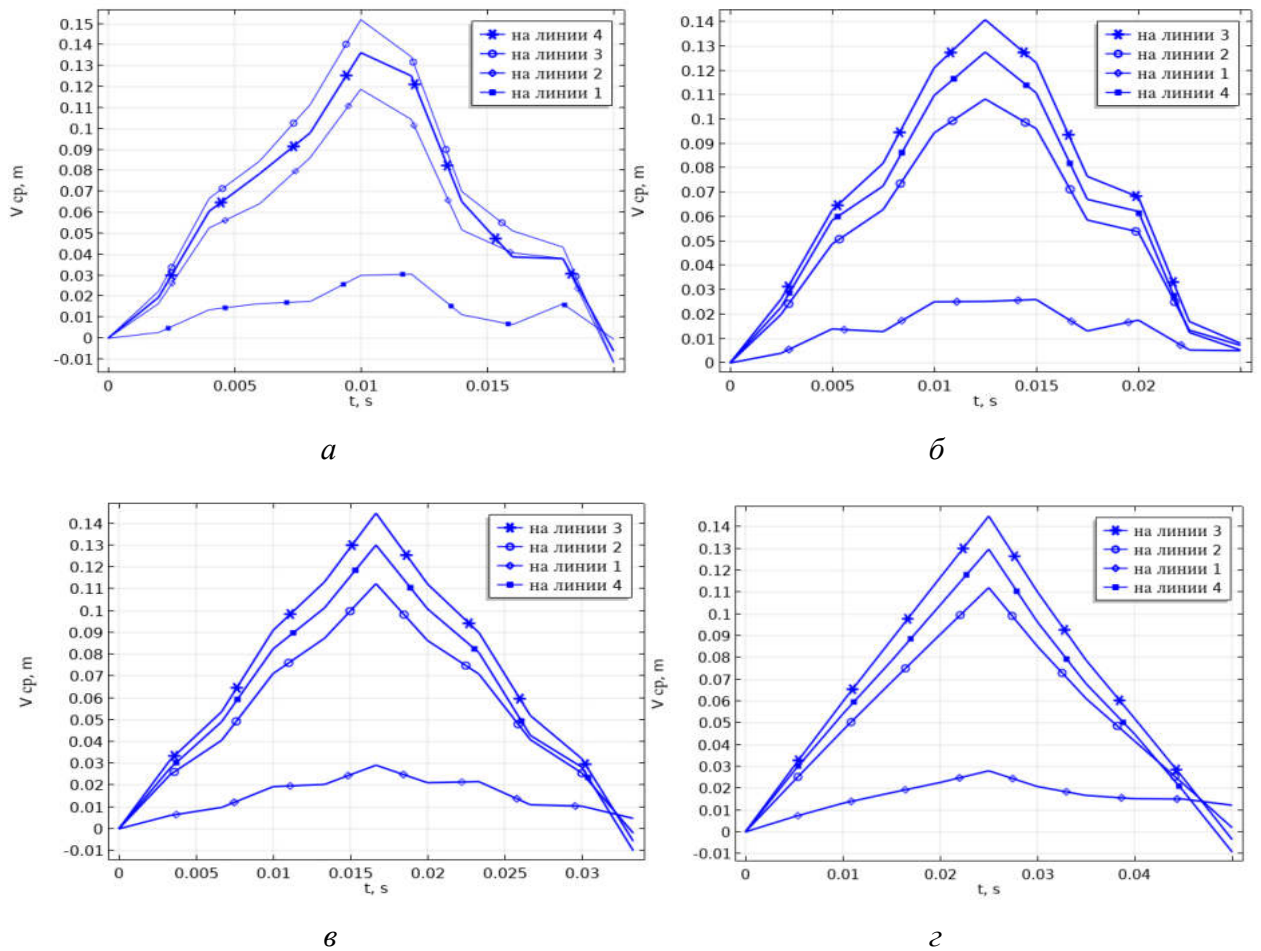
Рисунок 4.9 – Схема расположений сечений фрагмента почвы, по длине которых проведено усреднение расчетных параметров модели

ваются уравнениями  $x = a_1/2$ ,  $x = a_1/2 - l_1/2$ ,  $x = a_1/2 - 3l_1/4$ ,  $x = a_1/2 - l_1$ , соответственно.

На рисунке 4.10 представлены зависимости вертикального перемещения частиц почвы, усредненного вдоль выбранных линий 1 ... 4, от времени для различных значений угловой скорости вращения. Каждая серия кривых  $a \dots g$  построена для первого периода, который составляет примерно 0,02 с для  $\omega = 500$  об./мин, 0,025 с для  $\omega = 400$  об./мин, 0,033 с для  $\omega = 300$  об./мин и 0,05 с для  $\omega = 200$  об./мин. Амплитуда вертикального перемещения практически не зависит от угловой скорости планки или билы, что связано с отсутствием диссипативных и релаксационных эффектов при деформировании среды Рамберга-Осгуда.

Частота вращения вала рабочего органа выкопчной машины достаточно высока, поэтому влияние волновых эффектов на характер распределения зависимых переменных может быть значительным. Отражение волн от свободной поверхности, а также от границы с не деформируемым полупространством приводит в этом случае к существенному изменению формы кривой  $v_{cp}(t)$ .

Известно, что в упругой среде могут формироваться волны двух типов – продольные (longitude) и поперечные (transverse). Скорости распространения этих



$a - \omega = 500$  об./мин;  $б - \omega = 400$  об./мин;  $в - \omega = 300$  об./мин;  $г - \omega = 200$  об./мин

Рисунок 4.10 – Усредненное по высоте значение вертикального перемещения  $v_{cp}$  частиц в сечениях слоя почвы, показанных на схеме

волн определяются следующим выражением [252]:

$$v_l = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}; \quad v_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (4.25)$$

где  $E$ ,  $G$  – модуль Юнга и модуль сдвига соответственно,  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Принимая во внимание, что скорость распространения продольной волны всегда больше, чем скорость распространения поперечной волны, и учитывая, что:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad (4.26)$$

для выбранных расчетных значений реологических параметров (п. 4.6) получаем  $v_l = 244,6$  м/с,  $v_t = 130,7$  м/с. Выбирая в качестве характерной длины величину

$b_1 + b_2 = 0,325$  м (рис. 4.1) – расстояние от оси вала до свободной недеформированной поверхности слоя почвы, получаем характерное время распространения продольной и поперечной упругой волны в почве:

$$T_1 = (b_1 + b_2)/v_1 = 0,0013; \quad T_t = (b_1 + b_2)/v_t = 0,0025. \quad (4.27)$$

Сравнение этих значений с величиной полупериода движения билы (на угловом перемещении  $\pi/6$ ) для различной частоты вращения вала приведено в таблице 4.4.

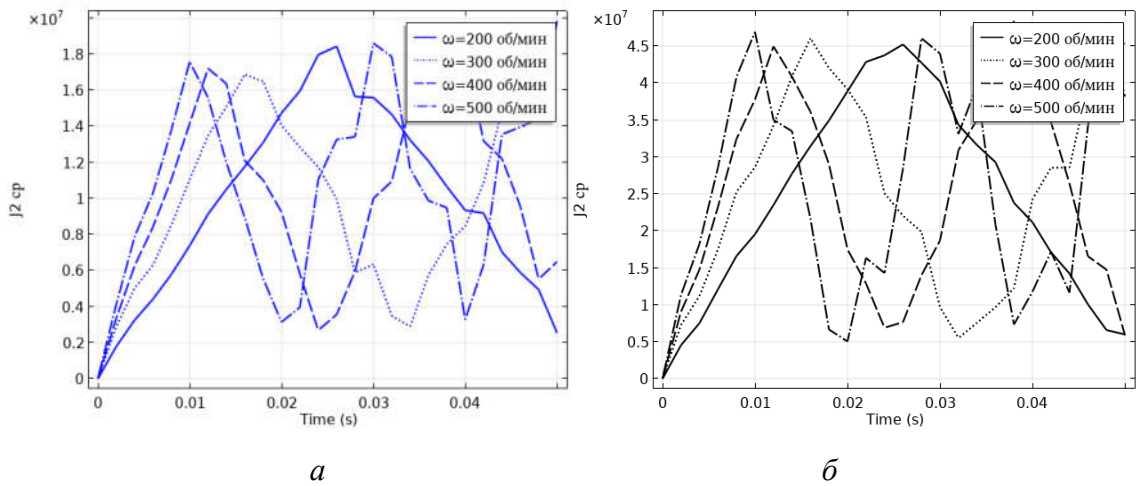
Таблица 4.4 – Оценки для характерного времени движения планки (билы) и характерного времени распространения упругих волн в почве

Частота вращения вала $\omega$ , об./мин	500	400	300	200
Полупериод движения планки (билы) $T_{d2}$ , с	0,01	0,0125	0,016667	0,025
Отношение $T_1/T_{d2}$	0,13	0,11	0,08	0,05
Отношение $T_t/T_{d2}$	0,25	0,20	0,15	0,10

Как видно из таблицы 4.4, влияние конечной скорости распространения продольных волн влияет на режим работы выкопчной машины при  $\omega = 500$  об./мин, а поперечных волн для всех режимов при  $\omega > 200$  об./мин. Таким образом, при высокочастотных режимах работы выкопчной машины, следует ожидать проявление не гладкого характера зависимостей, для основных переменных от времени, что видно из результатов моделирования, представленных на рисунках 4.10 ... 4.20.

На рисунке 4.11 показаны кривые изменения напряжения по Мизису, полученные при усреднении в разных зонах домена. Частота вращения билы практически не влияет на амплитуду колебаний величины  $J_{2cp}$  в данном вертикальном сечении, однако в области деформирования самой удаленной от оси вала (линия 4) интенсивность напряжений по Мизесу в 2,5 раза выше, чем в зоне близкой к середине планки (линия 2).

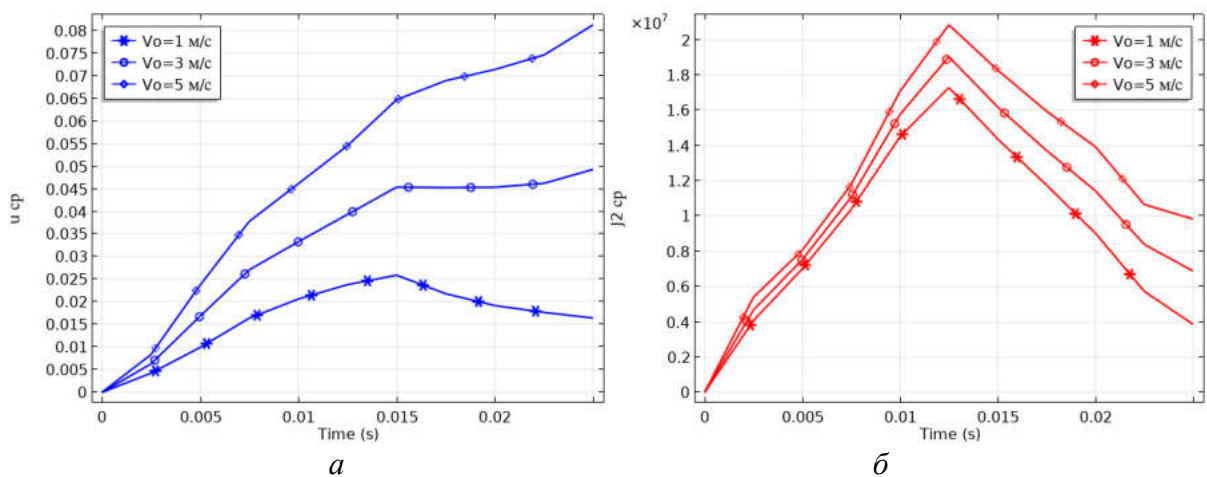
На рисунке 4.12 представлены временные зависимости исследуемых пере-



*a* – для линии 2; *б* – для линии 4

Рисунок 4.11 – Усредненные по высоте значения интенсивности напряжений по Мизесу  $J_{2cp}$ , Па от времени для различных значений частоты вращения вала рабочего органа  $\omega = 200 \dots 500$  об./мин

менных при различных скоростях поступательного движения выкопочной машины. С увеличением скорости движения машины в пять раз наблюдается очевидное увеличение также в пять раз усредненного горизонтального смещения почвы за период движения билы. При этом напряжения по Мизесу отличаются для этих режимов в 2,5 раза в конце полного прохода билы и всего в 1,2 раза в момент максимального ее подъема.

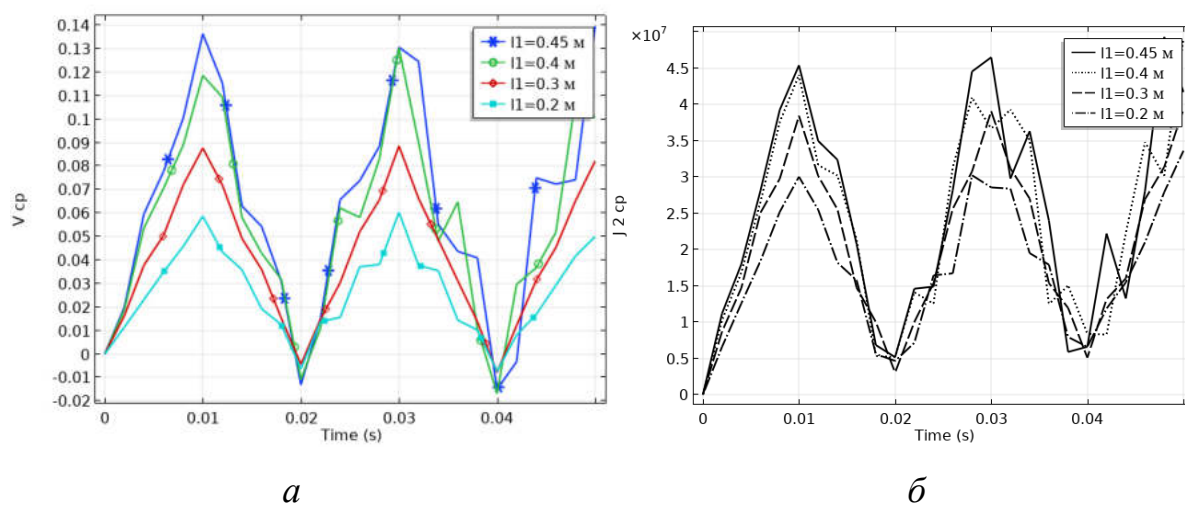


*a* – горизонтальное перемещение частиц  $u_{cp}$ , м; *б* – интенсивность напряжений по Мизесу  $J_{2cp}$ , Па

Рисунок 4.12 – Усредненные по высоте значения от времени в сечении слоя почвы, показанного на схеме (рис. 4.9), как линия 2 для различных значений скорости движения машины  $V = 1 \dots 5$  м/с

Рисунки 4.13 ... 4.20 представляют результаты расчетов разрыхления почвы для двух основных выходных параметра, которые в рамках анализируемой математической модели дают очевидные представления об интенсивности рыхления почвы. Это описанная выше усредненная величина вертикального перемещения  $v_{cp}$  и усредненное значение интенсивности напряжений по Мизесу  $J_{2cp}$ , критическое значение которого свидетельствует о процессах разрушения почвы. Графики построены на временном промежутке, соответствующем периоду движения билы при самой низкой из расчетных значений частоте  $\omega = 200$  об./мин. Поэтому для  $\omega = 500$  об./мин на рисунках показаны 2,5 периода колебаний.

Рисунок 4.13 демонстрирует существенное влияние длины билы на эффективность разрушения слоя почвы. При изменении длины билы (планки) от 20 до 45 см напряжения по Мизесу возрастают в 1,5 раза. Почти в 2,5 раза увеличивает-ся амплитуда колебаний усредненного вертикального перемещения частиц почвы.



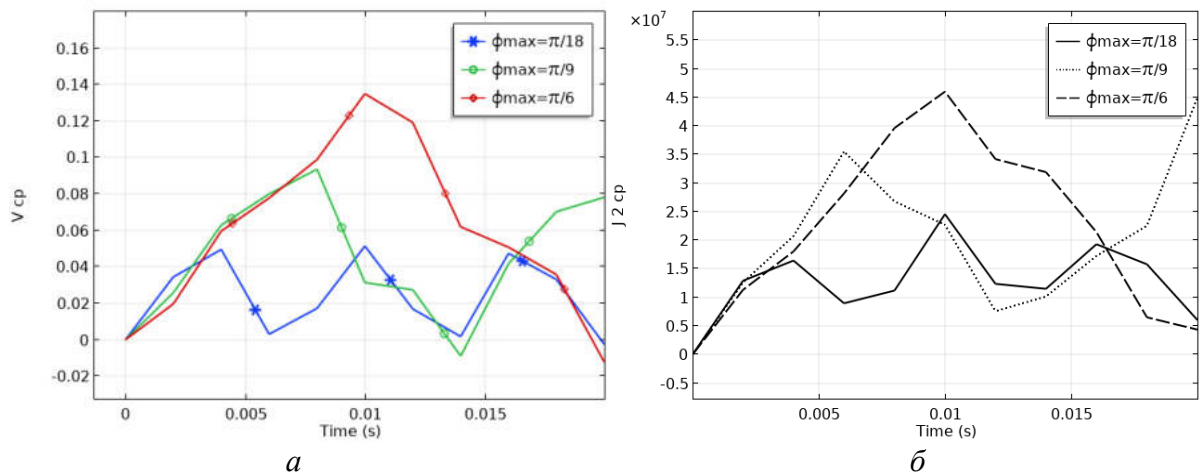
*a* – вертикальное перемещение частиц  $v_{cp}$ , м; *б* – интенсивность напряжений по Мизесу  $J_{2cp}$ , Па

Рисунок 4.13 – Усредненные по высоте значения от времени в сечении слоя почвы, показанного на схеме (рис. 4.9), как линия 4 для различных значений длины планки или билы  $l_1 = 0,2 \dots 0,45$  м

Как видно из рисунка 4.14 другой конструктивный параметр – максимальный угол поворота билы также оказывает существенное влияние на параметры рабочего процесса выкопчной машины. Чем меньше  $\varphi_{max}$ , тем, очевидно меньше период колебаний билы. Изменение максимального угла поворота от 30 до 10° приводит к уменьшению интенсивности напряжений по Мизесу примерно в 1,8



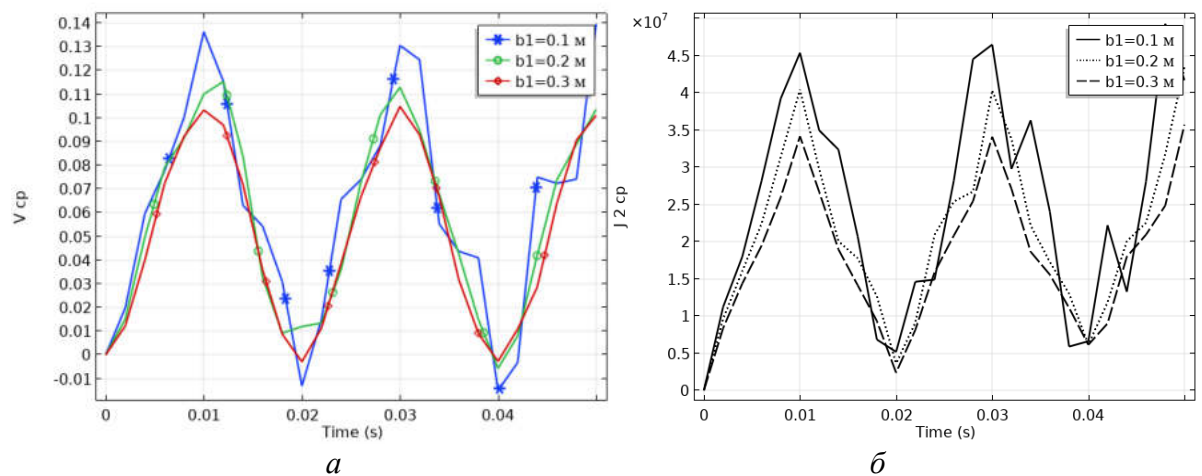
раза (на выделенной линии 4).



$a$  – вертикальное перемещение частиц  $v_{cp}$ , м;  $b$  – интенсивность напряжений по Мизесу  $J_{2cp}$ , Па

Рисунок 4.14 – Усредненные по высоте значения от времени в сечении слоя почвы, показанного на схеме (рис. 4.9), как линия 4 для различных значений максимального угла поворота планки  $\varphi_{\max} = \pi/18 \dots \pi/6$  рад

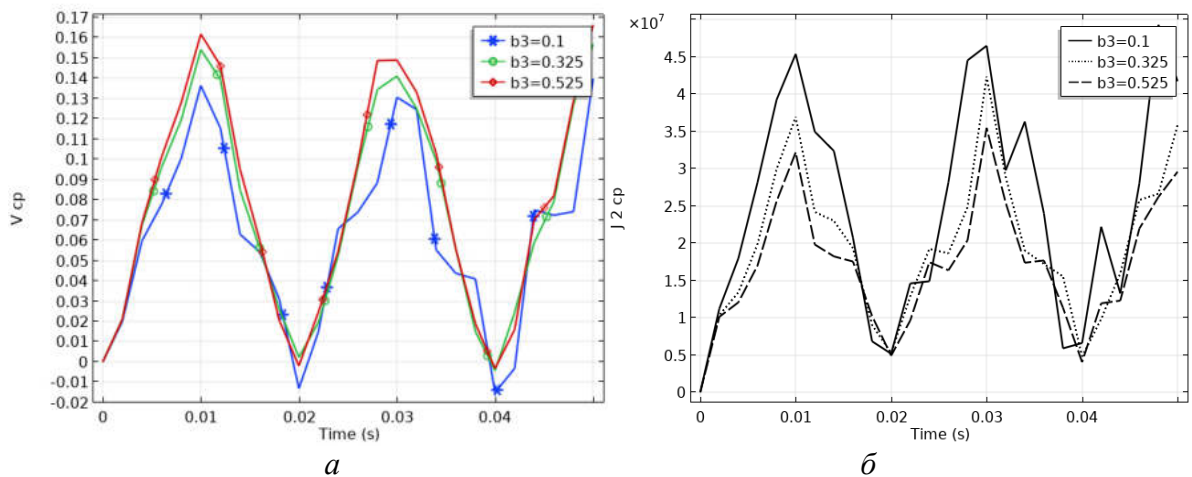
Расчеты показывают, что значения вертикальных смещений и интенсивность напряжений существенно зависят от глубины хода рабочих органов выкопной машины (рис. 4.15). Заглубление оси вращающегося вала дополнительно на 20 см (кривая для  $b_1 = 0,3$  м) приводит к снижению максимальной интенсивности напряжений и вертикальной компоненты вектора перемещений, соответственно, на 25 % и 35 %.



$a$  – вертикальное перемещение частиц  $v_{cp}$ , м;  $b$  – интенсивность напряжений по Мизесу  $J_{2cp}$ , Па

Рисунок 4.15 – Усредненные по высоте значения от времени в сечении слоя почвы, показанного на схеме (рис. 4.9), как линия 4 для различных значений высоты верхнего слоя  $b_1 = 0,1 \dots 0,3$  м

Выкопочная машина для уборки семян и саженцев лесных пород имеет дополнительное приспособление, которое обеспечивает подрезку пласта почвы. Нижняя граница расчетного домена почвы отделяет более плотную почву, которая считается не деформируемой, разрыхленной, с освобожденной корневой системой растений. Положение твердой поверхности по отношению к центру вала определяется параметром  $b_3$ . Роль величины  $b_3$  иллюстрирует рисунок 4.16. Значительное увеличение высоты разрыхляемой полосы приводит к ослаблению интенсивности напряжений по Мизесу. При этом диапазон изменения вертикальных смещений имеет тенденцию к увеличению. Это объясняется тем, что при увеличении высоты более рыхлой зоны  $b_3$  почва слабее сопротивляется и прямому и обратному движению билы.

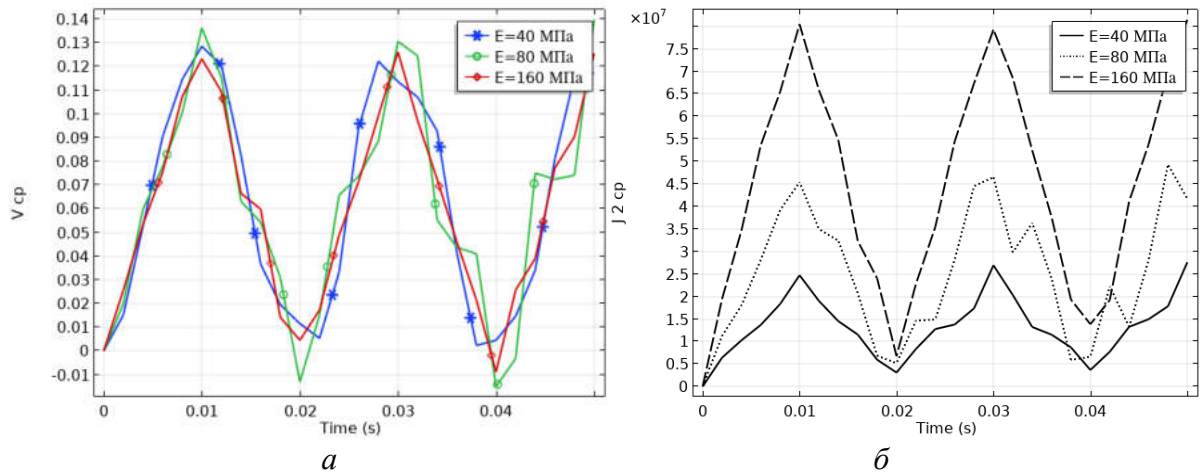


$a$  – вертикальное перемещение частиц  $v_{cp}$ , м;  $b$  – интенсивность напряжений по Мизесу  $J_{2cp}$ , Па

Рисунок 4.16 – Усредненные по высоте значения от времени в сечении слоя почвы, показанного на схеме (рис. 4.9), как линия 4 для различных значений высоты нижнего слоя  $b_3 = 0,1 \dots 0,525$  м

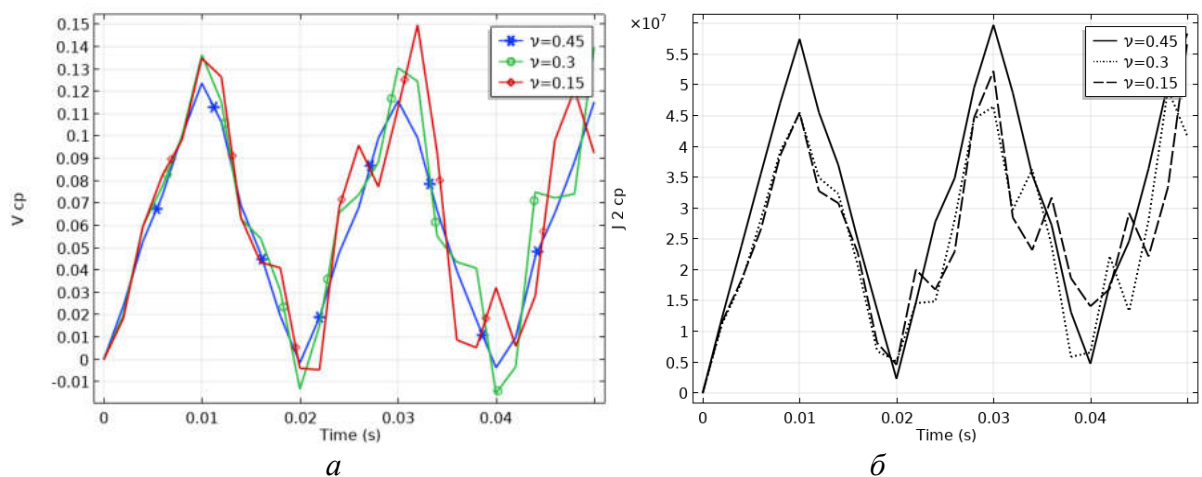
Рисунки 4.17 ... 4.20 иллюстрируют влияние реологических параметров модели Рамберга-Осгуда на результат рассматриваемого взаимодействия рабочего органа выкопочной машины с пластом почвы. Увеличение модуля упругости почвы (модуль Юнга) в соответствии с реологическим уравнением приводит к росту компонент тензора напряжений и значений второго инварианта (рис. 4.17). Анализируя кривые на рисунке 4.17 можно отметить, что в случае менее податливой почвы, которая характеризуется более высоким значением модуля упругости  $E$  для изучаемого процесса роль волновых явлений снижается, так как при этом уве-





$a$  – вертикальное перемещение частиц  $v_{cp}$ , м;  $b$  – интенсивность напряжений по Мизесу  $J_{2cp}$ , Па

Рисунок 4.17 – Усредненные по высоте значения от времени в сечении слоя почвы, показанного на схеме (рис. 4.9), как линия 4 для различных значений модуля Юнга  $E = 40 \dots 160$  МПа

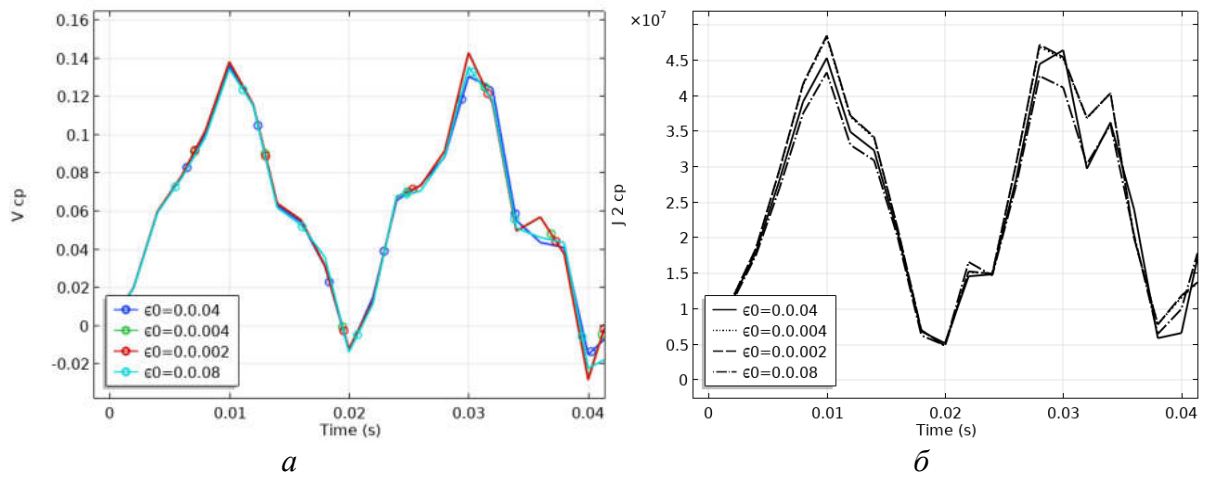


$a$  – вертикальное перемещение частиц  $v_{cp}$ , м;  $b$  – интенсивность напряжений по Мизесу  $J_{2cp}$ , Па

Рисунок 4.18 – Усредненные по высоте значения от времени в сечении слоя почвы, показанного на схеме (рис. 4.9), как линия 4 для различных значений коэффициента Пуассона  $\nu = 0,15 \dots 0,45$  МПа

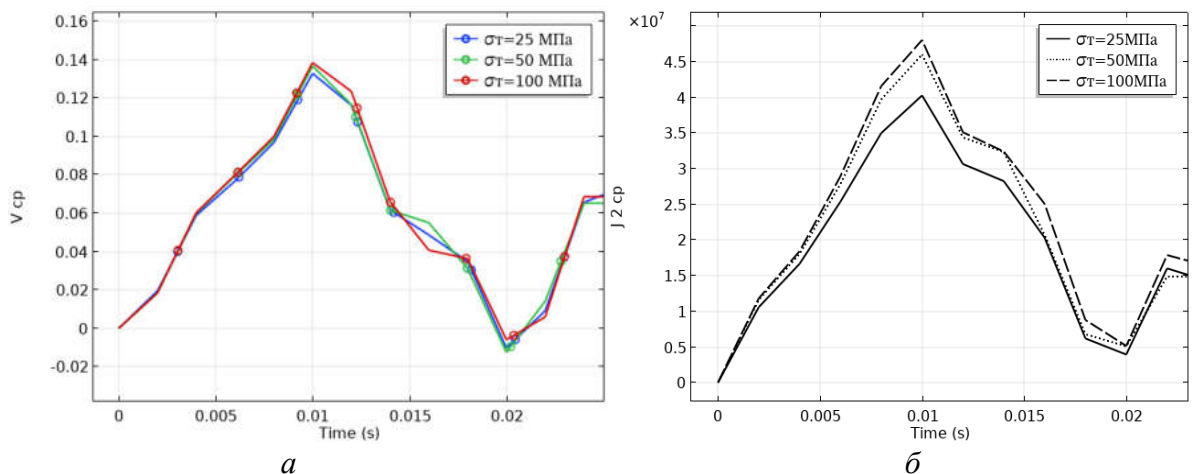
личивается скорость распространения как продольных, так и поперечных волн.

Расчеты показывают, что интенсивность напряжений больше для тех почв, у которых коэффициент Пуассона имеет большее значение. Известно, что высокие значения коэффициента Пуассона, близкие к 0,5 характерны для эластичных материалов. Низкие значения коэффициента Пуассона характерны для хрупких материалов. Эластичные материалы обладают большей деформативностью. Согласно реологическому уравнению более высоким значениям деформаций почвы со-



$a$  – вертикальное перемещение частиц  $v_{cp}$ , м;  $b$  – интенсивность напряжений по Мизесу  $J_{2cp}$ , Па

Рисунок 4.19 – Усредненные по высоте значения от времени в сечении слоя почвы, показанного на схеме (рис. 4.9), как линия 4 для различных значений реологического параметра  $\epsilon_0 = 0,002 \dots 0,08$



$a$  – вертикальное перемещение частиц  $v_{cp}$ , м;  $b$  – интенсивность напряжений по Мизесу  $J_{2cp}$ , Па

Рисунок 4.20 – Усредненные по высоте значения от времени в сечении слоя почвы, показанного на схеме (рис. 4.9), как линия 4 для различных значений предела текучести почвы  $\sigma_T = 25 \dots 100$  МПа

соответствуют большие значения напряжений в ней.

Из зависимостей, представленных на рисунке 4.19, следует вывод, что значение реологического параметра  $\epsilon_0$ , практически не влияет на величину изучаемых выходных параметров. Этот вывод справедлив, только когда другие параметры  $E$ ,  $\sigma_T$ ,  $n$ , отвечающие реологическим особенностям почвы принимают значения, близкие к определенным в п. 4.6. На другие материалы данный вывод не распространяется.

Как следует из рисунка 4.20 бóльшим значениям предела текучести соответствуют бóльшие величины интенсивности напряжений по Мизесу, что согласуется с уравнением реологического поведения почвы в форме Рамберга-Осгуда.

#### 4.9 Выводы

1 Сформулирована принципиальная математическая модель напряженно-деформированного состояния почвы в процессе взаимодействия ее с рабочими органами выкопчной машины, позволяющая прогнозировать динамику распределения перемещений, напряжений и деформаций в почве в зависимости от параметров и режимов работы выкопчной машины, а также реологических свойств почвы.

2 Проведен вычислительный эксперимент с использованием предложенной математической модели, позволивший определить влияние на выходные параметры модели, такие, в частности, как интенсивность напряжений по Мизесу, компоненты вектора перемещений частиц почвы, конструктивных, режимных и реологических факторов.

3 Установлены условия применимости реологической модели Рамберга-Осгуда для моделирования напряженно-деформированного состояния почвы при взаимодействии ее с орудиями для интенсивной обработки и связанные с возможностью не учитывать релаксацию напряжений в почве.

4 Вычислительный эксперимент по предложенной математической модели, проведенный на основе апробированной и верифицированной платформы COMSOL Multiphysics, показал его высокую эффективность и значимость.

## 5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА МАШИН И ОРУДИЙ В ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКАХ

### 5.1 Исследование технологических свойств желудей дуба черешчатого

Исследования технологических свойств желудей являются важными, поскольку они в значительной степени определяют конструктивные параметры высевающих аппаратов и режимы работы сеялок для лесных питомников и в конечном итоге определяют качественные показатели посадочного материала.

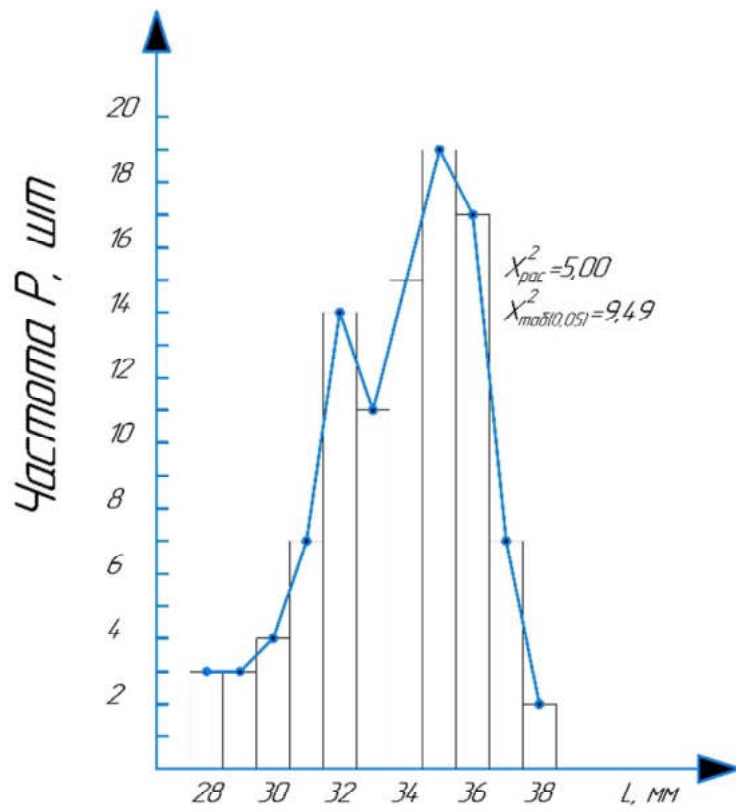
Для обоснования конструктивных параметров высевающего аппарата сеялки для посева семян дуба необходимы следующие их показатели: масса 1000 штук, объемная масса, длина и максимальный поперечный диаметр желудей. С целью определения этих показателей обследованы семена дуба черешчатого, заготовленные в Правобережном лесничестве Учебно-опытного лесхоза ВГЛТА (образец № 1) и в Яблоченском лесничестве Новоусманского лесхоза (образец № 2) Воронежской области.

В результате обработки опытных данных построены гистограммы и кривые распределения длины и поперечного диаметра, исследуемых образцов желудей, представленные на рисунке 5.1 и рисунке 5.2. По критерию Пирсона  $\chi^2$  распределение частот этих показателей в основном соответствует нормальному закону при  $q = 0,05$  и  $0,01$ . На каждой гистограмме приведены соответствующие значения  $\chi^2_{\text{расч}}$  и  $\chi^2_{\text{табл}}$ .

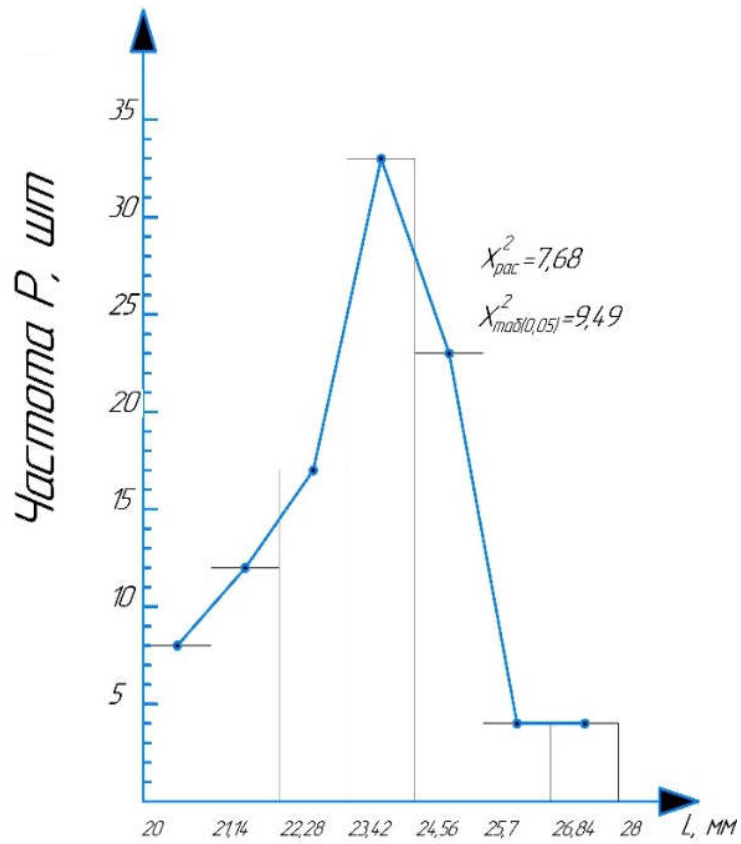
Полученные гистограммы по экспериментальным данным технологических показателей желудей приведены в приложении А.

В таблицах 5.1 и 5.2 представлены технологические показатели свойств желудей дуба черешчатого, заготовленных в Правобережном лесничестве Учебно-опытного лесхоза ВГЛТА (первый образец) и в Яблоченском лесничестве Новоусманского лесхоза ВГЛТА (второй образец).

