

40.722

11-15

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ZHANGIR KHAN
UNIVERSITY

Западно - Казахстанский аграрно – технический
университет имени Жангир хана

А.С. Ибраев

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ В ПРОМЫШЛЕННОМ САДОВОДСТВЕ

МОНОГРАФИЯ



Уральск
2025

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



**Западно-Казахстанский аграрно-технический
университет имени Жангир хана**

А.С. Ибраев

**ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ
В ПРОМЫШЛЕННОМ САДОВОДСТВЕ**

МОНОГРАФИЯ

Уральск
2025

УДК 631.317
ББК 40.722
И15

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Рекомендовано к изданию Ученым советом Западно-Казахстанского
аграрно-технического университета имени Жангир хана
(Протокол № 6 от 31.01. 2025 г.)**

Рецензенты: **Завражнов А.И.**, доктор технических наук, профессор,
академик РАН (ФГБОУ ВО Мичуринский государственный
аграрный университет)
Гумаров Г.С., доктор техн. наук, профессор (НАО Западно-
Казахстанский университет имени М. Утемисова»)

Ибраев А.С.

**И15 Технологии и машины для создания посадочных мест в
промышленном садоводстве:** монография / А.С.Ибраев. –Уральск:
ЗКАТУ имени Жангир хана, 2025. – 143 с.

ISBN 978-601-319-569-8

В монографии обобщены результаты теоретических, виртуальных и экспериментальных исследований новой технологии и технических средств создания посадочных мест при закладке промышленного сада. Приведены существующие технологии и средства применяемые при посадке садовых культур. Изучено взаимодействие рабочего органа с почвой, влияние конструкции и параметров работы рабочего органа на состав почвы, разработаны технико-технологические требования к бороздонарезчикам.

Монография предназначена для студентов, магистрантов и докторантов технических специальностей, а также для научных сотрудников, преподавателей и специалистов сельского хозяйства.

УДК 631.317
ББК 40.722

ISBN 978-601-319-569-8

© А.С. Ибраев, 2025
© НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический
университет имени Жангир хана», 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	5
ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
СОКРАЩЕНИЯ.....	7
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. АНАЛИЗ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОМЫШЛЕННОМ САДОВОДСТВЕ.....	11
1.1 Тенденции развития промышленного садоводства.....	11
1.2 Технологические принципы индустриализации промышленного садоводства.....	15
1.3 Анализ техники и технологий для посадки саженцев в промышленном садоводстве.....	17
1.4 Существующие методы обустройства борозд в сельском хозяйстве.....	21
1.5 Анализ существующих рабочих органов машин для обустройства борозд и перспективы их совершенствования.....	32
1.6 Обзор исследований процесса взаимодействия рабочих органов бороздонарезчиков с почвой.....	40
1.6.1 Физико-механические свойства почв.....	42
1.6.2 Физические процессы, происходящие при взаимодействии рабочих органов с почвой.....	43
1.6.3 Влияние скорости движения рабочих органов на показатели почвы.....	46
1.7 Обзор исследований по моделированию физико-механических свойств почвы.....	52
1.8 Формирование проблематики. Цель и задачи исследования.....	54
2. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА БОРОЗДОНАРЕЗЧИКА С ПОЧВОЙ.....	56
2.1 Обоснование и разработка технико-технологических требований к бороздонарезчикам.....	57
2.1.1 Исходные положения для разработки технико-технологических требований.....	57
2.1.2 Основные показатели технико-технологических требований.....	59
2.2 Разработка концептуальной модели и формирование технического облика.....	62
2.2.1 Общие положения.....	62
2.2.2 Разработка концептуальной модели.....	63
2.3 Принципиальная схема рабочего органа.....	67
2.4 Формирование технического облика.....	68
2.5 Кинематические исследования рабочего органа.....	70

2.5.1	Теоретические исследования движения частицы почвы по ножу рабочего органа.....	71
2.5.2	Теоретические исследования движения частицы почвы после схода с ножа.....	74
2.5.3	Теоретическая модель разрушения массива почвы.....	79
2.6	Виртуальный эксперимент по оптимизации рабочего органа...	83
2.7	Виртуальное моделирование движения частицы почвы.....	87
3.	МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ..	98
3.1	Методология исследования.....	98
3.2	Программа-методика проведения имитационного моделирования.....	100
3.3	Программа-методика экспериментальных исследований взаимодействия рабочих органов бороздонарезчика с почвой..	101
3.4	Разработка метода определения профиля борозды.....	103
3.5	Разработка метода определения фрактальных характеристик почвы.....	109
3.6	Обработка экспериментальных данных.....	114
4.	РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.	115
4.1	Результаты полевых испытаний экспериментальной модели бороздонарезчика.....	115
4.2	Результаты исследования профиля борозд.....	116
4.3	Результаты исследования гранулометрического состава почвы.....	118
5.	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ.....	123
5.1	Расчет стоимости производства бороздонарезчика.....	123
5.2	Оценка технического уровня и конкурентоспособности.....	126
6	ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К БОРОЗДОНАРЕЗЧИКАМ.....	133
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	134
	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	135

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

1. ГОСТ 22851-77 «Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции. Основные положения
2. ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения»
3. ГОСТ 33736-2016 «Техника сельскохозяйственная. Машины для глубокой обработки почвы. Методы испытаний»
4. ГОСТ 20915-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний»
5. ГОСТ 28305-89 «Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Правила приемки на испытания»
6. ГОСТ 24055-88 «Методы эксплуатационно-технологической оценки»
7. ГОСТ 24057-88 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки машинных комплексов, специализированных и универсальных машин на этапе испытаний»
8. ГОСТ 24059-88 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки»
9. ГОСТ 26025-83 «Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Методы измерения конструктивных параметров»
10. ГОСТ 33687-2015 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний»
11. ГОСТ 12536-79 «Грунты»
12. ГОСТ 22732-77 «Методы оценки уровня качества промышленной продукции. Основные положения»
13. ГОСТ 2.116-84. «Карта технического уровня и качества продукции»
14. ГОСТ Р 53057-2008 «Машины сельскохозяйственные. Методы оценки конкурентоспособности»

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Промышленное садоводство – система ведения садоводства, ориентированная на массовое производство сельскохозяйственной продукции с использованием современных технологий, механизации и автоматизации процессов для повышения эффективности и урожайности.

Посадочные места – участки или конструкции, предназначенные для размещения растений в саду или на плантации, которые обеспечивают оптимальные условия для их роста и развития, включая правильное расстояние между растениями и соответствующие параметры почвы.

Технологии создания посадочных мест – совокупность методов и процессов, используемых для подготовки и оптимизации участков земли под посадку растений, которая может включать технологии формирования грядок, создания гребней, рядов и других конструкций, обеспечивающих эффективное размещение растений.

Машины для создания посадочных мест – специальные механизмы и устройства, предназначенные для автоматизации и упрощения процессов подготовки и организации посадочных мест в промышленных садах. Включают в себя такие машины, как культиваторы, планировщики, сеялки и другие агрегаты.

Культиватор – машина для обработки почвы, которая выполняет функции рыхления, перемешивания и удаления сорняков, что способствует подготовке посадочных мест для размещения растений.

Планировщик – устройство, используемое для выравнивания и планировки поверхности почвы, подготовки грядок и других конструкций для посадки растений, обеспечивая равномерное распределение посадочных мест.

Сеялка – машина, предназначенная для автоматического размещения семян на определённом расстоянии и глубине в подготовленных посадочных местах, что способствует равномерному и качественному посеву.

Гребень – повышенная поверхность почвы, сформированная для оптимизации дренажа и обеспечения лучшего доступа воздуха и питательных веществ к корням растений.

Агрегатирование – процесс соединения нескольких машин или устройств в единое комплексное оборудование для повышения производительности и эффективности работы по созданию посадочных мест.

Автоматизация процессов – внедрение технологий и систем управления, которые позволяют выполнять задачи по созданию посадочных мест с минимальным участием человека, что способствует увеличению скорости и точности выполнения операций.

Технический уровень продукции – это относительная характеристика

качества продукции, основанная на сравнении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, с базовыми значениями соответствующих показателей.

Оценка технического уровня продукции – это совокупность операций, включающих выбор номенклатуры показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и их сравнение с базовыми значениями.

Базовое значение показателя технического уровня продукции – это значение показателя, принимаемое за основу при сравнительной оценке.

Конкурентоспособность – это уровень технических, эксплуатационных, экономических, социальных и экологических параметров машины, позволяющий ей выдерживать конкуренцию с аналогичными машинами на рынке.

Интегральный показатель конкурентоспособности – это рыночная характеристика машины, включающая оценку основных экономических, социальных и агротехнических показателей в сравнении с требованиями рынка (реальными потребностями покупателей) или характеристиками другой машины.

СОКРАЩЕНИЯ

ГИС – геоинформационные системы;

ПЛК – программируемые логические контроллеры;

ГМО – генетически модифицированные организмы;

GPS – глобальное позиционирование (англ. *Global Positioning System*);

ИИ – искусственный интеллект;

УИА (UCA) – установки с измененной атмосферой;

АТТ – агротехнические требования;

ТТТ – технико–технологические требования.

ВВЕДЕНИЕ

Промышленное садоводство сегодня является одной из ключевых отраслей аграрной экономики, обеспечивающей значительные объемы производства фруктов и ягод. В условиях глобализации и нарастающей конкуренции необходимость в высокоэффективных и технологически продвинутых решениях становится более актуальной, чем когда-либо. Разработка машин для создания посадочных мест, а именно борозд, представляет собой важное направление, способствующее повышению продуктивности и качества садоводства. Эффективность процесса посадки саженцев напрямую влияет на урожайность и, как следствие, на экономическую целесообразность ведения садоводческого производства.

Современные технологии, применяемые в агрономии, в значительной степени определяются стремлением оптимизировать трудозатраты и снизить энергозатраты на каждом этапе агротехнического цикла. Создание специализированных машин, предназначенных для нарезки борозд, становится необходимым условием для повышения производительности труда, особенно в условиях массового производства. Процесс нарезки борозд должен учитывать особенности почвы, климатические условия и биологические характеристики саженцев, что требует глубокого научного анализа и практических разработок [1].

Современные садоводческие машины существенно повышают производительность труда и эффективность, сокращая время и усилия, затрачиваемые на выполнение различных операций. Механизация обработки почвы позволяет быстрее и качественнее подготовить почву к посадке. Автоматизированные системы посадки саженцев обеспечивают точность и равномерность посадки, что способствует более высокой урожайности.

На сегодняшний день исследования в этой области осуществляются многими учеными и учреждениями, что подтверждает важность темы. В частности, работа таких ученых, как Будаговский В.И., Вигоров Л.Н., Ефремов И.А. и других, освещает различные аспекты совершенствования технологий в садоводстве. Однако, несмотря на накопленный опыт, вопрос о создании углублений для размещения корневой системы саженцев остается недостаточно изученным. Существующие машины для нарезки борозд не всегда отвечают современным требованиям, что сказывается на качестве и эффективности посадочных работ.

Теоретическая значимость данной работы заключается в систематизации знаний о технологических процессах, связанных с созданием посадочных мест, а также в выявлении и анализе факторов, влияющих на качество нарезки борозд. Важным аспектом является необходимость интеграции научных разработок и практического опыта, что позволит создать инновационные решения, адаптированные к

современным условиям ведения садоводства.

Ключевой задачей данной монографии является анализ существующих технологий и машин для создания посадочных мест. Приведенные исследования позволят выявить закономерности взаимосвязи между качественными показателями работы, технологическими условиями и параметрами рабочих органов. Это, в свою очередь, создаст основы для дальнейших научных разработок и практического применения в области садоводства.

В последние годы научные исследования в области технологий садоводства активно развиваются в таких учреждениях, как ФГБНУ ВСТИСП, ФНЦ им. И.В. Мичурина и ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ». Эти организации активно работают над разработкой новых технологий и технических средств, направленных на повышение эффективности садоводства. Также в рамках научного проекта АР23487474 «Разработка универсального посадочного комплекса садовых и лесных культур с автоматизированной системой внесения удобрений» был проведен ряд исследований, материалы которых были частично использованы в данной монографии. Накопленный опыт демонстрирует, что многие машины для нарезки борозд требуют дальнейшей оптимизации в плане гибкости регулировки параметров работы. Это позволит улучшить адаптацию машин к различным условиям эксплуатации [1].

Исследования, проведенные учеными, такими как В.П. Горячкин, Г.Н. Синеоков, И.М. Панов и другими, вносят значительный вклад в создание более эффективных решений для отрасли [2,3]. Актуальной задачей остается разработка машин, способных регулировать ширину нарезаемой борозды и обеспечивать высокое качество выполнения работ. Эти усилия направлены на удовлетворение современных агрономических требований и повышение производительности в садоводстве.

Необходимо отметить, что вопросы совершенствования технологий, применяемых в садоводстве, рассматриваются различными исследователями, среди которых можно выделить Аниферова Ф.Е., Ерошенко Л.И., Теплинского И.З., Шомахова Л.А., Шекихачева Ю.А., Балкарова Р.А., Цымбал А.А., Хажметова Л.М., Губжокова Х.Л., Бекалдиева Р.Р., Эркенова А.Н., Аушева М.Х., Гергокаева Д.А., Атласкирова, А.М., Балкарова Р.А., Сенова Х.М. и др. [4,5]. Проблема создания углубления в почве для размещения корневой системы саженцев действительно требует более глубокого изучения, так как недостаточная разработанность этой технологии может негативно сказаться на результатах аграрного производства. Важными аспектами также являются исследования по разработке технологий и машин для садоводства, проведенные такими учеными, как: Твердохлебов С.А., Завражнов А.И., Завражнов А.А., Ланцев В.Ю., Манаенков К.А., Федоренко В.Ф., Утков Ю.А., Герасимов Н.И., Жилицкий Я.З., Хорт Д.О., Лосев И.П. и др. [6, 7].

Актуальность данной темы не вызывает сомнений, так как эффективное использование современных технологий позволит не только оптимизировать процессы в садоводстве, но и улучшить качество продукции, что особенно важно в условиях растущего спроса на экологически чистые и качественные продукты. В конечном итоге, создание более эффективных машин для нарезки борозд и обеспечения правильного размещения корневой системы саженцев может стать ключевым фактором в достижении устойчивого развития и повышения конкурентоспособности в сфере промышленного садоводства.

Таким образом, исследования, посвященные разработке технологий и машин для создания посадочных мест, имеют не только практическую, но и теоретическую значимость. Понимание взаимосвязей между технологическими процессами и качественными характеристиками рабочих органов является основой для создания инновационных решений, которые помогут повысить эффективность и снизить трудоемкость на этапе посадки саженцев и подвоев. Это, в свою очередь, может существенно снизить общую энергоемкость и повысить устойчивость отрасли в условиях современного рынка.

Таким образом, данное исследование направлено на решение актуальных проблем, стоящих перед отраслью, и может послужить основой для дальнейших разработок в области технологий и машин для создания посадочных мест.

1. АНАЛИЗ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОМЫШЛЕННОМ САДОВОДСТВЕ

1.1 Тенденции развития промышленного садоводства

Промышленное садоводство, как важная часть аграрного сектора, постоянно эволюционирует под влиянием различных факторов, включая технологические достижения, изменение потребительских предпочтений и необходимость обеспечения устойчивого производства. В условиях стремительного роста населения, изменения климата и ограниченности природных ресурсов требуется внедрение инновационных решений для повышения продуктивности и качества сельскохозяйственной продукции. Рассматривая основные тенденции, определяющие развитие промышленного садоводства, можно акцентировать внимание на новых технологиях, механизации процессов, устойчивом подходе к производству, а также экономических и социальных аспектах [8, 9].

Современное садоводство немыслимо без использования новых технологий. Генетическая селекция растений представляет собой одну из наиболее значительных инноваций, которая за последние десятилетия изменила облик аграрного производства. Ученые разрабатывают новые сорта, которые обладают улучшенными характеристиками – устойчивостью к вредителям и болезням, адаптивностью к климатическим изменениям и способностью давать более высокий урожай даже в неблагоприятных условиях. Эти достижения позволяют фермерам значительно сократить затраты на защиту саженцев и повысить общий уровень урожайности.