Анализ данных (табл. 5.1 и 5.2) показывает, что средняя масса 1000 штук



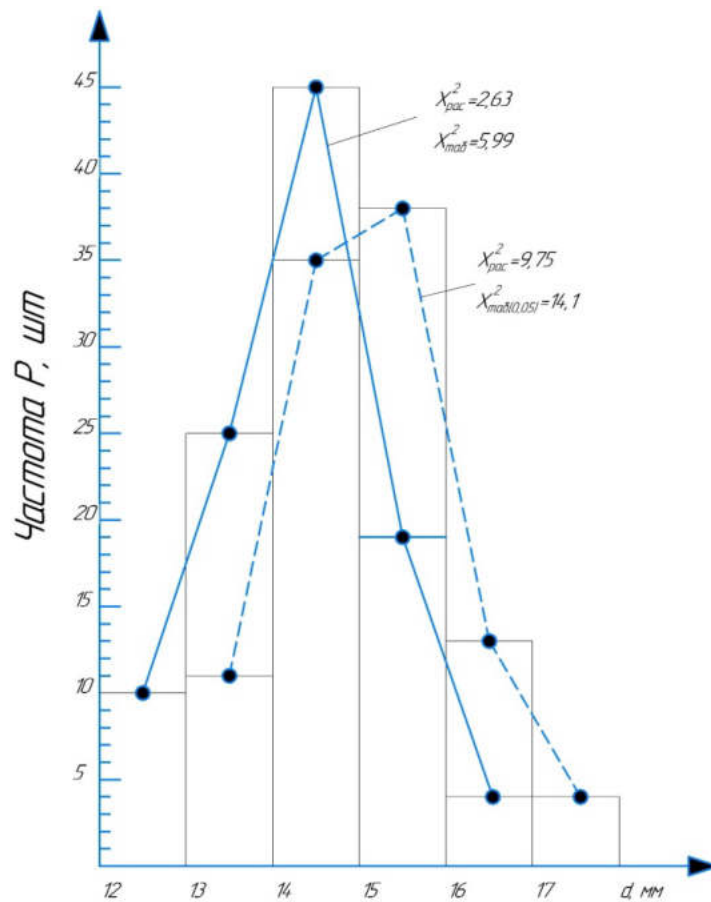
а



б

а – образец № 1; б – образец № 2

Рисунок 5.1 – Гистограммы и кривые распределения длины желудей



1 – образец № 1; 2 – образец № 2

Рисунок 5.2 – Гистограммы и кривые распределения максимального поперечного диаметра желудей

желудей первого образца и их объемная масса, составили, соответственно, 3666 г и 669,5 г/дм<sup>3</sup>. Средняя масса 1000 штук желудей второго образца и их объемная масса составили, соответственно, 2199 г и 570,2 г/дм<sup>3</sup>. Данные средней массы 1000 штук желудей первого и второго образцов корректно согласуются с показателями других исследований (Г.А. Ларюхина, М.Г. Слюсарева) [144].

Средняя длина и поперечный диаметр желудей первого образца составили, соответственно, 33,93 и 14,70 мм. Средняя длина и поперечный диаметр желудей второго образца составили, соответственно, 23,75 и 14,84 мм.

Таким образом, семена дуба черешчатого из Правобережного лесничества Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ (первый образец) были крупнее, чем желуды Яблоченского лесничества Новоусманского лесхоза (второй образец) и их масса больше в 1,7 раза и длина в 1,4 раза, причем поперечный диаметр желудей отли-

чался незначительно. Средняя длина желудей первого и второго образцов существенно отличались друг от друга ( $t_{\text{расч}} = 36,76$  при  $t_{\text{табл}} = 1,97$ ), а их поперечный диаметр был практически одинаковым ( $t_{\text{расч}} = 0,96$  при  $t_{\text{табл}} = 1,97$ ).

Следует отметить, что размерные показатели желудей дуба черешчатого обоих образцов незначительно отличаются от данных, полученных исследователем М. Г. Слюсаревым.

Средний угол естественного откоса для желудей первого образца составил  $27,73^{\circ}$ , второго –  $24,83^{\circ}$ . Различие между средними углами естественного откоса желудей существенно, так как при уровне значимости  $q = 0,05$  и числе степеней свободы 58  $t_{\text{таб}} = 2,00$ , а расчетное:  $t_{\text{рас}} = 4,01$ . Коэффициент вариации угла откоса желудей составил, соответственно, 10,78 и 19,99 %. Результаты исследования технологических свойств желудей дуба черешчатого представлены в таблицах 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Технологические свойства желудей дуба черешчатого (образец № 1)

Статистические показатели	Масса 1000 штук, г	Объемная масса, г/дм <sup>3</sup>	Угол естественного откоса, град.	Размерные признаки		Угол трения скольжения	
				длина, мм	поперечный диаметр, мм	по стали, град.	по дереву, град.
Среднее арифметическое значение, $X$	3666	669,5	27,73	33,93	14,70	16,97	19,39
$X_{\text{min}}$	3510	656,0	22,0	26,00	11,00	14,00	16,00
$X_{\text{max}}$	3850	685,0	33,0	39,00	18,00	22,00	28,00
Дисперсия, $S^2$	1564	73,60	8,94	5,32	1,12	3,44	6,55
Среднее квадратическое отклонение, $S$	125,07	8,58	2,99	2,30	1,06	1,85	0,25
Коэффициент вариации $V$ , %	3,41	1,28	10,78	6,78	7,21	10,9	1,29
Средняя квадратическая ошибка, $S_X$	55,93	2,71	0,54	0,23	0,10	0,18	0,02
Точность изменения $P$ , %	1,52	0,40	1,97	0,68	0,72	1,09	0,13

Таблица 5.2 – Технологические свойства желудей дуба черешчатого (образец № 2)

Статистические показатели	Масса 1000 штук, г	Объемная масса, г/дм <sup>3</sup>	Угол естественного откоса, град.	Размерные признаки		Угол трения скольжения	
				длина, мм	поперечный диаметр, мм	по стали, град.	по дереву, град.
Среднее арифметическое значение, $\bar{X}$	2199	570,2	24,83	23,75	14,84	14,91	19,14
$X \min$	2150	563,0	20,0	20,0	13,00	11,00	14,0
$X \max$	2250	576,0	30,0	28,0	17,00	18,50	23,5
Дисперсия, $S^2$	1630	21,95	7,45	2,35	1,00	3,44	4,41
Среднее квадратическое отклонение, $S$	40,37	4,68	2,73	1,53	1,00	1,85	2,1
Коэффициент вариации $V$ , %	1,83	0,82	19,99	6,44	6,74	12,4	10,97
Средняя квадратическая ошибка, $S_{\bar{X}}$	18,05	1,48	0,49	0,15	0,10	0,18	0,21
Точность изменения $P$ , %	0,82	0,26	2,00	0,64	0,67	1,24	1,09

Различия углов трения скольжения желудей первого и второго образцов по дереву незначительны и составляют, соответственно, 19,39 и 19,14<sup>0</sup>, а по стали составляют, соответственно, 16,97 и 14,91<sup>0</sup>, т.е. различие между этими показателями более существенно, так как при уровне значимости  $q = 0,05$  и числе степеней свободы 198  $t_{\text{табл}} = 1,97$ , а  $t_{\text{расч}} = 10,21$ .

Углы трения скольжения желудей первого образца по стали и дереву, составляют, соответственно, 16,97 и 19,39<sup>0</sup> и это различие существенно, так как при уровне значимости  $q = 0,05$  и числе степеней свободы 198  $t_{\text{табл}} = 1,97$ , а  $t_{\text{расч}} = 15,38$ . Аналогичные результаты получены для желудей второго образца – 16,97 и 19,39<sup>0</sup>, при уровне значимости  $q = 0,05$  и числе степеней свободы 198  $t_{\text{табл}} = 1,97$ , а  $t_{\text{расч}} = 6,31$  [230, 231].

Таким образом, проведенные опыты по определению свойств желудей дуба черешчатого позволили определить основные технологические их показатели



и уточнить некоторые из них в сравнении с известными данными. Полученные результаты технологических свойств желудей могут быть использованы при выборе типа и обосновании параметров высевающего аппарата сеялки для поштучно-равномерного посева семян дуба в лесных питомниках.

## **5.2 Влияние параметров и режимов работы сеялки на агротехнические показатели посева желудей**

Выращивание качественного посадочного материала дуба для лесосовос- становления и лесоразведения зависит от многих условий, в том числе это и способ посева семян и конструктивно-технологические параметры и режимы работы сеялки. В настоящее время для посева семян дуба в лесных питомни- ках применяются сеялки с различными высевающими аппаратами, которые не в полной мере соответствуют современным требованиям и не производят рав- номерное распределение желудей в посевных борозках [30, 39, 101, 124, 240]. Из-за этого происходит излишний расход семян, снижается качество и норма- тивный выход стандартного посадочного материала. Основным требованием при посеве желудей является обеспечение рациональных условий для роста и развития сеянцев. Одним из направлений решения этой проблемы является обеспечение равномерно-разреженного распределения желудей в посевной бо- роздке с требуемой нормой посева.

Для выполнения таких условий посева предложена конструкция сеялки для крупноплодных семян лиственных пород с ячеисто-транспортным высе- вающим аппаратом, обеспечивающим поштучно-равномерный посев желудей. Для изучения влияния параметров и режимов работы сеялки для крупноплод- ных семян на качественные показатели поштучно-равномерного распределения желудей в посевной бороздке, проведены исследования ее работы при посеве желудей [106, 107, 202]. Разработка сеялки и обоснование параметров и режи- мов ее работы с поштучно-равномерным посевом семян дуба, позволит сокра- тить расход желудей, создаст благоприятные условия для роста и развития се-

янцев дуба и повысит их качество.

Исследования влияния параметров и режимов работы сеялки на качественные показатели высева семян дуба проводились на экспериментальном образце сеялки для крупноплодных семян СКБ-3-5 с ячейисто-транспортным высевающим аппаратом (рис. 5.3).

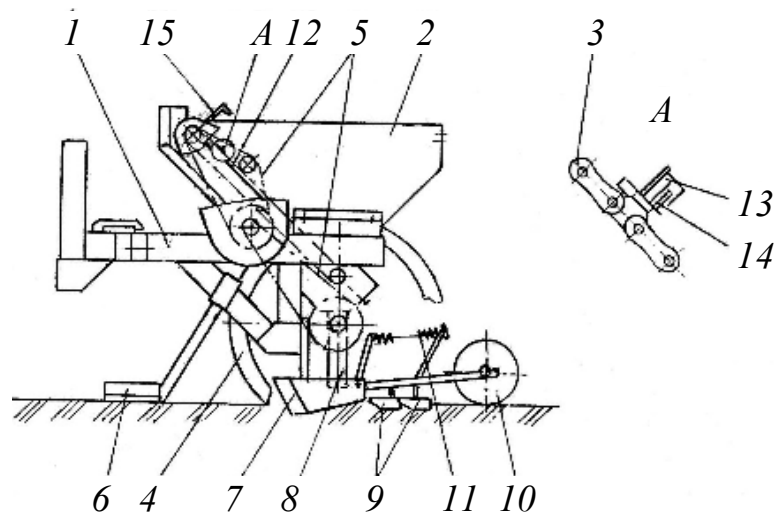


Рисунок 5.3 – Экспериментальный образец сеялки для высева крупноплодных семян СКБ-3-5

Основными узлами сеялки СКБ-3-5 являются: рама 1, бункер для семян 2, цепь 3, колеса 4, цепные передачи 5, выравниватель 6, сошники 7, семяпроводы 8, загортачи 9, катки 10, пружины 11, направляющие 12, ячейки 13, планки 14 и ограничители 15. Высевающий аппарат представляет собой транспортную цепь 3 с ячейками 13, перемещающуюся по наклонной стенке бункера 12. Ячейки 13 снабжены подвижными планками 14, предназначенными для изменения параметров ячеек с учетом размеров желудей. Опорные колеса 4 обеспечивают привод высевающих аппаратов с помощью цепных передач 5. Выравниватель 6 предназначен для планировки почвы перед посевом. Сошники 7 подготавливают посевные бороздки. Семяпроводы 8 направляют желуди в посевные бороздки. Загортачи 9 обеспечивают заделку семян почвой. Прикатывающие катки 10 уплотняют почву в зоне заделки желудей. Пружины 11 обеспечивают необходимое давление на катки. Сеялка СКБ-3-5 предназначена для агрегатирования с трактором МТЗ-80/82.

Процесс работы сеялки СКБ-3-5 заключается в следующем. При движении агрегата выравниватель 6 дополнительно планирует поверхности почвы. Колеса 4 посредством цепных передач 5 обеспечивают привод высевающих аппаратов, ячейки которых захватывают желуди из бункера и подают их в посевные бороздки, образованные сошниками 7. Загортачи 9 заделывают желуди почвой. Катки 10 уплотняют почву в зоне заделки желудей. Количество захватываемых ячейками желудей регулируется с помощью планок 14. Сеялка снабжена пятью высевающими аппаратами, для обеспечения 3-х и 5-ти строчных схем посева, с расстоянием между их центрами, соответственно, равным 45 и 22,5 см. Емкость бункера принята равной 100 дм<sup>3</sup>, с учетом обеспечения запаса желудей, для посева гона длиной не менее 100 м. Скорость движения сеялки в агрегате с трактором МТЗ-80/82 принималась равной 0,28 и 0,42 м/с (1 и 1,5 км/ч), с учетом эксплуатации средств механизации в лесных питомниках. Экспериментальные исследования процесса работы сеялки при определении влияния параметров и режимов работы сеялки на агротехнические показатели посева желудей проводились в почвенном канале ФБУ ВНИИЛМ.

Основные факторы, влияющими на качество посева желудей, являются параметры ячейки высевающего аппарата, скорость его подачи и поступательная скорость агрегата, а также размерные показатели желудей.

В начале проведения исследований были определены размеры двух образцов семян дуба черешчатого. В первом образце были использованы семена дуба, заготовленные в Правобережном лесничестве Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ (образец № 1) и в Яблоченском лесничестве Новоусманского лесхоза (образец № 2). Средняя масса 1000 штук желудей первого образца составила 3666 г, средний поперечный диаметр – 14,7 мм (максимальный диаметр – 18,0 мм) и средняя длина – 33,9 мм (максимальная длина – 39,0 мм). Во втором образце были использованы желуди Яблоченского лесничества Новоусманского лесхоза (образец № 2), средняя масса 1000 штук которых составила 2199 г, средний поперечный диаметр – 14,8 мм (максимальный диаметр – 17,0 мм) и средняя длина – 23,7 мм (максимальная длина – 28,0 мм). Как видно размеры желудей, полученных из

различных лесничеств, существенно отличаются, так масса желудей первого образца в 1,7 раза и их длина в 1,4 раза была больше, чем второго образца. Для обеспечения условий поштучно-равномерного высева желудей, при проведении исследований, были использованы более крупные желуди дуба черешчатого, заготовленные в Правобережном лесничестве Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ.

В соответствии с наибольшей длиной желудей равной 39 мм и диаметром их поперечного сечения, равном 18 мм и с учетом конструктивных соображений, длина и высота ячейки высевающего аппарата приняты, соответственно, равными 40 и 20 мм. Для обоснования рациональной глубины ячейки в ней была установлена подвижная планка с возможностью изменения ее глубины от 5 до 20 мм.

Важными показателями качества работы сеялок для лесных питомников являются норма посева и поштучно-равномерное распределение желудей в посевной бороздке. Эти показатели зависят от конструктивно-технологических параметров высевающего аппарата, скорости подачи и поступательной скорости агрегата [44, 86, 93, 114, 124, 196, 202, 240].

В процессе проведения исследований скорость подачи высевающих аппаратов изменялась с помощью сменных звездочек в системе их привода и составляла: 0,12; 0,17; 0,19 и 0,25 м/с. Глубина ячеек высевающих аппаратов изменялась с помощью подвижных планок и принималась равной: 5; 7,5; 10; 12,5; 15, 17,5 и 20 мм. Опыты проводили при поступательной скорости агрегата: 0,28 и 0,42 м/с. Высев проводился по 5-ти строчной схеме с расстоянием между рядками равном 22,5 см. Глубина хода сошников изменялась от 4 до 10 см при ширине посевных бороздок равной 6 ... 8 см.

После прохода агрегата определялось количество желудей, высеянных на одном метре каждой посевной бороздки. Повторность опытов принималась 10-кратная. Данные исследований обработаны общепринятыми методами математической статистики [64, 71]. При обработке и анализе полученных экспериментальных данных была проведена проверка однородности средних арифметических значений с применением *t*-критерия Стьюдента. Для выражения исследуемых параметров сеялки, в виде аналитических зависимостей, проведен

подбор уравнений, описывающих результаты экспериментальных исследований. Вид уравнений находился на основе обработки экспериментальных данных с помощью метода наименьших квадратов. Эмпирические зависимости получены с помощью ПЭВМ и специально разработанной программы на языке «Бейсик» [229, 234].

В процессе проведения предварительных исследований установлено, что при глубине ячеек равной 17,5 и 20 мм они захватывали по два желудя и более, что исключало возможность их поштучной подачи и равномерного распределения желудей в посевной бороздке. В связи с этим опыты проводили при изменении глубины ячейки высевающего аппарата в пределах от 5 до 15 мм. Скорость движения сеялки в агрегате с трактором МТЗ-80/82 устанавливалась от 0,28 до 0,42 м/с (1 и 1,5 км/ч), в соответствии с условиями эксплуатации средств механизации в лесных питомниках [52, 101]. Полученные экспериментальные данные представлены в таблицах 3.3 и 3.4.

Исследование влияния глубины ячеек высевающего аппарата на равномерность и норму высева желудей, проводили при скорости подачи высевающего аппарата равной 0,12 и 0,19 м/с и поступательной скорости агрегата равной 0,28 м/с.

Анализ полученных данных (табл. 5.3) показывает, что при скорости подачи высевающего аппарата равной 0,12 м/с и при увеличении глубины ячеек от 5 до 10 мм, т. е. в 2 раза, среднее количество высеянных желудей увеличилось от 13,2 до 15,3 шт./пог.м, т. е. возросло в 1,2 раза, а среднее расстояние между ними уменьшилось от 7,6 до 6,5 см, т. е. снизилось в 1,2 раза. Норма посева желудей увеличилась от 1,61 до 1,73 т/га, т. е. возросла 1,1 раза.

При увеличении глубины ячейки от 10 до 15 мм, т. е. в 1,5 раза, среднее количество высеянных желудей увеличилось от 15,3 до 17,6 шт./пог.м, т. е. возросло в 1,2 раза, а среднее расстояние между ними уменьшилось от 6,5 до 5,7 см, т. е. снизилось в 1,1 раза. Норма посева желудей увеличилась от 1,73 до 2,15 т/га, т. е. возросла в 1,2 раза, и при этих режимах работы сеялки составила 1,61-2,15 т/га, т. е. была несколько меньше нормы, рекомендуемой для выращивания сеянцев дуба в лесных питомниках [101]. Такая норма высева желудей может применяться для

выращивания укрупненных семян дуба при более длительном сроке (до 4 ... 5 лет) их выращивания с равномерным распределением семян в посевной бороздке [100].

Таблица 5.3 – Влияние глубины ячейки высевяющего аппарата на равномерность и норму высева семян дуба

Глубина ячейки высевяющего аппарата, мм	Равномерность и норма высева желудей					
	Скорость подачи высевяющего аппарата, м/с					
	0,12			0,19		
	среднее количество высеянных желудей, шт./пог.м	среднее расстояние между желудями, см	норма посева желудей, т/га	среднее количество высеянных желудей, шт./пог.м	среднее расстояние между желудями, см	норма посева желудей, т/га
5	13,2	7,6	1,61	19,4	5,2	2,37
7,5	14,2	7,1	1,73	21,8	4,6	2,66
10	15,3	6,5	1,87	24,4	4,1	2,98
12,5	16,4	6,1	2,0	27,3	3,7	3,33
15	17,6	5,7	2,15	30,6	3,3	4,40

При скорости подачи высевяющего аппарата равной 0,19 м/с, среднее количество высеянных желудей при изменении глубины ячейки от 5 до 15 мм, увеличилось от 19,4 до 30,6 шт./пог. м, т. е. увеличилось в 1,6 раза, а среднее расстояние между ними уменьшилось от 5,2 до 3,3 см. При этом норма высева желудей увеличилась от 2,37 до 4,4 т/га, т. е. практически соответствовала существующим рекомендациям выращивания семян дуба в лесных питомниках [55, 94, 97, 161, 162, 240].

Таким образом, установлено, что глубина ячейки высевяющего аппарата оказывает существенное влияние на показатели работы сеялки и норма высева желудей при ее величине равной 5 мм и скорости движения высевяющего аппарата 0,12 м/с, составляет в среднем 13,2 шт./пог.м и среднее расстояние между желудями в посевной бороздке находится в пределах 7,6 см. Глубину ячейки высевяющего аппарата сеялки для поштучно-равномерного высева желудей рекомендуется принять равной 5 мм.

В результате обработки экспериментальных данных методом множественной линейной регрессии получено уравнение (5.1) для определения количества высеянных желудей на один метр посевной строчки в зависимости от поступательной скорости сеялки, скорости подачи высевающего аппарата и глубины ячейки:

$$N = 14,33 - 33,97V_T + 40,18V_{Ц} + 0,66h, \quad (5.1)$$

где  $N$  – количество высеянных желудей на один метр посевной строчки, шт.;  $V_T$  – поступательная скорость сеялки, м/с;  $V_{Ц}$  – скорость подачи высевающего аппарата, м/с;  $h$  – глубина ячейки высевающего аппарата, мм.

Это уравнение адекватно описывает влияние поступательной скорости агрегата, скорости подачи высевающего аппарата и глубины его ячейки на среднее количество высеянных желудей на один метр посевной строчки, так как критерий Фишера равен 60,3, а  $F_{\text{табл}}(3,24)$  равен 4,72, т. е.  $F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}$ . Корреляционное отношение составляет  $R = 0,89$ , что показывает на тесную связь между поступательной скоростью агрегата, скоростью подачи высевающего аппарата, глубиной ячейки высевающего аппарата и количеством желудей, высеянных на один метр строчки.

Из уравнения (5.1) видно, что количество желудей в посевной строчке уменьшается с увеличением поступательной скорости сеялки и возрастает с увеличением скорости подачи высевающего аппарата и глубины ячейки.

Исследование влияния скорости подачи высевающего аппарата на равномерность и норму высева желудей, проводили при глубине ячеек высевающего аппарата 5 и 10 мм и поступательной скорости сеялки равной 0,28 м/с.

Результаты исследований (табл. 5.4) показывают, что при глубине ячейки равной 5 мм и увеличении скорости подачи высевающего аппарата от 0,12 до 0,17 м/с, т. е. в 1,4 раза, среднее количество высеянных желудей увеличилось от 13,2 до 15,4 шт./ пог. м, т.е. возросло в 1,2 раза и среднее расстояние между ними уменьшилось от 7,5 до 6,5 см, т. е. в 1,2 раза. Норма высева желудей также увеличилась от 1,61 до 1,88 т/га, т. е. в 1,2 раза.

При увеличении скорости подачи высевающего аппарата от 0,17 до 0,19 м/с, т.е. в 1,1 раза, среднее количество высеянных желудей увеличилось от 15,4 до

19,4 шт./пог.м, т.е. возросло в 1,2 раза. Норма высева желудей увеличилась от 1,88 до 2,37 т/га, т. е. в 1,2 раза. При дальнейшем увеличении скорости подачи высевающего аппарата до 0,25 м/с, т.е. в 1,3 раза среднее количество высеянных желудей увеличилось от 19,4 до 23,3 шт./пог.м, т.е. возросло в 1,2 раза. Норма посева желудей достигла 2,84 т/га.

Таблица 5.4 – Влияние скорости подачи высевающего аппарата на равномерность и норму посева желудей

Скорость подачи высевающего аппарата, м/с	Глубина ячейки высевающего аппарата, мм					
	5			10		
	среднее количество семян дуба, шт./пог.м	среднее расстояние между семенами дуба, см	норма высева, т/га	среднее количество семян дуба, шт./пог. м	среднее расстояние между семенами дуба, см	норма высева, т/га
0,12	13,2	7,5	1,61	15,3	6,5	2,37
0,17	15,4	6,5	1,88	18,8	5,3	2,91
0,19	19,4	5,2	2,37	24,4	4,1	3,78
0,25	23,3	4,3	2,84	29,3	3,4	4,54

При глубине ячейки высевающего аппарата равной 10 мм, с увеличением скорости подачи от 0,12 до 0,17 м/с, т. е. в 1,4 раза, среднее количество высеянных желудей увеличилось от 15,3 до 18,8 шт./ пог. м, т. е. возросло в 1,2 раза, а среднее расстояние между ними уменьшилось от 6,5 до 5,3 см, т. е. уменьшилось в 1,2 раза. Норма посева желудей увеличилась от 2,37 до 2,91 т/га, т. е. возросла в 1,2 раза. При увеличении скорости подачи высевающего аппарата от 0,17 до 0,19 м/с, т. е. в 1,1 раза, среднее количество высеянных желудей увеличилось от 18,8 до 24,4 шт./пог.м, т. е. возросло в 1,3 раза. Норма посева желудей увеличилась до 3,78 т/га, т. е. возросла в 1,3 раз. При дальнейшем увеличении скорости подачи высевающего аппарата до 0,25 м/с, т. е. в 1,3 раза, среднее количество высеянных желудей увеличилось от 24,4 до 29,3 шт./пог.м, т. е. возросло в 1,2 раза. Норма высева семян дуба достигла 4,54 т/га.

Результаты исследований (табл. 5.4) показывают, что с увеличением скоро-



сти подачи высевающего аппарата от 0,12 до 0,25 м/с, т. е. в 2,1 раза, среднее количество высеянных желудей увеличилось от 13,2 до 23,3 шт./пог. м, т.е. возросло в 1,7 раза.

Исследования влияния поступательной скорости движения агрегата на показатели высева желудей проводили при глубине ячейки высевающего аппарата равной 5 мм и поступательных скоростях 0,28 и 0,42 м/с (1 и 1,5 км/ч), наиболее характерными для эксплуатации средств механизации в лесных питомниках.

Анализ полученных данных (табл. 5.5) показывает, что с увеличением поступательной скорости движения агрегата от 0,28 до 0,42 м/с, т. е. в 1,5 раза, среднее количество высеянных желудей уменьшилось от 13,2 до 8,7 шт./пог.м, т. е. в 1,5 раза, и среднее расстояние между ними увеличилось от 7,6 до 11,5 см, т.е. также возросло в 1,5 раза. Норма высева желудей уменьшилась от 1,61 до 1,1 т/га. Таким образом, поступательную скорость движения агрегата рекомендуется принимать равной 0,12 м/с.

Таблица 5.5 – Влияние поступательной скорости движения агрегата на равномерность и норму посева желудей

Поступательная скорость движения агрегата, м/с	Равномерность и норма посева желудей		
	среднее количество желудей, шт./пог.м	среднее расстояние между желудями, см	норма посева, т/га
0,28	13,2	7,6	1,61
0,42	8,7	11,5	1,12

В результате обработки экспериментальных данных методом множественной линейной регрессии с применением компьютерной программы, получено уравнение (5.2), описывающее процесс поштучно-равномерного высева желудей:

$$L = 6,61 + 13,4V_T^2 - 0,44V_{Ц}^2 - 0,01h^2, \quad (5.2)$$

где  $L$  – расстояние между желудями в посевной строчке, см;  $V_T$  – скорость движения агрегата, м/с;  $V_{Ц}$  – скорость подачи высевающего аппарата, м/с;  $h$  – глубина ячейки высевающего аппарата, мм.

Анализ полученного уравнения (5.2) показывает, что все эмпирические коэффициенты значимы, так как критерий Стьюдента  $t_{\text{табл}}$  для  $n = 27$  равен (при  $p = 0,99$ ) 2,472, а полученные расчетные значения критерия значительно больше трех. Это уравнение (5.2) адекватно описывает изменение расстояния между желудями в посевной строчке, так как критерий Фишера равен 19,797, а  $F_{\text{табл}}$  равен 4,72, т. е.  $F_{\text{расч}} > F_{\text{табл}}$ . Корреляционное отношение  $R = 0,72$  указывает на тесную связь между параметрами сеялки и расстоянием между желудями в посевной строчке.

Как видно из этого уравнения, расстояние между желудями в посевной борозде возрастает с увеличением поступательной скорости движения агрегата и уменьшается с увеличением скорости подачи высевающего аппарата и глубины ячейки. Уменьшение расстояния между желудями в посевной бороздке, при увеличении скорости подачи высевающего аппарата и глубины ячейки можно объяснить увеличением количества желудей, проходящих в единицу времени.

Таким образом, учитывая установленную, оптимальную для поштучно-равномерного высева желудей глубину ячейки высевающего аппарата и с учетом нормы высева желудей при выращивании сеянцев дуба, рациональными конструктивно-технологическими параметрами и режимами работы сеялки для крупноплодных семян являются:

- поступательная скорость агрегата  $V_T = 0,28$  м/с;
- скорость подачи высевающего аппарата  $V_{\text{ц}} = 0,12$  м/с;
- глубина ячейки высевающего аппарата  $h = 5$  мм.

В результате проведенных исследований установлено, что сеялка для крупноплодных семян обеспечивает, предусмотренные лесотехническими требованиями, поштучно-равномерный высев желудей, со средним их количеством от 8,7 до 30,6 шт./пог. м (с нормой от 1,12 до 4,54 т/га) и средним расстоянием между ними от 3,4 до 11,5 см. Глубина заделки желудей изменялась от 4 до 6 см, при ширине посевной строки 6 ... 8 см (приложение Б).

Важным фактором, влияющим на качество выращиваемого в лесных питомниках посадочного материала, является способ высева семян. При посеве семян

необходимо обеспечить оптимальные условия для роста и развития растений путем поштучно-равномерного их распределения в посевной бороздке и обеспечения рациональной площади для роста и развития сеянцев. Для выполнения такого способа посева предложена конструкция сеялки для крупноплодных семян с высевающим аппаратом в виде ячеисто-транспортной цепи обеспечивающим поштучно-равномерный посев желудей.

В результате исследования влияния параметров и режимов работы сеялки для крупноплодных семян на агротехнические показатели посева желудей, обоснованы основные конструктивно-технологические параметры и режимы работы сеялки, с высевающим аппаратом в виде транспортной цепи, обеспечивающей поштучно-равномерный высев желудей: скорость подачи высевающего аппарата 0,12 м/с, поступательная скорость агрегата 0,28 м/с и глубина ячейки 5 мм. На основании обработки опытных данных получена эмпирическая зависимость влияния глубины ячейки высевающего аппарата, скорости его подачи и поступательной скорости агрегата на расстояние между желудями дуба в посевной бороздке.

### **5.3 Влияние частоты вращения штифтового высевающего аппарата на норму и равномерность посева семян ели**

Важным агротехническим показателем процесса работы сеялок при выращивании посадочного материала в лесных питомниках является норма и равномерность высева мелких семян хвойных пород на единицу длины посевной бороздки или единицу площади.

Современные лесные сеялки для высева мелких семян хвойных пород снабжены катушечными высевающими аппаратами, которые имеют ряд существенных недостатков, отрицательно влияющих как на равномерность посева, так и на качество выращиваемого посадочного материала [101]. Основным недостатком этих высевающих аппаратов является повреждение семян при их высеве и они не в полной мере отвечают агротехническим требованиям, перспек-

тивной технологии выращивания укрупненных сеянцев ели, предусматривающей равномерно-разреженное распределение семян в посевной строке, с минимальной (0,4-1,5 г/м) нормой высева [101]. В сельскохозяйственных сеялках для посева мелких семян овощных культур используются штифтовые высевающие аппараты, которые обеспечивают удовлетворительный их посев. Норма посева мелких семян овощных культур этими высевающими аппаратами регулируется путем изменения частоты их вращения [202]. Изучение возможности применения штифтовых высевающих аппаратов для высева мелких семян хвойных пород и обоснование основных параметрой и режимов их работы представляет интерес для расчета и проектирования сеялок, предназначенных для посева семян ели в лесных питомниках. В связи с этим, исследование влияния режимов работы штифтовых высевающих аппаратов на норму и равномерность посева семян ели представляет интерес для лесного хозяйства.

В связи с необходимостью решения поставленной задачи были проведены исследования процесса посева семян ели с использованием экспериментального образца сеялки лесной навесной модернизированной СЛН-5А со штифтовыми высевающими аппаратами (рис. 5.4). Основными узлами сеялки СЛН-5А являются следующие: рама 1, бороздообразующий каток 2, бункер 3, штифтовые высевающие аппараты 4, цепная передача 5, редуктор 6, опорная стойка 7, семяпроводы 8, загортачи 9, каток 10, автосцепка 11, шарнир 12, ограничители 13 и заглушки 14.

Сеялка настроена на 5-рядную схему высева с расстоянием между рядками на посевной ленте равном 22,5 см (22,5-22,5-22,5-22,5-60 см).

Рама 1 представляет собой сварную конструкцию из профильного металла, на которой смонтированы все узлы сеялки.

Бороздообразующий каток 2 с пятью ребордами предназначен для привода высевающих аппаратов и подготовки пяти посевных бороздок шириной равной 20 мм и глубиной 20 мм.

Семенной бункер 3 изготовлен из стального листа и имеет объем, необходимый для запаса семян при высевае на ленте длиной не менее 100 м. Бункер вы-

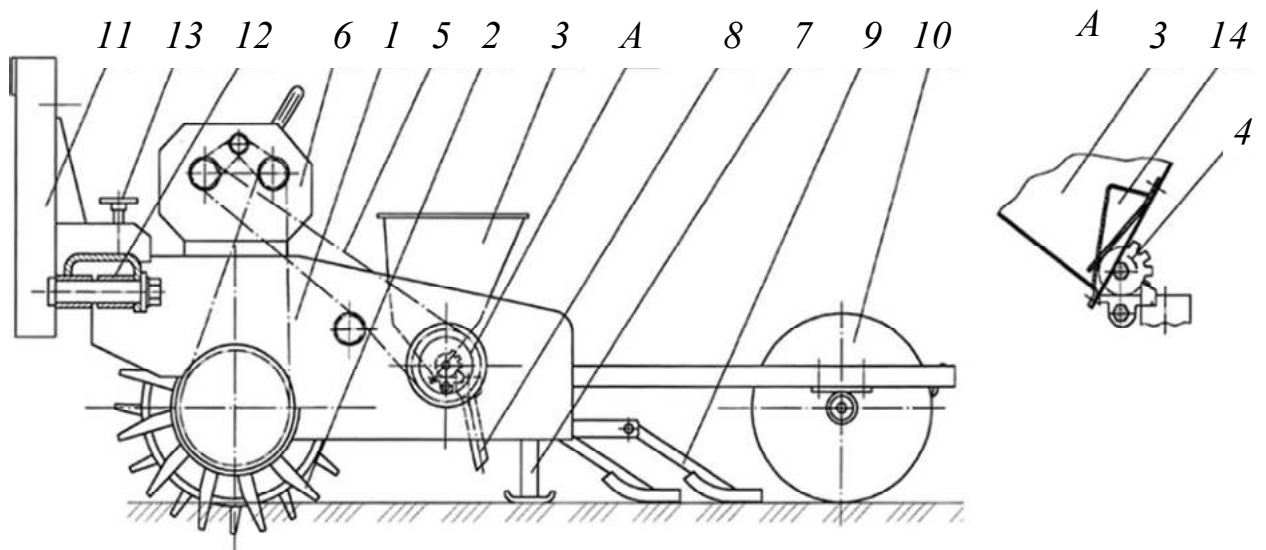


Рисунок 5.4 – Экспериментальный образец сеялки лесной навесной СЛН-5А

полнен корбчатой формы с вертикальными боковыми и наклонными передней и задней стенками.

Штифтовые высевающие аппараты 4 установлены в нижней части бункера 3 и предназначены для подачи семян из него в посевные бороздки с помощью семяпроводов 8. Эти высевающие аппараты выполнены в виде катушек (рис. 5.5) диаметром 60 мм, со штифтами шириной 5 мм и высотой 5 мм, расположенными на ее периферии в два ряда по 12 штук в каждом ряду и обеспечивающими равномерную подачу семян в посевную строку.

Привод высевающих аппаратов 4 осуществляется от бороздообразующего катка 2 через цепную передачу 5 и многоступенчатый редуктор 6. Редуктор 6 унифицирован с редукторами сельскохозяйственных сеялок и позволяет получить 15 вариантов передаточных отношений и соответственно столько вариантов частоты вращения высевающих аппаратов и норм высева.

При использовании в сеялке штифтовых высевающих аппаратов, норма высева семян регулируется путем изменения частоты их вращения. Поэтому в приводе штифтовых высевающих аппаратов должен быть многоступенчатый цепной редуктор 6 с набором сменных звездочек для обеспечения необходимого диапазона изменения частоты их вращения и требуемых норм высева [101, 202].

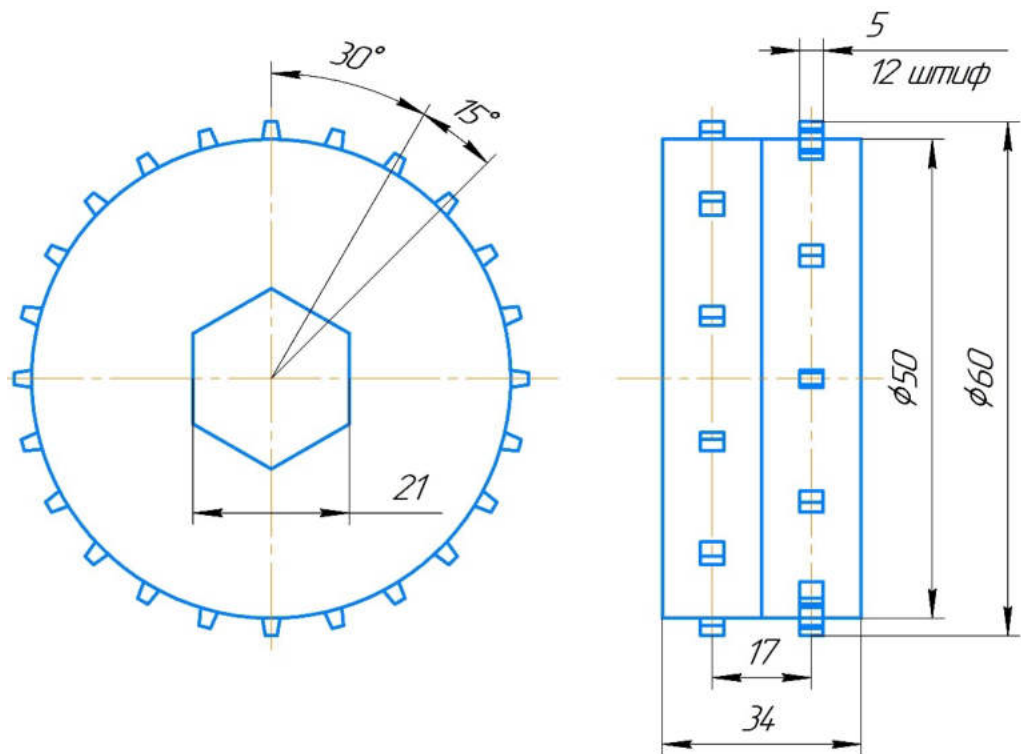


Рисунок 5.5 – Катущка штифтового высевающего аппарата

Опорная стойка 7 предназначена для обеспечения устойчивого положения сеялки на стоянке. Семяпроводы 8 предназначены для направления семян при их выходе из высевающего аппарата в посевную бороздку. Продольное сечение семяпроводов соответствует траектории движения семян после их выхода из высевающего аппарата.

Загортачи 9 выполнены из стального прутка диаметром 20 ... 24 мм и служат для заделки семян в посевных бороздках почвой и представляют V-образные ползки с отклонением их направляющих в стороны на 10 ... 15 градусов. Для обеспечения определенного количества почвы, сдвигаемой загортачами в посевные бороздки, в нижней части ползки снабжены прутками диаметром 5 ... 7 мм. В задней части ползки сходятся на величину, несколько превышающую ширину бороздки. Загортачи установлены по следу каждой посевной бороздки и шарнирно присоединены к раме сеялки.

Прикатывающий каток 10 предназначен для уплотнения почвы в зоне заделки семян и на всей посевной ленте и выполнен в виде цилиндра. Каток шарнирно присоединен к раме сеялки с помощью дополнительной рамки. Для увели-

чения степени уплотнения почвы в посевной бороздке имеется возможность заполнения катка дополнительным балластом.

Автосцепка *11* унифицирована с аналогичными сцепками сельскохозяйственного назначения и предназначена для навешивания сеялки на ответную часть сцепки на тракторе. Шарнир *12* соединяет раму сеялки с ответным звеном автосцепки и обеспечивает копирование сеялкой микрорельефа посевной ленты в ее поперечной плоскости.

Ограничители *13* предназначены для ограничения поперечного отклонения сеялки в пределах  $\pm 5^{\circ}$  при работе на лентах с уклоном. Ограничители в количестве двух штук выполнены в виде винтовых устройств и установлены на раме сеялки с двух ее сторон. Заглушки *14* предназначены для закрытия определенных высевających аппаратов при изменении схемы посева. Заглушки выполнены в виде съемных крышек и установлены в бункере над каждым высевającym аппаратом.

Технологический процесс работы, выполняемый сеялкой, осуществляется следующим образом. При заезде агрегата на ленту с предварительно обработанной почвой сеялка переводится в рабочее положение. Затем путем подбора соответствующей пары звездочек в редукторе, устанавливается необходимая частота вращения высевających аппаратов, обеспечивающая требуемую норму посева семян. При поступательном движении агрегата бороздообразующий каток обеспечивает подготовку посевных бороздок и привод высевających аппаратов. Штифты захватывают семена из бункера и по семяпроводам направляются их на дно посевной строчки. Загортачи заделывают семена почвой и прикатывающий каток уплотняет почву в зоне посева семян. Особенность технологического процесса, выполняемого сеялкой, заключается в одновременном выполнении трех агротехнических операций: высев семян, заделка их почвой и ее уплотнение [101].

Экспериментальные исследования проводили на среднесуглинистых почвах влажностью в слое 0 ... 5 см около 25,4 % и плотностью почвы в слое 0 ... 5 см равной 1,1 г/см<sup>3</sup>. Предпосевная обработка почвы была проведена машиной ротационной МРБ-1,6 путем ее рыхления на глубину до 10 см с одновременным образованием гряд средней высотой равной 10,8 см и шириной – 115,7 см.

В процессе проведения исследований определяли массу и количество высеванных семян ели каждым из пяти высевальных аппаратов на длине равной 1 м с пятикратной повторностью проведения опытов. Частота вращения высевальных аппаратов составляла: 4,3; 7,0; 10,5 и 14,5 мин<sup>-1</sup>, при передаточном отношении привода, соответственно, равном: 0,32; 0,55; 0,8 и 1,11. Опыты с сеялкой СЛН-5А проводились в агрегате с трактором Т-30 при поступательной скорости равной 900 м/ч. Полученные данные обрабатывали методами математической статистики.

Основным показателем технологического процесса работы сеялок является норма посева семян и равномерность их распределения в посевной бороздке. В результате проведенных исследований изучено влияние частоты вращения штифтовых высевальных аппаратов, на норму посева семян ели и среднее расстояние между ними в посевной строчке.

Таблица 5.6 – Влияние частоты вращения высевальных аппаратов на норму посева семян ели

Частота вращения высевального аппарата, мин <sup>-1</sup>	Передаточное отношение привода	Средняя норма посева	
		кг/га	г/пог.м
4,3	0,32	13,2	0,4
7,0	0,55	24,4	0,74
10,5	0,8	36,6	1,11
14,5	1,11	50,5	1,55

Анализ полученных данных (табл. 5.6) показывает, что с увеличением частоты вращения высевальных аппаратов от 4,3 до 7,0 об/мин, т. е. в 1,6 раза норма посева увеличилась от 13,2 до 24,4 кг/га или от 0,4 до 0,74 г/пог. м, т. е. возросла в 1,8 раза. При увеличении частоты вращения до 10,5 об/мин, т. е. в 1,5 раза норма посева возросла от 24,4 до 36,6 кг/га, или от 0,74 до 1,11 г/пог.м, т. е. возросла в 1,5 раза. При дальнейшем увеличении частоты вращения до 14,5 об/мин, т. е. в 1,4 раза норма посева семян ели возросла от 36,6 до 50,5 кг/га, т. е. возросла в 1,4 раза. Динамика изменения нормы посева семян ели, с увеличением частоты враще-



ния высевяющего аппарата несколько снижается.

Загортачи обеспечивали заделку семян почвой и прикатывающий каток производил ее уплотнение в зоне посева семян. Средняя глубина заделки семян в посевных бороздках составила 0,9 см. Зафиксированное значение повреждений семян ели при посеве сеялкой СЛН-5А составило менее 1 %.

Равномерность посева семян ели оценивалась средним количеством семян, высевянных на один метр посевной бороздки для пяти высевяющих аппаратов, и средним расстоянием между семенами. Анализ полученных данных (табл. 5.7)

Таблица 5.7 – Влияние частоты вращения высевяющих аппаратов на равномерность посева семян ели

Номер высевяющего аппарата	Среднее количество семян ели, шт./пог.м (среднее расстояние между семенами в посевной бороздке, мм)			
	частота вращения высевяющих аппаратов, об/мин			
	4,3	7,0	10,5	14,5
1	82,2 (12,2)	150,8 (6,6)	223,6 (4,4)	290,5 (3,4)
2	81,1 (12,3)	155,2 (6,4)	220,2 (4,5)	304,2 (3,3)
3	85,4 (11,7)	154,6 (6,5)	210,3 (4,8)	302,3 (3,3)
4	75,8 (13,2)	133,4 (7,5)	220,8 (4,5)	310,4 (3,2)
5	81,8 (12,2)	132,1 (7,6)	216,1 (4,6)	295,2 (3,4)
Итого	81,3 (12,3)	145,2 (6,9)	218,2 (4,6)	300,5 (3,3)

показывает, что при частоте вращения высевяющих аппаратов равной 4,3 об/мин, количество семян ели на одном метре строчки изменялось от 75,8 до 85,4 шт./пог. м и среднее их количество составило 81,2 шт./пог. м. Среднее расстояние между семенами ели в посевной бороздке составило 12,3 мм. С увеличением частоты вращения высевяющих аппаратов от 4,3 до 7,0 об/мин количество высевянных семян ели возросло до 132,1 ... 155,2 шт./пог. м, а среднее расстояние между семенами ели в посевной бороздке уменьшилось до 6,9 мм. При увеличении частоты вращения высевяющих аппаратов до 10,5 об/мин, количество высевянных семян ели возросло до 216,1 ... 223,6 шт./пог.м, а среднее расстояние между ними в по-

севной бороздке уменьшилось до 4,6 мм. При дальнейшем увеличении частоты вращения высевальных аппаратов до 14,5 об/мин, количество высеянных семян ели возросло до 290,5 ... 310,4 шт./пог.м и расстояние между ними уменьшилось до 3,3 мм.

В результате исследования влияния частоты вращения штифтовых высевальных аппаратов на норму и равномерность посева семян ели, обоснованы рациональные режимы работы сеялки, обеспечивающие различную норму посева и равномерно-разреженное распределение семян ели в посевной бороздке.

Для выращивания сеянцев ели по общепринятой технологии, частота вращения высевальных аппаратов должна быть равна 14,5 об/мин, при этом норма посева семян ели составляет около 50 кг/га (1,5 г/пог.м) и среднее расстояние между ними в бороздке равняется 3,3 мм. При выращивании укрупненных сеянцев ели без перешколивания в посевном отделении питомника частоту вращения высевальных аппаратов рекомендуется принимать равной 7,0 об/мин, при этом норма посева составляет около 24 кг/га (0,7 г/пог.м) и среднее расстояние между семенами в бороздке равняется 6,9 мм.

#### **5.4 Влияние конструктивных параметров прикатывающего катка на уплотнение почвы в зоне заделки семян**

Плотность почвы в зоне заделки семян при их высевае в лесных питомниках оказывает существенное влияние на их всхожесть. Для обеспечения необходимой плотности почвы (1 ... 1,2 г/см<sup>3</sup>) в посевных бороздках в сеялках применяются специальные устройства в виде прикатывающих катков [240]. Основными параметрами прикатывающих катков, оказывающими влияние на степень уплотнения почвы, являются диаметр и ширина катка и действующие на него силы. В процессе проведения экспериментальных исследований при определении влияния параметров прикатывающего катка на плотность почвы в зоне заделки семян, использовались катки шириной 70, 80, 90 и 100 мм и диаметром в пределах от 170 до 320 мм с шагом равным 50 мм. Усилие прижатия прикатывающего катка к почве из-

менялось от 30 до 180 Н, с шагом 30 Н. Опыты проводили на суглинистой почве с относительной влажностью в слое 0 ... 10 см около 13 %. Плотность почвы определяли в слоях 0 ... 5 и 5 ... 10 см. Повторность проведения опытов была принята 10-кратной.

Анализ экспериментальных данных показывает, что с увеличением ширины прикатывающего катка от 70 до 100 мм, плотность почвы в зоне заделки семян уменьшается от 0,98 до 0,91 г/см<sup>3</sup> при усилии его прижатия 30 Н и от 1,38 до 1,26 г/см<sup>3</sup> при усилии его прижатия 130 Н, т. е. уменьшается, соответственно, в 1,08 и 1,1 раза (табл. 5.8). Прикатывающий каток шириной 70 мм обеспечивает более высокую плотность почвы, чем каток шириной 100 мм. Это объяснимо тем, что каток шириной 70 мм, обеспечивает большее удельное давление на почву по сравнению с катком шириной 100 мм.

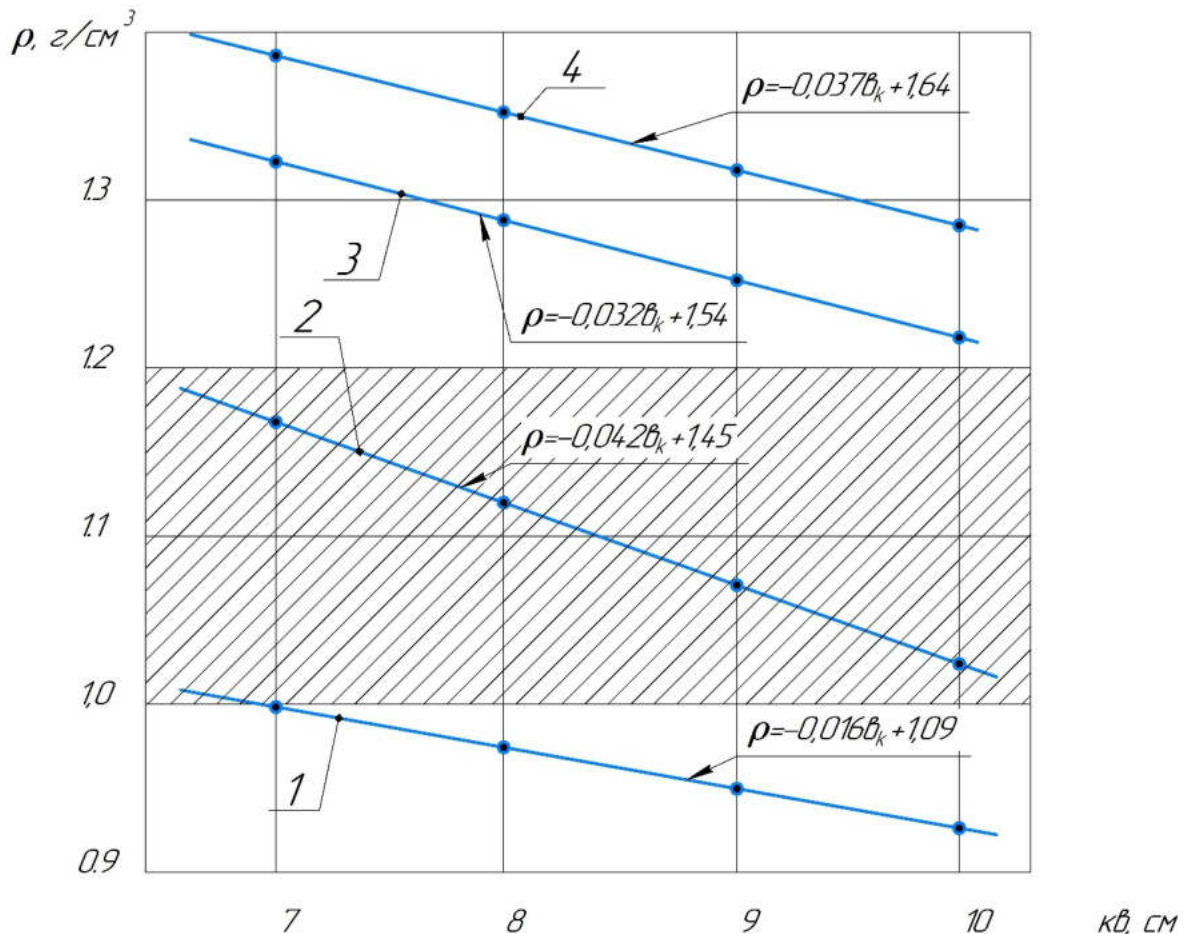
В результате обработки экспериментальных данных построены графики (рис. 5.6) изменения плотности почвы в зоне заделки семян в зависимости от ширины прикатывающего катка. На рисунке 5.6 заштриховано поле, с оптимальной плотностью почвы (1,0 ... 1,2 г/см<sup>3</sup>) в зоне заделки семян. Как видно из рисунка 5.6 оптимальная плотность почвы в зоне заделки семян получена при усилии, действующей на каток равной 80 Н для катка шириной от 70 до 100 мм и его диаметра равном 220 мм.

На рисунке 5.7 представлены графики изменения плотности почвы в зоне заделки семян в зависимости от диаметра прикатывающего катка при его ширине равной 70 мм. В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением диаметра прикатывающего катка от 170 до 320 мм, т.е. в 1,9 раза, плотность почвы увеличивается по прямолинейной зависимости и при усилии прижатия катка 30 Н, изменяется от 0,92 до 0,99 г/см<sup>3</sup>, т. е. возрастает в 1,1 раза. При увеличении усилия прижатия катка до 180 Н плотность почвы увеличивается от 1,36 до 1,39 г/см<sup>3</sup>, т. е. возрастает незначительно в 1,02 раза. Следует отметить, что при усилиях прижатия катка 130 и 180 Н, плотность почвы в зоне заделки семян существенно превышает рекомендуемую плотность для всех диаметров катков.

Таблица 5.8 – Влияние параметров катка на плотность почвы в зоне заделки семян

№ опыта	Глубина определения плотности почвы, см.	Плотность почвы, г/см <sup>3</sup> , при различных усилиях прижатия катка $F$ , Н			
		$F = 30$ Н	$F = 80$ Н	$F = 130$ Н	$F = 180$ Н
При ширине катка $b = 70$ мм и диаметре катка $d = 270$ мм					
1	0 ... 5	0,96	1,12	1,20	1,24
	5 ... 10	1,23	1,25	1,25	1,33
2	0 ... 5	1,09	1,13	1,16	1,26
	5 ... 10	1,21	1,25	1,36	1,32
3	0 ... 5	0,86	1,27	1,34	1,35
	5 ... 10	1,23	1,29	1,42	1,41
4	0 ... 5	1,01	1,25	1,23	1,36
	5 ... 10	1,42	1,47	1,46	1,41
5	0 ... 5	1,04	1,24	1,24	1,24
	5 ... 10	1,29	1,47	1,36	1,36
Средняя плотность почвы в слое 0...10		1,13	1,25	1,30	1,33
При ширине катка $b = 100$ мм и диаметре катка $d = 220$ мм					
1	0 ... 5	1,03	1,10	1,21	1,24
	5 ... 10	0,82	1,16	1,33	1,37
2	0 ... 5	0,84	1,08	1,16	1,19
	5 ... 10	0,85	1,12	1,09	1,43
3	0 ... 5	0,95	1,14	1,11	1,33
	5 ... 10	0,88	1,26	1,23	1,31
4	0 ... 5	1,06	1,00	0,95	1,19
	5 ... 10	1,21	1,34	1,32	1,32
5	0 ... 5	1,14	1,09	1,10	1,2
	5 ... 10	1,30	1,29	1,28	1,28
Средняя плотность почвы в слое 0 ... 10		1,11	1,16	1,18	1,28

Для катка диаметром 220 мм и действующей на него силе 130 и 180 Н, плотность почвы в зоне заделки семян существенно превышает ее оптимальное значение. Оптимальным значением усилия прижатия катка диаметром 220 мм и шириной 70 мм является 80 Н, в этом случае обеспечивается рекомендуемая (1,0 ... 1,2 г/см<sup>3</sup>) плотность почвы в зоне заделки семян.



1 – при усилии прижатия катка 30 Н; 2 – при усилии прижатия катка 80 Н; 3 – при усилии прижатия катка 130 Н; 4 – при усилии прижатия катка 180 Н

Рисунок 5.6 – Изменение плотности почвы  $\rho$  в зоне заделки семян в зависимости от ширины  $b_k$  прикатывающего катка

На рисунке 5.7 выделено поле с оптимальной плотностью почвы в зоне заделки семян для катков шириной равной 70 мм и действующем на нем усилии 80 Н при различных диаметрах катка.

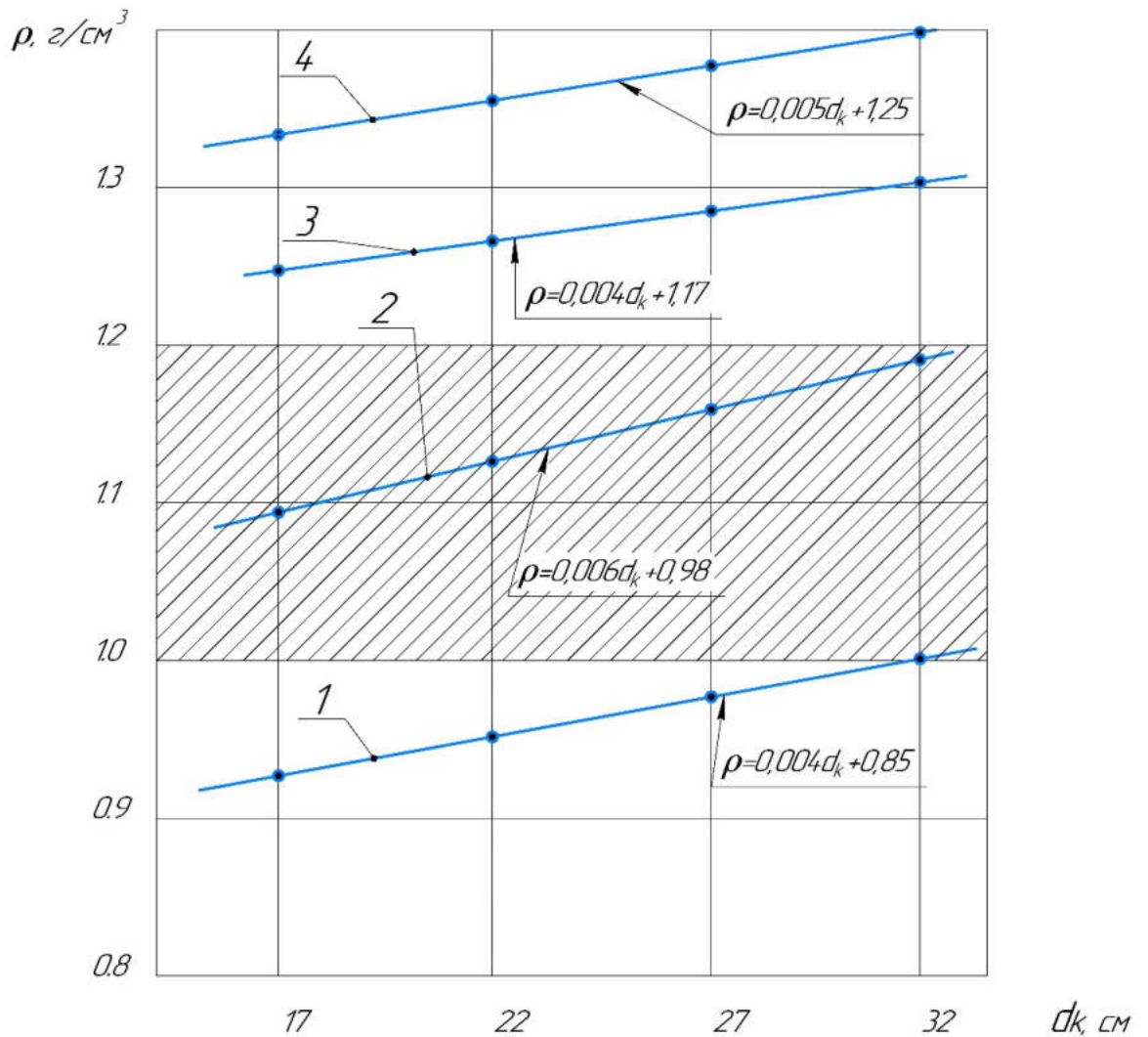
В результате обработки экспериментальных данных получены эмпирические зависимости плотности почвы в зоне заделки семян от ширины и диаметра катка и усилия, действующего на него:

– на глубине до 3 см (для мелких семян):

$$\rho_1 = 0,837 + 0,0015F + 0,017D - 0,039B, \quad (5.3)$$

– на глубине до 9 см (для крупных семян):

$$\rho_2 = 0,741 + 0,0043F + 0,0189D - 0,00047B, \quad (5.4)$$



1 – при усилиях прижатия катка 30 Н; 2 – при усилиях прижатия катка 80 Н; 3 – при усилиях прижатия катка 130 Н; 4 – при усилиях прижатия катка 180 Н

Рисунок 5.7 – Изменение плотности почвы в зоне заделки семян в зависимости от диаметра прикатывающего катка

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  – плотность почвы, соответственно на глубине 3 и 9 см, г/см<sup>3</sup>;  $F$  – усилие прижатия прикатывающего катка к почве, Н;  $D$  – диаметр прикатывающего катка, мм;  $B$  – ширина прикатывающего катка, мм.

Зависимость (5.3) адекватно описывает характер изменения плотности почвы, так как критерий Фишера равен 34,5, а  $F_{ТАБЛ} (3,24) = 4,72$ , т. е.  $F_{РАСЧ} > F_{ТАБЛ}$ . Корреляционное отношение составляет  $R = 0,93$ , что указывает на тесную связь между плотностью почвы и независимыми параметрами. Эмпирическая зависимость (5.4), также адекватно описывает характер изменения плотности почвы, так как критерий Фишера равен 34,4, а  $F_{ТАБЛ} (3,24) = 4,72$ , т. е.  $F_{РАСЧ} > F_{ТАБЛ}$ . Корреляционное отношение

ние составляет  $R = 0,92$ , что подтверждает тесную связь между плотностью почвы в зоне заделки семян и независимыми параметрами.

Также, установлена тесная связь между плотностью почвы на глубине 9 см и плотностью почвы на глубине 3 см, так как критерий Фишера равен 35, а  $F_{ТАБЛ}(3, 24) = 4,72$ , т. е.  $F_{РАСЧ} > F_{ТАБЛ}$  :

$$\rho_2 = 0,50 + 0,69\rho_1. \quad (5.5)$$

Следовательно, уравнение (5.5) адекватно описывает связь между плотностью почвы на разной глубине. Корреляционное отношение составляет  $R = 0,61$ , что указывает на тесную связь между плотностью почвы и независимыми параметрами.

С целью определения основных параметров прикатывающего катка (ширины и диаметра), а также усилия прижатия его к почве, на основе полученных зависимостей и известной методики разработана номограмма, приведенная на рисунке 5.8 [107]. Номограммой удобно пользоваться при оценке влияния параметров прикаты-

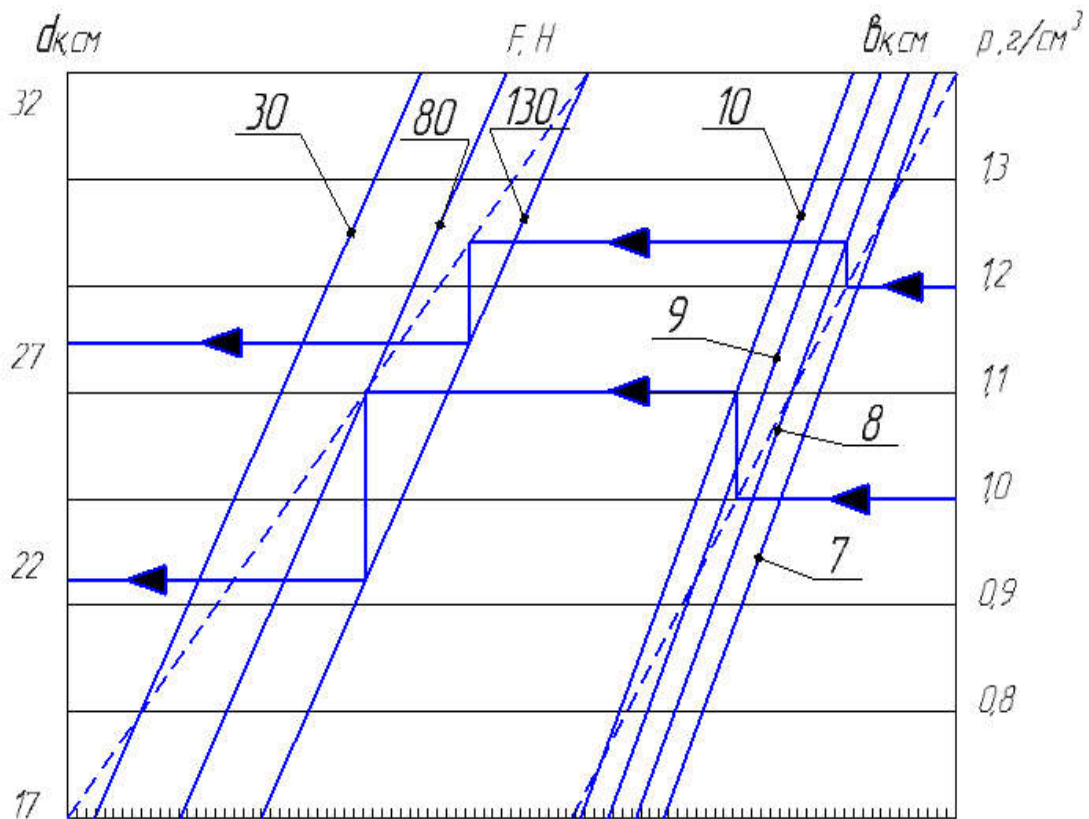


Рисунок 5.8 – Номограмма для определения параметров и режимов работы прикатывающего катка

вающего катка и режимов его работы на плотность почвы в зоне заделки семян. Алгоритм определения основных параметров прикатывающего катка и усилия прижатия его к почве показан линиями со стрелками.

Таким образом, на основании экспериментальных исследований, обоснованы рациональные параметры и режимы работы прикатывающего катка: диаметр катка 220 мм, ширина катка 70 мм и усилие прижатия катка к почве 80 Н, обеспечивающие оптимальную плотность почвы в зоне заделки семян. Разработана номограмма для определения параметров и режимов работы прикатывающего катка и оценки их влияния на плотность почвы в зоне заделки семян.

### **5.5 Исследование агротехнических показателей работы культиватора при уходе в питомнике**

При выращивании посадочного материала в лесных питомниках агротехнический уход за растениями является одной их наиболее важных и ответственных технологических операций, так как он оказывает существенное влияние на рост и развитие выращиваемых растений. При агротехническом уходе проводится рыхление почвы, уничтожение сорной растительности и разрушение почвенной корки между рядками растений.

Для агротехнического ухода в лесных питомниках применяются культиваторы с различными рабочими органами. Качественные показатели агротехнического ухода за растениями в питомниках зависят от типа и параметров рабочих органов культиватора.

Определение качественных показателей работы культиватора, с различными рабочими органами, при уходе за выращиваемым в питомнике посадочным материалом, представляет научный и практический интерес, как при разработке новых, так и модернизации существующих лесных культиваторов.

Основными конструктивными параметрами культиваторов для лесных питомников являются ширина захвата, тип рабочих органов и их расстановка на раме. Эти показатели зависят от вида ухода, схемы посева и количества рядков рас-



тений на посевной ленте. Наибольшее применение в лесных питомниках получили следующие схемы размещения строчек на посевной ленте: пятистрочные, с расстоянием между ними равным 20 ... 25 см и шестистрочные, с расстоянием между ними равном 10 ... 20 см, при ширине строчек около 2 ... 5 см. При таких схемах размещения строчек на посевной ленте, ширина между соседними лентами принимается равной 150 ... 160 см. В связи с этим конструкция культиватора для лесных питомников должна иметь возможность настройки его рабочих органов для работы по различным схемам размещения растений на ленте.

Основная цель агротехнического ухода за выращиваемым в лесных питомниках посадочным материалом, заключается в удалении сорной растительности и рыхлении верхнего слоя почвы для улучшения водно-воздушного режима почвы в зоне расположения корневых систем растений, а также для обеспечения защитной зоны от рядка растений в пределах 5 ... 6 см. Также, на тяжелых бесструктурных почвах, образуется почвенная корка, которая негативно влияет на рост и развитие растений, поэтому в этих условиях необходимо проводить ее разрушение [36-38, 101].

Таким образом, культиваторы для лесных питомников должны рыхлить почву, удалять сорную растительность, разрушать почвенную корку и иметь возможность регулировки глубины обработки почвы от 2 до 10 см.

Для определения агротехнических показателей работы культиватора при уходе за посадочным материалом в питомнике, проведены исследования экспериментального образца культиватора комбинированного для питомников ККП-1,5А с различными рабочими органами (рис. 5.9).

Экспериментальный образец культиватора комбинированного ККП-1,5А состоит из следующих основных узлов: опорных колес 1, сменных рабочих органов 2, поперечного бруса 3, универсальных стрелчатых лап 4, параллелограмного механизма 5 и гидроцилиндров 6. Культиватор монтируется на лонжероны самоходным шасси Т-16М.

Рабочие органы культиватора смонтированы на поперечном бруске 3 с помощью кронштейнов, обеспечивающих возможность перемещения их как по вы-

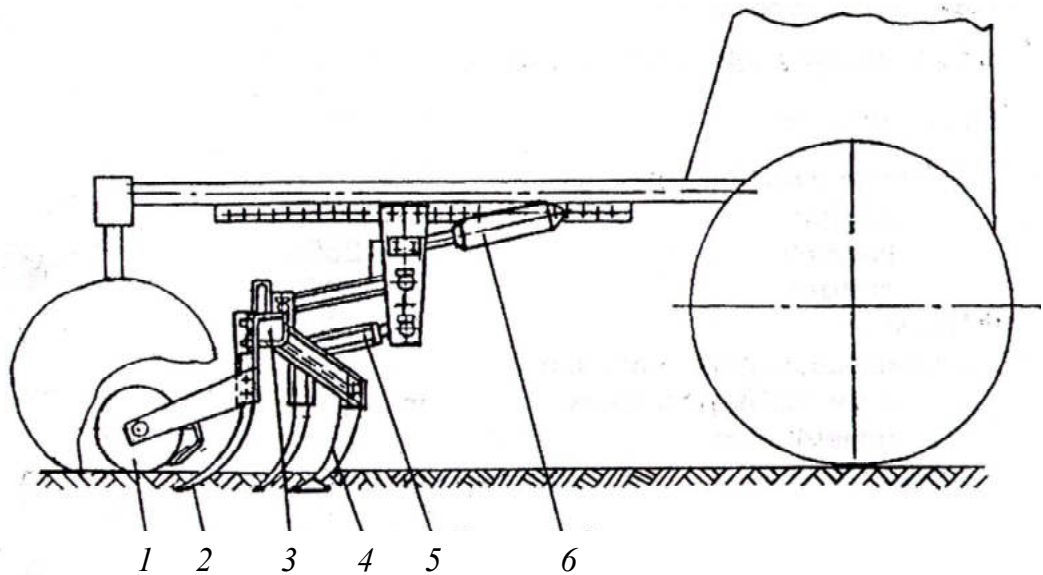


Рисунок 5.9 – Экспериментальный образец культиватора комбинированного для питомников ККП-1,5А

соте (для изменения глубины обработки почвы), так и вдоль бруса 3 (для настройки на разные схемы размещения рядков на ленте). Глубина рыхления почвы регулируется от 2 до 10 см путем подъема или опускания опорных колес 1, одно из которых перемещается по ленте между первым и вторым, а второе - между четвертым и пятым рядками растений. Параллелограммный механизм 5 обеспечивает копирование микрорельефа почвы. К боковинам поперечного бруса 3 прикреплены кронштейны для установки универсальных стрелчатых лап 4, предназначенных для обработки почвы в междурядьях. Гидроцилиндры 6 предназначены для перевода культиватора в рабочее и транспортное положения.

На основании проведенных аналитических исследований, разработана конструкция рыхлительно-подрезающей лапы (рис. 5.10) для культиватора, предназначенного для проведения агротехнического ухода за посадочным материалом, выращиваемым в лесных питомниках. Предложенная конструкция рыхлительно-подрезающей лапы представляет собой стойку толщиной 12 мм и шириной 52 мм с двухсторонней заточкой с углом равным  $15^{\circ}$  и отклонением ее назад от вертикали на угол  $15^{\circ}$ . В нижней части стойка снабжена крыловидными ножами шириной захвата 110 мм, с углом их заточки равным  $15^{\circ}$  и задним углом равным  $10^{\circ}$ , причем они отклонены назад под углом  $140^{\circ}$  к направлению движения агрегата и

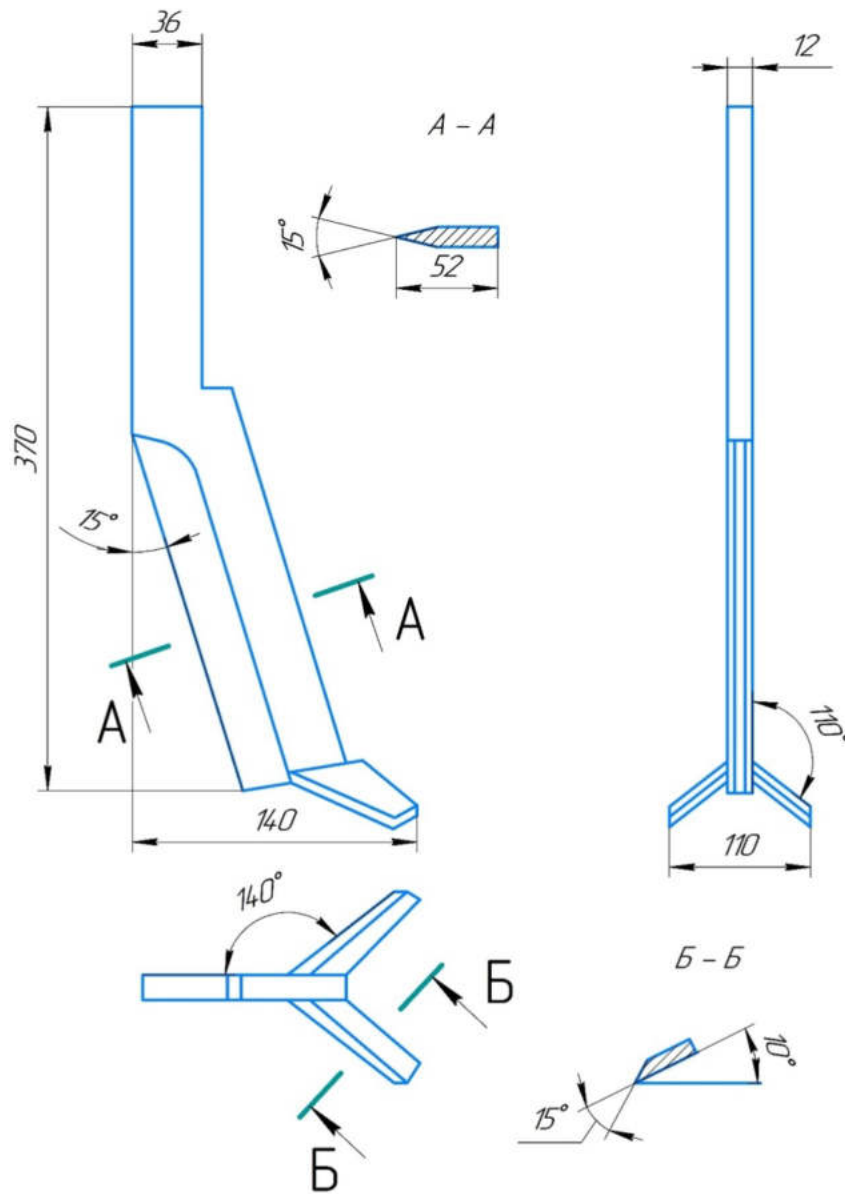


Рисунок 5.10 – Рыхлительно-подрезающая лапа

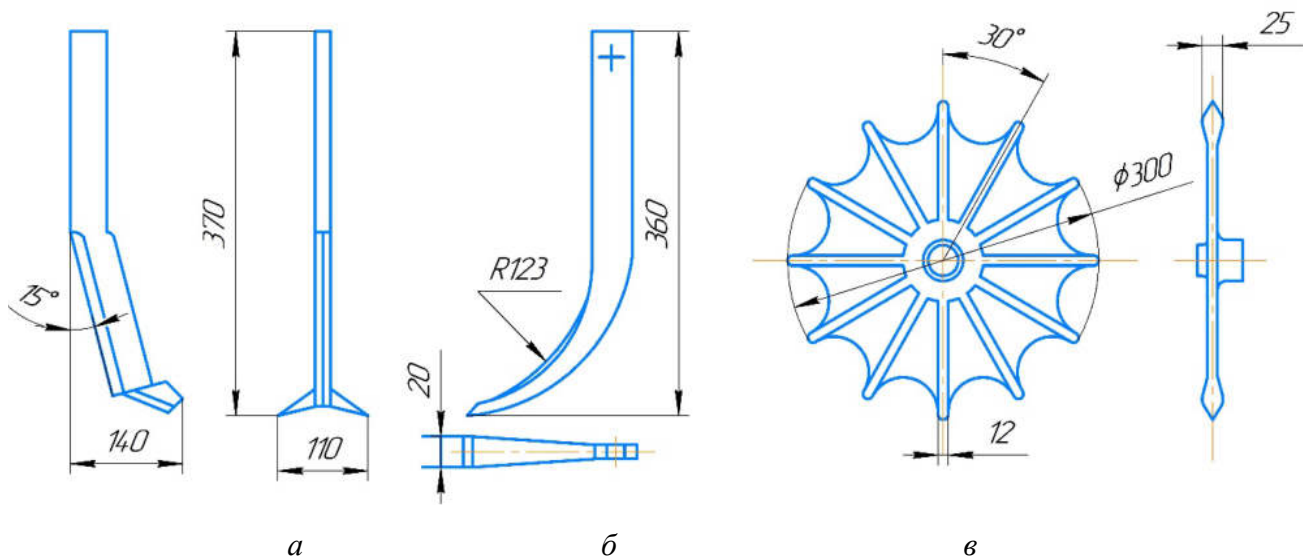
с отклонением вниз в вертикальной плоскости на угол  $110^{\circ}$ .

Такая конструкция рабочего органа разрезает обрабатываемый слой почвы стойкой, что исключить ее обволакивание корнями сорной растительности. Крыловидные ножи подрезают сорную растительность с одновременным рыхлением почвы.

С учетом ширины захвата рыхлительно-подрезающей лапы равной 11 см защитная зона от ряда растений составит 5 ... 6 см.

С целью выбора наиболее рационального типа рабочих органов, в процессе проведения исследований работы культиватора, кроме рыхлительно-подрезаю-

щих лап (рис. 5.11, а), были испытаны долотообразные зубья (рис. 5.11, б) и игольчатые диски (рис. 5.11, в), используемые в сельскохозяйственных культиваторах. Для обработки почвы в междурядьях, по следу колес самоходного шасси, были использованы универсальные стрельчатые лапы шириной захвата равной 25 см [101].



а – рыхлительно-подрезающая лапа; б – долотообразный зуб; в – игольчатый диск  
Рисунок 5.11 – Сменные рабочие органы культиватора комбинированного ККП-1,5А

При определении агротехнических показателей ухода в лесных питомниках, определяли ширину разрыхленной почвы, ширину защитной зоны от рядка растений, фракционный состав разрыхленного слоя почвы и степень уничтожения сорной растительности. Опыты проводились с пятикратной повторностью с количеством замеров в каждом опыте не менее 30. Полученные опытные данные были обработаны методом математической статистики.

Заимствованные от сельскохозяйственных культиваторов долотообразные зубья (рис. 5.11, б) предназначены для рыхления почвы без выноса ее нижних слоев на поверхность. Конструктивной особенностью долотообразного зуба является отогнутый носок его стойки, выполненный в виде заостренного долота с шириной равной 20 мм. Такое устройство долотообразного зуба обеспечивает хорошо заглабление и рыхление почвы на глубину до 10 см. В поперечном сечении

разрыхленный слой почвы имеет форму трапеции, с малым основанием на дне бороздки, равной 2 см, с наклоном ее боковых сторон под углом  $30 \dots 50^{\circ}$  [101]. Для исключения повреждения корневой системы культурных растений, при ширине междурядий равной 22,5 см, ширина защитной зоны от рядка растений, составляет около 5 см.

Игольчатые диски предназначены для разрушения почвенной корки в рядках растений и частичном уничтожения сорняков. Применяемые игольчатые диски (рис. 5. 11, в) имели диаметр равный 300 мм с шириной рабочей части иглы 25 мм. В процессе работы игольчатые диски были набраны в секции по 2 диска в каждой с шириной захвата каждой секции около 10 см и защитной зоной от рядка растений около 6 см.

В процессе работы игольчатые диски свободно вращаются на осях кронштейнов, крепления их к брусу культиватора, и при движении агрегата они рыхлят почву с разрушением почвенной корки на глубину до 4 см. При этом происходит разрыв корней сорняков и частичное извлечение их на поверхность почвы.

При оценке агротехнических показателей ухода за культурными растениями в лесных питомниках, определяли ширину разрыхленной почвы, ширину защитной зоны от рядка растений, фракционный состав разрыхленного слоя почвы и степень уничтожения сорной растительности. Повторность проведения опытов принималась пятикратной, с количеством замеров в каждом опыте не менее 30 и обработкой опытных данных общепринятыми методами математической статистики.

Исследования работы проводили при уходе за укрупненными сеянцами ели, в питомнике Сергиево-Посадского лесхоза. Схема размещения пяти рядков на ленте: 22,5-22,5-22,5-22,5-70 см при расстоянии между соседними лентами равном 1,6 м. В период проведения исследований влажность почвы в слоях 0 ... 5 и 5 ... 10 см составила, соответственно, 23,8 % и 25,1 %, плотность почвы – 0,9 и 1,26 г/см<sup>3</sup>. Средняя высота трехлетних укрупненных сеянцев ели составила около 34 см. Количество сорняков находилось в пределах 30 ... 40 шт./м<sup>2</sup>. Рабочая скорость в агрегате с самоходным шасси Т-16М со-

ставила 1,6 км/ч.