Другое важное направление – это внедрение точного земледелия. Системы GPS, сенсоры и спутниковые технологии позволяют садоводам собирать обширные данные о состоянии посевов, характеристиках почвы и климатических условиях. Благодаря этим данным возможно осуществлять точечное внесение удобрений и средств защиты саженцев, что не только снижает затраты, но и минимизирует негативное воздействие на окружающую среду.

Механизация играет ключевую роль в современном садоводстве. Использование специализированных машин, таких как посадочные и уборочные агрегаты, значительно ускоряет процессы и делает их более эффективными. Например, современные посадочные машины позволяют высаживать семена с высокой точностью и минимальными затратами времени. Это особенно важно в условиях дефицита рабочей силы и растущих затрат на труд [10, 11].

Автоматизация процессов также затрагивает и другие аспекты садоводства, включая орошение, уход за саженцами и сбор урожая. Роботы, предназначенные для выполнения рутинных задач, могут работать

круглосуточно и не требуют перерывов, что значительно увеличивает производительность. Например, специализированные роботы для сбора ягод способны работать с высокой скоростью и точно определять степень зрелости плодов, что способствует повышению качества собранного урожая.

В последние годы наблюдается рост интереса к устойчивым методам производства, что связано с повышением осведомленности общества о необходимости охраны окружающей среды. Устойчивое садоводство фокусируется на снижении воздействия на экосистему, минимизации использования химических веществ и обеспечении долгосрочной продуктивности земель. Применение органических удобрений, компостирования и биологических методов защиты растений становится нормой для многих производителей.

Использование биологических методов защиты, таких как естественные хищники или микробиологические препараты, помогает снизить зависимость от химикатов и способствует сохранению биоразнообразия. Это важный аспект не только для экологической безопасности, но и для здоровья потребителей. Продукция, выращенная с применением устойчивых методов, становится все более популярной среди покупателей, что также подстегивает производителей к внедрению таких подходов.

Развитие промышленного садоводства неразрывно связано с экономическими факторами. Глобализация рынка и изменения в потребительских предпочтениях требуют от садоводов гибкости и адаптивности. Успешные производители используют новые технологии и инновации не только для повышения урожайности, но и для обеспечения качества своей продукции, соответствующей международным стандартам.

Экспорт сельскохозяйственной продукции становится важным направлением для многих стран, и это требует от производителей соответствия международным требованиям. Разработка и внедрение новых стандартов качества, включая сертификацию экологически чистой продукции, открывают новые рынки и создают дополнительные возможности для роста [12].

Садоводство не только экономика, но и социальная сфера. Оно имеет прямое влияние на местные сообщества и экономическое развитие регионов. Важным аспектом является создание рабочих мест, которое особенно актуально в сельских районах, где уровень безработицы может быть высоким. Инвестирование в современные технологии и механизацию помогает создать новые рабочие места, даже несмотря на автоматизацию процессов.

Кроме того, потребители все больше интересуются происхождением продуктов, что способствует развитию местных инициатив и поддержке фермеров. Социальные проекты, направленные на продвижение местной

продукции и устойчивых методов ведения хозяйства, становятся все более популярными, что, в свою очередь, способствует укреплению местной экономики и социальной структуры.

Несмотря на все достижения, промышленное садоводство сталкивается с рядом проблем. Изменение климата, рост цен на ресурсы и недостаток рабочей силы – все это требует от производителей постоянного поиска новых решений и подходов. Адаптация к климатическим изменениям становится неотъемлемой частью стратегии устойчивого развития. Фермеры должны не только учитывать прогнозы погоды, но и использовать технологии, позволяющие минимизировать ущерб от экстремальных погодных условий.

Важно также помнить о необходимости постоянного обучения и повышения квалификации работников. Инновации в садоводстве требуют от сотрудников знаний о новых технологиях и методах работы, что делает образовательные программы и курсы особенно актуальными.

Следует заметить, что промышленное садоводство как важная часть аграрного сектора сталкивается с необходимостью адаптации к изменяющимся условиям рынка, повышению потребительских требований и воздействию климатических изменений. В этой связи тенденции индустриализации и интенсификации становятся ключевыми факторами, определяющими будущее отрасли. Применение новых технологий и механизаций позволяет значительно увеличить продуктивность, сократить затраты и повысить качество производимой продукции [13].

Индустриализация в садоводстве подразумевает переход от традиционных методов производства к более современным, основанным на научных и технических достижениях. Это включает в себя внедрение механизации, автоматизации и использование передовых агрономических практик [14].

Механизация процессов, таких как подготовка почвы, посадка, уход и сбор урожая, позволяет значительно ускорить и упростить работу садоводов. Например, современные тракторы и специальные машины для обработки почвы обеспечивают высокую скорость выполнения задач, что позволяет оптимизировать трудозатраты. Использование специализированных посадочных машин позволяет достигать высокой точности и равномерности высадки растений, что критически важно для получения однородного и качественного урожая.

Автоматизация также играет важную роль в индустриализации. Внедрение систем автоматического орошения и контроля климата в теплицах позволяет точно регулировать условия для роста растений, минимизируя потери воды и удобрений. Такие технологии позволяют фермерам более эффективно управлять ресурсами и обеспечивать оптимальные условия для роста, что в свою очередь способствует увеличению урожайности.

Интенсификация садоводства предполагает использование более интенсивных методов ведения хозяйства, направленных на максимизацию урожайности при минимальных затратах. Это достигается за счет применения высокопродуктивных сортов растений, оптимизации агрономических практик и повышения плотности посадки.

Одним из ключевых аспектов интенсификации является использование современных сортов растений, которые характеризуются высокой устойчивостью к заболеваниям и вредителям, а также способны давать большой урожай. Генетическая селекция и биотехнологии позволяют создавать новые сорта, которые лучше адаптируются к изменяющимся климатическим условиям и обеспечивают высокую продуктивность [15].

Также важную роль в интенсификации играет использование удобрений и средств защиты растений. Современные технологии позволяют более точно определять потребности растений в питательных веществах и минимизировать использование химических веществ, что способствует повышению экологической безопасности и снижению затрат. Применение точного земледелия позволяет максимально эффективно использовать удобрения, предотвращая их перерасход и снижение качества продукции.

Современные технологии и машины для создания посадочных мест в промышленном садоводстве становятся все более важными для достижения высоких результатов. Они обеспечивают не только скорость и точность выполнения операций, но и возможность адаптации к различным условиям.

Посадочные машины нового поколения способны выполнять сложные задачи, включая подготовку почвы, высадку и даже последующий уход за растениями. Эти машины оснащены современными системами управления, которые позволяют фермерам контролировать все процессы в реальном времени. Использование таких машин позволяет сократить трудозатраты и повысить производительность [16, 17].

Кроме того, развитие автоматизированных систем для контроля состояния растений и мониторинга климата создает дополнительные возможности для оптимизации процессов. Современные технологии позволяют интегрировать датчики и системы управления, что дает возможность фермерам оперативно реагировать на изменения условий и оптимизировать уход за растениями.

Несмотря на положительные тенденции индустриализации и интенсификации, отрасль сталкивается с рядом вызовов. Изменение климата и дефицит ресурсов требуют от садоводов поиска новых решений и методов. Устойчивость к экстремальным погодным условиям становится критически важной, и для этого необходимы как инновационные сорта, так и адаптивные агрономические практики.

Кроме того, внедрение новых технологий и оборудования требует значительных финансовых вложений, что может стать барьером для малых и средних хозяйств. Однако, несмотря на сложности, переход к индустриализированному и интенсифицированному производству представляется необходимым для повышения конкурентоспособности отрасли [18, 19].

Тенденции индустриализации и интенсификации в промышленном садоводстве открывают новые горизонты для повышения эффективности и качества производства. Использование современных технологий и машин для создания посадочных мест не только увеличивает урожайность, но и способствует устойчивому развитию отрасли. Важно, чтобы производители адаптировались к новым условиям и использовали инновации, что позволит не только сохранить конкурентоспособность, но и обеспечить продовольственную безопасность страны.

1.2 Технологические принципы индустриализации промышленного садоводства

Индустриализация промышленного садоводства представляет собой важный этап в развитии аграрного сектора, способствующий повышению эффективности производства и улучшению качества продукции. В условиях растущего населения и изменения климата аграрии сталкиваются с необходимостью адаптации к новым вызовам. Технологические принципы, лежащие в основе этого процесса, включают механизацию, автоматизацию, использование новых сортов растений и применение передовых агрономических практик.

Механизация является основой индустриализации садоводства и предполагает замену ручного труда механическими средствами. Это позволяет сократить время выполнения операций, уменьшить физические нагрузки на работников и повысить общую производительность.

Современные посадочные машины играют ключевую роль в процессе создания посадочных мест. Эти агрегаты обеспечивают высокую точность и равномерность высадки растений, что критически важно для получения однородного урожая. Они способны выполнять несколько операций одновременно, включая подготовку почвы, высадку семян и внесение удобрений. Такие машины могут быть адаптированы для работы с различными культурами, что делает их универсальным инструментом для садоводов [20].

Уборочные машины также вносят значительный вклад в механизацию процессов. Современные комбайны и машины для сбора урожая оснащены высокотехнологичными системами, которые позволяют эффективно собирать плоды, минимизируя потери. Они могут работать в

различных условиях и обеспечивать бережное обращение с продуктами, что особенно важно для таких деликатных культур, как ягоды и фрукты.

Автоматизация является следующим важным шагом в индустриализации садоводства. Внедрение автоматизированных систем управления и контроля позволяет значительно повысить эффективность работы и сократить затраты на ресурсы.

Современные системы орошения, такие как капельное орошение, позволяют более точно управлять подачей воды, обеспечивая оптимальные условия для роста растений. Эти системы могут быть интегрированы с датчиками, которые измеряют уровень влажности почвы, что позволяет автоматизировать процессы полива. Это не только экономит воду, но и повышает урожайность [21].

Автоматизированные системы мониторинга состояния саженцев и контроля климата в теплицах становятся неотъемлемой частью современного садоводства. Эти технологии позволяют фермерам отслеживать параметры, такие как температура, влажность и уровень углекислого газа, что способствует созданию оптимальных условий для роста. Умные системы управления могут автоматически регулировать освещение, вентиляцию и орошение, минимизируя ручные вмешательства.

Важным аспектом индустриализации является внедрение новых сортов саженцев, которые обладают высокой устойчивостью к заболеваниям и вредителям, а также способны давать большой урожай. Генетическая селекция и биотехнологии играют здесь ключевую роль.

Современные методы генетической селекции позволяют создавать сорта, которые не только лучше адаптируются к изменяющимся климатическим условиям, но и обладают улучшенными агрономическими характеристиками. Например, сорта с повышенной устойчивостью к засухе или болезням могут значительно повысить эффективность производства, особенно в регионах с неблагоприятными климатическими условиями.

Использование биотехнологий, таких как генетическое редактирование, открывает новые горизонты для создания культур, способных к адаптации в условиях изменения климата. Это позволяет не только увеличивать урожайность, но и снижать затраты на защиту растений, что делает процесс более устойчивым и экономически эффективным [22].

Помимо механизации и автоматизации, важным элементом индустриализации являются передовые агрономические практики. Эти методы позволяют максимально эффективно использовать ресурсы и повышать урожайность.

Точное земледелие подразумевает использование данных и технологий для оптимизации всех этапов производства. Это включает в себя мониторинг состояния почвы, использование GPS для планирования посадок и применение специализированных приложений для анализа

данных. Такой подход позволяет фермерам более точно определять потребности растений в удобрениях и воде, что способствует снижению затрат и повышению эффективности.

Севооборот и агролесоводство являются важными агрономическими практиками, которые помогают поддерживать здоровье почвы и снижать риски заболеваний. Разнообразие культур в рамках севооборота способствует естественному восстановлению питательных веществ в почве и уменьшает необходимость в химических удобрениях. Агролесоводство, в свою очередь, сочетает в себе элементы лесного и сельского хозяйства, что позволяет улучшать экосистему и повышать продуктивность [23].

Несмотря на положительные тенденции, в индустриализации садоводства существует ряд проблем, такие как: изменение климата, нехватка ресурсов и необходимость соблюдения экологических стандартов. Все это требует от садоводов постоянного поиска новых решений.

Климатические изменения влияют на стабильность урожайности и требуют от аграриев адаптации к новым условиям. Необходимость выбора устойчивых к климатическим стрессам сортов и внедрения новых технологий становится критически важной.

Внедрение новых технологий и оборудования требует значительных капиталовложений, что может стать преградой для малых и средних фермерских хозяйств. Поэтому важна поддержка со стороны государства и частных инвесторов, что позволит ускорить процесс модернизации.

Технологические принципы индустриализации промышленного садоводства являются основой для повышения эффективности и устойчивости аграрного сектора. Механизация, автоматизация, использование новых сортов и передовых агрономических практик открывают новые горизонты для достижения высоких результатов. Важно, чтобы производители адаптировались к новым условиям и использовали современные технологии, что позволит сохранить конкурентоспособность отрасли.

1.3 Анализ техники и технологий для посадки саженцев в промышленном садоводстве

Промышленное садоводство, как важная отрасль аграрного сектора, требует внедрения современных технологий и механизмов, способствующих повышению продуктивности и качества продукции. Правильная посадка саженцев является ключевым этапом, от которого зависит успешное развитие растений и получение высокого урожая.

Правильная посадка саженцев имеет критическое значение для успешного роста растений. На этом этапе важно учитывать множество

факторов, таких как глубина и плотность посадки, состояние почвы и климатические условия. Неправильная посадка может привести к плохой приживаемости саженцев, снижению урожайности и увеличению затрат на уход за растениями. Поэтому применение технологий, обеспечивающих высокое качество и эффективность создания посадочных мест, играет решающую роль в успехе промышленного садоводства [24, 25].

Создание посадочных мест для саженцев включает использование различных методов. Например, выкапывание ям подходит для высадки деревьев и кустарников. Эти ямы должны быть достаточной глубины и ширины, чтобы обеспечить свободное размещение корневой системы и хороший дренаж. Борозды, в свою очередь, часто применяются для высадки рядовых культур. Они обеспечивают равномерное распределение воды и удобрений, что содействует лучшему укоренению растений.

Современные механизированные устройства для создания посадочных мест играют важную роль в увеличении эффективности и качества посадки. Использование специализированных машин позволяет существенно сократить время на подготовку ям и борозд, обеспечивая их однородность. Ямные машины, предназначенные для создания посадочных ям, оснащены механизмами, позволяющими выкапывать ямы заданной глубины и диаметра. Это критически важно для успешного укоренения, так как правильная глубина способствует доступу корней к необходимым питательным веществам и влаге [25, 26].

Кроме того, бороздоделы значительно упрощают создание борозд для высадки саженцев. Они формируют борозды различной ширины и глубины, что делает процесс более адаптивным под конкретные условия и типы растений. Механизация создания посадочных мест не только ускоряет процесс, но и обеспечивает более высокую точность высадки.

Классификация машин для глубокой обработки почвы, предложенной Алехиным А.В., включает такие параметры, как глубина обработки, тип привода, способы обработки и другие специфические характеристики (рисунок 1).

Автоматизация процессов подготовки посадочных мест становится важным направлением в современном садоводстве. Автоматизированные системы улучшают контроль за качеством выполнения работ и снижают вероятность ошибок. Например, машины могут быть оснащены датчиками, позволяющими определять состояние почвы и корректировать параметры посадки в реальном времени. Это значительно повышает точность высадки и снижает риски, связанные с неправильным расположением корней.

Точное земледелие представляет собой важную часть современных аграрных технологий. Этот подход включает использование геоинформационных систем и GPS для оптимизации всех этапов производства, включая создание посадочных мест. Применение GPS-технологий позволяет точно планировать размещение саженцев на поле,

что особенно важно при высокой плотности посадки. Это способствует равномерному распределению растений и улучшает условия для их роста. Точные данные о почве позволяют создавать более эффективные схемы посадки, минимизируя конкуренцию между растениями за ресурсы.

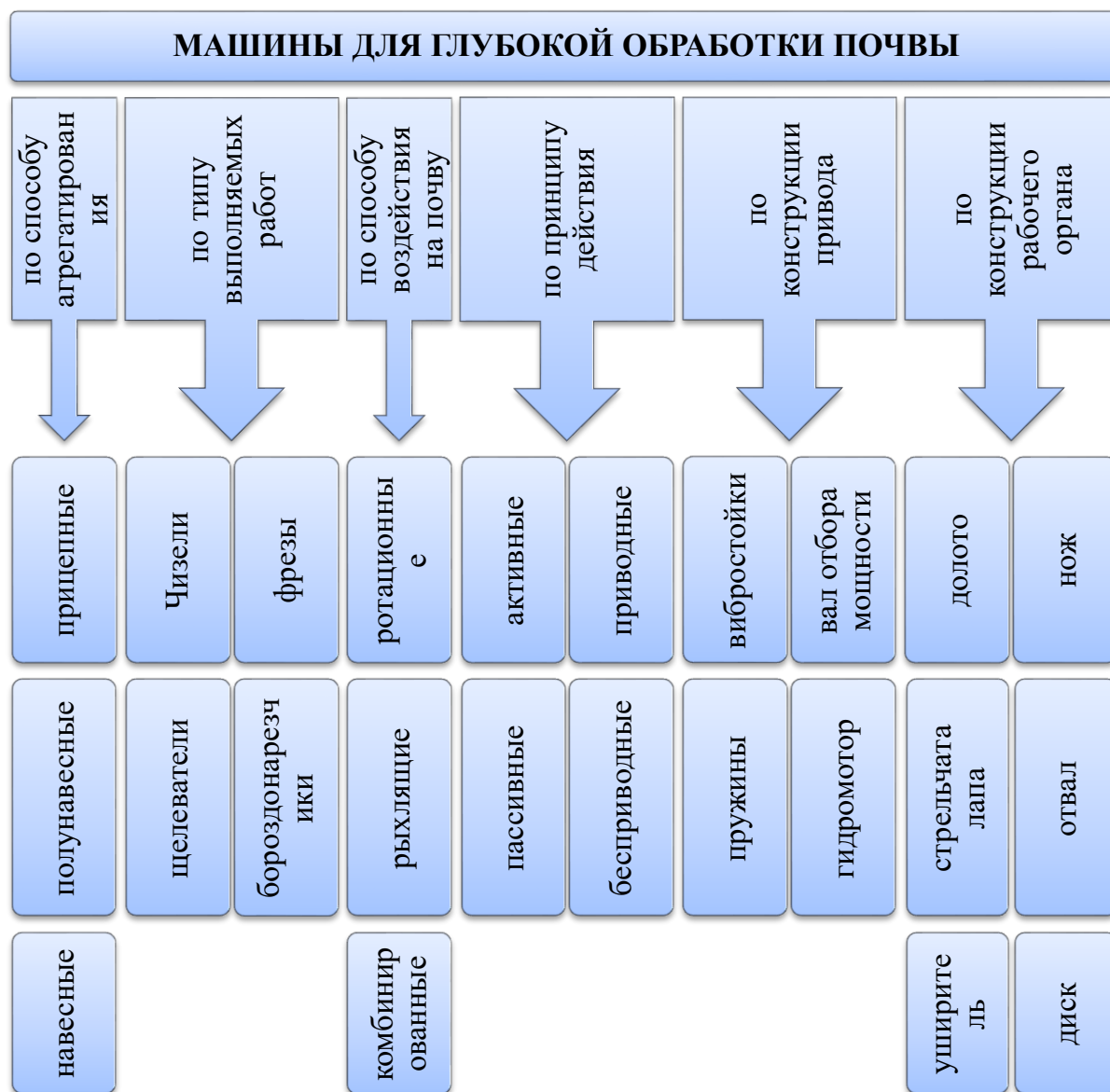


Рисунок 1 – Классификация агротехнических средств для глубокой обработки почвы

Современные биотехнологии открывают новые возможности для создания сортов растений, которые более устойчивы к заболеваниям и неблагоприятным климатическим условиям. Правильный выбор сорта и соответствующая техника создания посадочных мест могут значительно повысить приживаемость саженцев и их продуктивность. Применение технологий, таких как генетическое редактирование, позволяет создавать

растения, которые лучше адаптируются к изменяющимся условиям и обеспечивают более высокий урожай.

Современные посадочные машины разнообразны по конструкциям и функциональным возможностям. Некоторые из них обеспечивают одновременно подготовку посадочных ям или борозд и высадку саженцев, что существенно сокращает время и трудозатраты. Оборудование для работы с корневыми системами минимизирует повреждения корней при высадке, что также важно для успешного укоренения.

Технологические приспособления, такие как системы полива, играют важную роль в создании оптимальных условий для роста саженцев. Они обеспечивают необходимую влажность почвы в период укоренения, что особенно критично в жаркие сезоны. Мульчировщики, удерживающие влагу и предотвращающие рост сорняков, способствуют созданию идеальных условий для развития саженцев. Устройства для контроля температуры и влажности в теплицах также помогают поддерживать оптимальные условия для роста, что особенно важно в условиях изменчивого климата.

Внедрение современных технологий и оборудования для создания посадочных мест для саженцев в промышленном садоводстве позволяет не только увеличить продуктивность, но и снизить затраты. Механизация и автоматизация процессов способствуют сокращению трудозатрат, повышению скорости выполнения операций и улучшению качества продукции.

Правильная организация процесса создания посадочных мест с использованием современных технологий может значительно увеличить рентабельность садоводства. Эффективное использование ресурсов, таких как вода и удобрения, снижает затраты на производство и способствует улучшению финансовых показателей. Современные технологии также помогают снизить риски, связанные с изменениями климата и неблагоприятными условиями. Высокая приживаемость саженцев, обеспечиваемая механизированной и автоматизированной посадкой, позволяет аграриям быть более уверенными в получении стабильных урожаев.

С развитием технологий в аграрном секторе можно ожидать дальнейшего совершенствования методов создания посадочных мест для саженцев. Будущие тенденции могут включать развитие робототехники для выполнения посадочных операций, что позволит значительно снизить потребность в ручном труде. Использование дронов для мониторинга состояния растений и планирования работ повысит точность и эффективность управления. Интеграция технологий Интернета вещей для более эффективного управления ресурсами и создания адаптивных систем полива и удобрения также обещает улучшить производительность и устойчивость отрасли.

Техника и технологии для создания посадочных мест саженцев играют ключевую роль в успешном развитии промышленного садоводства. Механизация, автоматизация и использование современных агрономических практик позволяют повысить эффективность производства и качество продукции. Аграрии, активно внедряющие инновации, смогут не только оставаться конкурентоспособными, но и обеспечивать продовольственную безопасность в будущем. Развитие технологий и оборудования для создания посадочных мест обещает принести значительные выгоды и улучшить устойчивость отрасли к изменяющимся условиям.

1.4 Существующие методы обустройства борозд в сельском хозяйстве

Создание борозд в сельском хозяйстве – важный аспект агрономической практики, который влияет на эффективность использования ресурсов, включая воду и удобрения. Это особенно актуально в промышленном садоводстве, где правильное обустройство борозд способствует оптимальному росту и развитию растений, повышая их продуктивность.

Борозды играют ключевую роль в управлении влагой и питательными веществами, что критично для успешного роста садовых растений. Они способствуют равномерному распределению воды, что уменьшает риск переувлажнения или пересыхания почвы. В условиях массового производства, как в промышленном садоводстве, это имеет особое значение, поскольку требует применения технологий, которые обеспечивают максимальную эффективность при минимальных затратах.

Традиционные методы обустройства борозд включают ручные и механизированные способы. Ручные методы предполагают использование лопат и граблей, что требует значительных физических усилий и времени. Однако такой подход может быть уместен на небольших участках или в условиях ограниченного доступа к современному оборудованию.

Механизированные методы используют плуги и бороздоделы. Плуги обеспечивают создание борозд за один проход, но их эффективность зависит от типа почвы и её влажности. Бороздоделы, в свою очередь, позволяют настраивать глубину и ширину борозд, что особенно важно для сельскохозяйственных культур с различными требованиями к почвенным условиям.

Современные технологии обустройства борозд значительно повышают эффективность и точность этого процесса. Специализированные машины, такие как автоматизированные бороздоделы, могут создавать борозды с заданной глубиной и шириной.

Эти устройства оснащены датчиками, которые позволяют контролировать параметры в реальном времени, минимизируя вероятность ошибок. Они подходят для различных типов почвы и обеспечивают однородность, что критично для промышленных масштабов [27, 28].

Методы точного земледелия, основанные на использовании геоинформационных систем и GPS, позволяют агрономам получать детальную информацию о состоянии почвы. Это способствует более эффективному планированию обустройства борозд. Использование данных о типах почвы и её характеристиках позволяет адаптировать методы создания борозд под конкретные условия, что особенно важно в промышленном садоводстве, где важно учитывать множество факторов [29].

Автоматизация процессов обустройства борозд также имеет значительное влияние на эффективность. Современные системы управления позволяют интегрировать различные технологии, обеспечивая точное выполнение операций. Например, можно заранее задавать параметры глубины и ширины борозд в зависимости от культур, которые планируется высаживать. Это не только ускоряет процесс, но и значительно улучшает качество выполнения работ.

Современные машины для создания борозд варьируются от простых бороздоделов до сложных агрегатов, которые могут выполнять несколько операций одновременно. Использование таких машин в промышленном садоводстве позволяет значительно сократить время на подготовку почвы и повысить эффективность высадки саженцев [30].

Кроме того, современные системы мульчирования, которые могут интегрироваться с бороздоделами, помогают удерживать влагу и защищают почву от эрозии. Это особенно важно для садоводства, где сохранение структуры почвы и её питательных свойств играет решающую роль в успешном производстве.

Развитие технологий также ведет к созданию новых видов оборудования, таких как дроны для мониторинга состояния почвы и растений. Эти устройства могут предоставлять агрономам данные о влажности и состоянии растений, что позволяет точно настраивать параметры создания борозд. Это также помогает в планировании дальнейших действий по уходу за садом.

Современные методы обустройства борозд в промышленном садоводстве обладают рядом преимуществ. Во-первых, они обеспечивают высокую скорость выполнения работ, что критично в условиях массового производства. Во-вторых, использование специализированного оборудования позволяет добиться более равномерного распределения ресурсов, таких как вода и удобрения, что способствует улучшению роста растений и повышению их урожайности.

Кроме того, такие методы снижают трудозатраты, позволяя

агрономам сосредоточиться на других аспектах управления. Это в свою очередь ведет к более эффективному использованию рабочей силы и улучшению общей продуктивности садоводства.

Создание борозд с использованием современных технологий также способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду. Правильная организация водного и питательного баланса помогает предотвратить эрозию почвы и способствует её восстановлению. Сохранение здоровой структуры почвы является критически важным в условиях изменения климата, когда устойчивость агроэкосистем становится всё более актуальной [31, 32].

Разведение промышленного сада – это сложный и многогранный процесс, требующий тщательной подготовки на каждом этапе. Одним из ключевых элементов успешного начала этого процесса является создание качественных посадочных мест для саженцев. Правильно подготовленные ямы и борозды служат основой для здоровья и продуктивности растений, а также влияют на общий урожай и долговечность сада.

Посадочные места могут быть представлены в виде ям или борозд, каждая из которых имеет свои преимущества и области применения. Ямы – это углубления в земле, обычно круглой или квадратной формы, где размещаются отдельные саженцы. Они подходят для деревьев с крупной корневой системой, поскольку обеспечивают необходимое пространство для разрастания корней.

Борозды, в свою очередь, представляют собой длинные углубления, в которые высаживают несколько саженцев на расстоянии друг от друга. Эта технология особенно полезна при посадке кустарников или мелких деревьев и позволяет оптимизировать пространство, эффективно используя площадь сада.

Создание отдельных посадочных ям включает несколько этапов. Во-первых, необходимо выбрать подходящее место для посадки, учитывая такие факторы, как освещенность, качество почвы и уровень грунтовых вод. После выбора места начинается процесс копки: ямы выкапываются с достаточным диаметром и глубиной, чтобы разместить корневую систему саженца. Обычно рекомендуется копать ямы размером 60х60 см и глубиной до 80 см.

Следующий этап – подготовка плодородной почвы. Собранный из ямы грунт иногда оказывается недостаточно плодородным, поэтому стоит добавить органические удобрения, такие как компост или перепревший навоз, а также минеральные удобрения, чтобы обогатить почву необходимыми питательными веществами. Это улучшает структуру и способствует лучшему разложению корней.

Важно отметить, что создание ям является трудоемким процессом.

Он требует значительных физических усилий, времени и даже, порой, специализированного оборудования, если почва каменистая или тяжелая. Часто в таких ситуациях фермеры применяют ручные инструменты, такие как лопаты или буровые установки, что увеличивает рабочую нагрузку.

Технология создания посадочных борозд считается более передовой и менее трудоемкой. Этот метод представляет собой выкапывание длинных, узких углублений, которые могут составлять от 20 до 40 см в глубину и ширину. Процесс создания борозд может быть автоматизирован с использованием специализированных машин, таких как грейдеры или бороздосоздатели.

При создании борозд важно соблюдать четкие расстояния между саженцами, чтобы они могли свободно расти, не затеняя друг друга. Обычно расстояние составляет от 1,5 до 3 метров, в зависимости от вида растений. Следует также учитывать и рельеф местности – борозды могут быть сделаны по высоте, что предотвращает застой воды и способствует лучшему дренажу.

Помимо этого, следует отметить, что посадочные борозды обеспечивают более равномерное распределение влаги в почве, что особенно важно в условиях недостатка осадков. Автоматизация труда в этом процессе значительно снижает физическую нагрузку на работников и повышает скорость выполнения работ, что немаловажно при больших площадях для разведений.

Правильная подготовка посадочных мест влияет на жизнеспособность саженцев, их развитие и будущее плодоношение. Плохое качество подготовленных ям или борозд не только усложняет укоренение, но и может стать причиной заболеваний растений, особенно в условиях высокой влажности или затопления.

Кроме того, правильно подготовленные места помогают оптимизировать затраты ресурсов, таких как вода и удобрения, что в свою очередь, приводит к экономии средств. Эффективная система орошения, установленная в бороздах, способствует равномерному распределению влаги и питательных веществ среди саженцев, обеспечивая им лучшие условия для роста.

Также следует обратить внимание на то, что подготовка посадочных мест не заканчивается на этапе высадки. В процессе роста деревьев важно следить за состоянием почвы и делать необходимую обработку, поддерживая плодородие и структуру [33, 34].

Важность подготовки посадочных мест для саженцев в процессе разведения промышленного сада трудно переоценить. Независимо от того, выбираете ли вы метод создания ям или борозд, важно понимать, что этот первый шаг является основой для последующего успеха сада.

Качественная подготовка, внедрение передовых технологий создания посадочных мест, учет особенностей растений и почвы сделают ваш сад не только продуктивным, но и устойчивым к внешним воздействиям. В конечном итоге, забота о посадочных местах – это не только трудоемкий, но и необходимый процесс, который обеспечит будущее вашего сада.

Предварительное обустройство посадочных мест с последующей ручной посадкой растений производится ямокопателями и ямобурами различного конструктивного исполнения (например, из отечественных – КЯУ-100, БМ-300, БС-500 и др.), а также бороздонарезчиками пассивного и активного типа. Обустройство посадочных канав в случае предварительно установленных опорных конструкциях используют плужные и фрезерные выносные секции и фирм AGROFER (Италия), VIMAS Revo (Италия), INDUSTRIAS DAVID (Испания), Warka (Польша) и других компаний.

После посадки и фиксации растений используют загортачи для заделки корневой системы и прикатывающие приспособления для уплотнения места посадки.

Предварительное обустройство посадочных мест с последующей ручной посадкой черенков, сеянцев и саженцев плодовых и ягодных культур является эффективным методом, сочетающим механизированные и ручные процессы. Этот подход обеспечивает высокую приживаемость растений и способствует успешному выращиванию плодовых и ягодных культур в промышленном садоводстве. Но имеет достаточно сложный технологический процесс, увеличивающий сроки проведения работ.