Анализ агротехнических показателей (табл. 5.9) рабочих органов культиватора, при уходе за укрупненными сеянцами ели, показывает, что при использовании рыхлительно-подрезающих лап, средняя ширина обработанной почвы составляет 11,8 см, при средней ширине защитной зоны-5,4 см. Глубина рыхления поч-

Таблица 5.9 – Агротехнические показатели рабочих органов культиватора при уходе за укрупненными сеянцами ели

Показатели	Типы рабочих органов			
	рыхлительно-подрезающие лапы	игольчатые диски	долотообразные зубья	универсальные стрельчатые лапы
Рабочая скорость, км/ч	1,6	1,6	1,6	1,6
Средняя глубина обработки почвы, см	5,5 ± 1,5	3,5 ± 1,2	6,3 ± 1,6	8,7 ± 1,8
Средняя ширина обработки почвы, см	11,8 ± 1,3	8,5 ± 1,4	9,3 ± 1,6	26,8 ± 2,6
Средняя ширина защитной зоны, см	5,4 ± 1,5	7,5 ± 1,2	6,6 ± 1,8	–
Фракционный состав разрыхленной почвы, %	до 10 мм	21,9	30,3	12,0
	от 10 до 50 мм	67,3	60,4	58,6
	более 50 мм	10,8	9,3	19,4
Степень уничтожения сорняков, %	85,5	68,4	72,6	98,3

вы в среднем составила 5,5 см. Фракционный состав разрыхленной почвы, с размером ее фракций до 50 мм, достигал 89,2 %. Степень уничтожения сорной растительности составила 85,5 %.

Игольчатые диски обеспечивали разрушение почвенной корки и рыхление почвы шириной около 8,5 см, при средней ширине защитной зоны от рядка растений около 7,5 см. Средняя глубина рыхления почвы игольчатыми дисками составила 3,5 см. Фракции разрыхленной почвы, размером до 10 мм, составили 30,3 %. Степень уничтожения сорной растительности игольчатыми дисками составила 68,4 %.

При использовании для ухода за укрупненными сеянцами ели долотообразных зубьев, средняя ширина обработанной почвы составила 9,3 см, при средней ширине защитной зоны от рядка растений равной 6,6 см и средней глубине рыхления почвы – 6,3 см. Фракции разрыхленного слоя почвы был несколько крупнее, чем игольчатыми дисками и количество фракций почвы размером более 50 мм составило 19,4 %. Степень уничтожения сорной растительности долотообразными зубьями составила 72,6 %.

Универсальные стрелчатые лапы обеспечивали обработку почвы средней глубиной 8,7 см и шириной 26,8 см и полное (98,3 %) уничтожение сорной растительности в междурядьях между соседними лентами.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований сменных рабочих органов культиватора при агротехническом уходе за укрупненными сеянцами ели установлено, что они соответствуют лесотехническим требованиям. Наиболее высокие показатели агротехнического ухода получены при использовании рыхлительно-подрезающих лап, которые обеспечивали до 85,5 % уничтожения сорной растительности и фракционный состав разрыхленной почвы размером до 50 мм, достигал 90 %. Игольчатые диски обеспечивают достаточное разрушение почвенной корки и количество фракций почвы размером менее 10 мм составило около 30 %, однако, степень уничтожения сорной растительности, была несколько ниже, чем рыхлительно-подрезающими лапами, и составила 68,4 %. Долотообразные зубья обеспечивали несколько большую глубину обработки почвы, средняя величина которой составила 6,3 см и количество фракций почвы размером более 50 мм составило 19,4 %.

## **5.6 Влияние режимов работы выкопчной машины на качество выкопки посадочного материала**

Выкопка посадочного материала в лесных питомниках является наиболее важной и трудоемкой технологической операцией при выращивании посадочного материала. Одним из показателей качества выращиваемого в лесных питомниках

посадочного материала является сохранность мелких корней и количество почвы, остающейся на корневой системе сеянцев при их выкопке. Известные выкопочные машины, применяемые в лесных питомниках для выкопки посадочного материала с пассивными рабочими органами, не отвечают этим требованиям, так как не достаточно рыхлят пласт почвы и не обеспечивают требуемой степени отделения почвы от корневых систем растений. Это вызывает значительные усилия на извлечение растений из почвы, что приводит к обрыву части мелких корней, наиболее важных для последующего приживания посадочного материала на лесокультурной площади. Выкопочные машины с активными рабочими органами позволяют отделять почву от корневых систем растений и обеспечивают сохранность необходимого ее количества на них, при снижении усилия на их извлечение из почвы [24, 39, 101, 202].

В связи с этим исследования процесса разрушения почвенного пласта и отделения почвы от корневой системы сеянцев с помощью активных отряхивателей, имеет существенное значение для разработки новых и модернизации существующих выкопочных машин.

Исследования влияния режимов работы машины выкопочной с активными рабочими органами на агротехнические показатели выкопки посадочного материала проводили на экспериментальном образце машины выкопочной МВ-1,3А. Эта машина предназначена для выкопки сеянцев и саженцев в лесных питомниках с одновременным подрезанием почвенного пласта, его рыхлением и отряхиванием почвы от их корневых систем.

Экспериментальный образец машины выкопочной МВ-1,3А состоит из рамы 1, подкапывающей скобы 2, вала рыхлителя 3, конического редуктора 4, карданного вала 5, кривошипов 6, шатунов 7, планок 8, бил 9, опорных колес 10 и стойки 11 (рис. 5.12).

Рама 1 представляет собой сварную конструкцию и предназначена для монтажа на ней узлов и агрегатов выкопочной машины.

Подкапывающая скоба 2 обеспечивает подрезку почвенного пласта с его рыхлением и состоит из вала 3 с планками 8 и билами 9. Планки 8 являются про-



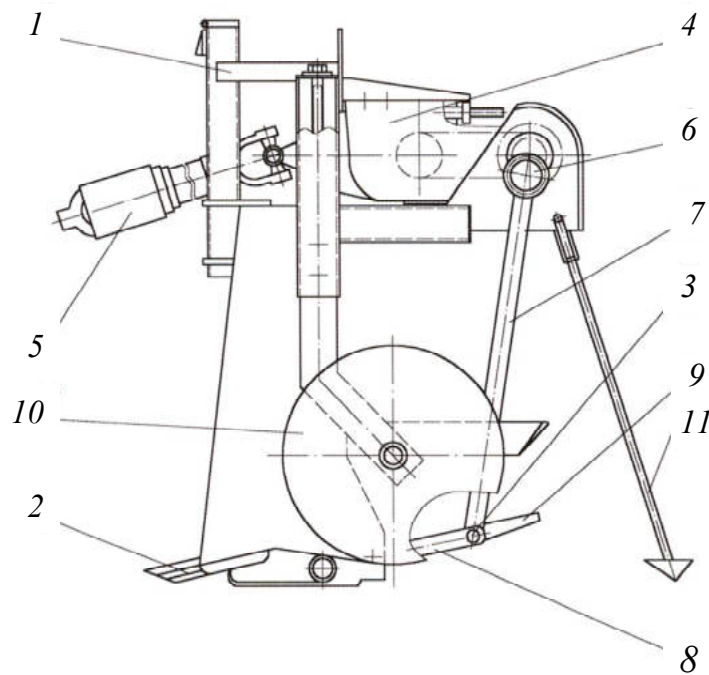


Рисунок 5.12 – Схема экспериментального образца машины выкопчной МВ-1,3А

должением подкапывающей скобы 2 и шарнирно присоединены к ее задней грани. Между билами на кронштейнах промежуточного вала установлены ролики, которые взаимодействуют с планками и обеспечивают им колебание в вертикальной плоскости.

Механизм привода рабочих органов включает карданный вал 5, конический редуктор 4, вал рыхлителя 3, кривошип 6 и шатуны 7.

Колебания бил приводится от кривошипно-шатунного механизма, а планок – от вала рыхлителя через кронштейны с роликами. Била и планки колеблются в противофазе: когда била опускаются вниз, то планки поднимаются вверх.

Била в количестве 10 штук и длиной около 300 мм и шириной 10 мм приварены к валу рыхлителя и приводятся в колебательное движение от кривошипно-шатунных механизмов, расположенных с обеих сторон машины. Расстояние между центрами бил принято из конструктивных соображений равным 120 мм и с учетом расстояния между рядками растений, которое для сеянцев составляет 22,5 см и для саженцев – 25 см. Планки в количестве четырех присоединены шарнирно к задней грани подкапывающей скобы и являются ее продолжением. Длина планки составляет 450 мм при ее ширине равной 40 мм и расстоянием между ними

равном 240 мм.

Частота колебаний планок и бил изменяется с помощью сменных звездочек в трансмиссии их привода и составляет 4,50, 6,92, 9,00 и 11,25 Гц. Амплитуда колебаний планок и бил изменяется с помощью регулировочных отверстий на коромыслах и составляет 60, 100 и 140 мм. Эксцентриситет кривошипа принят равным 50 мм с учетом его назначения и исполнения.

Опорные колеса *10* снабжены винтовым механизмом и предназначены для безступенчатого регулирования глубины выкопки от 15 до 30 см. Технологический процесс работы выкопчной машины МВ-1,3А заключается в следующем. При поступательном движении агрегата и включенном ВОМ, тракторист с помощью гидросистемы переводит машину в рабочее положение. При этом подкапывающая скоба заглубляется в почву на предварительно установленную глубину выкопки посадочного материала и подрезанный пласт почвы надвигается на скобу и далее перемещается на планки.

Крутящий момент от ВОМ трактора с помощью карданного вала передается на конический редуктор, на выходном валу которого установлена ведущая звездочка. Далее крутящий момент через цепную передачу передается на ведомую звездочку, закрепленную на промежуточном валу, и с помощью кривошипно-шатунного механизма приводит рабочие органы в колебательное движение. При этом планки и била рыхлят подрезанный пласт почвы с сеянцами и интенсивно отделяют почву от их корневых систем.

Исследования влияния режимов работы экспериментального образца машины выкопчной МВ-1,3А на качество выкопки посадочного материала проводили в Сергиево-Посадском питомнике на выкопке укрупненных сеянцев ели. Машина агрегатировалась с трактором МТЗ-82. Подача на одно колебание планки и била, при рабочей скорости агрегата равной 2,2 км/ч, изменялась от 5,4 до 13,5 см/кол. Выкопку укрупненных сеянцев ели проводили при глубине равной 20 см. Средние показатели сеянцев ели составили: высота – 31,8 см, ширина кроны – 22,8 см, длина корней – 18,0 см и диаметр корневой шейки – 7,0 мм. Усилие на извлечение сеянцев ели из почвы после прохода выкопчной машины измеряли

пружинным динамометром (до 100 Н), а массу почвы на их корневых системах с помощью лабораторных весов. Повторность замеров принималась 30 ... 50-кратная для каждого варианта опыта. В процессе проведения исследований влажность почвы в слое 0 ... 10 см составила 23,0 % и в слое 10 ... 20 см – 22,5 %. Подача на одно колебание рычага и била, при рабочей скорости агрегата равной 2,2 км/ч, изменялась от 5,4 до 13,5 см/кол.

В процессе проведения исследований было установлено, что при частоте колебаний планок и бил равной 90 Гц и амплитуде их колебаний равной 60 мм, подрезанный пласт почвы с укрупненными сеянцами ели практически не был разрыхлен и почва не отделена от их корневых систем. Это объясняется тем, что насыщенный корнями верхний слой почвы при глубине хода подкапывающей скобы равной 20 см, рабочие органы при амплитуде их колебаний 60 мм практически не обеспечивали рыхления подрезанного пласта почвы. С увеличением амплитуды колебаний рабочих органов до 100 мм, т. е. до половины глубины выкопки посадочного материала, наблюдалось более интенсивное рыхление почвенного пласта и лучшее отделение почвы от корневых систем сеянцев. При амплитуде колебаний рабочих органов равной 140 мм, т. е. практически большей части (около 70 %) глубины подрезанного пласта почвы, наблюдались случаи повреждений (поломки) стволиков сеянцев ели и их корней. В связи с этим дальнейшие исследования выкопки укрупненных сеянцев ели проводили с амплитудой колебаний рабочих органов равной 100 мм.

Анализ результатов экспериментальных исследований, приведенных в таблице 5.10 показывает, что при частоте колебаний планок и бил равной 270 Гц и подаче на одно их колебание 13,5 см/кол., подрезанный пласт почвы практически не разрыхлен. При этом усилие на извлечение сеянцев из почвы составило 165,7 Н и превышало предусмотренное агротехническими требованиями (не более 100 Н). Масса почвы, связанной с корневой системой укрупненных сеянцев ели, составила 374,5 г, что также не соответствовало агротехническим требованиям, предусматривающим количество почвы на корневой системе сеянцев в пределах 100 ... 150 г.

Таблица 5.10 – Влияние частоты колебаний рабочих органов и подачи на качественные показатели выкопки укрупненных семян ели

Номер опыта	Частота колебаний планок и бил, Гц	Подача на одно колебание планок и бил, см/кол.	Средняя масса почвы на корневой системе укрупненных семян ели, г	Среднее усилие на извлечение укрупненных семян ели из почвы, Н
1	4,50	13,5	374,5 ± 14,3	165,7 ± 8,3
2	6,92	8,8	248,1 ± 11,6	96,2 ± 3,7
3	90,00	6,8	177,4 ± 9,4	58,6 ± 3,1
4	11,25	5,4	136,2 ± 7,6	36,4 ± 2,2

С увеличением частоты колебаний рабочих органов до 6,92 Гц и уменьшении подачи на одно колебание до 8,8 см/кол., масса почвы на корневой системе укрупненных семян ели уменьшилась и составила 248,1 г. Это также превышало допустимую величину массы почвы на корневой системе растений и не соответствует агротехническим требованиям. Однако, усилие на извлечение семян из почвы уменьшилось до 96,2 Н и соответствовало агротехническим требованиям. При дальнейшем увеличении частоты колебаний рабочих органов до 90 Гц и уменьшении подачи на одно их колебание до 6,8 см/кол., масса почвы на корневой системе укрупненных семян ели снизилась до 177,4 г, и усилие на их извлечение из почвы уменьшилось до 58,6 Н. Эти режим работы выкопчной машины также не соответствуют агротехническим требованиям, так как количество почвы на корневой системе семян, превышает допустимую норму.

При дальнейшем увеличении частоты колебаний рабочих органов до 11,25 Гц и уменьшении подачи на одно колебание до 5,4 см/кол., масса почвы, остающейся на корневой системе укрупненных семян ели, уменьшилась до 136,2 г и усилие на их извлечение снизилось до 36,4 Н. Повреждений стволиков растений и их корневых систем не наблюдалось. Этот режим работы выкопчной машины полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к качеству выкопки посадочного материала и его целесообразно использовать при разработке новых и модернизации существующих выкопчных машин для лесных питомников. Следует также отметить, что благодаря существенному снижению усилия на извлече-

ние семян из почвы, производительность рабочих занятых на уборке посадочного материала повышается на 40 ... 60 %.

Таким образом, в результате проведенных исследований влияния режимов работы выкопной машины на качество выкопки укрупненных семян ели установлено, что при рабочей скорости движения агрегата равной 2,2 км/ч, частота колебаний планок и бил должна быть в пределах 11,25 Гц и подача на одно колебание рабочего органа – 5,4 см/кол. При этих режимах выкопки посадочного материала масса почвы на корневой системе укрупненных семян ели и усилие на их извлечение из почвы соответствуют агротехническим требованиям и составляют, соответственно, 136,2 г и 36,4 Н.

## 5.7 Выводы

1 На основании проведенных исследований технологических свойств желудей дуба черешчатого, установлены следующие их показатели:

– масса и размеры желудей существенно зависят от их произрастания, так масса 1000 штук желудей изменялась от 2199 до 3666 г и средняя их длина изменялась от 23,75 до 33,93 мм, а поперечный диаметр желудей практически не изменился и составил 14,70 ... 14,84 мм;

– угол трения скольжения желудей по стали и дереву изменялся незначительно и составил, соответственно, 14,91 ... 16,97 и 19,14 ... 19,39 градусов;

2 Установлены рациональные параметры и режимы работы сеялки для крупноплодных семян СКБ-3-5, обеспечивающие поштучно-равномерный высев желудей с нормой посева в пределах от 2,37 до 4,4 т/га (от 19 до 30 шт./пог.м): скорость подачи высевующих аппаратов 0,12 м/с, поступательная скорость агрегата 0,28 м/с и размерах ячейки высевующего аппарата: глубина 5-15 мм, длина 40 мм и высота 20 мм.

3 Обоснованы параметры и режимы работы сеялки лесной СЛН-5А для равномерно-разреженного посева семян ели с нормой посева в пределах от 0,40 до 0,74 г/пог.м (от 81 до 145 шт./пог.м) при поступательной скорости сеялки 0,28 м/с и из-

менении частоты вращения штифтовых высевяющих аппаратов от 4,3 до 7,0 об/мин.

4 Определены основные параметры и режимы работы прикатывающего катка, обеспечивающие необходимую плотность почвы ( $1,0 \dots 1,2 \text{ г/см}^3$ ) в посевной бороздке: ширина 70 мм и диаметр 220 мм при действующей на него силе 80 Н.

5 Разработанная номограмма позволяет определять параметры и режимы работы прикатывающего катка и оценить его влияние на плотность почвы в зоне заделки семян.

6 Установлены качественные показатели рыхлительно-подрезающих лап, игольчатых дисков и долотообразных зубьев культиватора и даны рекомендации по эффективному их применению при проведении агротехнических уходов в питомниках.

7 Обоснован рациональный режим работы выкопочной машины, обеспечивающий требуемую массу почвы на корневой системе сеянцев ели в количестве 135,4 ... 177,4 г и допустимое усилие на их извлечение из почвы в пределах от 36 до 58 Н, при подаче на одно колебание рабочих органов 5,4 ... 6,8 см/кол. и частоте их колебаний в пределах от 90,00 до 11,25 Гц и поступательной скорости агрегата 2,2 км/ч (0,6 м/с).

## **6 РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ КОМПЛЕКСА НОВЫХ И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ МАШИН И ОРУДИЙ ДЛЯ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ**

### **6.1 Сеялка для посева крупноплодных семян бесприводная СКБ-3-5**

В результате проведенных исследований процесса посева желудей подготовлено техническое задание, на основании которого в ОАО «ЦОКБлесхозмаш» разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец сеялки для поштучно-равномерного посева крупноплодных семян СКБ-3-5 (рис. 6.1)



Рисунок 6.1 – Сеялка для крупноплодных семян бесприводная СКБ-3-5

[121, 222]. Новизна конструкции сеялки СКБ-3-5 и оригинальность ее устройства защищена патентом РФ № 2118076 [169]. Сеялка СКБ-3-5 является навесной и агрегируется с тракторами тягового класса 14 кН, например, BELARUS 82.1. Основными узлами этой сеялки являются рама, бункер, высевающий аппарат, колеса, привод, выравниватель, сошники, семяпроводы, загортачи и прикатывающие катки.

Технологический процесс работы сеялки СКБ-3-5 заключается в следующем. Перед началом работы устанавливается необходимая норма высева желудей.

В процессе работы выравниватель производит предпосевную планировку поверхности почвы и сошники образуют в почве бороздки. Опорные колеса с помощью цепных передач приводят в движение высевальные аппараты и ячейки захватывают из бункера желуди и направляют их в семяпроводы. Загортачи заделывают посевные бороздки с желудями почвой. Прикатывающие катки, установленные по следу каждой посевной бороздки, уплотняют почву в зоне заделки желудей. Норма высева желудей регулируется с помощью сменных звездочек в трансмиссии привода высевальных аппаратов. Количество захватываемых ячейкой желудей обеспечивается путем изменения ее размеров, с помощью перемещения установленных в них подвижных планок. Глубина посевных бороздок регулируется изменением высоты установки сошников относительно рамы сеялки.

Опытно-производственная проверка и приемочные испытания опытного образца сеялки для крупноплодных семян СКБ-3-5 проводились Лесной машиноиспытательной станцией в питомнике Высоковского лесничества Тульского мехлесхоза (приложение В). Условия проведения приемочных испытаний соответствовали техническому заданию. Рельеф участка – ровный с серыми суглинистыми почвами при ее влажности в слое 0 ... 10 см равной 26 % и плотности почвы – 1,05 г/см<sup>3</sup>. Предпосевная обработка почвы была проведена машиной ротационной бесприводной МРБ-1,6. Фракционный состав почвы в слое 0 ... 10 см размером 0 ... 10 мм составил 66,7 %, размером 10 ... 50 мм – 23,1 % и размером более 50 мм – 10,2 %. При испытаниях сеялка СКБ-3-5 агрегатировалась с трактором BELARUS 82.1. Рабочая скорость агрегата составила 1,5 км/ч.

При проведении опытно-производственной проверки сеялки СКБ-3-5 для посева использовались желуди дуба черешчатого 2 класса качества. Чистота желудей составила 95,1 % при их влажности – 55,2 %. Масса 1000 шт. желудей составила 3330 г, средняя длина желудя – 29,0 мм, диаметр – 16,1 мм. При средней глубине посевной бороздки равной 8,5 см, средняя глубина заделки желудей составила 4,2 см. Ширина посевной бороздки составила 6 ... 8 см. Расстояние между центрами рядков, при 5-ти строчной схеме посева, составило 22,5 см.

По сравнению с традиционно используемой сеялкой СЛПМ разработанная



сеялка СКБ-3-5 обеспечивает поштучно-равномерный высев крупноплодных семян, имеет более высокую рабочую скорость и, соответственно, производительность. Кроме этого новая сеялка имеет заметно меньшие габаритные размеры при незначительном превышении массы (табл. 6.1).

Таблица 6.1 – Сравнительные технические характеристики сеялки для посева крупноплодных семян СКБ-3-5 и сеялки лесной для питомников для посева несypучих семян с крылатками в смеси с субстратом и в плодах СЛПМ

№ п/п	Наименование показателей	СКБ-3-5	СЛПМ (базовый)	Превышение (+), снижение (-), %
1	Агрегатирование	BELARUS 82.1	BT3-30CШ	–
2	Емкость бункера для семян, дм <sup>3</sup>	100	100	0
3	Рабочая скорость, км/ч	1,5	1,0	+50
4	Глубина хода сошников, см	10	10	0
5	Норма посева, г/пог.м	33,3 ... 148,5	28 ... 130	+19 ... +15
6	Поштучно-равномерный посев крупноплодных семян	да	нет	–
7	Схема посева	3-х и 5-строчная	3-х строчная	–
8	Расстояние между рядками, см	22,5 и 45	30	–
9	Производительность за 1 ч, га	0,15	0,11	+36
10	Габаритные размеры, мм	1600×1690×1150	2850×1940×1540	–44×–13×–16
11	Масса, кг	470	410	+15
12	Обслуживающий персонал, чел.	1 тракторист	1 тракторист	–

Результаты приемочных испытаний показали, что опытный образец сеялки СКБ-3-5, полностью соответствует техническому заданию и обеспечивает стабильное выполнение заданного технологического процесса с поштучно-равномерным размещением желудей в посевной бороздке.

Неравномерность посева желудей между аппаратами не превышала 6,1 %. Сеялка обеспечивала предусмотренную техническим заданием норму посева желудей от 33,3 до 148,5 г/пог.м. Катки обеспечивали уплотнение почвы в зоне заделки желудей с плотностью почвы в пределах от 1,0 до 1,2 г/см<sup>3</sup>. В процессе посева было установлено незначительное (около 0,1 %) повреждение желудей.

Сеялка для крупноплодных семян СКБ-3-5 показала высокую надежность в

работе и полное соответствие параметрам технического задания. Коэффициент надежности составил 1,0, коэффициент готовности – 0,98, коэффициент обслуживания – 0,87, коэффициент использования времени – 0,68. При испытаниях был заложен опытно-производственный участок на площади 2,08 га. Обследование посевов в конце вегетационного периода показало, что всхожесть желудей дуба черешчатого составила около 88 %. Среднее количество сеянцев в посевной строчке, при норме посева желудей 15 шт./пог.м, составило 11 шт./пог.м при средней высоте однолетних сеянцев дуба равной  $12,5 \pm 0,7$  см.

Таким образом, приемочные испытания и опытно-производственная проверка опытного образца сеялки СКБ-3-5 позволили выявить ее работоспособность и установить полное соответствие сеялки техническому заданию и агротехническим требованиям. Сеялка обеспечивает необходимую норму посева желудей с возможностью ее регулирования от 33,3 до 148,5 г/пог.м. По результатам приемочных испытаний сеялка для крупноплодных семян СКБ-3-5 была рекомендована к постановке в серийное производство (приложение В). В ОАО «ЦОКБлесхозмаш» по заявкам предприятий лесного хозяйства организовано серийное производство и поставка сеялки для крупноплодных семян бесприводной СКБ-3-5.

## **6.2 Сеялка лесная навесная модернизированная СЛН-5А**

По результатам исследований процесса посева семян ели составлено техническое задание на проектирование и в ОАО «ЦОКБлесхозмаш» подготовлена конструкторская документация и изготовлен опытный образец сеялки лесной навесной модернизированной СЛН-5А для равномерно-разреженного посева мелких семян хвойных пород (рис. 6.2) [118]. Новизна конструкции сеялки СЛН-5А и оригинальность ее устройства защищена патентом на полезную модель РФ № 62767 «Сеялка для лесных питомников» [172].

Сеялка лесная навесная модернизированная СЛН-5А предназначена для равномерно-разреженного посева мелких семян хвойных пород в лесных питомниках при выращивании посадочного материала, как по общепринятым технологиям, так

и при выращивании укрупненных сеянцев без перешколивания в посевном отделении питомника, равноценных саженцам, выращенным в школьном отделении.

Сеялка состоит из рамы, бороздообразующего катка, бункера, штифтовых высевающих аппаратов, привода, семяпроводов, загортачей, прикатывающего катка и навесного устройства. Сеялка СЛН-5А является навесной и агрегатируется с тракторами класса тяги 14 кН.



Рисунок 6.2 – Сеялка лесная навесная модернизированная СЛН-5А

Технологический процесс, выполняемый сеялкой лесной навесной модернизированной СЛН-5А, заключается в следующем. При заезде агрегата на подготовленную для посева ленту, сеялка опускается в рабочее положение, ограничители на навесном устройстве должны быть установлены в необходимое положение, с учетом возможных отклонений поверхности ленты в поперечной плоскости. Затем с помощью многоступенчатого редуктора, путем подбора соответствующей пары звездочек, устанавливается необходимая передача, обеспечивающая требуемую норму посева.

В процессе работы бороздообразующий каток с почвозацепами обеспечивает подготовку посевных бороздок и вращение штифтовых высевающих аппара-

тов, которые захватывают семена из бункера и с помощью семяпроводов подают их в бороздки. Загортачи заделывают семена в бороздке почвой, которая затем уплотняется прикатывающим катком. В конце гона сеялка переводится в транспортное положение и заезжает на следующую для посева ленту.

Опытно-производственную проверку и приемочные испытания опытного образца сеялки лесной навесной модернизированной СЛН-5А проводило ФГУ «ЦЕНТРЛЕС» в питомнике Сергиево-Посадского лесхоза (приложение В). Условия испытаний соответствовали требованиям технического задания. Участок имел ровный рельеф, с дерново-среднеподзолистыми почвами и ее влажностью в слое 0 ... 5 см 25,4 %, плотность почвы в слое 0 ... 4 см составила 1,1 г/см<sup>3</sup>. Предпосевная обработка почвы проводилась машиной ротационной бесприводной МРБ-1,6, путем ее рыхления на глубину до 12 см, с одновременным образованием гряд высотой 10,8 см и их шириной 115,7 см. Фракции разрыхленной почвы размером 0 ... 25 мм в слое 0 ... 5 см составили 83,9 %, размером 25 ... 50 мм – 6, 2 % и размером более 50 мм – 9,9 %. Испытания сеялки СЛН-5А проводили в агрегате с трактором МТЗ-80/82 при рабочей скорости 3,9 км/ч. Для посева использовались семена ели 1 класса качества. Средняя глубина посевной бороздки составила 18,0 мм при ее ширине равной 30,0 мм. Глубина заделки семян изменялась от 5 до 15 мм. Расстояние между центрами рядков при 5-ти строчной схеме посева составило 22,5 см.

Опытно-производственная проверка и приемочные испытания показали, что сеялка СЛН-5А работает стабильно, обеспечивает выполнение заданного технологического процесса в соответствии с техническим заданием и производит равномерно-разреженный посев семян ели при норме посева семян ели от 0,4 до 0,74 г/пог.м. Отклонение нормы высева семян ели от заданной не превышало 1,5 %. Неравномерность посева семян ели между аппаратами составила около 1,7 %. Повреждений семян ели при посеве не выявлено. Прикатывающий каток обеспечивает уплотнение почвы по всей ширине посевной гряды. Сеялка СЛН-5А показала высокую надежность в работе и полное соответствие техническому заданию. Коэффициент надежности составил 1,0, коэффициент готовности – 1,0, коэффициент технического использования – 0,88. Обследование посевов на участке показало, что всхожесть семян ели составила 92 %.

В процессе проведения испытаний был выполнен объем работ и заложен опытно-производственный участок на площади 7,2 га. Сеянцы ели были размещены в строчках с равномерным расстоянием между ними. Однолетние сеянцы ели имели хорошо развитую крону и средняя их высота составила 2,8 см. Среднее количество сеянцев ели на 1 пог. м. посевной строки составило около 70 шт./пог.м.

Как следует из данных сравнительных технических характеристик новой сеялки СЛН-5А и ее базового варианта – сеялки СЛУ-5-20, первая из них, при примерно равных основных показателях, имеет более емкий бункер, а также способность равномерно-разряженного высева мелких семян хвойных пород (табл. 6.2).

Таблица 6.2 – Сравнительные технические характеристики сеялки для посева семян мелких хвойных пород СЛН-5А и сеялки лесной универсальной СЛУ-5-20

№ п/п	Наименование показателей	СЛН-5А	СЛУ-5-20 (базовый)	Превышение (+), снижение (-), %
1	Агрегатирование	BELARUS 82.1	BELARUS 82.1	–
2	Емкость бункера для семян, дм <sup>3</sup>	58	50	+16
3	Рабочая скорость, км/ч	4	4	0
4	Глубина заделки семян, см	до 1,5	до 2,0	–25
5	Норма посева, г/пог.м	0,4 ... 4,0	0,5 ... 5,0	–20 ... –20
6	Равномерно-разреженный высев мелких семян хвойных пород	да	нет	–
7	Схема посева, кол. строк	5	5, 10, 20	–
8	Расстояние между рядками, см	22,5	25, 10 и 5	–
9	Габаритные размеры, мм	1860×1430×980	1300×1500×890	+43×–5×+10
10	Производительность за 1 ч, га	0,5	0,5	0
11	Масса, кг	370	340	+9
12	Обслуживающий персонал, чел.	1 тракторист	1 тракторист	–

Таким образом, проведенные испытания и опытно-производственная проверка опытного образца сеялки лесной модернизированной СЛН-5А позволили выявить ее работоспособность и соответствие техническому заданию. В результате опытно-производственной проверки и приемочных испытаний модернизированной

ванный образец сеялки лесной навесной СЛН-5А был рекомендован в серийное производство (приложение В). В ОАО «ЦОКБлесхозмаш» организовано серийное производство и поставка сеялки лесной навесной модернизированной СЛН-5А предприятиям лесного хозяйства.

### **6.3 Культиватор комбинированный для питомников модернизированный ККП-1,5А**

На основании проведенных исследований и анализа существующих конструкций культиваторов для агротехнического ухода за сеянцами и саженцами в лесных питомниках, разработано техническое задание на культиватор комбинированный для питомников модернизированный ККП-1,5А. В ОАО «ЦОКБлесхозмаш» разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец модернизированного культиватора комбинированного для питомников ККП-1,5А (рис. 6.3).



Рисунок 6.3 – Культиватор комбинированный для питомников модернизированный ККП-1,5 А

Культиватор комбинированный для питомников модернизированный ККП-1,5А предназначен для агротехнического ухода за сеянцами и саженцами в лесных питомниках путем рыхления почвы и уничтожения сорняков. Культиватор ККП-1,5А



агрегатируется с самоходными шасси ВТЗ-30СШ, Т-16 и др. и состоит из поперечного бруса, сменных рабочих органов, опорных колес, параллелограмного механизма и гидроцилиндров подъема [103].

Модернизация культиватора заключалась в упрощении его конструкции и монтажа на лонжероны самоходного шасси и размещения двух опорных колес на ленте между рядками растений.

Опорные колеса присоединены к поперечному брусу с возможностью их перемещения, как поперек бруса при настройке на схему посева, так и по высоте для регулирования глубины хода рабочих органов. Опорные колеса установлены перед рабочими органами, причем одно опорное колесо расположено между первым и вторым, другое – между четвертым и пятым рядками растений. Такое расположение опорных колес обеспечивает хорошее копирование микрорельефа почвы, как в продольном, так и в поперечном направлениях.

Сменные рабочие органы культиватора включали рыхлительно-подрезающие лапы, долотообразные зубья и игольчатые диски (рис. 6.4). Рабочие органы культиватора монтируются на брусе с помощью кронштейнов, обеспечивающих возможность их перемещения в поперечном направлении при его настройке на определенную схему размещения рядков.



Рисунок 6.4 – Сменные рабочие органы культиватора ККП-1,5А

Для обработки почвы и уничтожения сорняков в стыковых междурядьях по бокам поперечного бруса культиватора установлены универсальные стрельчатые лапы. Параллелограммный механизм культиватора служит для изменения длины нижней тяги с целью установки рабочих органов в вертикальное положение. Гидроцилиндры в количестве двух штук расположены по обеим сторонам культиватора и предназначены для его перевода в рабочее и транспортное положения. Основной схемой расположения рядков на посевной ленте, на которую рассчитан культиватор, является 5-рядная, с расстоянием между рядами равном 22,5 см.

Технологический процесс работы культиватора ККП-1,5А заключается в следующем. При поступательном движении агрегата культиватор с помощью гидроцилиндров переводится в рабочее положение. Рабочие органы культиватора производят рыхление почвы на установленную глубину с одновременным подрезанием сорной растительности. В конце гона культиватор переводится в транспортное положение и производится заезд на следующую ленту. При работе тракторист, управляет самоходным шасси ВТЗ-30СШ с обеспечением необходимой защитной зоны от рядка растений и исключения их повреждения.

Приемочные испытания опытного образца культиватора комбинированного для питомников модернизированного ККП-1,5А проходили на Лесной машиноиспытательной станции в питомнике Сергиево-Посадского лесхоза (приложение В). Рельеф участка – ровный, тип почвы – среднесуглинистая, в слое 0 ... 10 см влажность почвы составила 15,1 ... 17,1 % и плотность почвы – 0,99 ... 1,08 г/см<sup>3</sup>. Схема расположения рядков 5-строчная с расстоянием ними равном 22,5 см. Условия проведения испытаний соответствовали техническому заданию и назначению культиватора.

Наибольший эффект, при агротехническом уходе, как за сеянцами, так и за саженцами обеспечивали рылительно-подрезающие лапы. В зоне обработки (около 11 см) они полностью уничтожали сорную растительность и рыхлили почву на глубину до 8 см. Долотообразные зубья целесообразно применять для ухода за более крупным посадочным материалом: укрупненными сеянцами и саженцами.



Игольчатые диски целесообразно использовать для разрушения почвенной корки и ухода за однолетними сеянцами. При работе они обеспечивают частичное уничтожение сорняков и рыхление почвы на глубину до 6 см.

Защитная зона для долотообразных зубьев составила 7,4 ... 9,0 см, для рыхлительно-подрезающих лап – 4,0 ... 5,2 см и для игольчатых дисков – 2,6 ... 4,0 см, что вполне допустимо и соответствует лесотехническим требованиям.

Агротехнические показатели культиватора ККП-1,5А при уходе, как в полевом, так и в школьном отделениях питомника полностью соответствуют предъявляемым к нему требованиям. Глубина рыхления почвы изменялась от 3 до 9 см. Фракционный состав почвы размером до 50 мм изменялся от 56,5 до 96,0 %, степень уничтожения сорняков – от 75,5 до 100 %.

По сравнению с базовым культиватором КПШ-1,25 новый культиватор, при прочих примерно равных значениях сравниваемых показателей, ККП-1,5А имеет большую ширину захвата, глубину рыхления почвы, а также такой важный для качественного ухода за посадочным материалом показатель, как более высокую степень уничтожения сорной растительности (табл. 6.3).

Таблица 6.3 – Сравнительные технические характеристики культиватора для питомников ККП-1,5 А и культиватора для питомников Шадрин КШШ-1,25

№ п/п	Наименование показателей	ККП-1.5А	КПШ-1,25 (базовый)	Превышение (+), снижение (-), %
1	Агрегатирование	ВТЗ-30СШ	ВТЗ-30СШ	–
2	Ширина захвата, м	1,6	1,2	+33
3	Рабочая скорость, км/ч	3	3	0
4	Глубина рыхления почвы, см	10	3	+257
5	Степень уничтожения сорняков, %	86	65	+31
6	Схема посева, кол. строк	5	4	–
7	Расстояние между рядками, см	22,5	45,5	–
8	Производительность за 1 ч, га	0,51	0,5	+2
9	Габаритные размеры, мм	1600×1740×990	1500×1680×760	+7×+4×+30
10	Масса, кг	280	110	+154
11	Обслуживающий персонал, чел.	1 тракторист	1 тракторист	–

Культиватор ККП-1,5А показал высокую надежность в работе и полное соответствие техническому заданию и агротехническим требованиям. Повреждение сеянцев и саженцев не превышало допустимую норму и составило 0,3 ... 3,6 %. При проведении приемочных испытаний был выполнен предусмотренный объем работ и проведен агротехнический уход за сеянцами на площади 1,6 га. Коэффициент надежности составил 1,0, коэффициент готовности – 0,98, коэффициент обслуживания – 1,0, коэффициент использования времени – 0,69.

Таким образом, приемочные испытания опытного образца культиватора комбинированного для питомников модернизированного ККП-1,5А позволили выявить его работоспособность и соответствие техническому заданию. В результате приемочных испытаний культиватор комбинированный для питомников модернизированный ККП-1,5А рекомендован в серийное производство (приложение В). В ОАО «ЦОКБлесхозмаш» по заявкам предприятий лесного хозяйства организовано серийное производство и поставка культиватора комбинированного для питомников модернизированного ККП-1,5А.

#### **6.4 Машина выкопчная модернизированная МВ-1,3А**

На основании проведенных исследований и анализа современных конструкций механизмов для выкопки посадочного материала в лесных питомниках составлено техническое задание на проектирование опытного образца машины и в ОАО «ЦОКБлесхозмаш» подготовлена конструкторская документация и изготовлен опытный образец машины выкопчной модернизированной МВ-1,3А. Новизна конструкции машины МВ-1,3А и оригинальность ее устройства подтверждена патентом на полезную модель РФ № 61982 «Выкопчная машина для лесных питомников» [171].

Машина выкопчная модернизированная МВ-1,3А (рис. 6.5) предназначена для выкопки сеянцев и саженцев в лесных питомниках путем рыхления пласта почвы и отряхиванием ее от корневой системы растений [112].

Технологический процесс работы машины МВ-1,3А заключается в следующем. Перед началом работы устанавливается глубина выкопки посадочного материала. Затем агрегат заезжает на ленту с растениями, подлежащими выкопке, включа-



Рисунок 6.5 – Машина выкопчная модернизированная МВ-1,3А

ется вал отбора мощности и с помощью гидросистемы трактора машина переводится в плавающее положение и при поступательном движении трактора подкапывающая скоба заглубляется в почву, подрезает ее пласт, а планки и била начинают рыхлить почву и отряхивать ее от корневой системы растений. В конце гона выключается вал отбора мощности трактора и машина переводится в транспортное положение для заезда на следующую ленту и технологический процесс работы повторяется.

Опытный образец машины выкопчной модернизированной МВ-1,3А успешно прошел опытно-производственную проверку и приемочные испытания в Сергиево-Посадском питомнике (приложение В). Средние значения посадочного материала составили: высота саженцев ели составила 31,8 см, ширина кроны – 22,8 см, длина корневой системы – 18,0 см и диаметр корневой шейки – 7,0 мм. Влажность среднесуглинистой почвы в слое 0 ... 10 см составила 20,9 ... 25 % и в слое 10 ... 20 см – 21,4 ... 22,9 %. В процессе проведения испытаний были установлены следующие эксплуатационные показатели машины МВ-1,3А: коэффициент готовности – 0,94, коэффициент надежности – 0,91, коэффициент обслуживания – 0,96 и коэффициент использования времени – 0,59.

В результате приемочных испытаний выкопчной машины МВ-1,3А установлено, что усилие на извлечение саженцев ели из разрыхленного слоя почвы составило около 36,4 Н и по сравнению с выкопкой навесной выкопчной скобой

НВС-1,2 снизилось в 4 ... 5 раз. Масса почвы, сохранившейся на корневой системе саженцев ели, составила около 136,2 г.

Опытно-производственная проверка работы машины выкопчной модернизированной МВ-1,3А в Сергиево-Посадском питомнике при выкопке саженцев ели на среднесуглинистых почвах показала, что она обеспечивает выполнение заданного технологического процесса. За период испытаний была проведена выкопка посадочного материала на площади 2,8 га.

Выкопчная машина МВ-1,3А повышает производительность труда при выкопке посадочного материала на 45 ... 67 % по сравнению с навесной выкопчной скобой НВС-1,2 (табл. 6.4). В результате приемочных испытаний машина выкопчная модернизированная МВ-1,3А рекомендована на серийное производство (приложение В). В ОАО «ЦОКБлесхозмаш» по заявкам предприятий организовано серийное производство и поставка машины выкопчной модернизированной МВ-1,3А предприятиям лесного хозяйства.