Для промышленного садоводства наиболее применимы так называемые индустриальные методы посадки черенков и саженцев, которые представляют собой эффективный и масштабируемый подход к организации процесса выращивания растений в сельском хозяйстве и садоводстве. Они обеспечивают высокую производительность и качество работ за счет использования специализированных машин и оборудования. В основе таких методов лежат следующие технологические операции:

1. Обустройство посадочных мест машинами непрерывного действия. Для данной операции используются бороздорезные машины, которые предназначены для формирования борозд или канав, в которых будут размещены черенки или саженцы. Также возможно использование специализированных машин для создания посадочных лунок в заранее заданных местах. Это позволяет автоматизировать процесс и ускорить посадку растений.

2. Непосредственно посадка. Данная операция проводится двумя методами: ручная посадка и использование посадочных машин.



1. Нарезание посадочных борозд с одновременной разметкой мест посадки



2. Перевозка зимних прививок на участки посадки



3. Ручная посадка зимних прививок



4. Уплотнение почвы при посадке



5. Междурядное рыхление после посадки



6. Уплотнение зоны посадки черенка



7. Общий вид питомника

Рисунок 2 – Алгоритм создания питомника по индустриальной технологии

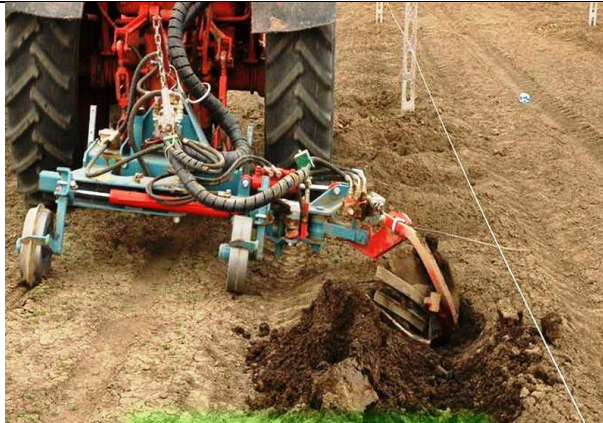
Индустриальные методы посадки черенков и саженцев позволяют существенно увеличить производительность труда, сократить расходы на

ручной труд и обеспечить более высокое качество посадки. Они являются важной составляющей современных технологий в сельском хозяйстве и садоводстве, способствуя оптимизации процессов выращивания растений и повышению эффективности сельскохозяйственного производства.

На рисунке 2 приведен алгоритм посадки черенков и саженцев при закладке нового питомника по индустриальной технологии, а в таблице 1 представлена индустриальная технология обустройства посадочных мест.

Таблица 1 – Индустриальная технология закладки промышленных садов интенсивного типа

Технология предварительного обустройства посадочных борозд	
1. Предварительная обустройство посадочных борозд	
	
2. Участок с посадочными бороздами	3. Обустройство опорных конструкций
	
4. Участок с запрессованными шпалерными столбами	5. Промышленный сад интенсивного типа
	

Технология обустройства посадочных борозд после установки опорных конструкций	
1. Машина AGROFER с плужной секцией (Италия)	2. Машина AGROFER с дисковой секцией (Италия)
	
3. Машина VIMAS Revo (Италия)	4. Машина Warka (Польша)
	
5. Участок с запрессованными шпалерными столбами	5. Промышленный сад интенсивного типа
	

Следует отметить, что при огромном разнообразии зарубежного технического оснащения индустриальной технологии закладки промышленных маточников, питомников, садов и ягодников отечественных машин практически нет. Это создает значительные трудности для отечественных садоводов, вынуждая их приобретать дорогостоящее импортное оборудование или использовать устаревшие и менее эффективные методы.

Основными проблемами, связанными с отсутствием отечественных машин для садоводства, являются:

- импортные машины и оборудование для садоводства часто имеют высокую стоимость, что затрудняет их приобретение небольшими и средними хозяйствами;
- обслуживание и ремонт импортного оборудования может быть затруднено из-за нехватки квалифицированных специалистов и запасных частей;
- адаптация к местным условиям. импортное оборудование не всегда полностью адаптировано к специфическим климатическим и почвенным условиям различных регионов страны;
- зависимость от иностранных поставок. полная зависимость от импортного оборудования увеличивает риски, связанные с колебаниями валютных курсов и международной логистикой.

Необходимость разработки отечественных машин для садоводства обусловлена следующими факторами:

- экономическая эффективность, т.е. разработка и производство отечественных машин могут значительно снизить затраты на закупку оборудования, сделать его более доступным для местных фермеров и снизить зависимость от импорта;
- техническое обслуживание, имеется ввиду, что наличие отечественных машин упростит техническое обслуживание и ремонт, так как специалисты будут лучше знакомы с оборудованием, а запасные части будут легче доступны;
- адаптация к местным условиям, позволит разрабатывать отечественные машины с учетом специфических климатических и почвенных условий страны, что повысит их эффективность и долговечность;
- поддержка местной экономики позволит способствовать созданию рабочих мест и развитию местной промышленности, путем развития отечественного производства машин для садоводства.

Примеры технологий и машин для садоводства имеющие возможность дальнейшего совершенствования:

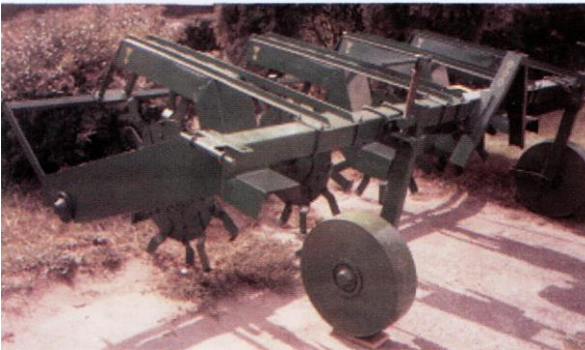
- машины и агрегаты для вспашки, рыхления, культивации и внесения удобрений.

- посадочные машины и оборудование для механизированной посадки черенков, сеянцев и саженцев, обеспечивающее точное размещение посадочного материала.
- оборудование для ухода за растениями, такие как: опрыскиватели для внесения пестицидов и удобрений, машины для обрезки и формирования деревьев и кустарников.
- машины для механизированного сбора плодов и ягод, обеспечивающие высокую производительность и снижение трудозатрат.

Разработка и внедрение отечественных машин для садоводства является важным шагом для повышения эффективности и конкурентоспособности отечественного сельского хозяйства. Это позволит снизить зависимость от импортного оборудования, повысить экономическую эффективность садоводческих хозяйств и способствовать развитию местной промышленности.

В таблице 2, приведены существующие машины для обустройства посадочных борозд (в настоящее время не производятся)

Таблица 2 – Зарубежные и отечественные машины для обустройства посадочных борозд при закладке промышленных маточников и питомников.

Бороздонарезчик МНБ-4	
	Предназначен для нарезания борозд при посадке подвоев плодовых культур в питомнике Агрегатируется – с тр-ми кл. 1,4 Производительность, га/ч – 0,25 Количество одновременно нарезаемых борозд, шт. – 2-4 Ширина междурядий, м – 0,45-3,8 Ширина и глубина борозды, м – 0,11/0,30 Масса, кг – 750 Разработчик-изготовитель: НАН Украина
Бороздонарезчик МНБ-2	
	Предназначен для нарезания борозд при посадке подвоев плодовых культур в питомнике Агрегатируется – с тр-ми кл. 1,4 Производительность, га/ч – 0,15 Количество одновременно нарезаемых борозд, шт. – 2 Ширина междурядий, м – 0,45-2,2 Ширина и глубина борозды, м – 0,11/0,30 Масса, кг – 450 Разработчик-изготовитель: НАН Украина

Бороздонарезчик МНБ-1	
	Предназначен для нарезания борозд при посадке интенсивного сада Агрегатируется – с тр-ми кл. 1,4 Производительность, га/ч – 0,3-0,4 Количество одновременно нарезаемых борозд, шт. – 1 Ширина борозды, м – 0,25 Глубина борозды, м – до 0,3 Масса, кг – 225 Разработчик-изготовитель: НАН Украина
Щелерез для посадки подвоев	
	Трехрядный, позволяет производить нарезку борозд для высаживания в день до 100 тыс. подвоев. Агрегатируется с тракторами тягового класса 1,4. Техническая характеристика Ширина: междурядий, м - 0,5-3 борозды, см - 35 Глубина борозды, см - 25 Число одновременно нарезаемых борозд - до 3 Разработчик-изготовитель – СП СадМашСервис».

Обустройство борозд, в промышленном садоводстве, является ключевым элементом, определяющим эффективность сельскохозяйственного производства. Существующие методы и современные технологии, в отличие от традиционных до автоматизированных систем, позволяют агрономам эффективно управлять ресурсами и повышать урожайность. Инновационные подходы, такие как точное земледелие и использование специализированных машин, открывают новые горизонты для устойчивого развития садоводства, позволяя адаптироваться к изменяющимся условиям и обеспечивать высокие результаты в производстве. Применение этих технологий делает возможным успешное ведение сельского хозяйства в условиях ограниченных ресурсов и изменяющегося климата [35].

1.5 Анализ существующих рабочих органов машин для обустройства борозд и перспективы их совершенствования

Рабочие органы бороздонарезчиков являются ключевыми элементами, определяющими эффективность и качество нарезки борозд. Они могут иметь разнообразные формы и конструкции, что позволяет использовать их для различных типов почвы и условий [34, 37].

Существуют два основных типа рабочих органов (ножей):

1. Режущие ножи. К ним относятся: прямые ножи, скалывающие ножи, г-образные ножи, тарельчатые ножи.
2. Рыхлящие ножи. К ним можно отнести: долота, зубья, лапы, крючки, кирки.

Одной из интересных конструкций является устройство для нарезки борозд, разработанное Григоряном Ш.М. и соавторами. Это устройство предназначено для нарезки борозд на склонах, где обычные бороздонарезчики могут быть менее эффективны [38].

Устройство включает несколько ключевых элементов, таких как носитель, зубчатая рейка и стопоры. Эти элементы позволяют изменять угол наклона диска относительно траектории движения.

Возможность регулировки угла наклона диска значительно повышает качество нарезки борозд на склонах, что особенно важно для предотвращения эрозии почвы и обеспечения равномерного распределения влаги.

Основным рабочим органом устройства являются диски, которые могут изменять угол наклона к траектории движения. Это позволяет адаптироваться к различным условиям и типам почвы, обеспечивая качественную нарезку борозд даже на сложных рельефах (рисунок 3).

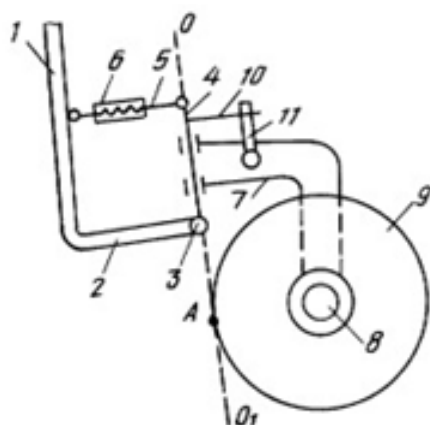


Рисунок 3 – Устройство для нарезки борозд

Рабочие органы бороздонарезчиков играют критическую роль в эффективности и качестве обработки почвы. Разнообразие форм и конструкций ножей позволяет адаптировать машины к различным условиям, будь то почвы с растительными остатками или плотные

минеральные слои. Инновационные конструкции, такие как устройства с регулируемым углом наклона дисков, разработанные для работы на склонах, расширяют возможности применения бороздонарезчиков, обеспечивая высокое качество нарезки борозд в самых сложных условиях.

В машине для нарезки поливных борозд [39] рабочим органом является бороздодел, выполненный в качестве клина (рисунок 4).

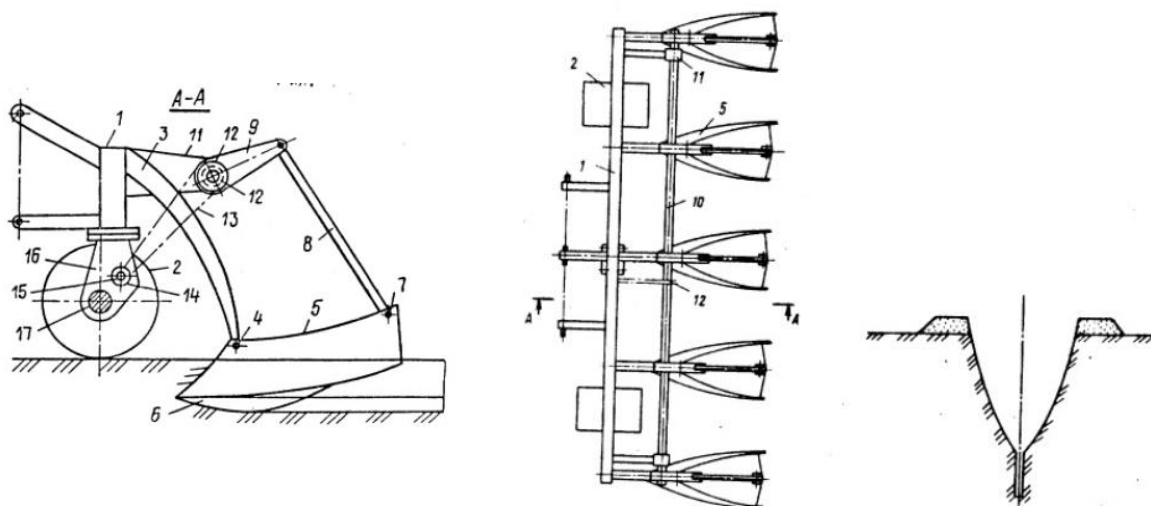


Рисунок 4 – Устройство для нарезки поливных борозд

Устройство для нарезки борозд включает раму 1 с опорным колесом 2 и бороздоделом 5, шарнирно закрепленным на стойке 3 и кинематически связанным через реверс-редуктор 16 с опорным колесом 2. При нарезке борозд и вращении колес 2 через реверс-редуктор 16, рычаг 9 и тягу 8 усилие передается на концевую часть бороздодела 5, последовательно увеличивая или уменьшая глубину борозды в заданных пределах. Однако качество такой борозды не отвечает агротребованиям садоводства.

Устройство для нарезки борозд включает в себя следующие основные элементы:

- | | |
|--|------------------------|
| 1. Рама. Основа конструкции, на которую крепятся все остальные компоненты. | 7. Шарнир бороздодела. |
| 2. Опорное колесо. Обеспечивает устойчивость и движение устройства по поверхности почвы. | 8. Тяга. |
| 3. Стойка. Шарнирно закрепляет бороздодел на раме. | 9. Поворотный рычаг. |
| 4. Шарнир. | 10. Вал. |
| 5. Бороздодел. | 11. Опоры. |
| 6. Лемех | 12. Звездочка. |
| | 13. Цепь. |
| | 14. Звездочка. |
| | 15. Выходной вал. |
| | 16. Реверс-редуктор |
| | 17. Входной вал. |

Реверс-редуктор 16: Кинематически связывает опорное колесо с бороздоделом, передавая усилие.

Рычаг 9 и тяга 8: Механизмы, которые передают усилие от реверс-редуктора к бороздоделу.

Принцип работы

Нарезка борозд: Во время движения устройства по полю, опорное колесо 2 вращается, приводя в действие реверс-редуктор 16.

Передача усилия: Реверс-редуктор через рычаг 9 и тягу 8 передает усилие на концевую часть бороздодела 5.

Регулировка глубины: Усилие, передаваемое на бороздодел, позволяет последовательно увеличивать или уменьшать глубину борозды в заданных пределах.

К недостатком можно отнести качество создаваемой борозды. Несмотря на возможность регулировки глубины, качество борозды, создаваемой данным устройством, не соответствует агротехническим требованиям садоводства. Это может быть связано с недостаточной стабильностью глубины нарезки или неправильной формой борозды, что влияет на посадку и рост растений.

Для удовлетворения агротехнических требований садоводства необходимо учитывать следующие аспекты:

- стабильность глубины нарезки, т.е. борозды должны иметь равномерную глубину, соответствующую установленным агротехническим нормам;
- борозда должна быть четко сформированной, с правильными геометрическими параметрами, чтобы обеспечить оптимальные условия для посадки саженцев и их дальнейшего роста;
- устройство должно быть достаточно прочным и надежным, чтобы обеспечивать стабильную работу в различных условиях почвы и климата.

Таким образом, для повышения качества борозд и соответствия агротехническим требованиям, необходимо доработать конструкцию устройства, улучшить стабильность его работы и обеспечить соответствие геометрических параметров борозд требованиям садоводства.