С целью оценки эффективности результатов исследования в Сергиево-Посадском лесном питомнике были проведены сравнительные испытания аналогич-

Таблица 6.4 – Сравнительные технические характеристики машины выкопчной МВ-1,3А и навесной выкопчной скобы НВС-1,2

№ п/п	Наименование показателей	МВ-1,3А	НВС-1,2 (базовый)	Превышение (+), снижение (-), %
1	Агрегатирование	BELARUS 82.1	BELARUS 82.1	–
2	Среднее значение остаточной массы почвы на корневой системе укрупненных сеянцев ели, г	136,2	510,0	–73
3	Среднее значение усилия на извлечение укрупненных сеянцев ели из почвы, Н	36,4	198,2	–82
4	Ширина захвата, м	1,3	1,2	+8
5	Глубина выкопки, см	10 ... 30	14 ... 30	–29 ... 0
6	Рабочая скорость, км/ч	3,3	3,3	0
7	Производительность за 1 ч, га	0,4	0,4	0
8	Габаритные размеры, мм	820×1820×1275	1270×1650×1560	–35×+10×–18
9	Масса, кг	500	290	+72
10	Обслуживающий персонал, чел.	1 тракторист	1 тракторист	–

ных по составу комплексов с традиционными и новыми и усовершенствованными машинами и орудиями (приложение В). Испытания проводились в идентичных условиях выращивания товарного посадочного материала ели и дуба черешчатого, в течение пяти лет, как с перешколиванием – для традиционного комплекса, так и без перешколивания – для нового. Анализ результатов испытаний показал, что разработанная технология выращивания четырехлетних укрупненных сеянцев ели в посевном отделении без перешколивания с применением нового комплекса машин и орудий позволило вырастить четырехлетние сеянцы ели, равноценны их пятилетним саженцам, выращенным в школьном отделении питомника (рис. 6.6, а, б). Аналогичные результаты получены и для дуба черешчатого (рис. 6.6, в, г) и (рис. 6.7, а, б).

Применение комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для механизации работ в лесных питомниках улучшило качественные показатели технологических операций и посадочного материала, при существенном снижении материальных и трудовых затрат.

## 6.5 Выводы

1 Разработана сеялка для поштучно-равномерного посева крупноплодных семян СКБ-3-5, с возможностью изменения нормы высева желудей от 33,3 до 148,5 г/пог.м.

2 Разработана сеялка лесная навесная модернизированная СЛН-5А, для равномерно-разреженного посева мелких семян хвойных пород, с различными нормами высева семян ели от 0,4 до 4,0 г/пог.м.

3 Разработан культиватор комбинированный для питомников модернизированный ККП-1,5А, обеспечивающий агротехнический уход, как в посевном, так и в школьных отделениях питомника при высокой степени (86 %) уничтожения сорняков и надежности выполнения технологического процесса.

4 Разработана машина выкопчная модернизированная МВ-1,3А, обеспечивающая выкопку посадочного материала, с одновременным отряхиванием почвы от корневых систем растений и сохранением на них почвы в количестве около 156 г, при усилии на извлечение их из почвы не более 47 Н.

5 По своим технико-экономическим показателям все разработанные машины и



*a**б**в**г*

*a, б* – трехлетние укрупненные сеянцы ели и *в, г* – двухлетние сеянцы дуба черешчатого, выращенные с применением традиционных и новых и усовершенствованных машин и орудий, соответственно

Рисунок 6.6 – Посадочный материал, выращенный в лесных питомниках с применением сравнимых комплексов машин и орудий



*а**б*

*а* – трехлетние сеянцы дуба черешчатого, выращенные с применением традиционных машин и орудий; *б* – тоже, с применением новых и усовершенствованных машин и орудий

Рисунок 6.7 – Посадочный материал, выращенный в лесных питомниках с применением сравнимых комплексов машин и орудий

орудия превосходят соответствующие аналоги, а их применение в зоне хвойно-широколиственных лесов обеспечивает получение высококачественного посадочного материала при меньших трудовых и материальных затратах.

6 Комплекс новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов в составе сеялок СКБ-3-5, СЛН-5А, культиватора ККП-1,5А и выкопчной машины МВ-1,3А прошел приемочные государственные испытания и был рекомендован к постановке на серийное производство (приложение В) и производственную проверку в реальных условиях эксплуатации в лесных питомниках различных регионов Российской Федерации. Получены акты их внедрения на предприятиях лесного хозяйства (приложение Г), а также материалы использования научных исследований в практической деятельности (приложение Д).

## **7 ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСА НОВЫХ И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ МАШИН И ОРУДИЙ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА**

### **7.1 Снижение металлоемкости и энергоемкости при выращивании посадочного материала с помощью нового комплекса машин и орудий**

Одной из целей применения комплекса новых машин для выращивания посадочного материала лиственных и хвойных пород является снижение металлоемкости и энергоемкости технологических операций.

Следует отметить, что выращивание укрупненных сеянцев ели без перешколивания в посевном отделении питомника, равноценных саженцам из школьного отделения, позволяет сократить на один год срок их выращивания. Кроме того, заменить две технологические операции: выращивание двух- или трехлетних сеянцев в посевном отделении питомника и выращивание саженцев в уплотненной школе в течение еще двух или трех лет на одну операцию. Выращивание укрупненных сеянцев ели без перешколивания исключает из технологического процесса закладку школьного отделения, упрощает агротехнику, уменьшает номенклатуру и перечень необходимых средств механизации, а также позволяет высвободить из оборота одно поле [214, 242].

С целью изучения влияния этих технологических операций на удельные (1000 шт. сеянцев) показатели металлоемкости и энергоемкости выращивания посадочного материала, проведен анализ применяемых средств механизации при выращивании 2-летних сеянцев ели (1200 тыс. шт./га) в посевном отделении питомника (табл. 7.1) и выращивании 5-летних (2 + 3) саженцев ели (240 тыс. шт./га) в школьном отделении питомника (табл. 7.2), в сравнении с выращиванием укрупненных сеянцев ели (750 тыс. шт./га) без перешколивания в посевном отделении питомника (табл. 7.3).

Суммарные затраты удельной энергоемкости (по номинальной мощности энергетических средств) на выращивание саженцев ели, состоят из удельных зат-



Таблица 7.1 – Основные технологические операции при выращивании 2-летних сеянцев ели (1200 тыс.шт./га) в посевном отделении питомника

№ п/п	Наименование операции	Состав агрегата				Удельные показатели на 1000 шт. сеянцев	
		трактор		наименование механизма		удельная энергоёмкость, кВт/1000 шт.	удельная металлоёмкость, кг/1000 шт.
		марка	мощность, кВт	марка	масса, кг		
Поле 1 – чистый пар							
1	Вспашка почвы, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	ПЛН-3-35	470	0,07	0,4
2	Дискование и боронование, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	БДН-3 БЗСС-1	700	0,07	0,6
3	Культивация пара, август	МТЗ-80/82	58,80	КПС-4	950	0,07	0,8
4	Поделка гряд, октябрь	МТЗ-80/82	58,80	ВГ-3,6	350	0,07	0,3
ИТОГО						0,28	2,1
Поле 2 – сеянцы первого года							
1	Дискование и боронование, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	БДН-3	700	0,07	0,6
2	Дополнительная обработка почвы, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	МРБ-1,6	300	0,07	0,25
3	Сортировка семян		0,74	ПЛС-5М	100	0,001	0,04
4	Посев семян, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	СЛН-5/9А	400	0,07	0,33
5	Мульчирование посевов, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	МСН-1А	275	0,07	0,23
6	Прикатывание посевов, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	3КВГ-1,4	1550	0,07	1,3
7	Уход за посевами (3-кратный)	Т-16М	18,39	ККП-1,5А	250	0,02	0,21
ИТОГО						0,37	2,96
Поле 3 – сеянцы второго года							
1	Уход за посевами (3-кратный), июнь-август	Т-16М	18,39	ККП-1,5А	250	0,02	0,2
2	Выкопка и выборка сеянцев	МТЗ-80/82	58,80	МВ-1,3А	500	0,07	0,4
ИТОГО						0,09	0,6
ВСЕГО						0,74	5,66

Таблица 7.2 – Основные технологические операции при выращивании 5-летних (2 + 3) саженцев ели (240 тыс.шт./га) в школьном отделении питомника

№ п/п	Наименование операции	Состав агрегата				Удельные показатели на 1000 шт. саженцев	
		трактор		наименование механизма		удельная энергоёмкость, кВт/1000 шт.	удельная металлоёмкость, кг/1000 шт.
		марка	мощность, кВт	марка	масса, кг		
Поле 1 – чистый пар							
1	Вспашка почвы, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	ПЛН-3-35	470	0,33	2,0
2	Дискование и боронование, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	БДН-3 БЗСС-1	700	0,33	3,0
3	Культивация пара, август	МТЗ-80/82	58,80	КПС-4	950	0,33	4,0
ИТОГО						0,99	9,0
Поле 2 – саженцы первого года							
4	Предпосадочная обработка, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	МРБ-1,6	300	0,33	1,3
5	Посадка 2-летних сеянцев, апрель-май (240 тыс. шт.)	МТЗ-80/82	58,80	ССЧ-5/3	750	0,33	3,1
6	Уход за саженцами (2-кратный), июнь-август	Т-16М	18,39	ККП-1,5А	250	0,1	1,1
ИТОГО						0,76	5,5
Поле 3 – саженцы второго года							
7	Уход за саженцами (2-кратный), июнь-август	Т-16М	18,39	ККП-1,5А	250	0,1	0,2
ИТОГО						0,1	0,2
Поле 4 – саженцы третьего года							
8	Уход за саженцами (2-кратный), июнь-август	Т-16М	18,39	ККП-1,5А	250	0,1	1,1
9	Выкопка и выборка саженцев	МТЗ-80/82	58,80	МВ-1,3А	500	0,33	2,1
ИТОГО						0,43	3,2
ВСЕГО						2,3	17,9

Таблица 7.3 – Основные технологические операции при выращивании 4-летних укрупненных семян ели без перешколивания (750 тыс.шт./га) в посевном отделении питомника

№ п/п	Наименование операции	Состав агрегата				Удельные показатели на 1000 шт. укрупненных семян	
		трактор		наименование механизма		удельная энергоёмкость, кВт/1000 шт.	удельная металлоёмкость, кг/1000 шт.
		марка	мощность, кВт	марка	масса, кг		
1	2	3	4	5	6	7	8
Поле 1 – чистый пар							
1	Вспашка почвы, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	ПЛН-3-35	470	0,11	0,63
2	Дискование и боронование, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	ДН-3 ЗСС-1,0	700	0,11	0,93
3	Культивация пара, август	МТЗ-80/82	58,80	ПС-4	950	0,11	1,27
4	Поделка гряд, октябрь	МТЗ-80/82	58,80	ВГ-3,6	350	0,11	0,47
ИТОГО						0,44	3,3
Поле 2 – семена первого года							
5	Дискование и боронование, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	БДН-3	700	0,11	0,93
6	Рыхление с поделкой гряд, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	МРБ-1,6	300	0,11	0,4
7	Сортировка семян	–	0,74	ПЛС-5М	100	–	0,13
8	Посев семян, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	СЛН-5/9А	400	0,11	0,53
9	Мульчирование посевов, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	МСН-1А	275	0,11	0,37
10	Прикатывание посевов, апрель-май	МТЗ-80/82	58,80	ЗКВГ-1,4	1550	0,11	2,1
11	Уход за посевами (2-кратный) июнь-август	Т-16М	58,80	ККП-1,5А	250	0,11	0,33
ИТОГО						0,66	4,8
Поле 3 – семена второго года							
12	Уход за посевами (2-кратный) июнь-август	Т-16М	58,80	ККП-1,5А	250	0,11	0,33
ИТОГО						0,11	0,33

Окончание таблицы 7.3

1	2	3	4	5	6	7	8
Поле 4 – сеянцы третьего года							
13	Уход за посевами (2-кратный), июнь-август	Т-16М	18,39	ККП-1,5А	250	0,3	0,33
14	Подрезка корневых систем у сеянцев	МТЗ-80/82	58,80	ППК-1,2	350	0,11	0,47
ИТОГО						0,41	0,8
Поле 5 – сеянцы четвертого года							
15	Уход за посевами (2-кратный), июнь-август	Т-16М	18,39	ККП-1,5А	250	0,3	0,33
16	Выкопка и выборка сеянцев	МТЗ-80/82	58,80	МВ-1,3А	500	0,11	0,67
ИТОГО						0,41	1,0
ВСЕГО						2,03	10,22

рат на выращивание сеянцев в посевном отделении питомника 0,74 кВт/1000 шт. и на их доращивание после пересадки в школьном отделении питомника 2,28 кВт/1000 шт. и в общем они составляют 3,02 кВт/1000 шт. На выращивание укрупненных сеянцев ели без перешколивания, в посевном отделении питомника, затраты удельной энергоемкости составляют 2,03 кВт/1000 шт.

Таким образом, экономия удельной энергоемкости при выращивании укрупненных сеянцев ели без перешколивания в посевном отделении питомника составила 0,99 кВт/1000 шт. т.е. уменьшается в 1,5 раза.

Удельная металлоемкость на выращивание двухлетних сеянцев ели составила 5,66 кг/1000 шт. и на их доращивание в школьном отделении питомника составила 17,9 кг/1000 шт. и общая удельная металлоемкость на выращивание саженцев ели (2 + 3) достигает 23,56 кг/1000 шт. При выращивании укрупненных сеянцев ели без перешколивания, этот показатель не превышает 10,22 кг/1000 шт. Таким образом, экономия удельной металлоемкости по усовершенствованной технологии выращивания укрупненных сеянцев ели, равноценных саженцам, составляет 13,34 кг/1000 шт., т.е. уменьшается в 2,3 раза.

Таким образом, анализ удельных (на 1000 шт. семян) энергетических затрат и металлоемкости процесса выращивания укрупненных семян ели без перешколивания, на базе комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий показывает, что усовершенствованная технология позволяет сократить удельные затраты энергоемкости от 3,02 до 2,03 кВт/1000 шт. семян, т. е. в 1,5 раза и металлоемкости от 23,56 до 10,22 кг/1000 шт. семян, т. е. в 2,3 раза, по сравнению с существующей технологией выращивания саженцев ели в школьном отделении питомника.

## **7.2 Совершенствование технологии выращивания укрупненных семян ели без перешколивания**

Для проведения лесовосстановления и лесоразведения используется различный посадочный материал: как семена, выращенные в посевном отделении питомника, так и саженцы из школьного отделения питомника. Основным показателем посадочного материала, предназначенного для лесовосстановления, является его высота, которая должна быть не менее 12 см для семян и не менее 30 см для саженцев [163, 166]. Наиболее приемлемым посадочным материалом для лесовосстановления и лесоразведения являются саженцы, так как более крупный посадочный материал в меньшей степени подвержен негативному воздействию сорной растительности и требуется меньше агротехнических уходов и он лучше приживаются на лесокультурной площади. В настоящее время в качестве крупномерного посадочного материала применяются саженцы, которые выращивают в школьном отделении питомника [162].

Технология выращивания саженцев ели предусматривает сначала выращивание семян в посевном отделении питомника в течение двух- трех лет, с последующей их выкопкой и пересадкой в школьное отделение на последующее доращивание в течение двух- трех лет. Это приводит к увеличению затрат труда и средств на выращивание укрупненного посадочного материала. Кроме того, саженцы ели не отвечают современным требованиям, предъявляемым к качеству посадочного материала, так как они имеют более широкую крону и

чрезмерно развитую корневую систему. Это затрудняет механизированную посадку саженцев ели и отрицательно влияет на их приживаемость в лесных культурах.

Технологические операции выращивания укрупненных сеянцев ели без перешколивания в посевном отделении питомника предусматривают использование для посева предварительно отсортированных по размерам и массе семян с равномерно-разреженным их размещением в посевной строчке. Для получения компактной кроны и хорошо развитой мочковатой корневой системы при выращивании укрупненных сеянцев ели без перешколивания на третьем году их роста проводится подрезка корневых систем. Выполнение этих технологических операций позволяет снизить затраты труда и средств по сравнению с выращиванием саженцев ели в уплотненных школах и улучшить его качественные показатели [39, 52].

В связи с этим усовершенствование технологических операций при выращивании укрупненных сеянцев ели без перешколивания в посевном отделении питомника на базе комплекса новых машин и орудий своевременным и является актуальным. Важным условием для успешного выращивания укрупненных сеянцев ели без перешколивания, является использование сертифицированных семян первого (лучшего) класса качества с высокой грунтовой всхожестью. Одним из способов повышения грунтовой всхожести семян ели является их предпосевная обработка путем разделения семян на фракции по размерам и массе. Для этого семена ели на решетках с различными диаметрами отверстий, разделяли по размерам на три фракции по крупности: крупные – более 2,5 мм, средние 2,0 ... 2,5 мм и мелкие – менее 2,0 мм. Затем эти семена сортировали по массе на три фракции: тяжелые, средние и легкие с использованием пневмосепаратора лесных семян ПЛС-5М при скорости воздушного потока 7,0 м/с. Для проведения этих опытов использовали семена ели европейской, заготовленные в Московской области [43].

Обработанные таким способом семена ели после их замачивания и выдерживания при низких температурах под снегом, использовали для опытных посевов при определении грунтовой всхожести на пятнадцатый день.

Анализ полученных данных (табл. 7.4) показывает, что грунтовая всхожесть

Таблица 7.4 – Влияние сортировки семян ели на грунтовую всхожесть

Размер фракций семян	Группа семян по массе	Количество семян в партии		Масса 1000 шт. семян. г	Количество легких семян, в % от фракции	Грунтовая схожесть, %
		г	%			
Крупные (более 2,5 мм)	тяжелые	52,4	4,2	6,4	–	93,7
	средние	50,7	4,1	5,9	–	90,5
	легкие	37,6	3,0	3,6	26,7	10,1
Средние (2,0 ... 2,5 мм)	тяжелые	318,7	25,5	5,7	–	94,6
	средние	515,4	41,2	4,8	–	85,4
	легкие	215,8	17,3	3,7	20,6	14,8
Мелкие (менее 2,0 мм)	тяжелые	17,5	1,4	5,1	–	88,2
	средние	23,5	1,9	4,7	–	84,5
	легкие	18,4	1,5	3,1	30,9	18,4

семян ели зависит, как от их размеров, так и от массы. Тяжелые и средние по массе семена ели крупной фракции (более 2,5 мм) имеют грунтовую всхожесть в 9,0 ... 9,3 раза больше, чем легкие семена этой фракции. Грунтовая всхожесть тяжелых и средних по массе семян ели в мелкой (менее 2,0 мм) фракции превышает всхожесть легких семян в 4,6 ... 4,8 раза. Для семян средней (2,0 ... 2,5 мм) фракции эта разница составляет 5,8 ... 6,4 раза. Установлено, что наибольшее количество легких семян ели (30,9 %) выявлено в семенах мелкой (менее 2,0 мм) фракции, а наименьшее (20,6 %) – в семенах средней (2,0 ... 2,5 мм) фракции. В семенах крупной (более 2,5 мм) фракции, количество легких семян ели, составило 26,7 %. Таким образом, семена ели перед посевом, необходимо сортировать по размерам и массе и для посева использовать тяжелые и средние по массе семена всех фракций, а легкие семена необходимо отбраковать.

При совершенствовании технологии выращивания укрупненных сеянцев ели, необходимо уточнить оптимальную густоту их размещения в посевной строчке и обосновать целесообразность подрезки корневых систем сеянцев ели в процессе их роста. С этой целью были заложены опыты при различной густоте их размещения: 20 ... 30, 50 ... 60 и 100 ... 110 шт./пог.м путем равномерно-разреженного посева семян ели с нормой высева в пределах от 0,5 до 1,5 г/пог.м посевной

строчки. Для посева семян ели с этими нормами применялась сеялка лесная навесная модернизированная СЛН-5А со штифтовыми высевальными аппаратами, обеспечивающими равномерно-разреженный посев мелких семян хвойных пород [118]. Важным технологическим приемом, обеспечивающим появление дружных всходов, является заделка семян субстратом слоем 0,7 ... 1,0 см. Заделка семян в посевных строчках осуществлялась мульчирователем сетчатым навесным МСН-1А. После посева и заделки семян почвой посевные ленты были замульчированы опилками и прикатаны катком. Для получения компактной кроны и мочковатой корневой системы сеянцев ели проводилась подрезка их корневых систем. Подрезку корней сеянцев ели проводили на глубине 12 ... 15 см и на расстоянии 10 ... 12 см от рядка растений. Подрезку корней сеянцев ели проводили корнеподрезчиком навесным управляемым КНУ-1,2, обеспечивающим одновременную подрезку как вертикальных и горизонтальных корней, так и отдельно горизонтальных корней [6, 49, 101, 113. 127].

Биометрические показатели трехлетних сеянцев ели, выращенных при различной густоте их размещения в посевных строчках, с подрезкой и без подрезки корней приведены в таблице 7.5. Анализ этих данных показывает, что при выращивании сеянцев ели наилучшие результаты получены с густотой их размещения в посевной строчке равной 20 ... 30 шт./пог.м, при этом выход посадочного материала составляет около 750 тыс. шт./га.

Таблица 7.5 – Влияние подрезки корней на биометрические показатели роста сеянцев ели

Вариант	Густота сеянцев в строчке, шт./пог.м	Средняя высота сеянцев, см	Средний диаметр сеянцев, мм	Масса в воздушно-сухом состоянии 100 шт. сеянцев, г		Соотношение $M_T : M_X$
				хвоя, $M_X$	тонкие корни, $M_T$	
Подрезка корней	20 ... 30	34,9	5,7	292,8	98,8	1:3
	50 ... 60	34,5	5,5	402,3	102,3	1:4
	100 ... 110	33,6	4,7	366,4	62,3	1:6
Контроль (без подрезки)	20 ... 30	28,6	4,8	242,8	58,7	1:4
	50 ... 60	28,4	4,6	250,4	51,6	1:5
	100 ... 110	25,7	4,5	240,2	35,4	1:7



Характерным показателем качества посадочного материала является соотношение массы тонких корней к массе хвои  $M_T : M_X$  и чем оно больше, тем выше его качество. Установлено, что в равномерно-разреженных посевах при густоте сеянцев ели в количестве 20 ... 30 шт./пог.м и подрезке их корней это соотношение составило 1 : 3, а без подрезки корней оно уменьшилось до 1 : 4. Средняя высота сеянцев ели составила 34,9 см при среднем диаметре равном 5,7 мм, а в варианте без подрезки корней эти показатели уменьшились и составили, соответственно, 28,6 см и 4,8 мм, т.е. уменьшились в 1,2 раза.

С увеличением густоты сеянцев в строчке до 50 ... 60 шт./пог.м соотношение  $M_T : M_X$ , для варианта с подрезкой корней, составило 1 : 4, а без подрезки корней уменьшилось до 1 : 5. Средняя высота сеянцев ели после подрезки корней практически не изменилась и составила 34,5 см, при среднем диаметре равном 5,5 мм, а без подрезки корней эти показатели уменьшились, соответственно, до 28,4 см и 4,6 мм, т.е. уменьшились в 1,2 раза.

С увеличением густоты сеянцев ели до 100 ... 110 шт./пог.м, динамика снижения соотношения  $M_T : M_X$ , как при подрезке корней, так и без их подрезки, не изменилась, и уменьшилась, соответственно, до 1 : 6 и 1 : 7. Средняя высота сеянцев ели составила 33,6 см при среднем диаметре равном 4,7 мм, а в варианте без подрезки корней средняя высота сеянцев уменьшилась до 25,7 см, т.е. в 1,3 раза, а средний диаметр уменьшился незначительно до 4,5 мм.

Таким образом установлено, что с увеличением густоты сеянцев ели в строчке от 20 ... 30 до 100 ... 110 шт./пог.м, подрезка корней не существенно влияет на показатели их роста, но оказывает существенное влияние на формирование кроны и образование мочковатой корневой системы, так как соотношение  $M_T : M_X$  уменьшается от 1 : 3 до 1 : 6 [99].

При определении влияния способа подрезки корней сеянцев ели, на биометрические показатели их роста, была проведена одновременная подрезка вертикальных и горизонтальных корней и только горизонтальных корней двухлетних и трехлетних сеянцев ели.

Анализ полученных данных (табл. 7.6) показывает, что способ подрезки кор-

Таблица 7.6 – Эффективность подрезки корневых систем двух- и трехлетних сеянцев ели

Густота сеянцев, шт./пог.м	Способ подрезки	Средняя высота сеянцев, см	Средний диаметр сеянцев, мм	Масса в воздушно-сухом состоянии 100 шт. сеянцев, г		Соотношение $M_T : M_X$
				хвоя, $M_X$	тонкие корни, $M_T$	
Двухлетние сеянцы						
20-30	Вертикальная и горизонтальная	10,4	1,8	39,4	23,8	1:2
	Горизонтальная	10,8	1,9	37,4	14,5	1:3
100-110	Горизонтальная	9,7	1,5	32,3	10,6	1:3
	Контроль (без подрезки)	8,7	1,3	26,8	5,7	1:5
Трехлетние сеянцы						
20-30	Вертикальная и горизонтальная	33,6	5,8	439,3	147,4	1:3
	Горизонтальная	34,2	5,5	302,4	108,6	1:3
100-110	Горизонтальная	33,2	4,9	312,7	63,4	1:5
	Контроль (без подрезки)	29,7	4,6	267,2	38,6	1:7

ней двухлетних сеянцев ели с густотой их размещения 20 ... 30 шт./пог.м не оказывает существенного влияния на показатели их роста. При одновременной подрезке горизонтальных и вертикальных корней средняя высота сеянцев ели составила 10,4 см, а средний диаметр – 1,8 см. Подрезка только горизонтальных корней незначительно повлияла на параметрические показатели сеянцев ели и средняя их высота составила 10,8 см, а средний диаметр – 1,9 мм. Соотношение массы тонких корней к массе хвои  $M_T : M_X$  при этих способах подрезки корней составило, соответственно, 1 : 2 и 1 : 3.

С увеличением густоты сеянцев до 100 ... 110 шт./пог.м и подрезке только горизонтальных корней средняя высота двухлетних сеянцев ели незначительно уменьшилась и составила 9,7 см, а средний диаметр сеянцев уменьшился до 1,5 мм и соотношение  $M_T : M_X$  составило 1 : 3. В варианте без подрезки корней (контроль) средняя высота сеянцев ели уменьшилась до 8,7 см, а средний диаметр уменьшился до 1,3 см, и соотношение  $M_T : M_X$  снизилось до 1 : 5.

При подрезке корней трехлетних сеянцев ели показатели их роста были выше, чем в двухлетнем возрасте. Так средняя высота сеянцев ели при этих способах подрезки корней и густоте их размещения 20 ... 30 шт./пог.м существенно возросла и составила 33,6 ... 34,2 см, при этом средний диаметр сеянцев также увеличился и составил 5,5 ... 5,8 мм. Соотношение  $M_T : M_X$  составило 1 : 3, как при одновременной подрезке вертикальных и горизонтальных корней, так и подрезке только горизонтальных корней.

С увеличением густоты сеянцев ели в строчке до 100 ... 110 шт./пог.м и подрезке только горизонтальных корней средняя их высота и диаметр изменились незначительно и составили, соответственно, 35,6 см и 4,6 мм, однако, соотношение массы тонких корней к массе хвои снизилось до 1 : 5. В варианте без подрезки корней (контроль) средняя высота сеянцев ели уменьшилась до 27,7 см, а средний их диаметр уменьшился до 4,5 мм и соотношение  $M_T : M_X$  снизилось до 1 : 7.

Таким образом, подрезку корней сеянцев ели целесообразно проводить в трехлетнем возрасте. Следует отметить, что подрезка только горизонтальных корней или одновременная подрезка горизонтальных и вертикальных корней не оказывали существенного влияния, как на показатели роста сеянцев ели, так и на соотношение массы тонких корней к массе хвои.

При определении рациональных сроков подрезки корней сеянцев ели, в течение вегетационного периода корни подрезали в конце мая и во второй половине июля. Анализ полученных результатов (табл. 7. 7) показывает, что средний при-

Таблица 7.7 – Характеристика трехлетних сеянцев ели при различных сроках подрезки корней

Густота сеянцев, шт./пог.м	Вариант подрезки корней	Средний прирост сеянцев, см	Масса в воздушно-сухом состоянии 100 шт. сеянцев, г		Соотношение $M_T : M_X$
			хвоя, $M_X$	тонкие корни, $M_T$	
20 ... 30	Подрезка в мае	9,4	93,5	23,1	1:4
	Подрезка в июле	12,1	76,3	38,7	1:2
	Контроль (без подрезки)	9,2	82,3	20,8	1:4

рост трехлетних сеянцев ели, при подрезке их корней в мае, с густотой размещения в строчке 20 ... 30 шт./пог. м, составил 9,4 см, а при подрезке во второй половине июля – 12,1 см, т.е. увеличился в 1,3 раза. В варианте без подрезки корней средний прирост сеянцев ели уменьшился до 9,2 см. Установлено, что при подрезке корней во второй половине июля наблюдается лучшее соотношение массы тонких корней к массе хвои  $M_T : M_X$  в размере 1 : 2, а при подрезке в мае и без подрезки оно уменьшается до 1 : 4. Проведенные опыты с определением рациональных сроков подрезки корней показывают, что подрезку корней трехлетних сеянцев ели целесообразно проводить во второй половине июля, после окончания интенсивного прироста.

Таким образом, усовершенствованная технология выращивания укрупненных трехлетних сеянцев ели в посевном отделении питомника без перешколивания позволяет получить крупномерный посадочный материал ели.

Усовершенствованная технология выращивания укрупненных сеянцев ели без перешколивания в посевном отделении питомника заключаются в следующем:

– для выращивания укрупненных сеянцев ели без перешколивания семена необходимо сортировать по размерам и массе и для посева использовать тяжелые и средние семена, а легкие семена отбраковывать;

– посев проводить с равномерно-разреженным распределением семян в посевной строчке и нормой высева, обеспечивающей густоту растений в ряду с количеством 20 ... 30 шт./пог.м;

– для получения компактной кроны и мочковатой корневой системы при выращивании укрупненных сеянцев ели, необходимо в трехлетнем возрасте, проводить подрезку их корней во второй половине июля на глубине 12 ... 15 см и на расстоянии 10 ... 12 см от рядка растений.

### **7.3 Повышение интенсификации выращивания посадочного материала и его качества**

Стоящие перед лесным хозяйством задачи по не истощительному лесопользованию требуют постоянного внимания к совершенствованию и интенсификации

основных технологических операций и, особенно, при выращивании посадочного материала для лесовосстановления и лесоразведения.

Одной из целей совершенствования технологических операций и комплекса машин при выращивании посадочного материала является повышение его интенсификации и качества [185, 187].

Производственный опыт показывает, что применение для лесовосстановления и лесоразведения крупномерного посадочного материала снижает затраты труда и средств на проведение уходов за лесными культурами.

Отмеченные особенности агротехники выращивания укрупненных семян ели без перешколивания в посевном отделении питомника показывают, что они позволяют сократить до четырех лет срок их выращивания, исключить из севооборота одно поле и уменьшить расход семян при посеве и обеспечить выполнение всех технологических операций на базе комплексной механизации работ.

Одним из перспективных направлений интенсификации производства посадочного материала и улучшения его качества является также повышение плодородия почвы в питомнике, так как при выкопке посадочного материала происходит вынос до 100 тонн почвы с одного гектара. Это вызывает необходимость внесения минеральных и органических удобрений. Для определения номенклатуры и нормы внесения минеральных удобрений целесообразно регулярное проведение анализа состояния почвы. Минеральные удобрения в питомниках целесообразно вносить как в качестве основной заправки почвы, так и при подкормке растений в процессе их роста. Органические удобрения целесообразно вносить на паровых полях также для улучшения структуры почвы и повышения содержания в ней гумуса. В качестве органических удобрений в лесных питомниках рекомендуется применять компост.

Особую роль на интенсификацию ведения питомнического хозяйства и улучшение качества посадочного материала играют севообороты. Основная цель севооборотов заключается в сохранении и повышении плодородия почвы, улучшении ее структуры и уменьшении количества сорной растительности. Одним из

способов повышения плодородия почвы паровых полей при севооборотах является посев на них сидератов. Применение сидератов на паровых полях улучшает структуру почвы и повышает ее плодородие, а также подавляет рост и развитие сорной растительности.

Одним из перспективных направлений повышения интенсификации выращивания посадочного материала и улучшения его качества является применение стимуляторов роста, которые рекомендуется применять, как при обработке семян перед посевом, так и для обработки сеянцев в процессе их роста. Проведенные поисковые исследования показывают, что стимуляторы роста оказывают существенное влияние на параметрические показатели посадочного материала [134].

Борьба с сорной растительностью путем проведения агротехнических уходов с помощью культиваторов не в полной мере обеспечивает уничтожение сорняков, особенно в защитной зоне, которая достигает более 50 % от всей площади питомника, поэтому требуется дополнительная ручная прополка. При этом если учесть большие площади лесных питомников и небольшую численность штатных работников, ручной уход полноценно выполнить не представляется возможным. В этой связи применение гербицидов позволяет уничтожить сорную растительность на всей посевной ленте. Для выполнения этой операции используется известное оборудование для уничтожения сорняков ОУС-1,2 путем контактного нанесения гербицидов на сорную растительность. Проведенные исследования применения гербицида с оптимальной его дозой внесения 10 кг/га и нормой расхода рабочего раствора 178 л/га показали высокую степень (99 %) уничтожения сорной растительности на всей посевной ленте и полную (100 %) сохранность сеянцев [102, 134].

Таким образом, для повышения интенсификации выращивания посадочного материала в лесных питомниках и улучшения его качественных показателей выполнены все основные агротехнические мероприятия на базе комплексной механизации работ.

#### **7.4 Оценка эффективности комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий при выращивании посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов**

Усовершенствованную технологию выращивания укрупненных сеянцев ели в посевном отделении питомника без перешколивания на базе комплекса новых машин и орудий сравнивали с технологиями выращивания двухлетних сеянцев ели в посевном отделении питомника и выращивания саженцев ели в течение трех лет (2 + 3) в школьном отделении питомника. При определении затрат труда на выращивание посадочного материала в лесных питомниках использованы нормативно-технологические карты Росгипролесхоза и «Типовые нормы выработки, нормы времени на работы, выполняемые в лесных питомниках», утвержденные Приказом № 67 от 27.04.95 г. Федеральной службы лесного хозяйства России.

При расчете затрат труда на выращивание двухлетних сеянцев ели по пятирядной схеме посева их выход принят равным 1200 тыс. шт./га. Нормативные затраты труда составили 225,24 чел.-дн. и затраты средств – 1328,89 тыс. р. При выращивании пятилетних (2 + 3) саженцев ели в уплотненной школе выход принят равным 240 тыс. шт./га. Нормативные затраты труда составили 142,47 чел.-дн. и затраты средств 465,62 тыс. р. Общие затраты труда составили 367,71 чел.-дн. и затраты средств 2331,7 тыс. р. (табл. 7.8).

При выращивании укрупненных сеянцев ели, с рекомендуемым их количеством в ряду 20 ... 30 шт./пог. м., выход составляет 660 ... 825 тыс. шт./га. В среднем для расчетов выход укрупненных четырехлетних сеянцев ели принимаем равным 750 тыс. шт./га. Затраты труда на выращивание укрупненных четырехлетних сеянцев ели без перешколивания в посевном отделении питомника составляют 321,26 чел.-дн. и затраты средств 1715,95 тыс. р.

Таким образом, анализ полученных данных показывает, что затраты труда на выращивание 1000 шт. пятилетних (2 + 3) саженцев ели составляют 0,79 чел.-дн., а затраты труда на выращивание четырехлетних укрупненных

Таблица 7.8 – Показатели эффективности выращивания четырехлетних укрупненных сеянцев ели без перешколивания

Способ выращивания	Нормативные затраты, р.			
	на 1 га		на 1000 шт. сеянцев	
	чел.-дн.	тыс. р.	чел.-дн.	р.
Саженьцы ели				
Выращивание 2-летних сеянцев ели в посевном отделении (1200 тыс. шт.)	225,24	1328,89	0,19	1107,41
Выращивание 5-летних саженцев в уплотненной школе (240 тыс. шт./га)	142,47	465,62	0,6	1939,67
Итого	367,71	2331,7	0,79	3047,08
Укрупненные сеянцы ели				
Выращивание 4-летних укрупненных сеянцев ели в посевном отделении (750 тыс. шт.)	321,26	1715,95	0,43	2287,93
Экономический эффект		569,36		

сеянцев ели без перешколивания по усовершенствованной технологии составляют 0,43 чел.-дн., т.е уменьшаются в 1,84 раза, по сравнению с затратами труда на выращивание саженцев ели в уплотненной школе. Затраты средств на выращивание 1000 шт. саженцев ели составляют 3047,08 р., а на выращивание 1000 шт. укрупненных сеянцев ели составляют 2287,93 р., т. е. затраты средств уменьшаются на 759,15 р.

Это позволяет получить экономический эффект при выращивании 750 тыс. шт./га укрупненных сеянцев ели без перешколивания в посевном отделении питомника в размере 569,36 тыс. р.

За базовый вариант при расчете эффективности выращивания двухлетних сеянцев дуба принят наиболее распространенный способ, при котором подготовка посевных бороздок, посев желудей и уход за сеянцами проводятся вручную. Для выполнения этих операций, были созданы новая сеялка для крупноплодных семян СКБ-3-5 и модернизированный культиватор комбинированный для питомников ККП-1,5А (табл. 7.9).

При расчете затрат труда и средств на выращивание сеянцев дуба, выход посадочного материала в базовом и предлагаемом вариантах принят равным 500 тыс. шт./га.



Таблица 7.9 – Показатели эффективности выращивания двухлетних сеянцев дуба (500 тыс. шт./га)

Способ выращивания	Нормативные затраты, р.			
	на 1 га		на 1000 шт. сеянцев	
	чел.-дн.	тыс. р.	чел.-дн.	р.
Сеянцы дуба				
Выращивание двухлетних сеянцев дуба (ручной способ: подготовка борозд и уход)	78,54	314,16	0,16	628,32
Выращивание двухлетних сеянцев дуба (с применением средств механизации: сеялка СКБ-3-5 и культиватор ККП-1,5А)	29,28	117,12	0,059	234,24
Экономический эффект		197,04		394,08

Нормативные затраты труда на выращивание двухлетних сеянцев дуба при ручном способе составили 78,54 чел.-дн. и затраты средств 314,16 тыс. р. Затраты труда на выращивание двухлетних сеянцев с применением разработанных автором средств механизации на выполнение тех же операций составили 29,28 чел.-дн. Как видно из приведенных данных затраты труда и средств уменьшились в 2,68 раза.

Затраты средств на выращивание 1000 шт. двухлетних сеянцев дуба при ручном способе составляют 628,32 р., а при применении средств механизации 234,24 р., т. е. затраты средств уменьшаются на 394,08 р. Это позволяет получить экономический эффект при выращивании 500 тыс. шт./га двухлетних сеянцев дуба в размере 197,04 тыс. р.

Таким образом, проведенный анализ эффективности применения новых и усовершенствованных средств механизации для выращивания посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов подтверждает целесообразность их внедрения.

Результаты выполненного исследования внедрены в учебный процесс ряда университетов, ведущих подготовку бакалавров, магистров и аспирантов по специализации технологии и машинам лесного хозяйства (приложение Е).

## 7.5 Выводы

1 Выращивание посадочного материала для лесовосстановления и лесоразведения, на базе комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий, снижает энергоемкость от 3,02 до 2,03 кВт/1000 шт. укрупненных семян ели, т. е. в 1,5 раза, и металлоемкость от 23,56 до 10,22 кг/1000 шт., т. е. в 2,3 раза, по сравнению с технологией выращивания саженцев ели.

2 Усовершенствованная технология выращивания укрупненных семян ели в посевном отделении питомника без перешколивания позволяет получить крупномерный посадочный материал ели, равноценный саженцам из школьного отделения.

3 Особенность выращивания укрупненных семян ели без перешколивания в посевном отделении питомника с применением комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий заключается в следующем:

- для выращивания укрупненных семян ели без перешколивания необходимо семена предварительно отсортировать по размерам и массе и для посева использовать тяжелые и средние по массе семена, а легкие семена отбраковывать;

- посев проводить с равномерно-разреженным распределением семян в посевных строчках и нормой высева, обеспечивающей густоту растений в ряду с количеством 20 ... 30 шт./пог.м;

- для получения компактной кроны и развитой мочковатой корневой системы необходимо в трехлетнем возрасте проводить подрезку корней семян ели во второй половине июля на глубине 12 ... 15 см и на расстоянии 10 ... 11 см от растений.

4 Для повышения интенсификации процесса выращивания посадочного материала и улучшения его качества необходимо все агротехнические операции выполнять на базе комплекса разработанных и усовершенствованных машин и орудий.

5 Затраты труда на выращивание 1000 штук укрупненных семян ели без перешколивания, на базе комплекса новых и усовершенствованных машин и

орудий, снижаются от 1,36 до 0,43 чел.дн., т. е. в 3,2 раза и материальные затраты уменьшаются от 2346,29 до 739,67 р. т. е. в 3,2 раза, по сравнению с выращиванием саженцев ели. Это позволит получить экономический эффект при выращивании 750 тыс.шт./га укрупненных семян ели без перешколивания в сумме 1205 тыс. р.