Рабочий орган для роторного внутрпочвенного рыхления представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких функционально связанных компонентов (рисунок 5). Его конструкция обеспечивает эффективное рыхление почвы и включает следующие основные элементы:

- Ротационные щелерезы. Два ротационных щелереза расположены вертикально симметрично вдоль направления движения устройства. Эти щелерезы приводятся в действие общим приводом. Щелерезы выполняют основную функцию резания и рыхления почвы.

- Внутрипочвенный роторный фрезерователь. Находится ниже ротационных щелерезов и также приводится в действие валами. Эти валы расположены горизонтально и перпендикулярно направлению движения агрегата. Роторный фрезерователь выполняет дополнительное рыхление почвы на большей глубине.

Приводная система:

Ведущая шестерня - приводит в движение весь механизм.

Ведомая шестерня - следует за ведущей, передавая движение на другие части системы.

Центрирующая шестерня - обеспечивает правильное и стабильное зацепление шестерен, поддерживая симметрию и точность работы.

Кольцевой щелерез - оборудован режущими органами, расположенными поочередно на его боковых поверхностях. Кольцевой щелерез также включает цилиндрическую опорную поверхность, диаметр которой совпадает с диаметром соответствующей окружности зацепления. Это обеспечивает стабильность и надежность конструкции в процессе работы.

Режущие органы на боковых поверхностях кольцевого щелереза чередуются слева и справа, что позволяет равномерно распределять усилие резания и минимизировать нагрузку на механизм.

Такое устройство рабочего органа для роторного внутрипочвенного рыхления обеспечивает высокую эффективность и качество обработки почвы за счет сочетания резания, рыхления и фрезерования на различных уровнях глубины.

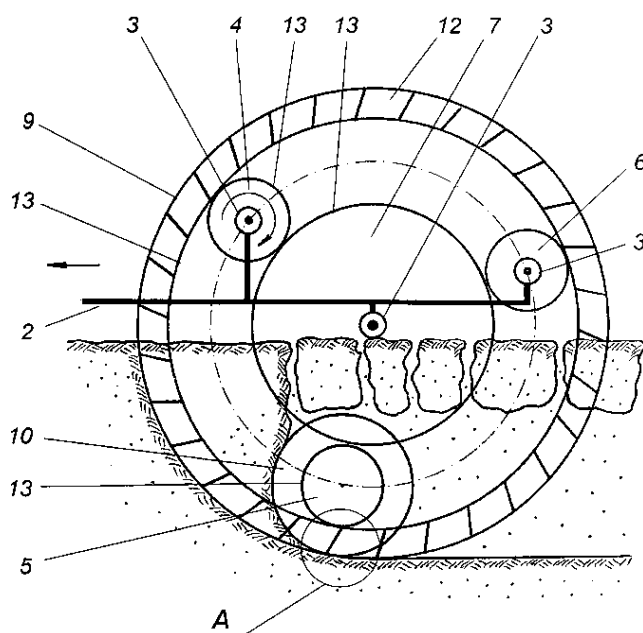


Рисунок 5 – Устройство для рыхления внутреннего слоя почвы

Ротационный щелерез оснащен солнечной шестерней, которая установлена на отдельном валу. Этот вал расположен на раме устройства,

поддерживается подшипниками и находится горизонтально, перпендикулярно направлению движения рыхлителя. Кольцевой щелерез выполнен в виде внешней шестерни планетарной передачи. Ведущая, ведомая и центрирующая шестерни привода взаимодействуют с солнечной шестерней и кольцевым щелерезом в рамках планетарной передачи. Такая конструкция повышает надежность работы устройства, но делает его более сложным.

В качестве рабочего органа для нарезки борозд может быть использован дисковый рабочий орган (Ложкин В.Е., Черных М.М.) (рисунок 6) [40].

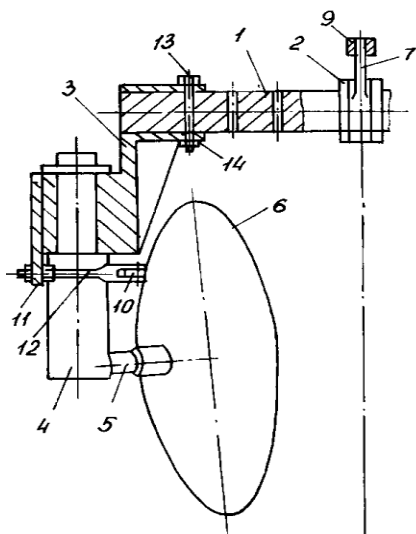


Рисунок 6 – Дисковый рабочий орган для обработки почвы

Дисковый рабочий орган для обработки почвы включает ось и связанные с ней две полуоси. На каждой полуоси установлен диск с помощью кронштейна с рычагом и цапфы с упором. Цапфа с упором и кронштейн с рычагом соединены регулируемой тягой, что позволяет настроить угол атаки и взаимное расположение дисков.

Конструкция щелереза (Джавадов Р.Д.) частично соответствует требованиям качества борозды для посадки подвоев и саженцев плодовых культур. Почвообрабатывающее орудие представляет собой несущую шарнирно-сочлененную раму с активными щелерезами, защищенными кожухом. Особенность конструкции заключается в том, что на раме, помимо рыхлителей-разрушителей, установлена дополнительная рама, которая поддерживается выносным гидроцилиндром. На этой дополнительной раме размещены секции приводных щелерезов с независимыми подпружиненными подвесками и чистиками [41].

Секции активных щелерезов представляют собой сменные плоские вырезные диски, на которых равномерно радиально закреплены выравниватели-уплотнители на обеих поверхностях, включая стенки и дно. Эти выравниватели представлены прутками-кругляками и опорными башмаками в форме трехгранного клина с кривизной оснований. Кожух

выполнен как кожух-заравниватель [42, 43].

Важно отметить, что рабочий орган щелереза вращается в направлении движения тягового средства, что может привести к частичной засыпке траншеи и ухудшению ее качества.

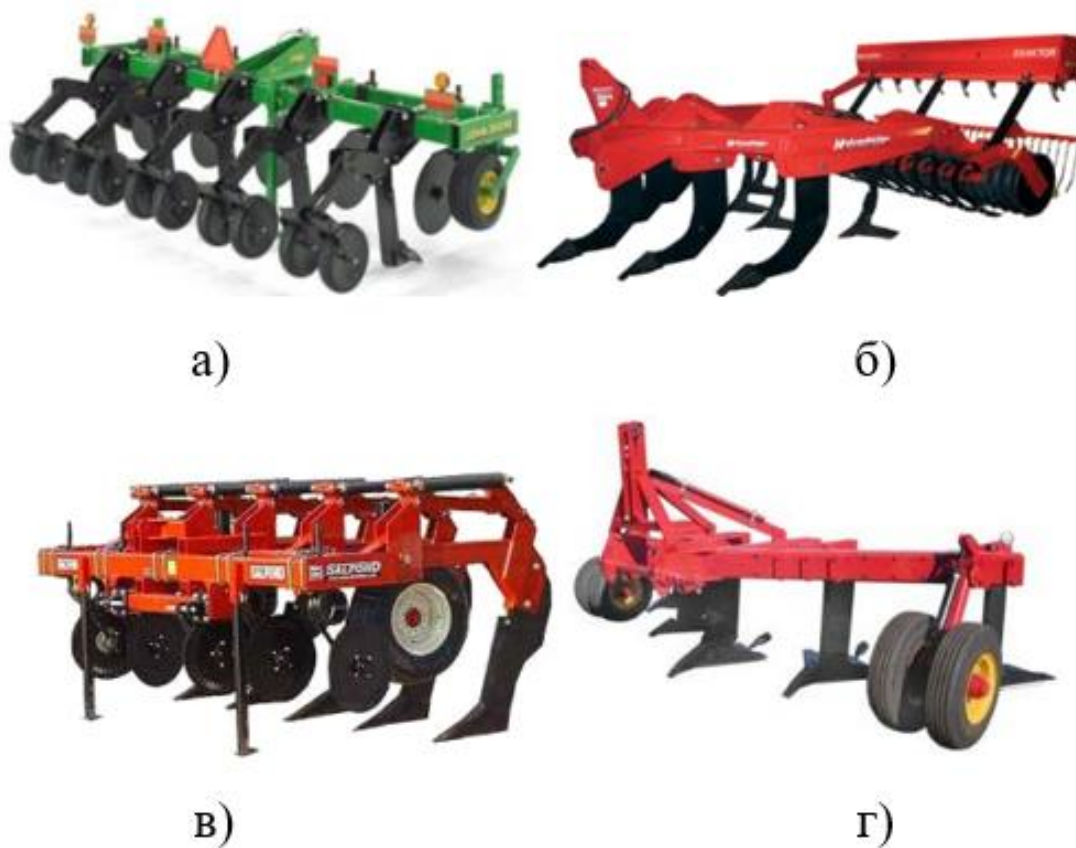


**Рисунок 7 – Варианты конструктивно-технологических схем щелевателей [30]:
а) «Till-Ripper»; б) «Delta-New»; в) «Salford»; г) ГЩ-4М**

Создание борозд в сельском хозяйстве, и в частности в промышленном садоводстве, является важным процессом, который влияет на эффективность использования ресурсов и урожайность культур. Рабочие органы машин, предназначенные для обустройства борозд, играют ключевую роль в этом процессе, обеспечивая точность и качество выполнения работ.

Рабочие органы машин, используемые для создания борозд, должны выполнять ряд функций: выемка почвы, формирование борозд, а также, в некоторых случаях, уплотнение почвы. Качество выполнения этих функций напрямую влияет на условия, в которых будут расти растения. Неправильная глубина и ширина борозд могут привести к неравномерному распределению влаги и удобрений, что, в свою очередь, негативно сказывается на урожайности.

Для эффективного обустройства борозд используются различные

типы рабочих органов, в том числе плуги, бороздоделы, культиваторы и другие специализированные устройства. Каждый из этих типов имеет свои особенности, преимущества и ограничения.

Плуги являются одними из самых распространенных рабочих органов для обустройства борозд. Они могут быть как простыми, так и многофункциональными, что позволяет выполнять несколько операций за один проход. Плуги могут быть скобными, дисковыми и ротационными, каждый из которых имеет свои преимущества в зависимости от типа почвы и условий работы. Например, дисковые плуги отлично подходят для обработки тяжелых почв, в то время как ротационные плуги могут использоваться для более мелкой обработки.

Однако у плугов есть и недостатки. Например, они могут вызывать ухудшение структуры почвы, что неблагоприятно сказывается на её водопроницаемости и аэрации. Поэтому их использование требует осторожного подхода и грамотного планирования.

Бороздоделы являются специализированными машинами, предназначенными для создания борозд определенной глубины и ширины. Они могут оснащаться различными типами рабочих органов, что позволяет им адаптироваться под различные условия. Бороздоделы обеспечивают высокую точность при создании борозд и минимизируют воздействие на окружающую почву. Благодаря этому их использование в промышленном садоводстве становится особенно актуальным.

Однако, несмотря на их преимущества, бороздоделы требуют регулярного технического обслуживания и могут быть чувствительны к условиям эксплуатации, таким как влажность почвы и наличие камней.

Культиваторы могут использоваться как для создания борозд, так и для рыхления почвы. Их гибкость позволяет адаптировать работу под конкретные условия и потребности. Культиваторы обеспечивают хорошую аэрацию почвы и улучшают её структуру. Однако они менее эффективны для создания глубоких борозд, что может быть критично в некоторых случаях.

С учетом современных требований к сельскому хозяйству и промышленному садоводству, существует необходимость в совершенствовании рабочих органов машин для создания борозд. Ниже представлены некоторые направления, которые могут быть актуальны для повышения их эффективности.

Одним из перспективных направлений является использование новых, более прочных и легких материалов для изготовления рабочих органов. Современные композитные материалы могут значительно увеличить срок службы оборудования и уменьшить его вес, что, в свою очередь, приведет к снижению потребления топлива и затрат на обслуживание.

Интеграция автоматизированных систем управления и мониторинга

также представляет собой важный шаг вперед. Оснащение машин датчиками, позволяющими контролировать параметры работы в реальном времени, повысит точность выполнения работ. Такие системы могут автоматически регулировать глубину и ширину борозд в зависимости от состояния почвы и требуемых условий, что делает процесс более адаптивным.

Разработка адаптивных технологий, которые учитывают особенности конкретного поля и почвы, позволит повысить эффективность создания борозд. Использование технологий точного земледелия для анализа состояния почвы и определения оптимальных параметров работы может существенно улучшить результаты.

Учитывая растущие экологические требования, важным направлением является разработка рабочих органов, минимизирующих негативное воздействие на почву и окружающую среду. Это может включать технологии, способствующие сохранению структуры почвы, улучшению её водопроницаемости и минимизации эрозии.

Создание модульных рабочих органов, которые могут легко адаптироваться под различные типы почвы и культур, также является перспективным направлением. Это позволит агрономам использовать одно и то же оборудование для выполнения различных задач, что повысит универсальность и эффективность работы.

Рабочие органы машин для обустройства борозд играют ключевую роль в эффективном производстве в промышленном садоводстве. Существующие технологии и оборудование имеют свои сильные и слабые стороны, и их выбор зависит от конкретных условий работы. Однако с учетом современных требований к агрономии и экологии, существует необходимость в их совершенствовании. Направления, такие как использование инновационных материалов, автоматизация, адаптивные технологии и экологические аспекты, могут значительно повысить эффективность создания борозд и, как следствие, улучшить результаты сельскохозяйственного производства. Инвестиции в эти технологии окажут положительное влияние на рентабельность и устойчивость отрасли, что особенно актуально в условиях быстро меняющегося климата и растущего спроса на сельскохозяйственную продукцию.

Для создания качественных борозд и щелей при технологии посадки садовых культур необходимо учитывать следующие требования к рабочему органу бороздонарезчика:

1. Активный рабочий орган. Рекомендуется использовать ротор или фрезу, которые обеспечивают эффективное рыхление почвы. Они должны иметь привод от ВОМ трактора для обеспечения достаточной мощности и скорости работы.
2. Противоположное направление вращения. Вращение рабочего органа должно происходить против направления движения

тягача. Это помогает предотвратить частичную засыпку траншеи и обеспечить лучшее качество создаваемой борозды.

3. Возможность регулировки угла установки. Рабочий орган должен быть способен изменять угол установки относительно плоскости, перпендикулярной оси вращения. Это позволяет адаптировать глубину и форму борозды под конкретные условия почвы и требования посадки культур.

Таким образом, проектирование бороздонарезчика должно учитывать эти факторы для обеспечения эффективного и качественного создания борозд и щелей, необходимых для успешной посадки подвоев и саженцев плодовых культур.

1.6 Обзор исследований процесса взаимодействия рабочих органов бороздонарезчиков с почвой

Обзор исследований процесса взаимодействия рабочих органов бороздонарезчиков с почвой охватывает ряд ключевых аспектов, таких как механика взаимодействия, влияние конструктивных особенностей рабочих органов на почву, а также энергоэффективность и агротехническую пригодность оборудования. Эти исследования направлены на оптимизацию процесса нарезки борозд для улучшения условий посадки и повышения эффективности сельскохозяйственных операций. Рассмотрим основные направления исследований в этой области [44, 45].

Одним из главных направлений исследований является изучение механики взаимодействия рабочих органов бороздонарезчиков с почвой. Эти исследования включают:

1. Сопротивление почвы. Анализ силы, необходимой для преодоления сопротивления почвы при нарезке борозд. Сопротивление зависит от типа и состояния почвы (влажность, плотность, гранулометрический состав). Исследования показывают, что оптимизация формы и угла наклона рабочих органов может значительно снизить это сопротивление.
2. Деформация почвы. Изучение изменений в структуре почвы при воздействии рабочих органов, включая образование борозд, разрушение плужной подошвы и улучшение аэрации. Важное значение имеет понимание того, как различные формы рабочих органов влияют на процесс деформации почвы и качество создаваемых борозд.

Конструкция рабочих органов бороздонарезчиков, включая форму, размер и угол наклона, оказывает существенное влияние на процесс взаимодействия с почвой.

Исследования показывают, что различные конструкции лемехов и ножей влияют на форму и качество борозд, а также на энергоэффективность процесса. Лемехи с оптимизированными углами наклона и остротой режущей кромки позволяют снизить усилия, необходимые для нарезки борозд, и улучшить качество обработки почвы.

Возможность регулировки глубины и ширины борозд является важным аспектом, исследуемым для обеспечения соответствия агротехническим требованиям. Это позволяет адаптировать бороздонарезчики под различные условия почвы и требования конкретных культур [46, 47].

Энергопотребление является критическим фактором в оценке эффективности бороздонарезчиков.

Исследования показывают, что оптимизация формы и конструкции рабочих органов может значительно снизить энергозатраты при нарезке борозд. В частности, использование комбинированных или специализированных рабочих органов позволяет улучшить соотношение между затратами энергии и качеством обработки.

Влияние скорости движения бороздонарезчика на энергопотребление и качество борозд также является важным направлением исследований. Высокая скорость может увеличить сопротивление почвы, что требует более мощных двигателей и, соответственно, увеличивает энергозатраты.

Сохранение структуры почвы и предотвращение её деградации при обработке бороздонарезчиками является важным направлением исследований. Изучение методов, позволяющих минимизировать повреждение структуры почвы при нарезке борозд. Важным аспектом является предотвращение чрезмерного уплотнения почвы и сохранение её водопроницаемости. Борьба с эрозией почвы, особенно на склонах, является ключевой задачей при использовании бороздонарезчиков. Исследования показывают, что определённые конструктивные решения и методы обработки могут снизить риск эрозии, сохраняя при этом эффективность нарезки борозд [48, 49].

Современные исследования активно используют цифровые технологии и моделирование.

Использование компьютерных моделей для симуляции процесса взаимодействия рабочих органов с почвой позволяет исследователям предсказывать результаты различных конструктивных решений без необходимости проведения дорогостоящих полевых испытаний [50, 51].

Внедрение автоматизированных систем управления бороздонарезчиками, включая GPS-навигацию позволяющие адаптировать оборудование к изменяющимся условиям на поле.

Исследования процесса взаимодействия рабочих органов бороздонарезчиков с почвой охватывают широкий спектр тем, от механики почвы до энергопотребления и воздействия на окружающую среду. Эти

исследования направлены на создание более эффективных, энергоэкономичных и экологически безопасных технологий, способных обеспечить высокое качество агротехнических работ и устойчивое развитие сельского хозяйства.

1.6.1 Физико-механические свойства почв

Сравнивая обработку почвы с обработкой металла, можно отметить, что процессы, происходящие под действием рабочего органа, имеют много общих черт. Основное различие заключается в том, что при обработке металла стружка, которая образуется, является отходом процесса, в то время как при обработке почвы получение оптимальной структуры почвы является основной целью.

В разделе «механика разрушения» дисциплины «Механика почв» изучаются процессы, происходящие в слое почвы при взаимодействии его с рабочими органами сельскохозяйственных машин. Термин «Разрушение почвы» впервые был введен академиком Горячкиным В.П. Однако в земледельческой механике нас интересует не только сам процесс разрушения почвы, а главным образом достижение оптимальных параметров, так как именно механические, физические и химические свойства почвы влияют на уровень урожайности [52, 53].

При исследовании почвообрабатывающих машин особое внимание уделяется таким аспектам, как прочность материала, поскольку понимание процессов деформации и разрушения помогает выбирать подходящий тип рабочего органа и оптимальные режимы обработки.

В соответствии с установившимся мнением, прочностные свойства почвы зависят от ее структуры, которая формируется скелетом из твердых частиц, между которыми находятся заполненные водой и газообразной средой полости. Соотношение между твердыми, жидкими и газообразными компонентами определяет основные параметры почвы, такие как предел прочности, механический состав, структура, плотность, пористость и другие.

Механический состав почвы характеризуется содержанием частиц различного размера: пылевидных (0,01...0,05 мм) и иловидных ($\leq 0,001$ мм). Структурность почвы значительно зависит от иловидных частиц, которые способны сворачиваться в хлопья.

Удельная поверхность твердых частиц влияет на степень их дисперсности. Увеличение удельной поверхности в сочетании с электрохимическими и цементационными процессами приводит к формированию комков (микроагрегаты $\leq 0,25$ мм, макроагрегаты $> 0,25$ мм), которые обладают более высокой прочностью. Это требует больших усилий для их разрушения. Оптимальная структура почвы для сельскохозяйственных культур представлена комками размером от 2

до 10 мм.

Влажность также оказывает значительное влияние на структуру почвы. При недостаточной влажности повышается прочность почвенного пласта, что способствует образованию более крупных комков при обработке. В условиях повышенной влажности вязкость увеличивается, что затрудняет обработку почвы [54].

Таким образом, понимание и учет всех этих факторов важны для выбора оптимальных методов и средств обработки почвы с целью создания благоприятных условий для роста сельскохозяйственных культур.

Структурность почвы можно определить по следующей формуле:

$$K = \frac{C}{B} \cdot 100\% ; \quad (1.1)$$

где: С – количество макроагрегатов размером 0,25...7 мм.;

Б – сумма агрегатов размером 0,25...10 мм.

1.6.2 Физические процессы, происходящие при взаимодействии рабочих органов с почвой

В соответствии с теорией В.П. Горячкина, при воздействии рабочих органов сельскохозяйственной техники на почву происходят такие процессы, как резание, крошение, уплотнение и перемещение частиц почвы. Рассматривая процесс резания, он может осуществляться с отделением стружки и без такового [52] (рисунок 8).

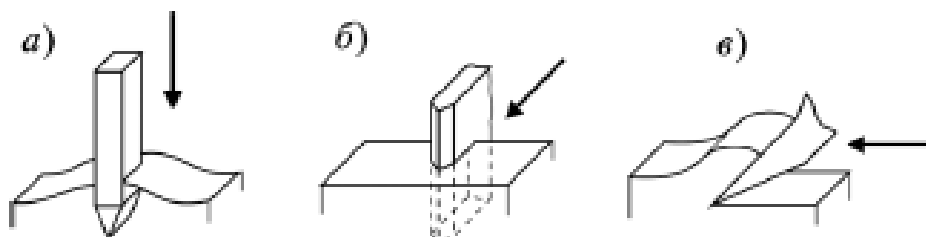


Рисунок 8 – Основные виды резания пласта почвы:

а, б – резание без отделения стружки; в – резание с отделением стружки

В механике грунтов важно понятие «блокированного резания», которое описывает процесс резания пласта почвы без образования стружки. Этот процесс может происходить как перпендикулярно, так и параллельно поверхности земли при использовании таких рабочих органов, как стойки рыхлителей, щелевателей, плоские дисковые или черенковые ножи.

При работе плоских и криволинейных клиновидных рабочих

органов, таких как ножи фрез, диски борон, лемехи плугов, происходит резание пласта с отделением стружки в результате их поступательного или вращательного движения.

Особенно эффективными при создании борозд являются фрезерные рабочие органы. Эти диски вращаются вокруг вертикальной или горизонтальной оси и оснащены ножами различной формы.

При использовании клинообразных рабочих органов происходит преимущественно процесс деформации сжатия почвы. Под воздействием рабочего органа возникает момент, когда нагрузка начинает доминировать над межагрегатными связями почвы, что приводит к их разрыву и, следовательно, к разрушению пласта почвы с образованием стружки (рисунок 9).



Рисунок 9 – Основные виды стружек (по В.П. Горячкину)

В общем виде процесс образования почвенной стружки можно разделить на два основных этапа (рисунок 10) [52]:

Первый этап: В начале движения клинообразный рабочий орган втискивает и уплотняет почву, смещая её в недеформированной зоне (перемещение $O-O_1$).

Второй этап: Далее происходит скалывание участков пласта почвы под углом ψ . Это сопровождается движением в двух направлениях:

- по поверхности клина со скоростью v_r .
- по плоскости сдвига ($o_1 - a_1$) со скоростью v_a .

На этом этапе происходит активное разрушение почвы и образование стружки, которая затем удаляется из рабочей зоны.

Эти этапы иллюстрируют основные механизмы, с помощью которых клинообразные рабочие органы обрабатывают почву, создавая борозды и улучшая её структуру для следующих сельскохозяйственных процессов.

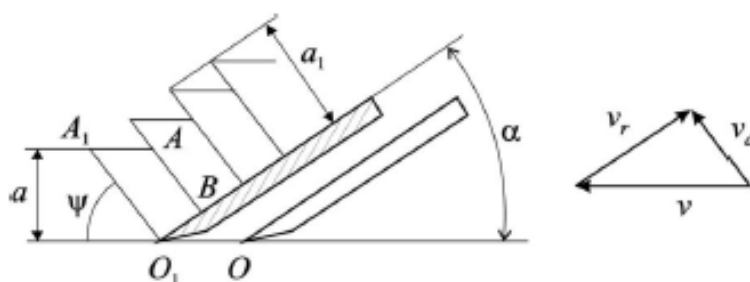


Рисунок 10 – Схема образования почвенной стружки

Анализ работ Ю.Ф. Новикова и Г.Н. Синеокова [55, 56] показывает, что процесс отделения почвенного пласта при использовании клинообразных рабочих органов можно разделить на две фазы:

Первая фаза: В этой фазе происходит формирование сдвигов, направленных от поверхности рабочего органа к поверхности почвы, но они не достигают её. Этот этап характеризуется формированием натяжений и деформаций внутри почвенного пласта.

Вторая фаза: На этом этапе происходит преобразование одной из плоскостей сдвига в трещину отрыва или сдвига, которая распространяется до поверхности почвы. Это приводит к разрыву пласта почвы на слои, где поверхности сдвига ориентированы перпендикулярно и параллельно поверхности почвы.

Таким образом, разрушение почвенного пласта при использовании клинообразных рабочих органов происходит через процесс деформации отрыва, который может включать скрытые деформации сдвига. Этот процесс изучался в работах В.П.Горячкина [52], который называл его «смятие почвенных частиц», и в трудах Г.Н.Синеокова [55], где упор делался на «уплотнение почвы клином и вдавливание ее частиц».

Аналогичные процессы образования стружки при обработке металлических поверхностей изучались в работах таких авторов, как И. Тиме, К.А. Зворыкин, Н. Klopstock, М. Okochi и других.

Таким образом, анализ этих процессов позволяет сделать вывод, что при обработке почвы клинообразными рабочими органами происходит последовательное смятие пласта и образование стружки под действием изгибающего момента, что способствует разрушению и подготовке почвы к следующим агротехническим операциям.

В общем виде процесс разрушения почвенного пласта рабочим органом можно разделить на несколько этапов, которые чередуются в ходе работы:

Первый этап: На этом этапе образуется серия сдвигов участков почвы и формируется опережающая трещина. Этот процесс подготавливает пласт к дальнейшему разрушению.

Второй этап: Развитие опережающей трещины приводит к разделению пласта на слои под воздействием напряжений растяжения и сдвига, которые возникают из-за изгибающего момента рабочего органа.

Третий этап: Сформировавшиеся части пласта поднимаются по поверхности рабочего органа, образуя при этом стружку. На этом этапе также происходит очистка дна борозды.

Эти этапы повторяются и объединяются в непрерывный процесс обработки почвы.

Л.П. Крамаренко [57] выражает мнение о том, что эффективная обработка почвы фрезой возможна, если горизонтальная составляющая окружной скорости ножа фрезы превышает скорость движения агрегата.

При этом он отмечает, что при вращении фрезы «сверху-вниз» горизонтальная составляющая окружной скорости направлена против движения агрегата, что может приводить к сминанию почвенного пласта и усложнению процесса.

Однако исследования Далина А.Д. и Павлова П.В. [58] опровергают эту точку зрения. Они показали, что при вращении фрезы «снизу-вверх» горизонтальная составляющая окружной скорости направлена в сторону движения агрегата. Это способствует более эффективному формированию стружки. Важным аспектом является то, что при таком подходе большая часть вырезанного грунта выносится на поверхность, что улучшает качество обработки и предотвращает засыпку траншеи.

Таким образом, при проектировании универсальных бороздо-нарезчиков следует учитывать, как глубину резания фрезы, так и скорость ее вращения, чтобы обеспечить оптимальные условия для формирования стружки и предотвращения нежелательных последствий, таких как засыпка обработанной траншеи.

1.6.3 Влияние скорости движения рабочих органов на показатели почвы

Скорость движения рабочих органов в сельскохозяйственной технике оказывает значительное влияние на различные показатели почвы.

Скорость движения рабочих органов напрямую влияет на качество выполнения агротехнических процессов, таких как вспашка, боронование, бороздонабивка и другие. Высокая скорость может привести к неполной обработке почвы или неравномерному ее обработанию, что негативно отразится на последующем росте и развитии сельскохозяйственных культур.

Изменение скорости движения органов может влиять на структуру и плотность почвы. Например, при высокой скорости могут возникать большие динамические нагрузки, которые способствуют уплотнению почвы и снижению ее водопроницаемости.

Скорость движения органов также может влиять на прочностные свойства почвы, включая ее устойчивость к деформации и разрушению. Это особенно важно при использовании рабочих органов, которые выполняют сильное давление на почву, такие как плуги, рыхлители и дисковые бороны.

Оптимальная скорость движения помогает минимизировать энергозатраты на выполнение агротехнических операций. Слишком низкая скорость может привести к неэффективному использованию машин и оборудования, а слишком высокая – к увеличению расхода

топлива и износа машин [59].

Скорость движения органов может влиять на биологические процессы в почве, такие как взаимодействие с микроорганизмами и микробиологическая активность. Выбор оптимальной скорости позволяет создать благоприятные условия для развития полезных микроорганизмов и минимизировать негативное воздействие на почвенную биоту.

Таким образом, при выборе скорости движения рабочих органов необходимо учитывать комплексный подход, который учитывает технологические, экологические и экономические аспекты сельскохозяйственного производства.

Изложенные в исследованиях аспекты влияния скорости движения рабочих органов на обработку почвы и связанные с этим процессы представляют собой важные аспекты для оптимизации сельскохозяйственных технологий. Ниже приведены основные выводы и наблюдения из данных исследований:

1. Влияние скорости обработки на энергозатраты и качество обработки:

- повышение скорости обработки почвы приводит к увеличению энергозатрат. это связано с необходимостью преодоления большего сопротивления пласта почвы;
- увеличение скорости может влиять на глубину обработки и качество формирования борозды. оптимальная скорость выбирается таким образом, чтобы обеспечить необходимую глубину и качество обработки без излишнего потребления энергии.

2. Динамическое и статическое воздействие рабочих органов:

- динамическое воздействие характеризуется толчками и ударами частиц почвы, что создает затухающие импульсы и может вызывать более интенсивные деформации;
- статическое воздействие более медленное и происходит за счет постепенного приложения силы. оно влияет на формирование пластичных свойств почвы.

3. Удельное сопротивление резанию почвы и скорость нагружения:

- удельное сопротивление резанию почвы зависит от скорости нагружения. при статическом нагружении объект проявляет пластичные свойства, а при динамическом – склонность к хрупкости;
- с увеличением скорости нагружения удельное сопротивление резанию растет по квадратичной зависимости. это говорит о том, что быстрое воздействие может приводить к более интенсивным реакциям со стороны почвы.

4. Оптимизация параметров обработки:

- при использовании фрезерных дисков важно правильно

подобрать размеры диска (глубину обработки) и скорость вращения. это позволяет достичь оптимальной геометрии борозды, соответствующей требованиям сельскохозяйственных культур.

Таким образом, изучение воздействия скорости движения рабочих органов на почву позволяет оптимизировать сельскохозяйственные процессы с учетом экономических и технологических факторов, а также обеспечить максимальное качество обработки с минимальными энергозатратами.

Экспериментальные данные подтверждают, что при росте скорости обработки, увеличиваются энергозатраты.

Из высказывания Горячкина В.П. исходит предположение, что увеличение скорости обработки почвы приводит к увеличению силы тяги плуга, что, в свою очередь, способствует более дальнему отбросу пласта почвы. Однако он указывает, что увеличение скорости обработки не приводит к значительному увеличению деформации почвы.