6 Эффективность технологии выращивания 1000 штук двухлетних семян дуба показывает, что затраты труда с применением ручного труда при подготовке бороздок, посева и уходу, составляют 0,3 чел.дн., а на базе новых и усовершенствованных машин и орудий они снижаются до 0,02 чел.дн., т.е. в 15 раз. Это позволяет получить годовой экономический эффект при выращивании 500 тыс. шт./га семян дуба в сумме 237877 р.

7 Применение комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала обеспечивает полную механизацию выполнения всех технологических операций, улучшает его качество и повышает интенсивность и производительность механизированных работ в лесных питомниках зоны хвойно-широколиственных лесов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Анализ традиционных технологий выращивания посадочного материала в лесных питомниках и применяемых средств механизации, свидетельствует о необходимости модернизации существующих и разработки комплекса новых машин и орудий, а также совершенствования технологических операций на его базе, с целью снижения трудозатрат, энерго- и металлоемкости, а также повышения качества выращивания посадочного материала лиственных и хвойных пород в зоне хвойно-широколиственных лесов.

2 Уточнены основные технологические свойства желудей дуба черешчатого и на этой основе обоснованы конструктивная схема и режимы работы сеялки СКБ-3-5 для посева крупноплодных семян, обеспечивающей поштучно-равномерный высев желудей практически без их повреждения с рациональными параметрами и режимами работы: скорость подачи ячеисто-транспортного высевающего аппарата 0,12 м/с, глубина ячейки 5 мм; поступательная скорость агрегата 0,28 м/с.

3 Выбрана более совершенная конструктивная схема и обоснованы параметры и режимы работы сеялки СЛН-5А для равномерно-разреженного посева семян ели, без их повреждения, обеспечивающая при выращивании укрупненных сеянцев без перешколивания норму высева в пределах от 0,40 до 0,74 г/пог.м (от 81 до 145 шт./пог.м) при поступательной скорости сеялки 0,28 м/с и изменении частоты вращения штифтовых высевающих аппаратов от 4,3 до 7,0 об./мин.

4 Обоснованы параметры и режимы работы прикатывающего катка сеялки СКБ-3-5: диаметр 220 мм, ширина 70 мм и действующей на каток силы 80 Н, обеспечивающие оптимальную плотность почвы 1,0-1,2 г/см<sup>3</sup> при заделке семян в посевной бороздке. Разработана номограмма для определения рациональных параметров прикатывающего катка, которая на стадии его проектирования позволяет определять достигаемую плотность почвы в посевной бороздке при известных параметрах катка и, наоборот, установить необходимые параметры катка и усилие его прижатия для требуемой плотности почвы.

5 Наиболее качественные показатели агротехнического ухода получены при использовании рыхлительно-подрезающих лап культиватора ККП-1,5А, которые обеспечивали высокую степень уничтожения сорной растительности – не менее

86 %, а фракционный состав разрыхленной почвы размером до 50 мм, достигал 90 %. Полученные зависимости для определения сил, действующих, на рыхлительно-подрезающую лапу культиватора, при уходе за сеянцами, которые зависят от толщины ее стойки, глубины обработки и удельного сопротивления почвы и их рекомендуется применять при проектировании новых и совершенствовании существующих конструкций культиваторов для лесных питомников.

6 Установлено, что эффективность процесса разрушения почвенного пласта выкопчной машиной с активными рабочими органами зависит от частоты и амплитуды колебаний планок и бил. Обоснован рациональный режим работы выкопчной машины МВ-1,3А, обеспечивающий минимальную массу почвы на корневой системе укрупненных сеянцев ели в количестве 135,2-177,4 г и допустимое усилие на их извлечение из почвы в пределах от 36 до 58 Н, при подаче на одно колебание планок и бил 5,4-6,8 см/кол., их частоте колебаний в пределах от 9,00 до 11,25 Гц и скорости агрегата 0,6 м/с (2,2 км/ч).

7 Разработана математическая модель процесса заделки посевной бороздки почвой и предложена компьютерная программа, на основе которой определены конструктивные и технологические параметры загортача сеялки СЛН-5А: рабочая длина направляющих 120 мм, угол схождения между направляющими  $28^{\circ}$  и диаметр прутков загортача 7 мм, которые обеспечивают заделку посевной бороздки почвой около 10 мм и плотностью в ней около  $1,01 \text{ г/см}^3$ .

8 Сформулирована математическая модель процесса выкопки посадочного материала, позволяющая прогнозировать напряжённо-деформированное состояние слоя почвы при его рыхлении рабочими органами выкопчной машиной МВ-1,3А, в зависимости от реологических свойств почвы и технических параметров: частоты вращения вала рабочего органа, скорости движения машины, размеров и углов поворота планок и бил, высоты подрезаемого слоя почвы и глубины хода рабочего органа.

9 Усовершенствована технология выращивания укрупненных сеянцев ели без перешколивания на базе комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий, предусматривающая использование для посева тяжелых и средних по массе семян ели с нормой высева, обеспечивающей густоту сеянцев в количестве 20-30 штук на один метр строчки и позволяющая вырастить укрупненные сеянцы

ели, равноценные саженцам.

10 Разработаны конструкции и обоснованы параметры и режимы работы сеялки для крупноплодных семян СКБ-3-5, сеялки лесной навесной СЛН-5А, культиватора комбинированного для питомников ККП-1,5А и машины выкопчной МВ-1,3А, новизна и оригинальность конструкций, которых защищена патентами на изобретения и полезные модели. Опытные образцы комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий успешно прошли опытно-производственную проверку и приемочные испытания, в результате которых они рекомендованы к постановке на серийное производство, а в ОАО ЦОКБлесхозмаш организованы их выпуск и поставка предприятиям лесного хозяйства.

11 Разработанный комплекс новых и усовершенствованных машин и орудий позволяет вырастить высококачественный посадочный материал, снизить металлоемкость в 2,3 раза, энергозатраты в 1,5 раза, трудозатраты в 1,84 раза при выращивании укрупненных сеянцев ели без перешколивания и в 2,68 раза при выращивании сеянцев дуба. Применение этого комплекса при выращивании 500 тыс. шт./га сеянцев дуба и 750 тыс. шт./га укрупненных сеянцев ели позволяет получить суммарный годовой экономический эффект в размере 766,4 тыс. р., в ценах 2021 г.

12 Основными рекомендациями результатов исследования для их внедрения в проектно-конструкторских организациях, предприятиях лесного хозяйства и в учебном процессе высших учебных учреждениях соответствующего профиля, являются математические модели, алгоритмы и программы для ЭВМ, а также рабочие процессы и результаты оптимизации параметров комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала в лесных питомниках зоны хвойно-широколиственных лесов.

13 Перспективы дальнейшей разработки темы исследования заключаются в разработке теоретических основ, создании и внедрении в лесных питомниках на основе разработанных и разрабатываемых средств механизации автоматизированных и роботизированных комплексов, обеспечивающих выполнение необходимых технологических операций по выращиванию высококачественного посадочного материала при существенном повышении производительности и снижении материальных и трудовых затрат.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Алимов, О. Д. Гидравлические виброударные системы / О. Д. Алимов, С. А. Басов. – М. : Наука, 1990. – 372 с.
- 2 Алябьев, А. Ф. Машины и механизмы лесного и лесопаркового хозяйства: справочник / А. Ф. Алябьев, В. Н. Винокуров, А. А. Котов и др. – М. : МГУЛ, 2009. – 468 с.
- 3 Алябьев, А. Ф. Оценка эффективности технологических комплексов машин и создание новых средств механизации для лесовосстановления : дис. ... д. т. н. : 05.21.01 : защищена 24.07.2011 : утв. 02.12.2011 / А. Ф. Алябьев. – М., 2011. – 427 с.
- 4 Алябьев, А. Ф. Обоснование технологических комплексов машин для лесовосстановления : монография / А. Ф. Алябьев. – Изд-во Моск. гос. ун-та, 2010. – 267 с.
- 5 Андреев, В. Н. Ремонт и техническая эксплуатация лесохозяйственного оборудования : учеб. для вузов / В. Н. Андреев, В. В. Миляков, В. В. [и др.]– Ленинград : Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 312 с.
- 6 Аниферов, Ф. Е. Машины для садоводства. – 2-е изд., перераб. и доп. / Ф. Е. Аниферов, Л. И. Ерошенко, И. З. Теплицкий – Л. : Агропромиздат, 1990. – 154 с.
- 7 Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. – М. : Наука, 1988. – 640 с.
- 8 А. с. 306805 СССР, МКИ А01С 7/16. Высевающий аппарат / А. В. Лопатин (СССР). – № 1254343/15 ; заявл. 03.01.69 ; опубл. 14.08.72.
- 9 А. с. 357897 СССР, МКЛ А01В 33/02. Фрезерный культиватор [Текст] / А. В. Камашев, А. М. Баранов, В. Н. Перфильев, В. И. Казаков, Е. К. Блинов, И. В. Глазунов (СССР). – № 1406035/30-15 ; заявл. 23.11.70 ; опубл. 03.11.72.
- 10 А. с. 412847 СССР, МКЛ А01G 45/00. Фрезерная почвообрабатывающая машина [Текст] / П. П. Корниенко, Г. А. Ларюхин, В. И. Казаков, В. П. Мореев (СССР). – № 1807704/30-15 ; заявл. 10.12.72 ; опубл. 30.01.74.
- 11 А. с. 470260 СССР, МКЛ А0В 33/02. Почвообрабатывающее орудие / П. П. Корниенко, А. В. Камашев, С. А. Шмаков, В. И. Казаков, Д. Н. Ефимов

(СССР). – № 1806956/30-15 ; заявл. 07.07.72 ; опубл. 15.05.75.

12 А. с. 546309 СССР, МКл А01В 33/02. Почвообрабатывающая фреза / П. П. Корниенко, Н. Д. Беззубов, В. И. Казаков, И. И. Морозов, (СССР). – № 2110005/15 ; заявл. 28.02.75 ; опубл. 15.02.77.

13 А. с. 568418 СССР, МКИ<sup>3</sup> А 01 С 7/16. Высевающий аппарат / Ю. К. Брандт, Л. В. Куликов, Ю. А. Моргунов и др. (СССР). – № 2064649/15 ; заявл. 07.10.74 ; опубл. 15.08.77.

14 А. с. 604524 СССР, МКл 01В 33/02. Почвообрабатывающая фреза / П. П. Корниенко, Н. Д. Беззубов, А. В. Камашев, В. И. Казаков, И. И. Морозов (СССР). – № 2311804/30-15 ; заявл. 04.01.76 ; опубл. 30.04.78.

15 А. с. 784819 СССР, МКл А0G 33/02. Фрезерная почвообрабатывающая машина / П. П. Корниенко, А. В. Камашев, В. Н. Галанов, В. И. Казаков, Д. И. Медведев (СССР). – № 2706450/30-15 ; заявл. 02.01.79 ; опубл. 07.12.80.

16 А. с. 810106 СССР, МКл А01В 45/00. Фрезерная машина / П. П. Корниенко, В. П. Мореев, И. И. Морозов, В. И. Казаков, А. В. Камашев, (СССР). – № 2730146/29-15 ; заявл. 26.02.79 ; опубл. 07.03.81.

17 А. с. 814294 СССР, МКИ<sup>3</sup> А 01 С 7/16. Высевающий аппарат / В. А. Соколов, П. А. Хегай, И. П. Вялов и др. (СССР). – № 2820466/30-15 ; заявл. 06.09.79 ; опубл. 23.03.8.

18 А. с. 906405 СССР, МКл А01В 33/10. Рабочий орган фрезерной почвообрабатывающей машины / П. П. Корниенко, Ф. И. Алябьев, Н. М. Ивонькин, В. И. Казаков, Д. И. Медведев (СССР). – № 2749883/30-15 ; заявл. 09.04.79 ; опубл. 23.02.82.

19 А. с. 908262 СССР, МКл А01 С 7/00. Сеялка для сплошного посева семян / А. М. Цыпук, А. В. Осокин, А. Л. Алин, В. А. Демченко (СССР). – № 2849260/30-15 ; заявл. 07.12.79 ; опубл. 28.02.82.

20 А. с. 1457835 А1 СССР, МКИ<sup>3</sup> А 01 С 7/16. Высевающий аппарат / З. Н. Эминбейли, С. А. Асанов, М. М. Багир-заде и др. (СССР). – № 4132096/30-15 ; заявл. 03.09.86 ; опубл. 15.02.89.

21 А. с. 1463159 А1 СССР, МКИ<sup>3</sup> А 01 С 7/16. Высевающий аппарат / В. А.



Соколов, Ю. А. Моргунов, А. Г. Теперенко и др. (СССР). – № 3959170/30-15 ; заявл. 01.10.85 ; опубл. 07.03.89.

22 А. с. 1218941 СССР, МКл А01В 33/00. Фрезерная почвообрабатывающая машина / П. П. Корниенко, В. И. Казаков, А. И. Монахов, В. А. Нефедов, В. П. Мореев, Е. П. Егоров (СССР). – № 3805629/30-15 ; заявл. 26.10.84 ; опубл. 23.03.86.

23 А. с. 1355144 СССР, МКл 01В 33/02. Фрезерная почвообрабатывающая машина / П. П. Корниенко, В. П. Мореев, А. В. Камашев, В. И. Казаков, М. И. Сенчило (СССР) – № 3836514/30-15 ; заявл. 07.01.85 ; опубл. 30.11.87.

24 А. с. 1584795 СССР, МКл А01С 11/02. Выкопочно-выборочная машина / П. Н. Липовцев, В. И. Казаков, Г. Б. Климов, А. Я. Ковалев, (СССР). – № 4466575/30-15 ; заявл. 06.06.88 ; опубл. 15.08.90.

25 А. с. 1605970 СССР, МКл А01С 7/04. Высеваящий аппарат точного высева / Ф. В. Пошарников, Б. И. Воропаев, В. И. Казаков (СССР). – № 4643702/31-15 ; заявл. 31.01.89 ; опубл. 15.11.90.

26 А. с. 1704668 СССР, МКл А01С 11/00. Корнеподрезчик / Г. Б. Климов, В. П. Мореев, В. И. Казаков, А. Я. Ковалев (СССР). – № 4780384/15 ; заявл. 09.01.90 ; опубл. 15.01.92.

27 А. с. 1706412 СССР, МКл А 01 В 35/02. Культиватор / Г. Б. Климов, Б. И. Воропаев, П. Н. Липовцев, В. И. Казаков, Г. Л. Виткевич, А. Я. Ковалев (СССР). – № 4701954/15 ; заявл. 08.06.89 ; опубл. 23.01.92.

28 Бабаскин, Ю. Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна : учеб. пособие. Минск / Ю. Г. Бабаскин // Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2018. – 462 с.

29 Баженов, В. Г. Математическое моделирование нестационарных процессов удара и проникания осесимметричных тел и идентификация свойств грунтовых сред / В. Г. Баженов, В. Л. Котов. – М. : Физматлит, 2011. – 208 с.

30 Баранов, А. И. Исследование бороздообразующих и заделывающих рабочих органов сеялок для лесных питомников / А. И. Баранов, Ю. И. Полупарнев, Ф. В. Пошарников // Вопросы механизации лесохозяйственных работ : науч. тр. /

ВЛТИ. – Воронеж, 1969. – Т. 32. Вып. 1. – С. 3-26.

31 Баранов, А. И. Обоснование параметров рабочих органов и универсальной сеялки для лесных питомников / А. И. Баранов, Ю. И. Полупарнев // Вопросы механизации лесохозяйственных работ : науч. зап. / ВЛТИ. – Воронеж, 1966. – Т. 31. – С. 3-15.

32 Баранов, А. И. Сеялка с вибро-встряхивателем для посева крылатых и стратифицированных лесных семян // А. И. Баранов, И. П. Долженко, Ю. И. Полупарнев ; Механизация лесохозяйств. и лесозаготов. работ : науч. тр. / ВЛТИ. – Т. 32, вып. 2. – Воронеж, 1968. – С.7-14.

33 Бартнев, И. М. Аналитические исследования рыхлительно-подрезающих лап культиватора для питомников/ И. М. Бартнев, В. И. Казаков, И. В. Казаков // Лесотехнический журнал : ВГЛТА. – 2011. – № 1. – С. 220-228.

34 Бартнев, И. М. Расчет и проектирование лесохозяйственных машин / Бартнев, И. М. // Учебное пособие. – Воронеж : ВГЛТА. – 2010. – 339 с.

35 Бартнев, И. М. Система лесохозяйственных машин : учеб. пособие / И. М. Бартнев [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1990. – 397 с.

36 Бартнев, И. М. Технология сплошной обработки почвы под культуры дуба на вырубках / И. М. Бартнев, И. В. Сухов, В. И. Вершинин // Лесное хозяйство. – 1995. – № 4. – С. 42-43.

37 Бартнев, И. М. Значение основной обработки почвы в развитии растений древесно-кустарниковых пород / И. М. Бартнев // Лесотехнический журнал. – 2015. Т. 5. № 2 (18). – С. 149-158.

38 Бартнев, И. М. Совершенствование конструкции культиваторов / И. М. Бартнев // Лесное хозяйство. – 1992. – № 8-9. – С. 44-45.

39 Бартнев, И. М. Совершенствование технологий и средств механизации лесовосстановления / И. М. Бартнев, М. В. Драполук, В. И. Казаков. – Москва : ФЛИНТА : Наука, 2013. – 208 с.

40 Басин, В. С. Состояние и тенденции развития конструкций зарубежных сеялок для сахарной свеклы // Сельскохозяйств. машины, агрегаты и узлы : обзор. – М. : ЦНТИТракторсельхозмаш, 1978. – Вып. 1. – 56 с.

- 41 Бать, М. И. Теоретическая механика в примерах и задачах / М. И. Бать, Г. Ю. Джанелидзе, А. С. Кельзон. – М. : Наука, 1973. – Т. 1 – 484 с.
- 42 Бахвалов, Н. С. Численные методы : учеб. пособие / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – М. : Наука, 2004. – 600 с.
- 43 Бобринев, В. П. Опыт выращивания посадочного материала для полезащитного лесоразведения / ЦБНТИлесхоз. – М., 1988. – 21 с. (Лесоводство, лесоразведение, лесн. пользования : Экспресс информ. ; Вып. 12).
- 44 Будагов, А. А. Точный посев на высоких скоростях / А. А. Будагов – Краснодар : Краснодар. кн. изд-во, 1971. – 140 с.
- 45 Бузенков, Г. М. Машины для посева сельскохозяйственных культур / Г. М. Бузенков, С. А. Ма – М. : Машиностроение, 1976. – 272 с.
- 46 Валавица, А. П. Перспективы автоматизации работ в лесных питомниках и школах / А. П. Валавица // Лесное хоз-во. – 1980. – № 9. – С. 56-58.
- 47 Василенко, В. В. Расчет рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин : учеб. пособие / В. В. Василенко // Воронеж : «Изд-во ВП», 1994. – 288 с.
- 48 Васильев, С. Б. Лесной питомник. Агротехника и технология работ : учебно-методическое пособие / С. Б. Васильев, И. И. Дроздов, А. А. Котов [и др.] – М. : ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2013. – 58 с.
- 49 Винокуров, В. Н. Лесохозяйственные машины и их применение / В. Н. Винокуров, Г. В. Силаев. – Москва : МГУЛ. 1999. – 234 с.
- 50 Винокуров, В. Н. Машины и механизмы лесного хозяйства : учеб. / под ред. В. Н. Винокурова. – М. : Академия, 2004. – 397 с.
- 51 Винокуров, В. Н. Машины и механизмы лесного хозяйства и садово-паркового строительства / В. Н. Винокуров, Г. В. Силаев, А. А. Золоторевский. – Москва : Академия. 2004. – 400 с.
- 52 Винокуров, В. Н. Механизация работ в лесных питомниках / В. Н. Винокуров, Г. В. Силаев, И. И. Бартенев – М. : МЛТИ, 1995. – 68 с.
- 53 Винокуров, В. Н. Практикум по лесохозяйственным машинам : учебное пособие по специальности 250202 «Лесное и лесопарковое хозяйство» / В. Н. Ви-

нокуров, В. И. Казаков, Г. В. Силаев ; под общей редакцией В. Н. Винокурова. – Москва : ООО «ЭкоСервис». 2007. – 166 с.

54 Винокуров, В. Н. Система машин в лесном хозяйстве : учеб. / В. Н. Винокуров, Н. В. Еремин ; под ред. В. Н. Винокурова. – М. : Академия, 2004. – 320 с.

55 Винокуров, В. Н. Технология и механизация лесовосстановления в равнинных условиях / В. Н. Винокуров, И. М. Бартенев. – М. : МЛТИ, 1992. – 37 с.

56 Вялов, В. В. Реологические основы механики грунтов / В. В. Вялов. – М. : Высшая школа, 1978. – 447 с.

57 Гордеев, О. В. Моделирование технологического процесса взаимодействия рабочих органов с почвой на ЭВМ : автореф. дис. ... канд. техн. наук. : 05.21.01 / О. В. Гордеев. – Челябинск, 1991. – 21 с.

58 ГОСТ 13056.1-67. Семена деревьев и кустарников. Отбор образцов. – Введ. 1968-07-01 – М. Изд-во стандартов – 32 с.

59 ГОСТ 13056.2-89. Семена деревьев и кустарников. Методы определения чистоты. – Введ. 1991-01-01. – М. Изд-во стандартов. – 22 с.

60 ГОСТ 13056.3-86. Семена деревьев и кустарников. Методы определения влажности. – Введ. 1987-30-06. – М. Изд-во стандартов. – 15 с.

61 ГОСТ 13056.4-67. Семена деревьев и кустарников. Методы определения массы 1000 семян. Введ. 1968-07-01 – М. Изд-во стандартов. – 3 с.

62 ГОСТ 25100-95. Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация. Soils. Classification. – Введ. 1996-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 24 с.

63 Геллер, Ю. А. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт М. : Металлургия. – 1989. – 456 с.

64 Грановский, В. А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В. А. Грановский, Т. Н. Сирая. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1990. – 288 с.

65 Григорьев, И. В. Экспериментальное определение времени релаксации напряжений лесного грунта / И. В. Григорьев, А. И. Никифорова, А. А. Пельмский [и др.] // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2013. – № 8 (137). – С. 77-80.

66 Грунтоведение : учебник для вузов по спец. «Гидрология и инж. Геология» / Е. М. Сергеев, Г. А. Голодковская, Р. С. Зиангиров [и др.] ; под ред. Е. М. Сергеева // 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГУ. – 1983. – 389 с.

67 Гулд, Х. Компьютерное моделирование в физике / Х. Гулд, Я. Тобочник. – Ч. 2. – М. : Мир. – 1990. – 400 с.

68 Дегтярев, Ю. И. Методы оптимизации : учеб. пособие для вузов / Ю. И. Дегтярев. – М. : Сов. радио, 1980. – 272 с.

69 Демьяченко, А. Г. Вибрационные технологии и вибровозбудители в сельхозпроизводстве / А. Г. Демьяченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 11. – С. 34-35.

70 Детали машин : учебник для академического бакалавриата / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – 15-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2014. – 408 с. – Серия : Бакалавр. Академический курс.

71 Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке : Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф. Лион // пер. с англ. – М. : Мир, 1981. – 520 с.

72 Дорняк, О. Р. Математическая модель напряженно-деформированного состояния грунта в процессе его взаимодействия с рабочими органами выкопчной машины / О. Р. Дорняк, М. В. Драпалюк, И. В. Казаков [и др.] // Лесотехнический журнал // ВГЛТУ. – Воронеж. – 2019. – № 2. – С. 157-163.

73 Друккер, Д. Механика грунтов и пластический анализ или предельное проектирование / Механика. Новое в зарубежной науке. Вып. 2 : Определяющие законы механики грунтов / Д. Друккер, В. Прагер. – М. : Мир. – 1975. – С. 166-177.

74 Дручинин, Д. Ю. Математическая модель взаимодействия рабочего органа выкопчной машины с почвой и корнями растений / Д. Ю. Дручинин, О. Р. Дорняк, М. В. Драпалюк // Электронный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2011. – № 68 (04). – Режим доступа : <http://www.ej.kubagro.ru/2011/04/pdf/13.pdf> .

75 Дудорев, М. А. Выращивание посадочного материала / М. А. Дудорев // Лес и поле. – Саратов : Приволж. кн. изд-во. – 1991. – 248 с.

76 Дьяконов, В. П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ : Справочник / В. П. Дьяконов. – М. : Наука. – 1987. – 240 с.

77 Еремин, Н. В. Система машин в лесном хозяйстве : учебное пособие / Н. В. Еремин // Йошкар-Ола : Изд-во МарГТУ. – 2003. – 301 с.

78 Застенский, Л. С. Машины и механизмы лесного хозяйства и их эксплуатация / Л. С. Застенский, Н. Н. Неволин // Вологда : Кирилловская районная типография – 2000. – 365 с.

79 Зима, И. М. Механизация лесохозяйственных работ / И. М. Зима, Т. Т. Малюгин // 3 изд., перераб. и доп. – М. : Лесная промышленность. – 1976. – 416 с.

80 Золотаревская, Д. И. Закономерности динамического деформирования почв при циклических нагрузках / Д. И. Золотаревская // Почвоведение. – 2005. – № 5. – С. 565-574.

81 Золотаревская, Д. И. Математическое моделирование динамики деформирования и уплотнения почв / Д. И. Золотаревская // Почвоведение. – 2007. – № 1. – С. 44-54.

82 Золотаревская, Д. И. Изменение реологических свойств и плотности дерново-подзолистой почвы при динамических нагрузках / Д. И. Золотаревская // Почвоведение. – 2010. – № 3. – С. 313-323.

83 Золотаревская Д. И. Закономерности деформирования почв и их математическое моделирование / Д. И. Золотаревская // Почвоведение. – 1998. – № 1. – С. 110-120.

84 Ильяков, В. В. Технология и машины лесовосстановительных работ / В. В. Ильяков, Н. М. Набатов // – М. : МГУЛ. – 2004. – 112 с.

85 Инженерные расчеты на ЭВМ : Справочное пособие / Под ред. В. А. Троицкого // Л. : Машиностроение. – 1979. – 288 с.

86 Ирла, Э. Сравнительные испытания пунктирных сеялок и разбрасывателей гранулированных материалов / пер. с нем. Яковлевской Т. В. – М. : ВЦП. – 1983. – 24 с.

87 Ишин Д. П. Выращивание посадочного материала для защитного лесо-

разведения / Д. П. Ишин, Г. Я. Маттис, Т. А. Желтикова [и др.] // 2 изд., перераб. и доп. – М. : Лесная промышленность. – 1971. – 238 с.

88 Кабаков, Н. С. Комбинированные посевные агрегаты и машины / Н. С. Кабаков, А. И. Мордухович // М. : Россельхозиздат. – 1984. – 80 с.

89 Казаков, В. И. Аналитические исследования процесса разрушения почвенного пласта выкопчной машиной с активными рабочими органами / В. И. Казаков, И. В. Казаков // Лесотехнический журнал : ВГЛТА. – 2015. – № 3. – С. 220-228.

90 Казаков, В. И. Аналитические исследования процесса выравнивания поверхности почвы в лесных питомниках / Казаков В. И., Казаков И. В. // Механика технологических процессов в лесном комплексе : материалы межд. заоч. науч.-практ. конф. – Воронеж : ВГЛТУ, 2014. – Т. 2., № 2-2(7-2) – С. 93-99.

91 Казаков, В. И. Влияние сортировки семян хвойных пород на посевные качества / В. И. Казаков, Н. Е. Проказин, Е. Н. Лобанова, И. В. Казаков // Лесотехнический журнал. – 2016. – №3. – С. 161-167.

92 Казаков, В. И. Исследование процесса резания корней сеянцев при подрезке и выкопке / В. И. Казаков, И. В. Казаков // Лесотехнический журнал. – ВГЛТА. – 2014. – № 2. – С. 216-219.

93 Казаков, В. И. К обоснованию некоторых параметров сеялки для крупноплодных семян / В. И. Казаков, Л. Т. Свиридов, И. В. Казаков // Рацион. использование лесных ресурсов: Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола : Изд-во МарГТУ. – 1999 г. – С. 215-216.

94 Казаков, В. И. Оптимальная густота размещения сеянцев и целесообразность подрезки их корневой системы / В. И. Казаков, Е. Н. Лобанова, Н. Е. Проказин, И. В. Казаков // Природопользование : ресурсы, техническое обеспечение. Межвузовский сб. науч. тр. – Вып. 4. – Воронеж : ВГЛТУ. – 2009. – С. 163-173.

95 Казаков, В. И. О тенденции создания средств механизации для питомников / В. И. Казаков // Научно-техн. проблемы в развитии ресурсосберегающих технологий и оборудования лесного комплекса : Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж : ВГЛТУ. – 1998. – С. 27-28.

96 Казаков, В. И. Перспективная обработка почвы в питомниках / В. И. Казаков // Рациональное использование ресурсного потенциала в агропромкомплексе: Всерос. науч.-техн. конф. – Воронеж : ВГАУ. – 1998. – С. 29-30.

97 Казаков, В. И. Применение прогрессивных агротехнических приемов при выращивании посадочного материала хвойных пород / В. И. Казаков, Н. А. Смирнов, Е. Н. Лобанова // Сб. : Научн.-исследов. работы на базе Сергиево-Посадского лесхоза. – Пушкино : ВНИИЛМ. – 1999. – С. 36-38.

98 Казаков, В. И. Прогрессивные агроприемы и средства механизации для выращивания посадочного материала в лесных питомниках / В. И. Казаков // Устойчивое управление лесами и сохранение биологического разнообразия в лесном фонде РФ. Пушкино : ВНИИЛМ. – 1997. – С. 44-46.

99 Казаков, В. И. Современные технологии и средства механизации для выращивания посадочного материала / В. И. Казаков, Н. А. Смирнов, Е. Н. Лобанова // Сб. : Результаты опытных и НИР в ОЛХ «Русский лес». Серпухов : ВНИИЛМ. – 1999. – С. 13-16.

100 Казаков, В. И. Техника для лесных питомников / В. И. Казаков, Г. Б. Климов. – М. : Лесное хозяйство. – 1989. – № 8. – С. 36-38.

101 Казаков, В. И. Технология и механизация выращивания посадочного материала в питомниках лесной зоны / В. И. Казаков. – Пушкино : ВНИИЛМ. – 2001. – 186 с.

102 Казаков, В. И. Эффективность контактного нанесения гербицидов для борьбы с сорной растительностью в лесных питомниках / В. И. Казаков, Н. Е. Проказин, И. В. Казаков [и др.] – Лесотехнический журнал. – Воронеж : ВГЛТУ – 2019. – № 1. – С. 153-159.

103 Казаков, И. В. Агротехнические показатели рабочих органов культиватора ККП-1,5А при уходе в лесных питомниках / И. В. Казаков, С. А. Родин, В. И. Казаков. – Лесхоз. информ. : электрон. сетевой журн. – 2020. – № 3. – С. 123-130.

104 Казаков, И. В. Аналитические исследования процесса высева семян хвойных пород штифтовым высевающим аппаратом / И. В. Казаков, В. И. Казаков. – Лесотехнический журнал. – Воронеж : ВГЛТУ – 2017. – № 3. – С. 201-210.



105 Казаков, И. В. Аналитические исследования рабочего процесса штифтового высевающего аппарата / И. В. Казаков // Лесовосстановление и механизация лесохозяйственных работ // Науч. тр. – Вып. 332. Москва : МГУЛ. – 2007. – С. 10-19.

106 Казаков, И. В. Влияние параметров и режимов работы сеялки для крупноплодных семян на агротехнические показатели посева желудей / И. В. Казаков. – Лесотехнический журнал. – Воронеж : ВГЛТУ. – 2019. – № 3. – С. 149-156.

107 Казаков, И. В. Влияние параметров прикатывающего катка на степень уплотнения почвы / И. В. Казаков. – Москва : Лесхоз. информ. – 2003. – № 11. – С. 31-32.

108 Казаков, И. В. Влияние режимов работы выкопчной машины на качество выкопки посадочного материала / И. В. Казаков // Лесотехнический журнал. – 2020. – № 1. – С. 203-208.

109 Казаков, В. И. К обоснованию некоторых параметров сеялки для крупноплодных семян / В. И. Казаков, Л. Т. Свиридов, И. В. Казаков // Рациональное использование лесн. ресурсов : материалы межд. науч.-практ. конф. – Йошкар-Ола : МарГТУ. – 1999. – С. 215-216.

110 Казаков, И. В. Лесохозяйственная техника, разработанная ВНИИЛМ и ЦОКБлесхозмаш / И. В. Казаков. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2006. – 37 с.

111 Казаков, И. В. Математическое моделирование процесса заделки семян почвой / И. В. Казаков // Лесотехнический журнал. – 2018. – № 4. – С. 221-229.

112 Казаков, И. В. Машина выкопчная модернизированная МВ-1,3А / И. В. Казаков. – М. : Лесное хозяйство. – 2006. – № 5. – С. 47-48.

113 Казаков, И. В. Машины и оборудование для лесных питомников : пособие для специалистов лесного хозяйства / И. В. Казаков. – Пушкино : ВНИИЛМ. – 2004. – 60 с.

114 Казаков, И. В. Обоснование конструктивно-технологической схемы сеялки для посева крупноплодных семян / И. В. Казаков. – Лесхоз. информ. : электрон. сетевой журн. – 2019. – № 2. – С. 89-96.

115 Казаков, И. В. Обоснование параметров загортача для заделки семян в посевных бороздках / И. В. Казаков, В. И. Посметьев // Современные ресурсосбе-

регающие технологии и технические средства лесного комплекса : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 25-26 ноября 2021 года. – Воронеж : ВГЛТУ. – 2021. – С. 172-177.

116 Казаков, И. В. Перспективная лесопитомниковая сеялка для широко-строчного посева / И. В. Казаков, А. Н. Журавлев // Подготовка кадров в условиях перехода на инновационный путь развития лесного хозяйства : научн.-практ. конф. – Воронеж : ВГЛТУ. – 2021. – С. 21-23.

117 Казаков, И. В. Результаты моделирования процесса заделки посевной бороздки почвой / И. В. Казаков. – Воронеж : ВГЛТУ, Лесотехнический журнал. – 2019. – № 3. – С. 157-171.

118 Казаков, В. И. Сеялка для высева мелких семян хвойных пород СЛН-5/9А / В. И. Казаков, И. В. Казаков. – М. : Лесное хозяйство. – 2005. – № 1. – С. 44-45.

119 Казаков, В. И. Справочник лесохозяйственных машин, оборудования и приборов / В. И. Казаков [и др.]. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2001. – 134 с.

120 Казаков И. В. Лесохозяйственная техника, разработанная ВНИИЛМ и ЦОКБлесхозмаш / И. В. Казаков. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2006. – 37 с.

121 Казаков, И. В. Сеялка для посева крупноплодных семян в питомниках / И. В. Казаков, А. С. Березин, Ю. Н. Киктев // Лесное хозяйство. – 1999. – № 3. – С. 43-44.

122 Казаков, И. В. Современные средства механизации для выращивания посадочного материала хвойных пород / И. В. Казаков // Наука и образование на службе лесного комплекса (к 75-летию ВГЛТА) : Материалы межд. науч.-практ. конф. – Воронеж : ВГЛТА, 2005. – С. 63-66.

123 Казаков, И. В. Современные технологии и машины для лесного хозяйства / И. В. Казаков, Е. Н. Лобанова – М. : ВНИИЛМ, 2006. – 46 с.

124 Кардашевский, С. В. Высевающие устройства посевных машин : Теоретические основы и модели исследования распределения семян. – М. : Машиностроение, 1973. – 176 с.

125 Климов, Г. Б. Комплексная механизация в лесных питомниках / Г. Б. Климов, Н. А. Смирнов. – М. : ЦБНТИлесхоз, 1971. – 45 с.

126 Климов, Г. Б. Машины и орудия для выкопки и уборки посадочного материала / Г. Б. Климов, В. П. Мореев, Е. П. Пожилов. – М. : ЦБНТИлесхоз. – 1978. – 36 с.

127 Климов, Г. Б. Перспективные направления производства лесопосадочного материала / Г. Б. Климов, Н. А. Смирнов. // Научно-технический прогресс в механизации, электрофикации и автоматизации сельскохозяйственного производства. – М. : Колос. – 1981. – С.196-199.

128 Климов, О. Г. Состояние и тенденции развития посевных машин / О. Г. Климов // ЦБНТИлесхоз (Механизация и автоматизация лесохоз. пр-ва ; Обзор информ. ; Вып. 3). – М. – 1980. – 28 с.

129 Когаев, В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справочник / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков / под ред. К. В. Фролова. – М. : Машиностроение – 1985. – 224 с.

130 Колтунов, М. А. Ползучесть и релаксация : Учеб. пособие для втузов / М. А. Колтунов. – Москва : Высш. школа. – 1976. – 277 с.

131 Коновалов, Е. Ф. Промышленные методы выращивания посадочного материала / Е. Ф. Коновалов // Лесное хозяйство. – 1983. – № 2. – С. 71-72.

132 Коршун, В. Н. Обработка экспериментальных данных на ЭВМ / В. Н. Коршун // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем лесного комплекса : межвуз. сб. научн. тр. – ВГЛТА. – Воронеж : ВГЛТУ. – 2001. – С. 169-172.

133 Косинов, М. М. Обоснование параметров пассивного отражателя при высевае мелких и средних семян вертикально-дисковым высевающим аппаратом / М. М. Косинов // Конструирование и технология пр-ва сельскохозяйств. машин : Республик Межведомств. науч.-техн. сб. – Киев : Техника. – 1981. – Вып. 11. – С. 15-19.

134 Котов, А. А. Расчет и комплектование машинно-тракторных агрегатов для работ в лесном хозяйстве. Пояснительная записка : учебно-методическое пособие / А. А. Котов. — 2-е изд., испр. и доп. – М : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. – 81 с.

135 Котляревский, В. А. Прочность и защитные свойства специальных со-

оружений / В. А. Котляревский // Методы расчета и программные средства. – Магнитогорск : ООО «ВЕЛД». – 2014. – 86 с.

136 Кривцов, А. М. Деформирование и разрушение тел с микроструктурой / А. М. Кривцов // М. : ФИЗМАТЛИТ. – 2007. – 304 с.

137 Кузьмин, М. А. Прочность, жесткость и устойчивость элементов конструкций, Теория и практикум : Решение задач механики методом конечных элементов / М. А. Кузьмин [и др.] ; под ред. Б. Г. Попова. – М. : ИКЦ «Академкнига». – 2008. – 160 с.

138 Кулачникова, Л. В. Сеялки для новых технологий посева / ЦНИИТЭИтракторсельмаш (Сельскохозяйств. машины и орудия, зарубежный опыт) : Экспресс-информ. ; Вып. 19). – М. – 1987. – 11 с.

139 Лагарьков, А. Н. Метод молекулярной динамики в статистической физике / А. Н. Лагарьков, В. М. Сергеев. – УФН. – 1978. – Т. 125. – № 7. – С. 409-448.

140 Лал, Р. К. Анализ последствий при формоизменении металлических пластин с использованием соотношений Рамберга – Осгуда / Р. К. Лал, М. К. Бхагат, Д. П. Дживеди [и др.] // Прикладная механика и техническая физика. М. : – 2016. Т. 57. – № 6 (340). – С. 197-205.

141 Ларюхин, Г. А. Механизация лесовосстановительных работ / Г. А. Ларюхин [и др.]– М. : Лесная промышленность, 1980. – 256 с.

142 Ларюхин, Г. А. Механизация лесовосстановительных работ / Г. А. Ларюхин, Г. Б. Климов, А. Б. Клячко, П. П. Корниенко // 2 изд. перераб. и доп. – М. : Лесная промышленность. – 1975. – 248 с.

143 Ларюхин, Г. А. Механизация лесного хозяйства / Г. А. Ларюхин, Л. С. Златоустов, В. С. Раков // М. : Лесная промышленность. – 1975. – 278 с.

144 Ларюхин, Г. А. Свойства лесных семян как посевного материала // Исследование рабочих процессов новых машин на лесозаготовительных работах. М. : ВНИИЛМ. – 1964. – С. 5-30.

145 Ларюхин, Г. А. Система лесохозяйственных машин / Г. А. Ларюхин, Н. П. Калиниченко, Г. Б. Климов [и др.] // М. : Лесная промышленность, 1985. – 264 с.

146 Лисицын, Н. И. Исследование процесса высева крупносеменных куль-

тур вертикально-дисковым высевающим аппаратом: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 1976. – 29 с.

147 Ломакин, С. Г. Тенденции развития конструкций посевных машин в СССР и за рубежом / С. Г. Ломакин, Е. Л. Ревякин // ЦНИИТЭИ (Новая сельскохозяйств. техника и методы ее испытаний Обзор. информ.). – М. – 1975. – 120 с.

148 Лосицкий К. Б. Дуб : Библиотечка «Древесные породы». – М. : Лесная промышленность, 1981. – 102 с.

149 Ма, С. А. Методы повышения качества посева пропашных культур : автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М., 1988. – 29 с.

150 Машины и механизмы лесного и лесопаркового хозяйства. Справочник : учебное пособие / под редакцией В. Н. Винокурова. – Москва : МГУЛ, 2009. – 468 с.

151 Машины, механизмы и оборудование лесного хозяйства : справочник / В. Н. Винокуров [и др.] ; под редакцией В. Г. Шаталова. – Москва : МГУЛ. – 2000. – 439 с.

152 Метальников, М. С. Лесохозяйственные машины / М. С. Метальников // Москва : Экология. – 1991. – 280 с.

153 Методика определения оптовых цен на новую продукцию производственно-технического назначения : Утв. Гос. ком. цен СМ СССР 24.04.74. – М. : Прейскурантиздат, 1974. – 38 с.

154 Механизация лесного и лесопаркового хозяйства : учебник для вузов / В. Н. Винокуров, Г. В. Силаев, И. В. Казаков ; под общей редакцией В. И. Казакова // Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 599 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-15187-9.

155 Механизация лесного хозяйства : учеб. для сред. спец. учеб. заведений по специальности 2604 «Лесное и лесопарковое хоз-во» / В. Г. Шаталов, Д. Н. Видулин, О. Г. Климов [и др.] // М. : Экология. – 1995. – 525 с.

156 Механизация обработки почвы под лесные культуры : учеб. пособие / П. П. Корниенко, Ю. М. Сериков, В. Ф. Зинин, В. И. Казаков // М. : «Агропромиздат». – 1987. – 247 с.

157 Мольдерф, В. Е. Исследование дискового высевающего аппарата // Ме-

ханизация лесохоз. работ в Средней Азии : Тр. / СредАзНИИЛХ. – Ташкент : Издательство ФАН, 1970. Вып. XIII – С. 49-55.

158 Надаж, П. Высев семян овощных культур при помощи современных сеялок / пер. с венг. К. Ф. Кроткова № И-12 778. – М. : ВЦП. – 1984. – 129 с.

159 Нартов, П. С. Проектирование и расчет лесохозяйственных машин: учеб. пособие / П. С. Нартов. – Воронеж : Изд-во ВГУ. – 1980. – 192 с.

160 Нартов, П. С. Повышение надежности и долговечности лесохозяйственных машин : брошюра / П. С. Нартов. – М. : Гослесхоз ЦБНТИ. – 1974. – 36 с.

161 Наставления по выращиванию посадочного материала древесных и кустарниковых пород в лесных питомниках РСФСР. – М. : – 1979. – 17 с.

162 Новосельцева, А. И. Справочник по лесным питомникам / А. И. Новосельцева, Н. А. Смирнов. – М. : Лесная промышленность. – 1983. – 280 с.

163 Нормы выхода стандартных сеянцев деревьев и кустарников в лесных питомниках Российской Федерации. – М. : – 1996. – 47 с.

164 Оробинский, В. И. Распределение зернового вороха по ширине зерноочистительной машины приемно-распределительным устройством гравитационного типа / В. И. Оробинский, А. М. Гиевский, И. В. Баскаков [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – Воронеж, 2021. – № 2. – С. 12-18.

165 ОСТ 56-93-87. Питомники лесные постоянные. Технология выращивания посадочного материала в различных лесорастительных зонах. – Введ. 1988. СССР. М. : – 1988. – 28 с.

166 ОСТ 56-98-93. Сеянцы и саженцы лесных деревьев и кустарников. – Введ. 1994. М. : ЦБНТИлесхоз, 1993. – 27 с.

167 Отраслевые методические указания по определению экономической эффективности использования в лесном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений : Утв. Гос. ком. СССР по лесному хозяйству 05.03.78. – М. : ЦБНТИлесхоз, 1978. – 181 с.

168 Патент на изобретение № 908262 СССР, Кл А 01С 7/00. Вибрационный высевательный аппарат сеялки ; № 5064537/15 ; заявл. 17.07.1992 ; опубл. 20.08.1995 / Цыпук А. М., Эгипти А. Э. ; заявители Цыпук А. М., Эгипти А. Э. – 2 с. : ил.

169 Патент № 2118076 Российская Федерация, МКИ А01С 7/00, А01С 7/16. Сеялка для высева крупноплодных семян ; № 97106866/13 ; заявл. 24.04.97 ; опубл. 27.08.98 / Казаков В. И., Свиридов Л. Т., Дегтев В. Т., Березин А. С., Казаков И. В. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 4 с. : ил.

170 Патент 2188528 РФ, МКл А01В 49/02. Орудие для подготовки почвы в лесных питомниках / В. И. Казаков, С. А. Родин, В. Н. Галанов, А. С. Березин ; заявитель и патентообладатель ВНИИЛМ ; – № 99127759/13 ; заявл. 28.12.99 ; опубл. 10.09.02.

171 Патент на полезную модель № 61982 Российская Федерация, МКИ А01С 11/04. Выкопочная машина для лесных питомников ; № 2006145727/22 ; заявл. 25.12.2006 ; опубл. 27.03.2007 / Казаков В. И., Родин С. А., Дегтев В. Т., Казаков И. В., Лобанова Е. Н. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 2 с. : ил.

172 Патент на полезную модель № 62767 Российская Федерация, МКИ А01С 7/00. Сеялка для лесных питомников ; № 2006145730/22 ; заявл. 25.12.2006 ; опубл. 10.05.2007 / Казаков В. И., Родин С. А., Дегтев В. Т., Казаков И. В., Лобанова Е. Н. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 3 с. : ил.

173 Патент на полезную модель № 61976 Российская Федерация, МКИ А01В 13/02. Выравниватель – грядоделатель для лесных питомников ; № 2006145726/22 ; заявл. 26.12.2006 ; опубл. 27.03.2007 / Казаков В. И., Родин С. А., Дегтев В. Т., Казаков И. В., Лобанова Е. Н. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 4 с. : ил.

174 Патент на полезную модель № 61979 Российская Федерация, МКИ А01В 49/02, А01В 49/04. Машина для обработки почвы в лесных питомниках ; № 2006145728/22 ; заявл. 25.12.2006 ; опубл. 27.03.2007 / Казаков В. И., Родин С. А., Дегтев В. Т., Казаков И. В., Лобанова Е. Н. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 3 с. : ил.

175 Патент на полезную модель № 62491 Российская Федерация, МКИ А01С 3/06. Мульчирователь для лесных питомников ; № 2006145729/22 ; заявл. 25.12.2006 ; опубл. 27.04.2007 / Казаков В. И., Родин С. А., Дегтев В. Т., Казаков И. В., Лобанова Е. Н. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 2 с. : ил.

176 Патент № 2323562 Российская Федерация, МКИ А01С 11/00, А01G 23/00. Лесопосадочная машина для вырубок ; № 2323562 ; заявл. 17.07.2006 ;

опубл. 10.05.2008 / Казаков В. И., Родин С. А., Галанов В. Н., Суворов В. И., Казаков И. В. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 4 с. : ил.

177 Патент № 2349078 Российская Федерация, МПК А01G 23/04. Машина для выкапывания древесных и кустарниковых растений ; № 2006138313/12 ; заявл. 30.10.2006 ; опубл. 20.03.2009 / Федюнин Г. И., Галанов В. Н., Бартенев И. М., Казаков И. В. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 2 с. : ил.

178 Патент на полезную модель № 169357 Российская Федерация, МПК А01С 11/02. Машина для посадки сеянцев с закрытой корневой системой ; № 2016135813 ; заявл. 05.09.2016 ; опубл. 15.03.2017 / Мартынюк А. А., Казаков В. И., Проказин Н. Е., Дегтев В. Т., Лобанова Е. Н., Казаков И. В. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 3 с. : ил.

179 Патент на полезную модель № 177604 Российская Федерация, МПК А01С 11/02. Лесопосадочная машина для сеянцев с закрытой корневой системой ; № 2017118411 ; заявл. 26.06.2017 ; опубл. 02.03.2018 / Мартынюк А. А., Казаков В. И., Проказин Н. Е., Дегтев В. Т., Лобанова Е. Н., Казаков И. В. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 2 с. : ил.

180 Патент на полезную модель № 182661 Российская Федерация, МПК А01М 7/00. Устройство для уничтожения сорной растительности в питомниках ; № 2017146075 ; заявл. 26.12.2017 ; опубл. 28.08.2018 / Мартынюк А. А., Казаков В. И., Дегтев В. Т., Проказин Н. Е., Казаков И. В., Лобанова Е. Н. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 2 с. : ил.

181 Патент на полезную модель № 191875 Российская Федерация, МПК А01С11/04. Машина выкопачная для лесных питомников ; заявл. 11.02.2019 ; опубл. 26.08.2019 / Мартынюк А. А., Казаков В. И., Дегтев В. Т., Проказин Н. Е., Казаков И. В., Лобанова Е. Н. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 2 с. : ил.

182 Патент № 2745076 Российская Федерация, МПК А01С 7/00, А01С 7/20. Сеялка лесная ; № 2020131862 ; заявл. 24.09.2020 ; опубл. 19.03.2021 / Бартенев И. М., Казаков И. В. ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ – 2 с.: ил.

183 Пиоро, Е. В. Деформационные и акустические свойства глинистых грунтов по результатам лабораторных инженерно-геологических и ультразвуко-



вых исследований / дис. ... кандидата геолого-минералогических наук / Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. Геол. фак. Москва. – 2014. – 234 с.

184 Писанов, А. А. Модернизация сеялки СЛН-8А / А. А. Писанов. – М. : – 1982. – 22 с.

185 Попиков, П. И. Интенсификация рабочих процессов лесных машин с гидропульсационным приводом / П. И. Попиков, Р. В. Юдин, А. В. Бакаев. – Лесотехнический журнал. – Воронеж. – 2012. – № 3. – С. 94-100.

186 Попиков, П. И. Системный подход к проблеме обоснования модернизации лесозаготовительных машин / П. И. Попиков, Н. Ю. Евсюкова, Н. С. Камалова [и др.] // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика : Материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Воронеж. : – 2015. – Т. 3 №2-2 (13-2) – С. 296-300.

187 Попиков, П. И. Интенсификация рабочих процессов лесных машин и оборудования при лесовосстановлении и рубок ухода : монография / П. И. Попиков, Р. В. Юдин. – Воронеж. : ВГЛТУ. – 2019. – 132 с..

188 Посметьев, В. И. Повышение эффективности лесных почвообрабатывающих агрегатов на основе реализации перспективных научно-технических решений : монография / В. И. Посметьев, В. А. Зеликов., В. В. Посметьев. – Воронеж : ВГЛТУ. – 2015. – 270 с.

189 Посметьев, В. И. Состояние и пути повышения эффективности почвообрабатывающих агрегатов при лесовосстановлении на вырубках : монография / В. И. Посметьев, В. А. Зеликов., В. В. Посметьев. – Воронеж : ВГЛТУ. – 2015. – 236 с.

190 Посметьев, В. И. Исследование динамического и вибрационного заглубления дисковой батареи культиватора КЛБ-1,7 / В. И. Посметьев, Л. Т. Свиридов, В. А. Зеликов [и др.]. – Вестник Московского государственного университета леса. М. : – 2009. – № 4. – С. 112-116.

191 Посметьев, В. И. О возможности использования рекуперированной энергии лесного почвообрабатывающего агрегата для интенсификации технологического процесса / В. И. Посметьев, В. А. Зеликов, А. И. Третьяков [и др.] // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». – Архангельск. – 2011. – № 1. – С. 60-64

192 Посметьев, В. И. Основные направления повышения эффективности лесных почвообрабатывающих агрегатов / В. И. Посметьев, В. А. Зеликов, А. И. Третьяков [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – Воронеж : ВГАУ. – 2013. – № 1. – С. 70-79.

193 Посметьев, В. И. Лесной дисковый культиватор с энергосберегающим гидроприводом / В. И. Посметьев, В. А. Зеликов, А. И. Третьяков [и др.] // Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка : материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов, 10-11 ноября 2011 года. – СПб. : – 2011. – С. 313-318.

194 Посметьев, В. И. Системы энергосбережения лесного почвообрабатывающего агрегата: анализ на основе имитационного компьютерного моделирования / В. И. Посметьев, В. А. Зеликов, А. И. Третьяков // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады IX Всероссийской науч.-техн. конф., под общ. ред. Э. М. Соколова. – Тула : Изд-во «Инновационные технологии». – 2011. – С. 3-6.

195 Посметьев, В. И. Оценка влияния мгновенного центра вращения навесного механизма трактора на заглубляющую способность дисковых рабочих органов / В. И. Посметьев, В. А. Зеликов, М. А. Латышева. – Воронежский научно-технический вестник. – Воронеж : ВГЛТУ. – 2014. – № 2. – С. 38-47.

196 Пошарников, Ф. В. Анализ траекторий падения лесных семян при высеве катушечными высевальными аппаратами / Ф. В. Пошарников. – Известия вузов Лесной журнал. – 1981. – № 1. – С. 23-27.

197 Пошарников, Ф. В. Исследование физико-механических свойств лесных семян / Ф. В. Пошарников и др. // 1989. – 26 с. Деп. рук. в ВНИИЦлесресурс № 773-ЛХ89.

198 Пошарников, Ф. В. К обоснованию параметров дискового высевального аппарата лесной сеялки типа ПСТ-2А / Ф. В. Пошарников // Машины и орудия для механизации лесозаготовок и лесн. хоз-ва : Межвузовский сборник научных трудов – Л. : РИО ЛТА, 1979. Вып. 8. – С. 58-61.

199 Пошарников, Ф. В. Новые технологии и машины для посева лесных семян в питомниках: дис. ... докт. техн. наук / Воронежский лесотехнический ин-

ститут. – Воронеж, 1993. – 530 с.

200 Пошарников, Ф. В. Обоснование и расчет рабочих органов лесных сеялок / Ф. В. Пошарников // Воронеж : ВГУ. – 1978. – 124 с.

201 Пошарников, Ф. В. Обоснование конструкции семяпровода для широкострочного посева / Ф. В. Пошарников. – М. : Лесное хозяйство. – 1970. – № 2. – С. 50-54.

202 Пошарников, Ф. В. Перспективные технологии выращивания лесопосадочного материала / Ф. В. Пошарников, И. В. Казаков. – Воронеж : ВГЛТА. – 2007. – 290 с.

203 Пошарников, Ф. В. Сеялки для лесных питомников / Ф. В. Пошарников. – М. : Лесная промышленность. – 1990. – № 5. – С.17-18.

204 Пошарников, Ф. В. Сеялка питомников СПП-ЗШ / Ф. В. Пошарников, Ю. Н. Киктев. – М. : Лесное хозяйство. – 1991. – № 12. – С. 41-42.

205 Пошарников, Ф. В. Улучшенный способ посева древесных и кустарниковых пород в лесных питомниках / Ф. В. Пошарников. – М. : Лесной журнал. – 1983. – № 5. – С. 30-33.

206 Пошарников, Ф. В. Усовершенствование конструкций лесных сеялок / Лесохозяйственная информация / ВНИИЦлесресурс. – М. – 1974. – Вып. 4. – С.23-24.

207 Проказин, Н. Е. Совершенствование технологий выращивания посадочного материала и лесовосстановления на горельниках / Н. Е. Проказин, С. А. Родин, В. И. Казаков, Е. Н. Лобанова, И. В. Казаков // Лесохозяйственная информация. – 2019. – № 3. – С. 38-47.

208 Прошин, Н. С. Влияние подрезки корней на качественные показатели сеянцев сосны / Н. С. Прошин // Лесное хозяйство. – 1988. – № 4. – С. 39-40.

209 Редько, Г. И. Лесные питомники : Учебное пособие по курсу лесные культуры / Г. И. Редько // Л. : ЛТА. – 1983. – 104 с.

210 Рекубрацкий, Г. М. Состояние и тенденции развития технологий и средств механизации посева : Обзорная информация – М. : ВНИИТЭНСХ. – 1986. – 20 с.

211 Роговой, А. А. Моделирование процесса прессования стальной заготовки / А. А. Роговой, Н. К. Салихова // Вычислительная механика сплошных сред. –

2014. Т. 7. – № 4. – С. 453-459.

212 Родин, А. Р. Лесные культуры и лесомелиорация / А. Р. Родин, С. А. Родин. – М. : Агропромиздат. – 1987. – 320 с.

213 Родин, А. Р. Лесные культуры : учебник / А. Р. Родин, Е. А. Калашникова, С. А. Родин [и др.] // под общей редакцией А. Р. Родина. – М. : МГУЛ, 2009. – 462 с.

214 Родин, С. А. Инновационное развитие технологий и машин для производства лесов / С. А. Родин, В. И. Казаков // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика. 2015. Т. 3 № 2-1 (13-1). – С. 104-108.

215 Родин, С. А. Современные средства механизации для лесного комплекса / С. А. Родин, В. И. Казаков, И. В. Казаков // 39-th International symposium on forestry mechanization (FORMEC 2006). – Sofia, Bulgaria. – 2006. – p. 45-47.

216 Родионов, А. В. Об исследовании пневматической сеялки универсальной машины для восстановления леса / А. В. Родионов, А. М. Цыпук, А. А. Чечков // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, докторантов. – Петрозаводск – Издательство: Издательство ПетрГУ. – 2014. – С. 42-45.

217 Романов, Е. М. Выращивание лесопосадочного материала в питомниках Среднего Поволжья / Е. М. Романов // М. : Всерос. науч.-исслед. информ. центр по лесным ресурсам. – Вып. 3. – 1994. – 19 с.

218 Романов, Е. М. Выращивание сеянцев древесных растений : биологические и агротехнические аспекты : Научное издание / Е. М. Романов // Йошкар-Ола : МарГТУ. – 2000. – 500 с.

219 Рузаева А. М. Состояние и направления развития конструкций овощных сеялок и сеялок для сахарной свеклы / А. М. Рузаева и др. // ЦНИИТЭНтрактор-сельхозмаш (Сельскохозяйственные машины и орудия : Обзорная информация ; Вып. 2). – М. : – 1986. – 55 с.

220 Салихова, Н. К. Численное моделирование технологического процесса осадки стальной заготовки / Н. К. Салихова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная математика и механика. – 2014. – № 1. – С. 39-46.

221 Свиридов, Л. Т. Аналитическая оценка рациональной нагрузки на уплотняющий каток желудевой сеялки / Л. Т. Свиридов, В. И. Казаков, И. В. Казаков // Вестник ; Научно-техн. журнал ЦЧР отделения наук о лесе РАЕН. Вып. 2. Воронеж : ВГЛТА. – 1999. – С. 154-164.

222 Свиридов, Л. Т. К обоснованию новой конструкции сеялки для крупноплодных семян / Л. Т. Свиридов, И. В. Казаков // Рацион. использование ресурс. потенциала в агропромышл. комплексе : Тез. докл. Всерос. науч.-техн. конф. – Воронеж. – 1998. – С. 10.

223 Свиридов, Л. Т. К обоснованию схемы и конструкции подвески прикапывающего катка желудевой сеялки / Л. Т. Свиридов, В. И. Казаков, И. В. Казаков // Теория, постановка и результаты агроинж. экс-та ; Сб. науч. тр. – Воронеж : ВГАУ. – 1999. – С. 80-83.

224 Свиридов, Л. Т. Новая конструкция сеялки для крупноплодных семян : тезисы докл. науч. конф. / Л. Т. Свиридов, В. И. Казаков, И. В. Казаков. – Воронеж. – 1998. – С.83-84.

225 Свиридов, Л. Т. О некоторых показателях физико-механических свойств желудей дуба черешчатого / Л. Т. Свиридов, В. И. Казаков, И. В. Казаков // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологических параметров оборудования и систем управления лесного комплекса : Межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж : ВГЛТА. – 1999. – С. 32-34.

226 Свиридов, Л. Т. Технологические и механические свойства лесных семян и плодов / Л. Т. Свиридов. – Воронеж : ВГУ. – 1993. – 140 с.

227 Свиридов, Л. Т. Технологии, машины и оборудование в лесном хозяйстве : учеб. пособие / Л. Т. Свиридов, В. И. Вершинин. – Воронеж. – 2002. – 312 с.

228 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019610705 Российская Федерация. Программа для моделирования заделки семян в почву : № 2018665534 : заявл. 29.12.2018 : опубл. 16.01.2019 / И. В. Казаков, В. В. Посметьев, В. И. Казаков, В. И. Посметьев, В. О. Никонов ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ. – 1 с.

229 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №

20196110706 Российская Федерация. Программа для расчета параметров желоба высевающего аппарата : № 2018665532 : заявл. 29.12.2018 : опубл. 16.01.2019 / И. В. Казаков, М. В. Драпалюк ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ. – 1 с.

230 Свидетельство о государственной регистрации базы данных ЭВМ № 2019620127 Российская Федерация. Технологические свойства дуба черешчатого : № 2019620033 : заявл. 10.01.2019 : опубл. 21.01.2019 / И. В. Казаков, М. В. Драпалюк ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ. – 1 с.

231 Свидетельство о государственной регистрации базы данных ЭВМ № 2019620128 Российская Федерация. Результаты исследования углов трения скольжения желудей дуба черешчатого по стали и дереву : № 2019620034 : заявл. 10.01.2019 : опубл. 21.01.2019 / И. В. Казаков, М. В. Драпалюк ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ. – 1 с.

232 Свидетельство о государственной регистрации базы данных ЭВМ № 2019620142 Российская Федерация. Распределение желудей дуба черешчатого в бороздке в зависимости от конструктивно-технологических параметров сеялки : № 2019620016 : заявл. 10.01.2019 : опубл. 23.01.2019 / И. В. Казаков, М. В. Драпалюк ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ. – 1 с.

233 Свидетельство о государственной регистрации базы данных ЭВМ № 2019620143 Российская Федерация. Результаты компьютерного эксперимента процесса заделки семян почвой загортачами сеялки : № 2019620015 : заявл. 10.01.2019 : опубл. 23.01.2019 / И. В. Казаков, М. В. Драпалюк ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ. – 1 с.

234 Свидетельство о государственной регистрации базы данных ЭВМ № 2019620152 Российская Федерация. Зависимости количества захватываемых желудей дуба черешчатого ячейкой высевающего аппарата сеялки от его конструктивно-технологических параметров : № 2019620004 : заявл. 09.01.2019 : опубл. 24.01.2019 / И. В. Казаков, М. В. Драпалюк ; заявитель ФГБОУ ВО ВГЛТУ. – 1 с.

235 Седов, Л. И. Механика сплошной среды / Л. И. Седов. – М. : Наука. – 1976. – Т. 1. – 536 с., – Т. 2. – 584 с.

236 Сериков, Ю. М. Некоторые физико-механические показатели семян

лесных пород / Ю. М. Сериков, Д. П. Чоковски, Г. М. Пальчиков // Механизация лесохоз. работ в Средней Азии : Тр. СредАзНИИЛХ. – Ташкент : Изд.-во ФАН. – 1970. – Вып. XIII. – С. 155-162.

237 Сериков, Ю. М. Обоснование оптимальных параметров сеялки для работы в горах / Ю. М. Сериков // Механизация лесохоз. работ в Средней Азии : Труды СредАзНИИЛХ. – Ташкент : Изд.-во ФАН, 1970. Вып. XIII. – С.175-206.

238 Сизова, В. К. Новые сеялки зарубежных фирм / В. К. Сизова, Т. В. Хрусталева // ЦНИИТЭНТранссельхозмаш (Сельскохозяй. машины и орудия (зарубежный опыт) : Экспресс-информ. ; Вып. 21). – М. : – 1986. – 5 с.

239 Силаев, Г. В. Техника для системы машин в лесном хозяйстве : учебное пособие / Г. В. Силаев. – М. : МГУЛ. – 2011. – 238 с.

240 Смирнов, Н. А. Выращивание посадочного материала для лесовосстановления / Н. А. Смирнов. – М. : Лесная промышленность. – 1981. – 169 с.

241 Смирнов, Н. А. Новое в технологии выращивания посадочного материала в зарубежных странах / Н. А. Смирнов. – М. : ЦБНТИлесхоз, Вып.2. – 1987. – 37 с.

242 Смирнов, Н. А. Рекомендации по технологии и комплексу машин для выращивания укрупненного посадочного материала ели европейской без перешколивания / Н. А. Смирнов, В. И. Казаков. – Пушкино : ВНИИЛМ. – 1991. – 22 с.

243 Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебное пособие / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М. : Высш. шк. – 1998. – 319 с.

244 Соколов, В. А. Сеялка СЛС-12 (идут испытания) / В. А. Соколов, Р. Д. Джавадов, А. И. Дятликович. – Известия вузов. Лесной журнал. – 1982. – 2 с.

245 Справочник лесничего / В. Д. Новосельцев, С. Г. Синицын, Г. М. Киселев [и др.] // под ред. канд. с.-х. наук В. Д. Новосельцева. – 4-е изд., перераб. – М. : Лесная промышленность. – 1980. – 399 с.

246 Справочник по лесосеменному делу / Н. В. Кречетова, О. Ф. Крестова, Е. Е. Любич [и др.] // под ред. А. И. Новосельцевой. М. : Лесная промышленность. – 1978. – 335 с.

247 Старовойтов, С. И. К определению модуля упругости почвы / С. И. Старовойтов, Н. Н. Чемисов // Вестник МГАУ. – 2011. – № 1. – С. 39-41.

248 Стефанов, Ю. П. Численное моделирование процессов деформации и разрушения в геомеханике / Ю. П. Стефанов // В сборнике : современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы пятой молодежной тектонофизической школы-семинара (г. Москва, 9-12 октября 2017 г.). – 2017. – С. 131-147.

249 Суворов, В. И. Расчетно-технологические карты для выращивания посадочного материала и производства культур хвойных пород на основе промышленных методов на вырубках в лесной зоне СССР / В. И. Суворов, В. В. Чернышев, Н. А. Смирнов // М. : Гослесхоз СССР. – 1987. – 60 с.

250 Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин : учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения / Е. С. Босой, О. В. Верняев, И. И. Смирнов [и др.] // под ред. Е. С. Босого – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение. – 1977 – 568 с.

251 Технология и механизация лесохозяйственных работ: учебник для вузов / И. В. Казаков, Н. Е. Проказин, С. А. Родин [и др.] // под ред. В. И. Казакова. – Москва : изд-во Юрайт, 2022. – 348 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-14465-9.

252 Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М. : Наука. – 1975. – 576 с.

253 Флитман, Л. М. Безотрывное обтекание затупленного тела высокоскоростным упругопластическим потоком / Л. М. Флитман // Прикл. математика и механика. – 1990. – Т. 54. – Вып. 4. – С. 642-651.

254 Фокин, С. В. О средствах для посева сыпучих семян хвойных пород / С. В. Фокин, О. Н. Шпортько. – Воронеж : ВГЛТУ, лесотехнический журнал. – 2015. – № 3 (19). – С.255-263.

255 Хегай, П. А. Разработка и обоснование основных параметров высевающего аппарата точного высева лука-севка / П. А. Хегай, В. А. Соколов. – М. : – 1983. – С. 69-80.

256 Хеерман, Д. В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике / Д. В. Хеерман // перевод с англ. В. Н. Задкова ; под ред. С. А. Ахманова. – М. : Наука. – 1990. – 176 с.

257 Холопов, Ю. В. Физико-механические свойства автоморфных таежных



почв Республики Коми (по данным реологических исследований) / Ю. В. Холопов, Д. Д. Хайдапова, Е. М. Лаптева // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2018. – № 42. – С. 24-53.

258 Цыпук, А. М. Машины и технологии для восстановления леса в условиях интенсивного лесопользования / А. М. Цыпук, А. В. Родионов // Инноватика и экспертиза : научные труды. – 2017. – № 2 (20). – С. 181-190.

259 Честнова В. В. Реологические свойства черноземов типичных курской области взаимосвязь с физическими свойствами и основной гидрофизической характеристикой / автореферат дис. ... кандидата биологических наук / Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. Москва. – 2017. – 16 с.

260 Энциклопедия лесного хозяйства (издание исправленное и дополненное) : в 2-х томах / авторский коллектив : Т. А. Антипенко, Е. Ю. Афонин, Н. А. Бабич, И. В. Казаков [и др.] // Т. 1. – М. : ВНИИЛМ. – 2006. – 424 с. : с илл. ISBN 5-94737-022-0 ; Т. 2. – М. : ВНИИЛМ. – 2006. – 416 с. : с илл. ISBN 5-94737-023-9.

261 Вълчанов, В. Резултати от масов полоки опит със сеялки за точно сеитбатин тип СРС / В. Вълчанов, Т. Савов, Д. Митов // Селскостоп. техн. – 1980. – Т. 17, № 2. – С. 48-54.

262 Gallo, P. Some considerations on the J-integral under elastic-plastic conditions for materials obeying a Ramberg–Osgood law / P. Gallo, F. Berto // Физическая мезомеханика – 2015. – Т. 18. – № 5. – С. 27-34.

263 Hafner J. Atomic-Scale Computation Materials Science // Acta Mater. – 2000. – vol. 48. – P. 71-92.

264 Kaviani, N. K. Seed placement measuring technique for direct drilling machines-anote / N. K. Kaviani, R. N. Gibbs, R. F. Horrell // New Zealand Journal of Experimental Agriculture. – 1985. – vol. 13. – P. 191-194.

265 Kazakov I V, Prokazin N E, Kazakov V I and Martynyuk A A Innovative aspects of cultivation of large spruce seedlings for reforestation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 392 (2019) 012042, 7p. – DOI : 10.1088/1755-1315/392/1/012042.

266 Kazakov I V Rate of sowing Norway spruce seeds: the effect of rotation fre-

quency of the sowing machine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 392 (2019) 012047, 6 p. – DOI : 10.1088/1755-1315/392/1/012047.

267 Zolotarevskaya, D. I. Mathematical modeling of relaxation processes in soils / D. I. Zolotarevskaya // Eurasian Soil Science. 2003. vol. 36. № 4. P. 388-397.

268 Adams M.J. Direct Seeding Black Spruce and Jack Pine: A Field Guide for Northern Ontario / M. J. Adams, A. Groot, G. W. Crook, R. L. Fleming, F. F. Foreman. Marie, Ontario, 2005. – 254p.

269 Arshadi, J. The effects of seed size on germination and early seedling growth of pelleted seeds of sugar beet / J. Arshadi, M. R. Asgharipour // Journal of Applied Sciences Research – 2011. – Vol. 7. – P. 1257-1260.

270 Bergsten, U. Invigoration and IDS-sedimentation of *Pinus sylvestris* seeds from northern Finland // *Silva Fennica*. – 1988. – Vol. 22. – P. 323–327.

271 Copeland, L.O. Principles of Seed Science and Technology / L. O. Copeland, M.B. McDonald – Boston, MA: Springer US, 1999. – 409p.

272 Dumroese, R.K. Sowing sized seed of western white pine in a containerized nursery / R. K. Dumroese, D. L. Wenny // Western Journal of Applied Forestry – 1987. – Vol. 2. – Iss. 4. – P. 128–130.

273 Downie, B. Conifer seed germination is faster after membrane tube invigoration than after prechilling or osmotic priming / B. Downie, U. Bergsten, B. S. P. Wang, J. D. Bewley // Seed Science Research – 1993. – Vol. 3. – Iss. 4. – P. 259-270.

274 Grossnickle, S. C. Fall planting option: a biological perspective to support a successful outcome [Electronic resource] / S. C. Grossnickle, J. E. MacDonald – URL: <https://vimeo.com/445651112>, 2017.

275 Ivetić, V. Initial height and diameter are equally related to survival and growth of hardwood seedlings in first year after field planting / V. Ivetić, J. Devetaković, Z. Maksimović // *Reforesta* – 2016. – Vol. 2. – P. 6–21.

276 Luoranen, J. Field performance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings planted in disc trenched or mounded sites over an extended planting season / J. Luoranen, R. Rikala // *New Forests* – 2013. – Vol. 44. – Iss. 2. – P. 147–162.

277 Matveev, S. Seasonal radial growth dynamics of Scots pine (*Pinus silvestris*

L.) in Voronezh region (Russia) / S. Matveev, D. Tishin, P. Maximchuk, I. Zhuravleva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – 2020. – Vol. 595 – 012044.

278 Nef, D. Costs of tree seed and seedling supply systems - the cost of integrating genetic diversity into forest landscape restoration / D. Nef, C. Kettle, E. Gotor – Rome, Italy: Bioersivity International, 2019.– 42 p.

279 Petäistö, R.-L. Growth phase of bare-root Scots pine seedlings and their susceptibility to *Gremmeniella abietina* / R.-L. Petäistö // *Silva Fennica* – 1999. – Vol. 33. – Iss. 3. – id655.

280 Ruiz-Altisent, M. Sensors for product characterization and quality of specialty crops—A review / M. Ruiz-Altisent, L. Ruiz-Garcia, G. P. Moreda, R. Lu, N. Hernandez- Sanchez, E. C. Correa, B. Diezma, B. Nicolai, J. García-Ramos // *Computers and Electronics in Agriculture* – 2010. – Vol. 74. – Iss. 2. – P. 176–194.

281 Shi, W. Fertilization and irrigation regimes influence on seedling attributes and field performance of *Pinus tabuliformis* Carr / W. Shi, S. C. Grossnickle, G. Li, S. Su, Y. Liu // *Forestry: An International Journal of Forest Research* – 2018. – Vol. 92.– Iss. 1. – P. 97-107.

282 USDA The Woody Plant Seed Manual / USDA // *Agriculture Handbook* – 2008. – Vol. 727 – 1228 p.

283 Wennström, U. Direct seeding of *Pinus sylvestris* (L.) in the boreal forest using orchard or stand seed: Doctoral Thesis / U. Wennström – 2001. – 204 p.

284 Wu, C.-F. Experiments : planning, analysis, and optimization / C.-F. Wu, M. Hamada – Wiley, 2009.– 716 p.

285 Hoover W.G. Atomistic Nonequilibrium Computer Simulations // *Physica A.* – 1983. – Vol. 118. – P. 111–122.

286 Monaghan J. Smoothed Particle Hydrodynamics // *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1992. – Vol 30. – P. 543–574.

287 Allen M.P., Tildesley D.J. *Computer Simulation of Liquids.* – Oxford: Clarendon Press, 1987. – 408 p.

Приложение А  
(обязательное)

Гистограммы экспериментальных данных технологических свойств  
дуба черешчатого

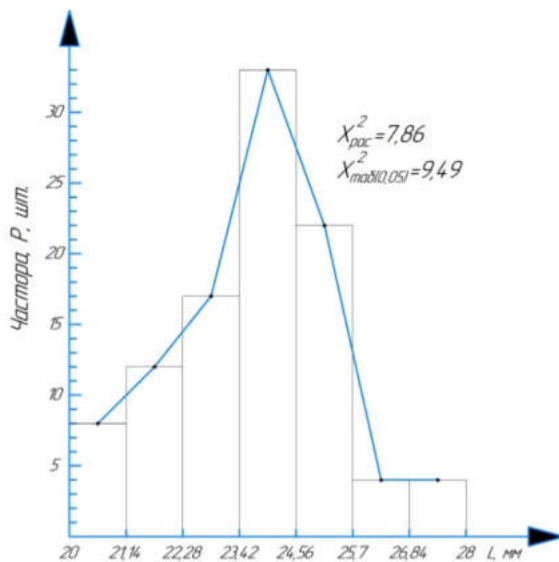


Рисунок А.1 – Гистограмма и кривая распределения длин желудей дуба черешчатого Яблоченского лесничества Новоусманского лесхоза

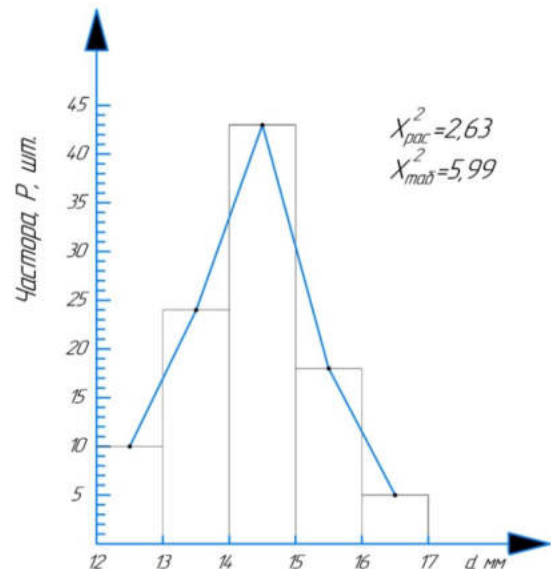


Рисунок А.2 – Гистограмма и кривая распределения максимального диаметра желудей дуба черешчатого Яблоченского лесничества Новоусманского лесхоза

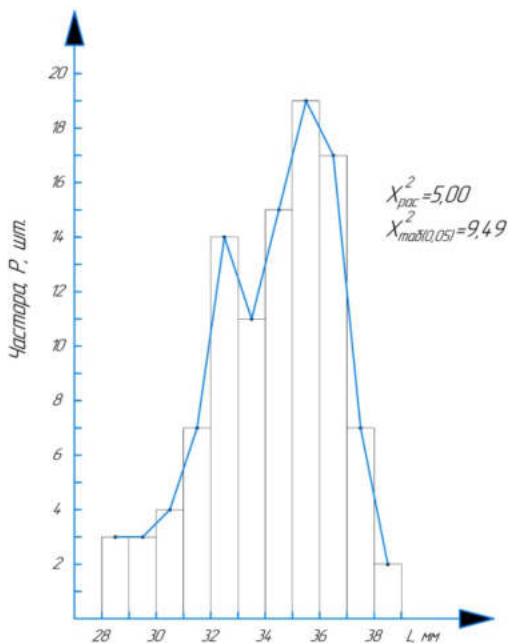


Рисунок А.3 – Гистограмма и кривая распределения длин желудей дуба черешчатого Правобережного лесничества Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ

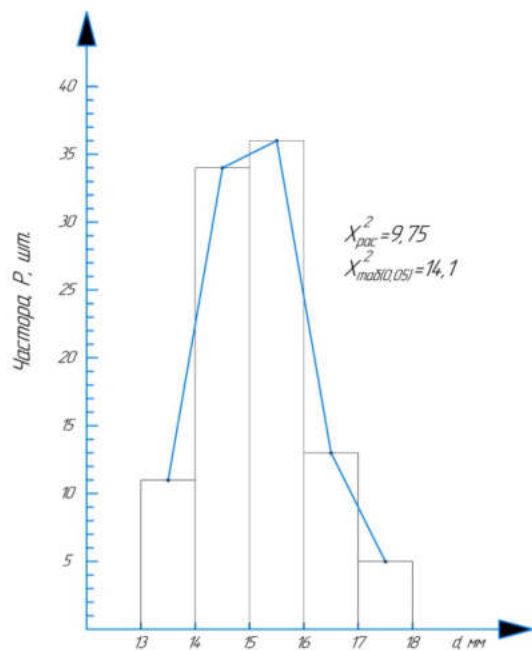


Рисунок А.4 – Гистограмма и кривая распределения максимального диаметра желудей дуба черешчатого Правобережного лесничества Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ

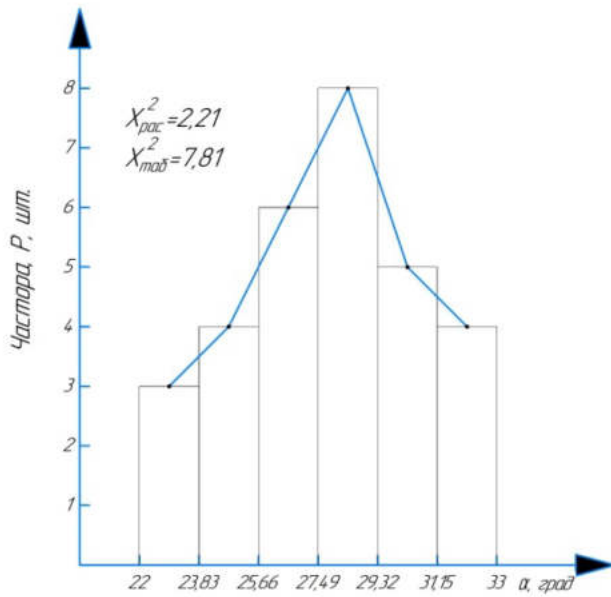


Рисунок А.5 – Гистограмма и кривая распределения угла естественного откоса желудей дуба черешчатого Правобережного лесничества Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ

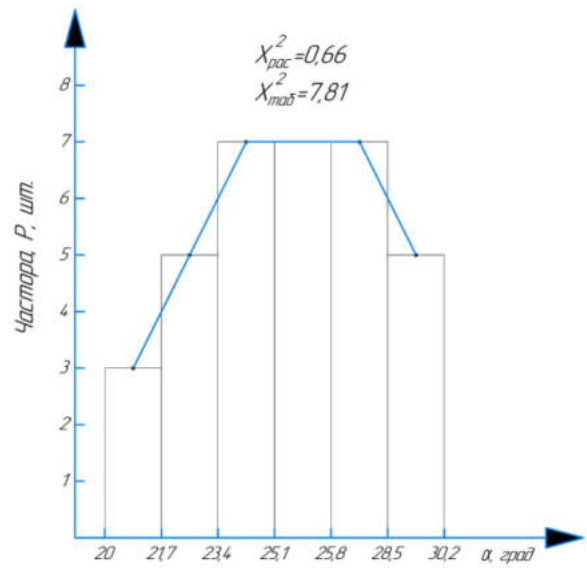


Рисунок А.6 – Гистограмма и кривая распределения угла естественного откоса желудей дуба черешчатого Яблоченского лесничества Новоусманского лесхоза