Что касается различия между ударным и статическим воздействием рабочих органов на почву, Горячкин отмечает, что это различие незначительно. Статическое воздействие характеризуется медленным процессом, где сила действует равномерно и постепенно, определяясь удельным сопротивлением почвы на поперечное сечение. Частота статического воздействия обычно невелика, не превышая 12-20 Гц.

Динамическое воздействие, напротив, включает в себя толчки и удары частиц почвы об рабочие органы, создавая затухающие импульсы. Частота такого динамического воздействия составляет обычно от 20 до 50 Гц. Эти затухающие импульсы могут приводить к более интенсивным деформациям и реакциям со стороны почвы.

Таким образом, Горячкин подчеркивает, что хотя увеличение скорости обработки может усилить силу тяги и дальний отброс пласта, это не обязательно приводит к значительному увеличению деформации почвы. В то же время, статическое и динамическое воздействия рабочих органов на почву имеют свои особенности, их различия, хоть и не критически значимы в контексте воздействия на почву, всё же существенны при анализе и оптимизации сельскохозяйственных технологий.

Исследования Горячкина В.П., о которых упоминает Гудков А.Н., подтверждают, что время преодоления сопротивления почвы рабочим органом является небольшим и имеет ударный характер воздействия. Это означает, что при воздействии рабочего органа на почву происходит быстрое преодоление сопротивления с последующим изменением кинетической энергии. Эта кинетическая энергия преобразуется в энергию упруго-пластического деформирования почвы.

Деформация почвы может быть отнесена к динамической, если

скорость воздействия рабочего органа достаточно высока, чтобы в разрушаемом материале возникли остаточные деформации. Это указывает на то, что при высоких скоростях воздействия рабочего органа почвенный материал может не только временно деформироваться, но и сохранять изменения формы после прекращения воздействия.

Эксперименты Гудкова А.Н. также показывают, что различные типы почв реагируют на воздействие рабочих органов при разных скоростях. Плотные почвы склонны к разрушению при меньших скоростях воздействия, в то время как почвы с более рыхлой структурой могут разрушаться при более высоких скоростях. Это наблюдение подчеркивает важность адаптации технологий обработки почвы в зависимости от её физико-механических свойств для оптимального использования рабочих органов и достижения желаемых результатов обработки [60].

При рассмотрении процесса разрушения пласта почвы во время обработки рабочим органом, ключевым аспектом является время действия ударной нагрузки. Это время должно быть не менее времени прохождения волны напряжений от места воздействия кромки рабочего органа до поверхности пласта. В противном случае, может произойти только локальное разрушение части почвы в точке контакта с рабочим органом, и разрушение пласта в целом не будет осуществлено.

Этот принцип основан на том, что воздействие рабочего органа на почву вызывает распространение волны напряжений внутри материала почвы. Если продолжительность воздействия недостаточна для того, чтобы эта волна напряжений достигла поверхности пласта, то разрушение будет ограничено областью контакта рабочего органа с почвой. Это может привести к частичному или локальному разрушению, но не к образованию борозды или желаемой глубины обработки.

Поэтому для эффективного разрушения пласта почвы необходимо учитывать не только силу удара и геометрию рабочего органа, но и продолжительность времени воздействия. Это позволит обеспечить распространение напряжений на достаточную глубину, что важно для формирования борозды или обработки почвы на необходимой глубине.

При использовании фрезерного диска в качестве рабочего органа для обработки почвы, несколько основных параметров оказывают влияние на скорость резания пласта и формирование борозды:

- диаметр фрезы напрямую влияет на глубину обработки почвы, то есть на то, на какую глубину создается борозда. Чем больше диаметр фрезы, тем глубже может быть обработан пласт почвы за один проход.
- обороты фрезы определяют скорость резания пласта почвы. Высокие обороты способствуют более быстрому прохождению

фрезы через почву, что может быть полезно для обработки на больших глубинах или в условиях с плотными и трудными для обработки почвами.

- геометрия вала и расстояние отбрасывания частиц почвы. зависят от конструкции фрезы. Они влияют на то, как фреза воздействует на почву и как частицы почвы перемещаются после разрушения. Оптимальная геометрия вала позволяет эффективно формировать борозду и не застревать в почве.

Оптимальное соотношение между диаметром фрезы и скоростью вращения позволяет достигнуть необходимых геометрических характеристик борозды, которые соответствуют агротехническим требованиям. Например, для обработки различных типов почв могут потребоваться разные сочетания этих параметров, чтобы достичь оптимальной глубины обработки, сохраняя при этом эффективность и качество работы.

Мнение Зеленина А.Н. подчеркивает, что свойства физических объектов, таких как почва, могут проявляться по-разному в зависимости от скорости нагружения и вида этого нагружения.

При статическом нагружении на объект действуют постоянные силы, которые не изменяются со временем. В результате объект испытывает напряженно-деформированное состояние. Такие условия способствуют проявлению свойств, характерных для пластичности материала. Почва может пластично деформироваться под постоянной силой, что может быть полезно для обработки и формирования борозд.

При динамическом нагружении объект подвергается ударным нагрузкам, которые изменяются с течением времени и могут иметь большую величину за короткий промежуток времени. Это может привести к проявлению хрупкости материала, особенно если нагрузка приложена с высокой скоростью. В случае почвы, динамическое нагружение может вызвать разрушение и образование трещин, что нежелательно при обработке.

В соответствии с исследованиями Зеленина А.Н., удельное сопротивление резанию грунта увеличивается по квадратичной кривой с увеличением скорости нагрузки. Это означает, что при росте скорости нагрузки растет сопротивление почвы разрыву и деформации, что может усложнять процессы обработки и требовать адаптации инструментов для снижения воздействия на почву.

Таким образом, выбор между статическим и динамическим нагружением важен при определении того, как материал будет реагировать на воздействие. Это знание помогает оптимизировать процессы обработки и предотвращать нежелательные последствия для почвы (рисунок 11) [61].

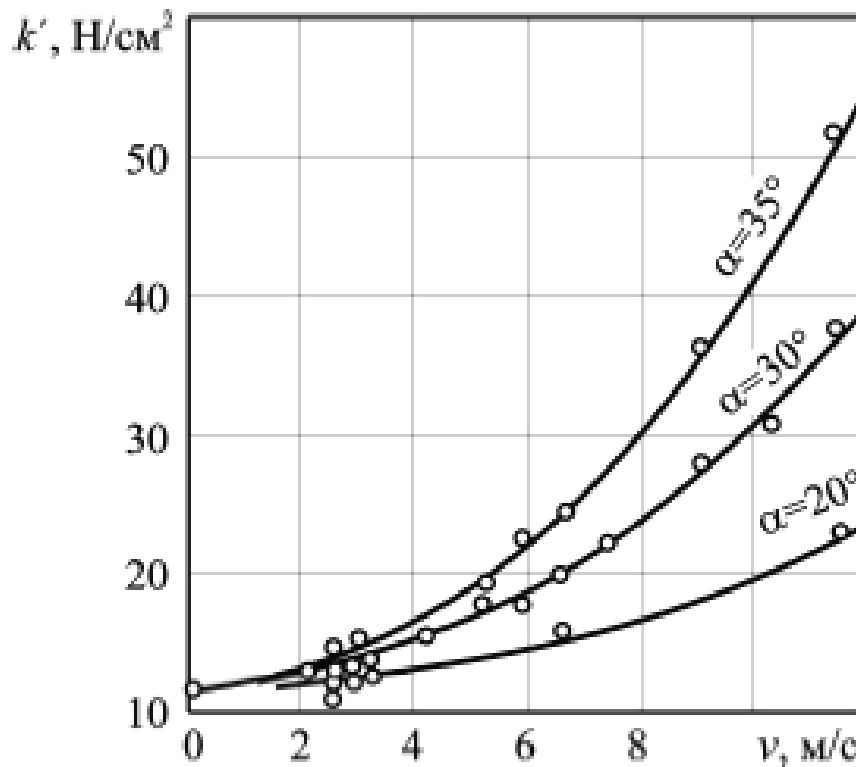


Рисунок 11 – Зависимость удельных сопротивлений почвы от скорости и угла резания

Разрушение пласта почвы при использовании активных рабочих органов, таких как фрезы или ротационные плуги, происходит с отделением стружки и обладает динамическим характером. Важно, чтобы скорость нагружения (скорость движения рабочего органа или его элементов) превышала скорость распространения пластических деформаций в почве. Это способствует возникновению пластических волн и разрушению почвенного пласта.

Применение активных рабочих органов позволяет создать условия для более эффективного разрушения пласта и формирования борозды. Они способны обеспечить достаточно высокую скорость нагрузки, что приводит к формированию отрывных трещин и отбрасыванию стружки на большее расстояние. Это в свою очередь способствует улучшению чистоты и глубины борозды, что является важным аспектом для агротехнических операций.

Таким образом, выбор активных рабочих органов для обработки почвы не только ускоряет процесс работы, но и повышает его эффективность за счет создания условий для динамического разрушения и формирования желаемых геометрических характеристик борозды.

1.7 Обзор исследований по моделированию физико-механических свойств почвы

В условиях, когда пассивные рабочие органы не способны обеспечить необходимое качество крошения почвы, применяют почвообрабатывающие агрегаты с принудительным приводом рабочих органов, такие как фрезы, ротационные и комбинированные плуги [62]. Эти машины осуществляют воздействие на почву ударным способом, что приводит к разрушению глыб и комков пласта почвы.

При воздействии рабочих органов таких машин на почву происходит накопление упругих деформаций в пласте почвы. Эти деформации увеличиваются до тех пор, пока в каком-то месте не достигнут предельные значения. В результате создается опережающая трещина, которая затем развивается, вызывая перераспределение энергии упругих деформаций и формирование новой сети трещин.

Таким образом, использование почвообрабатывающих агрегатов с принудительным приводом позволяет эффективно разрушать почвенный пласт, улучшая его структуру и обеспечивая оптимальные условия для роста растений.

Исследования по взаимодействию рабочих органов с почвой показали, что степень крошения и фракционный состав почвы зависит не только от характеристик рабочего органа, но и от свойств почвы и вида их взаимодействия.

Исследования И.М. Панова и В.И. Ветохина [2, 3], рассматривают влияние следующих параметров:

- характеристики рабочего органа, т.е. вид и форма рабочего органа, его геометрические параметры (например, форма и количество лопастей у фрезы или конструкция ротационного плуга).
- свойства почвы, к которым относятся: влажность, плотность, текстура, содержание органического вещества и другие физико-химические параметры почвы, которые могут влиять на её поведение при обработке.
- виды взаимодействия – обработка может быть ударной, вибрационной или комбинированной, что также оказывает влияние на процесс дробления почвы.

Степень дробления почвы (ξ) зависит от эффективности разрушения глыб и комков почвы под действием рабочих органов. Она может колебаться в зависимости от всех упомянутых выше факторов. Эксперименты показывают, что оптимальный выбор параметров обработки в сочетании с особенностями почвы позволяет достигать наилучших результатов в разрушении и подготовке почвы к последующим агротехническим процессам.

На рисунке 12 представлены результаты исследований (И.М. Панов, В.И. Ветохин) по влиянию различных параметров обработки и свойств почвы на степень дробления почвы ξ .

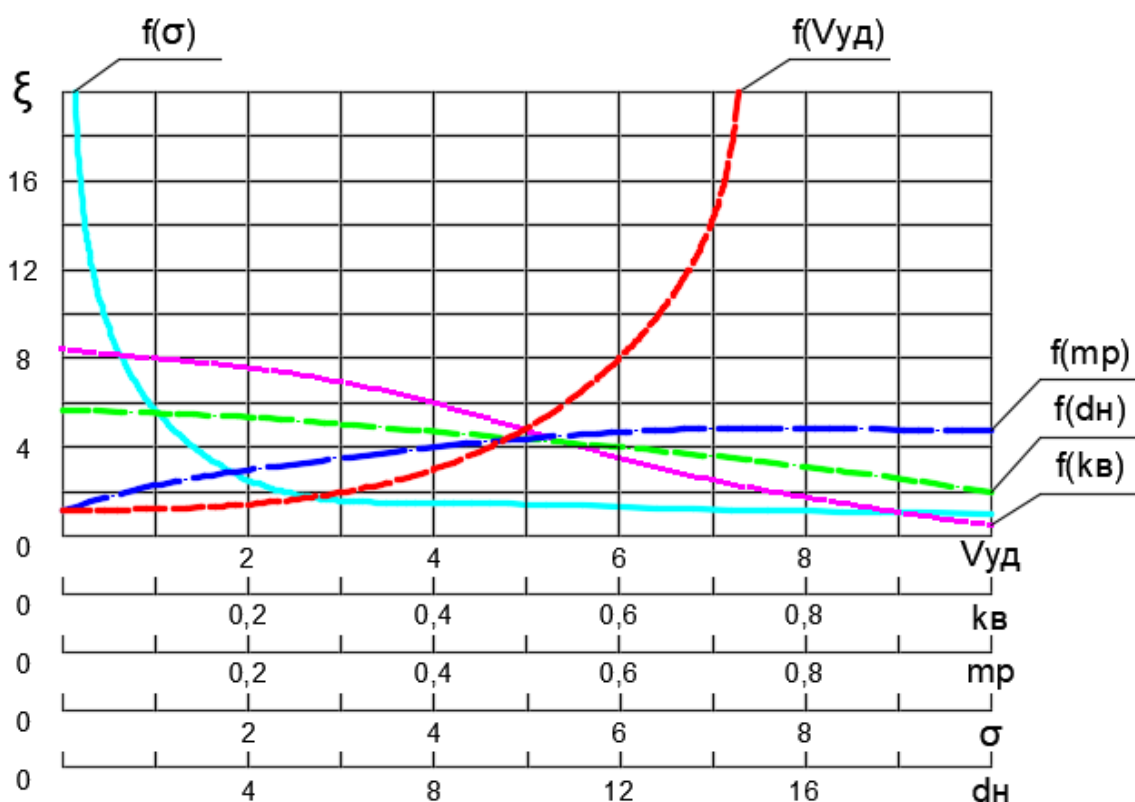


Рисунок 12 – Зависимости степени дробления пласта почвы (ξ) от предела прочности комков (σ), скорости соударения ($V_{уд}$), коэффициента восстановления (k_b), приведенной массы ротора (m_p), первоначального размера почвенного комка (d_n).

Из графика исследований видно, что на степень дробления почвы существенное влияние оказывают два основных фактора: прочность комков и скорость удара элементов рабочего органа.

При значениях прочности комков выше 0,3 МПа степень дробления почвы практически не изменяется. Это означает, что при высокой прочности комков (твердых или плотных комков) рабочие органы могут испытывать затруднения в их разрушении, даже при высокой скорости удара.

Скорость удара элементов рабочего органа имеет решающее значение для степени крошения почвы. Чем выше скорость удара элементов (определяемая частотой вращения ротора или фрезы), тем эффективнее разрушаются комки и формируется более мелкая структура почвы. Высокая скорость удара способствует энергичному разлому комков и созданию трещин в почвенном пласте.

Следует также отметить, что частота и направление вращения рабочего органа влияет не только на степень дробления почвы, но и

геометрические характеристики создаваемой борозды. Направление вращения может определять, например, направление выноса обработанной почвы или формирование валка по бокам борозды.

Таким образом, для достижения оптимальной степени крошения почвы важно подобрать такие параметры работы рабочего органа, как скорость удара и частота вращения, которые будут соответствовать конкретным условиям почвы и задачам обработки.

1.8 Формирование проблематики. Цель и задачи исследования

Формирование проблематики в исследовании почвообрабатывающих агрегатов с принудительным приводом рабочих органов включает в себя выявление ключевых аспектов, которые требуют детального изучения. В данном контексте, цель и задачи исследования должны четко определяться для обеспечения системного подхода к изучению влияния технологических параметров на эффективность обработки почвы.

В современном промышленном садоводстве нарезка посадочных борозд играет ключевую роль в создании оптимальных условий для размещения растений и обеспечения их роста и развития. Однако существующие технологии нарезки борозд часто имеют ограничения, связанные с точностью, производительностью и качеством выполнения работ.

Целью данного исследования является совершенствование технологии нарезки посадочных борозд в промышленном садоводстве за счет разработки универсального технического средства с использованием фрезерного рабочего органа.