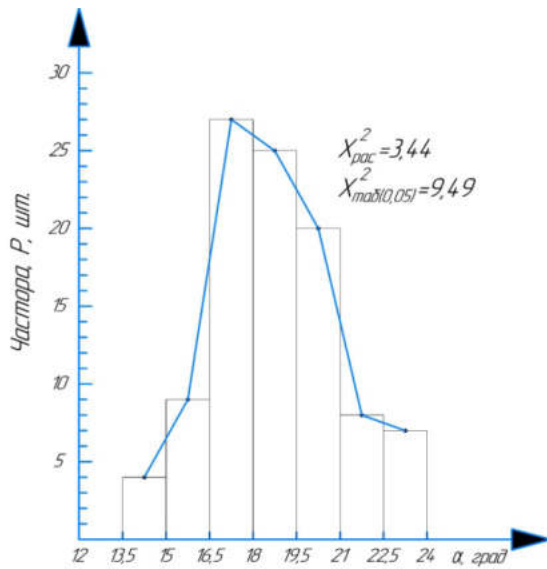


Рисунок А.7 – Гистограмма и кривая распределения угла трения скольжения по дереву желудей дуба черешчатого Яблоченского лесничества Новоусманского лесхоза

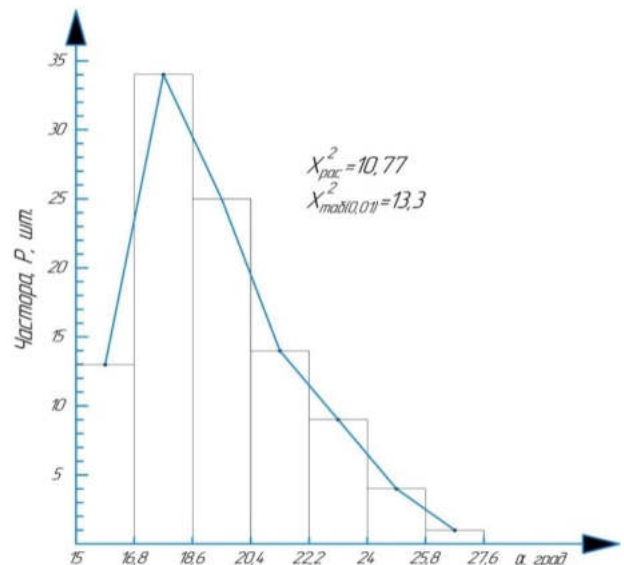


Рисунок А.8 – Гистограмма и кривая распределения угла трения скольжения по дереву желудей дуба черешчатого Правобережного лесничества Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ

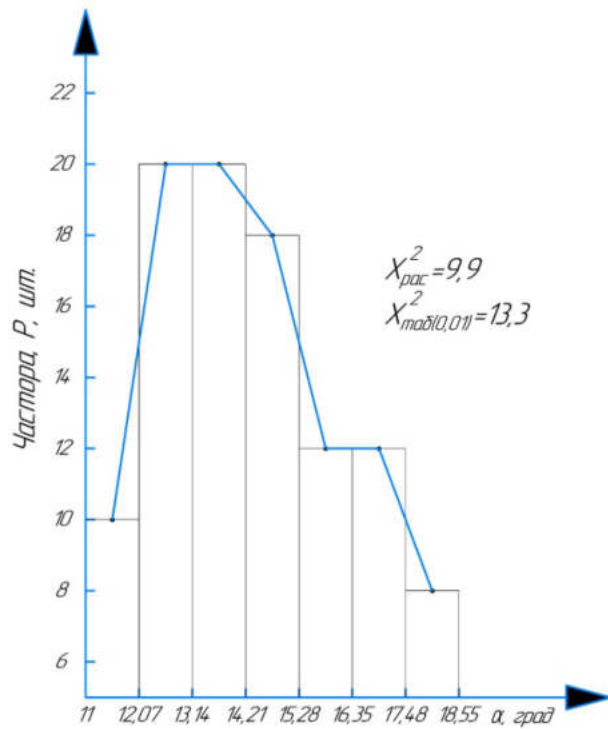


Рисунок А.9 – Гистограмма и кривая распределения угла трения скольжения по стали желудей дуба черешчатого Яблоченского лесничества Новоусманского лесхоза

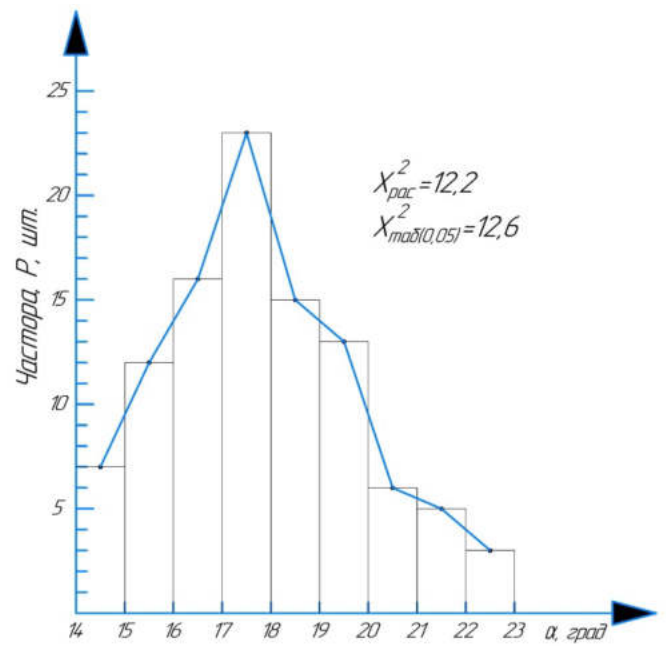


Рисунок А.10 – Гистограмма и кривая распределения угла трения скольжения по стали желудей дуба черешчатого Правобережного лесничества Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ

Приложение Б  
(обязательное)

Экспериментальные данные распределения желудей дуба  
черешчатого в бороздке

Таблица Б.1

№ п/п	Поступательная скорость агрегата $V_T$ , м/с	Скорость движения высевающего аппарата $V_{ц}$ , м/с	Глубина ячейки высевающего аппарата $h$ , мм	Среднее расстояние между желудями в бороздке $L$ , см	Среднее количество желудей в бороздке $N$ , шт./пог.м
1	0,278	0,122	5	7,57	13,2
2	0,278	0,122	10	6,53	15,3
3	0,278	0,122	15	6,06	16,5
4	0,278	0,185	5	6,45	15,5
5	0,278	0,185	10	5,40	18,5
6	0,278	0,185	15	4,80	20,8
7	0,278	0,246	5	5,15	19,4
8	0,278	0,246	10	4,09	24,4
9	0,278	0,246	15	3,63	27,5
10	0,416	0,183	5	9,80	10,2
11	0,416	0,183	10	6,66	15,0
12	0,416	0,183	15	6,17	16,2
13	0,416	0,276	5	6,99	14,3
14	0,416	0,276	10	5,49	18,2
15	0,416	0,276	15	4,87	20,5
16	0,416	0,367	5	5,81	17,2
17	0,416	0,367	10	4,34	23,0
18	0,416	0,367	15	3,87	25,8
19	0,555	0,245	5	11,49	8,7
20	0,555	0,245	10	6,80	14,7
21	0,555	0,245	15	6,28	15,9
22	0,555	0,366	5	7,09	14,1
23	0,555	0,366	10	5,58	17,9
24	0,555	0,366	15	4,97	20,1
25	0,555	0,488	5	6,62	15,1
26	0,555	0,488	10	4,60	21,7
27	0,555	0,488	15	4,13	24,2

**Приложение В**  
**(обязательное)**

**Выписки из протоколов приемочных, государственных испытаний комплекса машин и орудий для выращивания посадочного материала**

**Выписка**

из протокола № 4 приемочных, государственных испытаний  
сеялки крупноплодных семян СКБ-3-5  
(ФГУ «Центрлес», п. Софрино)

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Приемочные испытания сеялки СКБ-3-5 проводились в лесопитомнике Высокковского лесничества Тульского мехлесхоза. В процессе испытаний проводился пятистрочный посев желудей дуба черешчатого. Объем выполненных работ за период испытаний составил 2,08 га (по плану 2,0 га).

В результате получены следующие основные показатели.

**1. Технические**

Агрегатирование	МТЗ-82
Тип сеялки	навесная
Обслуживающий персонал, чел	один
Привод высевающих аппаратов	от опорно-приводных колес
Габаритные размеры, мм:	
- длина	1600
- ширина	1690
- высота	1150
Дорожный просвет, мм	355
Ширина колеи, м	1,5
Емкость бункера, дм <sup>3</sup>	102
Общая масса, кг	470
Ширина сошника, мм	80
Схема посева	пятистрочная

**2. Лесотехнические**

Глубина хода сошника, см	9,5
Ширина посевной строчки, см	9,3
Высевающая способность сеялки, г/пог.м	33,3-156,8
Глубина заделки семян, см	4,2±0,8
Количество не заделанных семян, %	2,0
Неравномерность высева между аппаратами, %	6,1
Неустойчивость общего высева, %	2,7
Дробление семян, %	0,1
Разброс семян, %	1,1



## 3. Эксплуатационно-технологические

Производительность в час, га:	
- основного времени	0,19
- сменного времени	0,13
Эксплуатационно-технологические коэффициенты:	
- технологического обслуживания	0,87
- надежности технологического процесса	1,0
- использования сменного времени	0,68
- использования эксплуатационного времени	0,67

## 4. Надежность

1. Нарботка на 1 отказ, ч	10,62
2. Коэффициент готовности	0,98
3. Коэффициент технического использования	0,97

## Недостатки, выявленные в процессе испытаний

1. недостаточная жесткость стенок бункера в местах крепления натяжных роликов приводных цепей.

Сеялка СКБ-3-5 удовлетворительно производит посев желудей дуба черешчатого, надежна в работе, отвечает требованиям безопасности труда, соответствует показателям технического задания и может использоваться в лесных питомниках при выращивании посадочного материала.

Исполнитель Ю.Н. Киктев

## ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

По результатам приемочных лесная МИС рекомендует сеялку для крупноплодных семян СКБ-3-5 к постановке на производство.

21.09.2021 г.

С оригиналом верно:

Заместитель директора по научной работе

ФБУ ВНИИЛМ




Родин С.А.

## Выписка

Из протокола № 8 приемочных, государственных, испытаний сеялки лесной модернизированной СЛН-5А (ФГУ «Центрлес», п. Софрино)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приемочные испытания сеялки лесной навесной модернизированной СЛН-5А проводились в Сергиево-Посадском лесхозе Московской области.

В процессе испытаний сеялка работала в агрегате с трактором МТЗ-82.

Объем выполненных работ за весь период испытаний составил 30 часов сменного времени (7,2 га).

Сравнительные данные испытаний сеялок приведены в таблице.

Наименование показателей	Значение показателей	
	СЛН-5А	СЛН-5-9
Конструкционные		
Тип	навесной	
Агрегатирование	МТЗ-82	МТЗ-82; Т-40
Рабочая ширина захвата, м	1,2	1,23
Количество высевальных аппаратов	9	9
Емкость бункера, дм <sup>3</sup>	58	58
Привод высевальных аппаратов	Цепной от бороздообразователя	
Габаритные размеры, мм:		
- длина	1830	1880
- ширина	1460	1420
- высота	890	925
Масса, кг	375	305
Обслуживающий персонал, чел	1	1
Лесотехнические		
Высевающая способность сеялки, г/пог.м	0,4-0,6	0,2-6,9
Неравномерность высева между аппаратами, %	1,7	3,1-3,4
Повреждение семян, %	нет	нет
Ширина захвата сеялки, м	1,2	1,2
Глубина заделки семян, см	0,5-1,5	0,2-1,5
Не заделано семян, %	15,6	18,5
Распределение семян по длине строчки	равномерно	
Эксплуатационно-технологические		
Рабочая скорость, км/ч	3,9	3,15
Производительность за 1 час времени, га:		
- основного	0,63	0,79
- сменного	0,24	0,37
- эксплуатационного	0,24	0,37
Коэффициент надежности технологического процесса	1,0	1,0
Надежности		
Число отказов	нет	2
Коэффициент готовности	1,0	0,56

Основными недостатками, выявленными в процессе испытаний сеялки СЛН-5А, являются нарушения общих требований безопасности труда:

- отсутствие специфических символов и надписей по технике безопасности;

В процессе испытаний проведены следующие виды оценок: техническая экспертиза, стендовые испытания, хозяйственные испытания, проверка на соответствие общим требованиям безопасности, оценка надежности, фотосъемка, лесотехническая оценка, эксплуатационно-технологическая оценка.

- отсутствие мест строповки на узлах и деталях массой более 15 кг;

- отсутствие чистика для очистки рабочих органов и места его фиксации на машине.

Преимуществами сеялки СЛН-5А по сравнению с СЛН-5-9 являются:

- установка цепного редуктора, позволяющего быстро менять передаточные отношения и, следовательно, норму высева семян;

- применение современных литых штифтовых высевающих аппаратов из полимерного материала, не подвергающегося коррозии.

По результатам проведенных испытаний ФГУ «Центрлес» считает целесообразным использование сеялки СЛН-5А в лесном хозяйстве.

## ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

По результатам приемочных испытаний ФГУ «Центрлес» рекомендует сеялку лесную навесную модернизированную СЛН-5А к постановке на производство.

10.09.2021 г.

С оригиналом верно:

Заместитель директора по научной работе

ФБУ ВНИИЛМ



Родин С.А.



## Выписка

из протокола № 14 приемочных, государственных испытаний культиватора комбинированного для питомников модернизированного ККП-1,5А (Лесная машиноиспытательная станция, п. Софрино)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приемочные испытания культиватора комбинированного для питомников модернизированного ККП-1,5 А проводились на территории Сергиево-Посадского базисного питомника.

В процессе испытаний культиватор использовался на имитации обработки почвы в междурядьях. Объем выполненных работ составил 2,2 га (по плану 2,0 га).

По результатам испытаний получены следующие показатели:

Наименование показателей	Значение показателей
Тип	навесной
Агрегатирование	Т-16М
Габаритные размеры, мм:	
- длина	1600
- ширина	1740
- высота	990
Масса, кг	211
Ширина захвата, м	1,7
Глубина рыхления почвы, см	до 10
Рабочая скорость, км/ч	1,1
Степень уничтожения сорняков в зоне обработки, %	75,5-100
Повреждения сеянцев (саженцев), %	до 3,6
Производительность за 1 час времени, га:	
- основного	0,21
- сменного	0,14
Удельный расход топлива, кг/га	18,1
Коэффициент надежности технологического процесса	1,0
Коэффициент использования сменного времени	0,69
Коэффициент готовности	0,99

## Недостатки

Нижние тяги (талрепы) параллелограмных подвесок не фиксируются в заданном положении. Гидрошланги не фиксируются кронштейнами. Низкое

качество изготовления кронштейнов для крепления рабочих органов и игольчатых рыхлителей.

#### Достоинства

Возможность использовать различные рабочие органы (долотообразные зубья, узкозахватные стрелчатые лапы, игольчатые рыхлители) в зависимости от необходимости проведения нужного ухода.

По результатам испытаний целесообразно использовать ККП-1,5А для обработки почвы в лесных питомниках.

#### ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

По результатам приемочных испытаний лесная МИС рекомендует культиватор комбинированный для питомников модернизированный ККП-1,5 А к постановке на производство.

13.09.2021 г.

С оригиналом верно:

Заместитель директора по научной работе  
ФБУ ВНИИЛМ



Родин С.А.

## Выписка

из протокола № 4 приемочных, государственных испытаний  
машины выкопчной модернизированной МВ- 1,3А  
(Лесная машиноиспытательная станция, п. Софрино)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приемочные испытания машины выкопчной модернизированной МВ-1,3А проводились на территории Сергиево-Посадского базисного питомника. Объем выполненных работ за период испытаний составил 2,8 га (по плану 2,0 га).

## Основные показатели назначения

Показатели	Значения
Габаритные размеры, мм:	
- длина	820
- ширина	1820
- высота	1275
Масса, кг	510
Ширина захвата, м:	
- по ножу	1,27
- по боковинам рамы	1,33
Ширина подкапываемой полосы, м	1,1
Глубина подкопки, см	10-30
Дорожный просвет, мм	310
Рабочая скорость агрегата, км/ч	2,6-3,3
Производительность за час основного времени, га	0,33
Количество обслуживающего персонала, чел	1
Коэффициент готовности	0,94

## Основные недостатки

- масса машины превышает допустимое по ТЗ значение на 85 кг;
- высота изделия превышает допустимое по ТЗ значение на 175 мм;
- дорожный просвет составляет 310 мм (по ТЗ – не менее 400 мм);
- неудовлетворительное качество сварных швов;
- ширина подкапываемой полосы составила 1,1 м (по ТЗ –  $1,3 \pm 0,1$  м);



- уровень звука и уровни звукового давления на рабочем месте тракториста при работе превышают допустимые по ГОСТ 12.1.003-83 значения.

Полученные в результате приемочных испытаний показатели приведены в соответствующих разделах протокола и в основном соответствуют требованиям нормативно-технической документации, за исключением вышеуказанных недостатков.

Машина МВ-1,3А обеспечивает выполнение технологического процесса и может эксплуатироваться по назначению.

Исполнитель                      В.А. Степанов

### ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

По результатам приемочных испытаний опытного образца машины выкопчной модернизированной МВ-1,3А лесная МИС рекомендует к постановке на производство.

09.09.2021 г.

С оригиналом верно:  
Заместитель директора по научной работе  
ФБУ ВНИИЛМ



Родин С.А.

Приложение Г  
(обязательное)

Акты внедрения результатов научно-исследовательской работы  
докторанта Казакова И.В. в практическую деятельность

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник Шолоховского межрай-  
онного отдела Министерства при-  
родных ресурсов и экологии  
Ростовской области  
П.И.Никулин



20 21 г.

**АКТ**

**о внедрении результатов научно-исследовательской работы,  
выполненной докторантом Казаковым И.В.**

В Пигаревском питомнике ГАО РО «Лес» Министерства природных ресурсов и экологии Ростовской области (Шолоховское лесничество), внедрены результаты научно-исследовательской работы докторанта Казакова И.В. на тему «Обоснование параметров комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов».

Для обработки почвы, посева, ухода и выкопки посадочного материала применялся разработанный Казаковым И.В. комплекс новых и усовершенствованных машин и орудий: сеялка для крупноплодных семян СКБ-3-5, сеялка лесная навесная модернизированная СЛН-5А, модернизированный культиватор комбинированный для питомников ККП-1,5А и машина выкопочно-модернизированная МВ-1,5А.

В результате применения комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий увеличился выход стандартного посадочного материала с единицы площади, уменьшились затраты труда и средств на выращивание посадочного материала в питомнике, производительность труда увеличилась не менее чем на 15 %.

Разработанный комплекс машин и орудий для механизации работ в лесных питомниках целесообразно шире внедрять в степной зоне.

Заведующий лесным питомником

 Жуков А.Г.



**«УТВЕРЖДАЮ»**  
 ГАУ МО «ЦЕНТРЛЕСХОЗ»  
 И.о. директора  
 МУО-Сергиево-Посадского филиала,  
 Сергиево-Посадского лесного  
 питомника.



Панарин В.И.

« 10 » 12 2021 г.

### АКТ

#### о внедрении результатов научно-исследовательской работы, выполненные докторантом Казаковым И.В.

В Сергиево-Посадском лесном питомнике (кв. 44 выд.3 и кв.45 выд.29,30) Сергиево-Посадского филиала ГАУ МО «Центрлесхоз» проводилось внедрение технологии выращивания укрупненных семян ели без перешколивания на базе новых средств механизации (сеялки лесной навесной СЛН-5А, культиватора комбинированного для питомников ККП-1,5А и машины выкопчной МВ-1,5А), разработанных под руководством Казакова И. В. в процессе выполнения научно-исследовательской работы на тему «Обоснование параметров комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов»

Внедрение результатов исследований показало, что разработанная технология выращивания четырехлетних укрупненных семян ели в посевном отделении питомника без перешколивания с применением комплекса новых машин позволило вырастить четырехлетние сеянцы ели, равноценные пятилетним (2+3) саженцам ели, выращенным в школьном отделении питомника. Применение новых машин для механизации работ в лесных питомниках улучшило качественные показатели технологических операций и посадочного материала, при существенном снижении затрат труда и средств.

В качестве замечаний и предложений по дальнейшей работе следует отметить целесообразность разработки выкопчной машины, обеспечивающей выкопку посадочного материала с одновременной его выборкой и укладкой в ящики для транспортировки на лесокультурную площадь.

И.о. директора МУО-С-П филиала  
 Инженер питомника МУО-С-П филиала  
 Тракторист питомнического отдела

Панарин В.И.  
 Новикова А.В.  
 Хитров К.В.

М.п.





«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ГБУ «Камского лесхоза»  
Мугминов Ф.Ф.

«12» октября 2021 г.

### АКТ

#### о внедрении результатов научно-исследовательской работы, выполненные докторантом Казаковым И.В.

В питомнике ГБУ «Камского лесхоза» Республики Татарстан проводилось внедрение технологии выращивания укрупненных семян ели на базе новых и усовершенствованных средств механизации, разработанных под непосредственным участием Казакова И.В. в процессе выполнения научно-исследовательской работы на тему «Обоснование параметров комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов».

В лесничестве внедрены следующие машины, разработанные Казаковым И.В.: сеялка крупноплодных бесприводная СКБ-3-5, сеялка лесная навесная СЛН-5А и машина выкопчная МВ-1,5А.

Внедрение комплекса новых и усовершенствованных средств механизации для обработки почвы, посева, ухода и выкопки посадочного материала позволило повысить уровень механизации работ в питомнике и улучшить качественные показатели выполнения технологических операций.

Технология выращивания семян хвойных пород, при равномерно-разреженном распределении семян в посевной строчке, обеспечивает наиболее благоприятные условия для роста и развития растений и повышает выход стандартного посадочного материала с единицы площади.

Заведующий лесным питомником

Бочков Ю.А.

Мастер питомника

Шакирзянов Р.Н.





### АКТ

о внедрении технологии выращивания укрупненного посадочного материала хвойных пород без перешколивания на базе новых машин и оборудования

Мы, нижеподписавшиеся, Ломанов В.С. – мастер питомника, Шолин В.А. – мастер леса, Логвинов В.В. – механик, составили настоящий акт о том, что в течение последних лет в питомнике ИП «Шолин» проводились опытно-производственные работы по внедрению прогрессивной технологии выращивания укрупненного посадочного материала ели на базе новых средств механизации, разработанных заведующим отделом механизации и стандартизации ФБУ ВНИИЛМ Казаковым И. В.

Внедрение перспективной технологии выращивания укрупненного посадочного материала ели с применением комплекса новых машин, включающего выравнитель-грядоделатель ВГ-3,6, машину ротационную бесприводную МРБ-1,6, сеялку лесную навесную СЛН-5А и культиватор комбинированный для питомников ККП-1,5А позволило полностью механизировать весь цикл работ по производству посадочного материала и в 1,5 раза снизить затраты труда и средств, а также получить в посевном отделении укрупненные сеянцы ели, равноценные саженцам, выращенным в школьном отделении питомника. Выращенные укрупненные сеянцы ели благодаря компактной и развитой корневой системе более пригодны для механизированной посадки и лучше приживаются на лесокультурной площади. За последние годы в питомнике ИП «Шолин» по новой технологии производства укрупненного посадочного материала ели ежегодно производится посев на площади 2 га. выращено около 5 млн. шт. укрупненных сеянцев ели. Затраты средств на выращивание 1000 шт. растений снизились на 40-50%.

Ломанов В.С. \_\_\_\_\_

Шолин В.А. \_\_\_\_\_

Логвинов В.В. \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер  
ОАО «ЦОКБлесхозмаш»

Беглова Г.Н.

2011 г.

## Акт

о внедрении результатов исследований, выполненных  
докторантом Казаковым И.В.

В ОАО «ЦОКБлесхозмаш» в процессе проектирования, разработки и организации производства машин и оборудования для механизации работ в лесных питомниках были использованы результаты экспериментальных и теоретических исследований, проведенные докторантом Казаковым И.В., на основании которых был создан комплекс новых машин: сеялки бесприводная для крупноплодных семян СКБ-3-5, сеялки лесная навесная модернизированная СЛН-5/9А (СЛН-5А), культиватор комбинированный для питомников модернизированный ККП-1,5А и машина выкопчная модернизированная МВ-1,3А. Эти средства механизации для выращивания посадочного материала в лесных питомниках успешно прошли опытно-производственную проверку и приемочные испытания, по результатам которых были рекомендованы к постановке на серийное производство.

Докторант Казаков И.В. принимал непосредственное участие в процессе проведения работ по созданию, испытанию и совершенствованию этого комплекса машин. В ОАО «ЦОКБлесхозмаш» было изготовлено и внедрено на предприятиях лесного хозяйства: сеялок СКБ-3-5 – 20 шт., сеялок СЛН-5/9А (СЛН-5А) – 50 шт., культиваторов ККП-1,5А – 80 шт. и машин МВ-1,3А – 50 шт. на сумму около 30 млн. руб. (в ценах 2010 года). Внедрение этого комплекса машин позволило повысить производительность работ в лесных питомниках на 40-50 %, освоить новые прогрессивные технологии выращивания посадочного материала для лесовосстановления и лесоразведения при существенном улучшении его качества.

Главный конструктор  
ОАО «ЦОКБлесхозмаш»

Блинов Е.К.

Заместитель директора по производству  
ОАО «ЦОКБлесхозмаш»

Гилерович Ю.Р.





### АКТ о внедрении законченной научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представитель Воронежского государственного лесотехнического университета в лице научного консультанта, доктора технических наук, профессора кафедры машиностроительных технологий «ВГЛТУ» Посметьева В.И., ответственного исполнителя в лице кандидата технических наук Казакова И.В. и представителя УОЛ «ВГЛТУ» в лице директора Литовченко П.В. составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы на тему «Обоснование параметров комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов» использованы при выращивании посадочного материала в лесных питомниках УОЛ ВГЛТУ, путем использования разработанных при участии исполнителя сеялки для крупноплодных семян СКБ-3-5, внедренных в серийное производство модернизированной сеялки для мелких семян хвойных пород СЛН-5/9А, модернизированного культиватора для питомников ККП-1,5А и модернизированной машины выкопчной МВ-1,3А.

Внедрение результатов исследования в виде комплекса машин и орудий для питомников дало возможность предприятию получить ориентировочно следующий технико-экономический эффект:

- сеялка СКБ-3-5 обеспечивает стабильную работоспособность ячеисто-транспортного высевающего аппарата в пределах 0,11-0,12 м/с, глубины ячейки 5 мм и поступательной скорости движения агрегата в пределах 0,26-0,29 м/с;

- сеялка СЛН-5/9А по сравнению с предыдущей моделью (СЛН-5/9) допускает меньшую неравномерность высева между аппаратами (1,7 против 3,3 %), допускает меньшее количество не заделанных семян (15,6 против 18,5 %) и более высокую рабочую скорость (3,8 против 3,15 км/ч);

- культиватор ККП-1,5А по сравнению с предыдущей моделью (ККП-1,5) обеспечивает более качественный уход за посадочным материалом за счет более стабильной глубины обработки, полного подрезания сорной растительности и исключения сгуживания почвы с растительными остатками;

- машина выкопчная МВ-1,3А по сравнению с предыдущей моделью (МВ-1,3) обладает повышенной надежностью за счет усиления рабочих органов, в результате чего отказов машины не было;

- суммарный годовой экономический эффект от использования одного комплекса машин и орудий для питомников, разработанных при непосредственном участии ответственного исполнителя Казакова И.В., составил ориентировочно 766 тыс. р.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению комплекса машин и орудий для лесных питомников: по сеялке СКБ-3-5 – целесообразно повысить жесткость бункера и внедрить сеялку в серийное производство; по сеялке СЛН-5/9А – необходимо повысить качество изготовления деталей высевающего аппарата; по культиватору ККП-1,5А – предусмотреть более надежную фиксацию в заданном положении нижних тяг параллелограммных подвесок; по машине выкопчной МВ-1,3А – необходимо повысить качество сварных швов.

Научный консультант, доктор технических наук,  
профессор кафедры машиностроительных  
технологий «ВГЛТУ»

Ответственный исполнитель, кандидат  
технических наук

 В.И. Посметьев

 И.В. Казаков

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Устюженского лесхоза –  
филиала САУ лесного хозяйства  
Вологодской области  
«Вологдалесхоз»



Богодаева Е.А.

12 20 21 г.

### АКТ

#### о внедрении результатов научно-исследовательской работы, выполненной докторантом Казаковым И.В.

В Устюженском питомнике Устюженского лесничества, внедрены результаты научно-исследовательской работы докторанта Казакова И.В. на тему «Обоснование параметров комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов».

Для посева семян сосны обыкновенной применялась разработанная Казаковым И.В. следующая машина: сеялка лесная навесная модернизированная СЛН-5А.

В результате применения данной сеялки уменьшились затраты труда на выращивание посадочного материала в питомнике, а также возросла производительность труда. Полученные агротехнические показатели полностью соответствуют лесотехническим требованиям, а также отмечена достаточная надежность сеялки при эксплуатации.

Инженер по лесовосстановлению

*Зайчикова*

Зайчикова Е.Н.



Приложение Д  
(обязательное)

Справка об использовании материалов научных исследований  
докторанта Казакова И.В.



**СПРАВКА**  
**об использовании материалов научных исследований**  
**докторанта Казакова И.В.**

В ОАО «ЦОКБлесхозмаш» реализованы теоретические и экспериментальные разработки докторанта Казакова И.В., отраженные в следующих его трудах:

**Патенты**

1. Патент № 2118076 Российская Федерация, МКИ А01С 7/00, А01С 7/16. Сеялка для высева крупноплодных семян ; № 97106866/13 ; заявл. 24.04.97 ; опубл. 27.08.98 / Казаков В. И., Свиридов Л. Т., Дегтев В. Т., Березин А. С., Казаков И. В. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 4 с. : ил.
2. Патент на полезную модель № 61982 Российская Федерация, МКИ А01С 11/04. Выкопная машина для лесных питомников ; № 2006145727/22 ; заявл. 25.12.2006 ; опубл. 27.03.2007 / Казаков В. И., Родин С. А., Дегтев В. Т., Казаков И. В., Лобанова Е. Н. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 2 с. : ил.
3. Патент на полезную модель № 62767 Российская Федерация, МКИ А01С 7/00. Сеялка для лесных питомников ; № 2006145730/22 ; заявл. 25.12.2006 ; опубл. 10.05.2007 / Казаков В. И., Родин С. А., Дегтев В. Т., Казаков И. В., Лобанова Е. Н. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 3 с. : ил.
4. Патент на полезную модель № 61976 Российская Федерация, МКИ А01В 13/02. Выравниватель – грядоделатель для лесных питомников ; № 2006145726/22 ; заявл. 26.12.2006 ; опубл. 27.03.2007 / Казаков В. И., Родин С. А., Дегтев В. Т., Казаков И. В., Лобанова Е. Н. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 4 с. : ил.
5. Патент на полезную модель № 61979 Российская Федерация, МКИ А01В 49/02, А01В 49/04. Машина для обработки почвы в лесных питомниках ; № 2006145728/22 ; заявл. 25.12.2006 ; опубл. 27.03.2007 / Казаков В. И., Родин С. А., Дегтев В. Т., Казаков И. В., Лобанова Е. Н. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 3 с. : ил.
6. Патент на полезную модель № 62491 Российская Федерация, МКИ А01С 3/06. Мульчирователь для лесных питомников ; № 2006145729/22 ; заявл. 25.12.2006 ; опубл. 27.04.2007 / Казаков В. И., Родин С. А., Дегтев В. Т., Казаков И. В., Лобанова Е. Н. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 2 с. : ил.
7. Патент № 2323562 Российская Федерация, МКИ А01С 11/00, А01G 23/00. Лесопосадочная машина для вырубков ; № 2323562 ; заявл. 17.07.2006 ; опубл. 10.05.2008 / Казаков В. И., Родин С. А., Галанов В. Н., Суворов В. И., Казаков И. В. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 4 с. : ил.

8. Патент № 2349078 Российская Федерация, МПК А01G 23/04. Машина для выкапывания древесных и кустарниковых растений ; № 2006138313/12 ; заявл. 30.10.2006 ; опубл. 20.03.2009 / Федюнин Г. И., Галанов В. Н., Бартенев И. М., Казаков И. В. ; заявитель ФБУ ВНИИЛМ – 2 с. : ил.

#### Книги, статьи

9. Пошарников, Ф. В. Перспективные технологии выращивания лесопосадочного материала : моногр. / Ф. В. Пошарников, И. В. Казаков ; Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2007. – 290 с. – ISBN 978-5-7994-0259-4.

10. Казаков, И. В. Машины и оборудование для лесных питомников : пособие для специалистов лесного хозяйства / И. В. Казаков // ВНИИЛМ. – Пушкино, 2004. – 60 с.

11. Казаков, И. В. Сеялка для посева крупноплодных семян в питомниках / И. В. Казаков, А. С. Березин, Ю. Н. Киктев // Лесн. хоз-во. – 1999. – № 3. – С. 43-44.

12. Казаков, И. В. Влияние параметров прикатывающего катка на степень уплотнения почвы // Лесохоз. информ. – 2003. – №11. – С. 31-32.

13. Казаков, В. И. Сеялка для высева мелких семян хвойных пород СЛН-5/9А / В. И. Казаков, И. В. Казаков // Лесн. хоз-во. – 2005. – № 1. – С. 44-45.

14. Казаков, И. В. Машина ротационная бесприводная МРБ-1,6 // Лесн. хоз-во. – 2006. – № 1. – С. 41.

15. Казаков, И. В. Машина выкопчная модернизированная МВ-1,3А // Лесн. хоз-во. – 2006. – № 5. – С. 47-48.

16. Казаков, И. В. Оборудование для сортировки посадочного материала хвойных пород ОС-1 // Лесн. хоз-во. – 2007. – № 2. – С. 47-48.

Главный конструктор  
ОАО «ЦОКБлесхозмаш»



Блинов Е.К.

Заместитель директора по производству  
ОАО «ЦОКБлесхозмаш»



Гилерович Ю.Р.



Приложение Е  
(обязательное)

Акты внедрения результатов научно-исследовательской работы  
докторанта Казакова И.В. в учебный процесс



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

К.Г. Тарасов

«*Тарасов*» 2021

внедрения в учебный процесс на кафедре «Технологии и организации лесного комплекса» ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» результатов научно-исследовательской работы докторанта ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова» Казакова Игоря Владимировича на тему «Обоснование параметров комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов»

Основные результаты научно-исследовательской работы Казакова И. В., отраженные в следующих работах: монографии – «Перспективные технологии выращивания лесопосадочного материала», учебниках – «Технология и механизация лесохозяйственных работ: учебник для среднего профессионального образования» и «Механизация лесного и лесопаркового хозяйства: учебник для вузов», используются по направлениям подготовки бакалавриата 35.03.01 «Лесное дело», 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» и магистратуры 35.04.01 «Рациональное лесопользование и ландшафтное планирование» по следующим дисциплинам: «Интенсивное лесопользование», «Ландшафтное проектирование», «Лесная рекультивация нарушенных земель в Северном регионе», «Машины и механизмы в лесном и лесопарковом хозяйстве», «Механизация лесохозяйственных работ», «Технология и оборудование лесопромышленного производства».

Директор Института лесных, горных и  
строительных наук

В. М. Костюкевич

Заведующий кафедрой ТОЛК

О. Н. Галактионов

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель директора по учебной  
работе Мытищинского филиала  
ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана  
доктор технических наук

Макуев В.А.

13 декабря 2021 г.

## АКТ

внедрения в учебный процесс на кафедре «Лесные культуры, селекция и дендрология» Мытищинского филиала ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана результатов научно-исследовательской работы докторанта ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова» Казакова Игоря Владимировича на тему «Обоснование параметров комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов»



Основные результаты научно-исследовательской работы Казакова И.В., отраженные в следующих работах: монографии – «Перспективные технологии выращивания лесопосадочного материала», учебниках – «Технология и механизация лесохозяйственных работ: учебник для среднего профессионального образования» и «Механизация лесного и лесопаркового хозяйства: учебник для вузов», а также в брошюре – «Машины и оборудование для лесных питомников: пособие для специалистов лесного хозяйства», используются для подготовки бакалавров и магистров по следующим дисциплинам: «Машины и механизмы в лесном и лесопарковом хозяйстве», «Механизация лесохозяйственных работ», «Проектирование лесных питомников с основами сметного дела», «Технология лесовосстановительных работ», «Агротехника выращивания древесных растений в питомнике», «Теория и практика искусственного лесовосстановления».

В перечисленных монографии, учебниках и брошюре рассматриваются методологические аспекты исследования перспективной технологии и конструкций сеялки, культиватора и выкопной машины, разработанных автором и уже используемых в настоящее время в лесных питомниках. Представлены материалы по обоснованию рабочих и конструктивных параметров конструкций этих машин и орудий, полученных на основе имитационного моделирования и результатов опытно-производственной проверки.

Внедрение в учебный процесс результатов научно-исследовательской работы, изложенных в монографии, учебниках и брошюре Казакова И.В., позволило повысить качество подготовки бакалавров, магистров и аспирантов за счет использования современных методов обоснования и расчета лесохозяйственных машин и орудий при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ по направлениям подготовки для: бакалавров 35.03.01 – Лесовосстановление и лесоразведение, магистров 35.04.01 – Лесные культуры и семеноводство, аспирантов 35.06.02 – Лесные культуры, селекция, семеноводство.

Заведующий кафедрой ЛТ1 Лесные культуры,  
селекция и дендрология Мытищинского филиала  
ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
к.с/х.н., доцент

Доцент кафедры ЛТ1 Лесные культуры,  
селекция и дендрология Мытищинского филиала  
ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
к.с/х.н., доцент

 С.Б. Васильев  
 А.И. Угаров

А.И. Угаров





### Акт

внедрения в учебный процесс на кафедре «Воспроизводства, охраны и защиты лесов»  
Всероссийского института повышения квалификации руководящих работников  
и специалистов лесного хозяйства», результатов научно-исследовательской работы  
докторанта ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им.  
Г.Ф. Морозова» Казакова Игоря Владимировича на тему «Обоснование параметров  
комплекса новых и усовершенствованных машин и орудий для выращивания  
посадочного материала в зоне хвойно-широколиственных лесов»

Результаты научно-исследовательской работы Казакова И.В., отраженные в следующих работах: монографии – «Перспективные технологии выращивания лесопосадочного материала», учебнике «Механизация лесного и лесопаркового хозяйства: учебник для вузов», используются в учебном процессе для повышения квалификации специалистов лесного сектора, обучающихся по программе «Специалист питомника».

В перечисленных монографии и учебнике рассматриваются методологические аспекты исследования перспективной технологии и конструкций сеялок, культиватора и выкопчной машины, разработанных автором и уже используемых в настоящее время в лесных питомниках. Представлены материалы по обоснованию рабочих процессов, конструкций машин и орудий.

Внедрение в учебный процесс результатов научно-исследовательской работы, изложенных в монографии и учебнике Казакова И.В., позволило повысить качество подготовки слушателей ФАУ ДПО ВИПКЛХ за счет использования современных методов обоснования и расчетов лесохозяйственных машин и орудий.


Заведующий кафедрой воспроизводства,  
охраны и защиты лесов  
ФАУ ДПО ВИПКЛХ, канд. техн. наук, доцент

Д.О. Семенов

Доцент кафедры воспроизводства,  
охраны и защиты лесов  
ФАУ ДПО ВИПКЛХ

А.Н. Бобринский

РЕКОМЕНДОВАНО:

Учебно-методической комиссией  
 протокол № 8 от «17» *сентября* 2021 г.  
 Председатель УМК по направлению  
 «Технологические машины и  
 оборудование»  
 д.т.н., проф.  Попиков П.И.

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной  
 и воспитательной  
 работе «ВГУЛТУ»  
 Черных А.С.  
 «*18*» *сентября* 2021 г.



### Акт

о внедрении в учебный процесс на кафедре механизации лесного хозяйства и проектирования машин разработок по основному научному направлению кафедры «Разработка ресурсо- и экологосберегающих технологий и обоснование типа и параметров рабочих органов машин для лесовосстановления и лесоразведения в лесостепной и степной зонах РФ» и согласно развернутому плану докторской диссертации докторанта Казакова И.В.

**Наименование разделов темы, выполненных докторантом:** обоснование инновационных технологий и конструктивно-технологических схем новых и усовершенствованных машин и орудий для лесных питомников, имитационное моделирование процесса заделки посевных бороздок почвой, имитационное моделирование напряженно-деформированного состояния грунта в процессе его взаимодействия с рабочими органами выкопочной машины.

**Краткое описание результатов внедрения, конечный результат:** разработаны математические, имитационные модели и программы для ЭВМ с полученными на них свидетельствами об официальной регистрации, с помощью которых выполнено исследование взаимодействия с почвой загортачей сеялки для посева крупноплодных семян, а также с рабочими органами выкопочной машины, позволяющие посредством компьютерных экспериментов определить их рабочие и конструктивные параметры с учетом особенностей функционирования в лесных питомниках. Внедрены следующие программы: № 2019620128 «Результаты исследования углов трения скольжения желудей дуба черешчатого по стали и дереву», № 2019620142 «Распределение желудей дуба черешчатого в бо-



роздке в зависимости от конструктивно-технологических параметров сеялки», № 2019620143 «Результаты компьютерного эксперимента процесса заделки семян почвой загортачами сеялки», № 2019610705 «Программа для моделирования заделки семян в почву», № 20196110706 «Программа для расчета параметров желоба высевающего аппарата», установлены на ЭВМ кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин и доступны для пользователей.

**Внедрение по дисциплинам:** «Моделирование при проектировании машин и оборудования лесного комплекса», «Перспективные направления технологии и механизации лесозаготовительных и лесохозяйственных работ», «Энергосберегающие и ресурсосберегающие технологии в лесном хозяйстве».

**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, докторант \_\_\_\_\_ И.В. Казаков