Задачи исследования:

1. Разработка концептуальной модели технического средства:
 - анализ существующих решений и технологий нарезки борозд.
 - разработка концепции универсального технического средства с фрезерным рабочим органом, способного обеспечить высокую точность и производительность.
2. Теоретические и экспериментальные исследования и обоснование параметров технического средства:
 - моделирование процесса нарезки борозд с использованием разработанной концептуальной модели.
 - определение оптимальных параметров технического средства (например, глубины и ширины борозды, скорости и частоты вращения фрезы) на основе теоретических расчетов и моделирования.
3. Подтверждение схождения результатов теоретического исследования и моделирования экспериментом:
 - проведение экспериментальных испытаний на разработанном

техническом средстве.

- сравнение полученных экспериментальных данных с результатами теоретических расчетов для проверки корректности и эффективности разработанного устройства.

4. Разработка технико-технологических требований для технического средства – бороздонарезчика:

- формулирование требований к конструктивным и технологическим параметрам устройства.

- разработка рекомендаций по использованию технического средства в различных условиях садоводства.

Это исследование направлено на создание инновационного технического средства, способного значительно повысить эффективность и качество нарезки посадочных борозд в промышленном садоводстве, что является актуальной задачей для улучшения агротехнических процессов и повышения урожайности растений.

2 ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА БОРОЗДОНАРЕЗЧИКА С ПОЧВОЙ

Теоретические исследования машины для формирования борозды в сельском хозяйстве направлены на разработку и анализ основных принципов, параметров и характеристик устройства, которые обеспечивают эффективную и качественную нарезку борозды в почве. В данном контексте рассматриваются следующие аспекты:

1. Принципы работы машины для формирования борозды. Машина для формирования борозды функционирует на основе механического воздействия на почву с целью создания специфической геометрии и размеров борозды, необходимой для высадки сельскохозяйственных культур. Основные принципы работы могут включать:

- механическое воздействие (применение рабочих органов для разрыва и перемещения почвы, что приводит к образованию борозды);
- геометрические параметры борозды (управление глубиной, шириной и формой борозды для оптимального размещения семян или саженцев);
- управление процессом (регулирование скорости движения машины, частоты вращения рабочих органов и других параметров для достижения требуемых характеристик борозды).

2. Основные параметры и характеристики машины. Для эффективной работы машины для формирования борозды важно учитывать следующие параметры и характеристики:

- глубина борозды, на которой машина разрезает почву, влияет на корни растений и проникновение воды;
- ширина борозды, которая определяет расстояние между рядами посева и позволяет обеспечить необходимое распределение ресурсов для растений;
- оптимальная скорость движения, которая обеспечивает необходимое качество нарезки борозды и производительность работы;
- выбор конкретного типа и конструкции рабочих органов (плуги, фрезы, диски) и их конструкции в зависимости от типа почвы, климатических условий и требований к обработке.

3. Теоретические расчеты и моделирование. Теоретические исследования включают математические расчеты и моделирование, направленные на оптимизацию параметров машины для формирования борозды:

- использование математических моделей для оценки влияния различных параметров на качество и производительность работы машины;

- расчет оптимальных значений параметров (глубина, ширина борозды, скорость движения и др.) для достижения заданных целей.

4. Экспериментальные исследования и проверка результатов. Проведение экспериментов на специализированных полевых и лабораторных участках для проверки теоретических расчетов и моделирования:

- оценка соответствия экспериментальных данных теоретическим расчетам для подтверждения эффективности разработанного решения;
- внесение корректив в параметры машины на основе результатов экспериментов для улучшения ее производительности и качества работы.

Таким образом, теоретические исследования машины для формирования борозды направлены на создание и оптимизацию технологий, способствующих эффективному использованию земельных ресурсов и повышению производительности в сельском хозяйстве [63].

2.1 Обоснование и разработка технико-технологических требований к бороздонарезчикам

2.1.1 Исходные положения для разработки технико-технологических требований

Для разработки технико-технологических требований нового технического средства, такого как машина для формирования борозды в сельском хозяйстве, важно учитывать рекомендации и требования, представленные в Системе машин. Основные исходные положения и требования, которые необходимо учесть:

1. Пояснительная записка должна включать следующие аспекты: четкое определение цели и задач нового технического средства (например, машины для формирования борозды), основные технические характеристики и принципы работы, анализ потребности в новом техническом средстве, его преимущества по сравнению с существующими решениями или выполнением работ вручную.

2. Данные нового технического средства должны содержать: описание параметров, размеров, материалов, основных компонентов нового технического средства, указание на соответствие формату и структуре данных.

3. Проект агротехнических требований (АТТ) должен включать: условия эксплуатации и требования к производительности нового технического средства, спецификации по созданию и поддержанию

необходимых условий для успешной работы машины.

4. Расчет лимитной цены. Этот раздел охватывает стоимостные параметры. Расчет предполагаемой стоимости нового технического средства, включая затраты на разработку, производство и обслуживание.

5. Расчет потребности в машинах. Необходимо определить объем производства. Оценка потребности рынка или конкретной отрасли в новых машинах для формирования борозды.

6. Техничко-экономическое обоснование включает: анализ экономической эффективности нового технического средства по сравнению с аналогичными устройствами или работой, выполняемой вручную и предполагаемые экономические выгоды от внедрения нового технического средства.

Разработка технико-технологических требований для новой машины для формирования борозды включает комплексный подход к анализу, проектированию и экономическому обоснованию. Эти требования помогут не только определить технические параметры и характеристики устройства, но и обеспечат основу для его успешного внедрения и использования в сельскохозяйственной практике.

Согласно [64] агротехнические требования (АТТ) – это нормативы или указания по безопасности и качеству сельскохозяйственных работ, технические требования к сельскохозяйственным машинам, приборам, оборудованию, автоматизированным и автоматическим системам.

Номенклатура показателей АТТ определена ГОСТ 22851-77 «Номенклатура показателей качества промышленной продукции. Выбор. Основные положения», ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» и отраслевыми регламентами МСХ.

Из представленных исходных положений и выдержек следует, что разработка новых сельскохозяйственных машин, включая машины для формирования борозды, должна строиться на базовых машинных технологических операциях. Это обеспечивает возможность создания различных модификаций и вариантов машин, которые адаптируются к различным природным и организационным условиям, а также различаются по составу и способам применения технических средств.

Основные моменты для разработки технико-технологических требований и включения новых машин в Систему машин, согласно указанной стратегии:

1. Технический облик и технологические возможности. Новая машина должна обладать необходимыми технологическими возможностями для выполнения требуемых сельскохозяйственных процессов или операций. Технический облик машины должен соответствовать требованиям, а не адаптироваться под уже существующие технологии.

2. Базовые машинные технологические операции. Разработка должна начинаться с определения базовых операций, которые машина должна выполнять эффективно и качественно. Это позволяет создавать новые технологические решения с заданными показателями производительности и качества сельскохозяйственной продукции.

3. Адаптация к условиям. Важно учитывать адаптацию машин к конкретным природным условиям (например, тип почвы, климатические условия) и организационным условиям (структура и размеры хозяйств, технологические процессы).

4. Экономическая эффективность. Необходимо обосновывать экономическую эффективность новых машинных технологий, сравнивая их с существующими решениями или выполняемыми работами вручную.

Таким образом, разработка и внедрение новых машин для сельского хозяйства должны быть направлены на улучшение производственных процессов, повышение качества продукции и экономическую эффективность, что является основой для создания успешных технико-технологических требований и включения новых технических средств в Систему машин.

На практике исходные требования обозначены как технико-технологические требования (ТТТ), которые, в первую очередь определяют характеристики базовых технологических процессов и операций.

2.1.2 Основные показатели технико-технологических требований

Исходя из введенных понятий и аналитического обзора, основными технико-технологическими требованиями к посадочному месту для саженцев или черенков являются создание «комфортных» условий, которые способствуют приживаемости и здоровому росту растений. Важными характеристиками таких условий являются оптимальные физико-механические параметры корнеобитаемого слоя почвы и размеры самого посадочного места.

Физико-механические показатели корнеобитаемого слоя почвы включают в себя такие параметры, как влажность почвы, структура, текучесть и воздухообменность. Оптимальные условия в корнеобитаемом слое обеспечивают правильное питание и водоснабжение растения, а также необходимую вентиляцию корневой системы.

Важно учитывать достаточное пространство для корневой системы растения, чтобы обеспечить её нормальное развитие. Размеры посадочного места должны быть достаточными для размещения корней, предотвращения столкновений корней при росте и обеспечения оптимального доступа к воде, питательным веществам и воздуху.

Таким образом, технико-технологические требования к посадочному

месту направлены на создание оптимальных условий, которые способствуют здоровому и эффективному началу роста растений. Внимание к физико-механическим характеристикам почвы и размерам посадочного места играет ключевую роль в обеспечении высокой приживаемости и долгосрочного развития посаженных растений.

Исходя из данных Летошнев М.Н. [65], оптимальные физико-механические свойства корнеобитаемого слоя почвы имеют следующие значения:

- содержание макроагрегатов размером 0,25-10 мм должно составлять более 55%. Это важно для обеспечения достаточной проницаемости и воздухообмена в корнеобитаемом слое;
- оптимальная плотность (объемная масса) почвы должна быть в диапазоне от 0,9 до 1,2 г/см³. Плотность не должна превышать 1,5 г/см³ по данным Будаговского В.П. [66]. Этот параметр влияет на доступность воздуха и воды для корневой системы растений.
- Оптимальная пористость корнеобитаемого слоя должна составлять 55–60%, при этом свободных от воды пор должно быть не менее 14%. Пористость влияет на способность почвы удерживать влагу и воздух, что критически важно для здоровья растений.
- Оптимальная влажность корнеобитаемого слоя почвы должна составлять 60–80% от её полной влагоемкости. Этот параметр определяет доступность воды для корневой системы растений, что в свою очередь влияет на их рост и развитие.

Указанные значения являются основой для создания «комфортных» условий в корнеобитаемом слое почвы, которые обеспечивают оптимальные условия для приживаемости и здорового роста посаженных растений.

Рекомендации по размерам посадочных мест отличаются значительным разнообразием и приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Размеры посадочных мест

Автор [источник]	Саженец/ черенок/ культура*	Ширина/ диаметр, м	Глубина, м	Примечание
1	2	3	4	5
Степанов С.Н. [78]	Древесны е саженцы	0,04-0,2		Минимальный размер ширины борозды ограничивается возможностью сжатия корневой системы

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5
Будаговский В.П. [66]	Саженцы плодовые	до 0,5	0,4- 0,5	Основные способы обустройства посадочных мест при ручной посадке: - машинная копка посадочных ям (ямобуры); - траншейный метод (плантажные плуги, бороздонарезчики, щеле- ватели с расширитель- ными щитками)
	Саженцы плодовые слаборослые		0,25- 0,3	
	Черенки клоновых подвоев	0,2- 0,3	0,15- 0,2	
Кутейников В.К., Лосев Н.П., Четвертаков А.В. и др. [79]	Кустарники ягодные	до 0,3	0,2- 0,3	Для подготовки почвы к посадке кустарников рекомендуется использовать различные почвообрабатывающие машины, такие как плуги, бороны, культиваторы.
Фаустов В.В., Тарасов В.М. и др. [102]	Яблоня и груша (семечковые)	до 0,6	до 0,8	Фаустов В.В. и Тарасов В.М. в своих трудах рекомендовали использовать различные технические средства для подготовки посадочных мест для саженцев, чтобы обеспечить оптимальные условия для их роста и развития: фрезы и культиваторы, посадочные машины и агрегаты, ямокопатели, траншеекопат ели.
	Вишня, слива, алыча, черешня (косточковые)	до 0,4	до 0,6	
	Облепиха, жимолость	до 0,4	до 0,6	
	Смородина, малина, арония	до 0,4	до 0,4	
Метлицкий З.А. [80]	Саженцы плодовых деревьев	до 0,4	0,3- 0,35	Метлицкий З.А. в своих трудах рекомендовал использование следующих технических средств для подготовки посадочных мест для саженцев: фрезерные машины, плуги и культиваторы, посадочные машины, ямокопатели

* терминология авторская
согласно представленным источникам

2.2 Разработка концептуальной модели и формирование технического облика

2.2.1 Общие положения

Методология современного проектирования сложных технических объектов состоит в выделении двух уровней разработки – внешнего и внутреннего проектирования [67, 68].

Цель внешнего проектирования состоит в определении необходимости, целесообразности и возможности создания изделия.

Цель внутреннего проектирования заключается в получении информации, необходимой и достаточной для создания изделия в заданных условиях.

Процесс внутреннего проектирования начинается с выработки общей концепции технического объекта и формирования его облика [67, 68].

Понятие «облик технического объекта» не имеет строгого определения, но большинство специалистов по проектированию включают в его состав:

- структурные и геометрические признаки;
- компоновочные и кинематические схемы;
- другие параметры объекта проектирования, однозначно определяющие конструкционные параметры вновь создаваемого технического объекта.

Так, по мнению Припадчева А.Д., технический облик – это комплексная качественная характеристика, отражающая наиболее общие признаки технического объекта [69].

Формированию технического облика предшествует разработка концептуальной модели или концепта (лат. conceptus – понятие) технического объекта. Главным отличием концептуальной модели от технического облика является качественная определенность технического объекта в форме понятий.

Разработка концептуальной модели и формирование технического облика состоит из следующих этапов:

1. Анализ существующих решений, включает в себя изучение современных аналогов, оценка их эффективности, определение недостатков и выявление областей для улучшения.

2. Выработка концепции. Состоит из: определения основных функциональных требований к новому техническому средству, формулирования целей и задач, которые должно решать новое устройство и разработки принципиальной схемы работы и общей концепции конструкции.

3. В формирование технического облика входит: определение структурных и геометрических признаков устройства, разработка

компоновочной и кинематической схем и учет параметров, которые определяют конструкционные особенности и характеристики изделия.

4. Проведение теоретических и экспериментальных исследований осуществляется путем обоснования параметров нового технического средства и сравнение теоретических моделей с реальными данными, полученными в ходе экспериментов.

5. Разработка технико-технологических требований включает определение агротехнических и эксплуатационных требований к новому устройству и разработка документации для сертификации и включения в Систему машин.

Таким образом, процесс разработки нового технического средства для нарезки посадочных борозд в промышленном садоводстве, начинается с концептуальной модели, включающей анализ потребностей и существующих решений. Далее формируется технический облик, включающий все конструкционные и эксплуатационные параметры, необходимые для успешного создания и использования устройства в заданных условиях.

2.2.2 Разработка концептуальной модели

Разработка концептуальной модели включает создание абстрактного представления системы или процесса, которое помогает понять и проанализировать основные компоненты, их взаимосвязи и динамику работы. Концептуальная модель может быть использована в различных областях, таких как информационные системы, управление проектами, инженерия, биология и социальные науки. Рассмотрим основные этапы разработки концептуальной модели:

1. Определение цели и задач, т.е. определение необходимости создания модели, какие проблемы она должна решать, на какие вопросы нужно ответить, определение основных задач, которые должна решать модель (например: визуализация процессов, прогнозирование результатов, идентификация взаимосвязей и т.д.)

2. Идентификация ключевых компонентов. Определение основных компонентов или элементов системы, которые будут включены в модель. Это могут быть физические объекты, процессы, ресурсы, люди и т.д. Нахождение взаимосвязи между элементами. Важно понять, какие элементы зависят друг от друга и как они влияют на систему в целом.

3. Определение границ модели. Границы модели устанавливают, насколько детально будут рассмотрены процессы и какие аспекты системы остаются за рамками модели. Для упрощения модели могут быть сделаны определенные допущения, которые помогут сконцентрироваться на ключевых аспектах системы.

4. Разработка структурной схемы. Создаются диаграммы или схемы,

которые визуализируют элементы системы и их взаимосвязи. Это может быть блок-схема, диаграмма связей или другая форма визуализации. При необходимости, элементы делятся на подуровни или подсистемы, чтобы лучше отразить структуру системы.

5. Моделирование динамики системы. Определяются ключевые процессы, происходящие в системе, потоки ресурсов, информации или энергии между элементами. Если модель должна учитывать временные изменения, определите, как динамика процессов будет включена в модель.

6. Валидация и проверка модели. Проводится проверка модели на корректность и соответствие реальной системе. Это может включать сравнение результатов моделирования с реальными данными или проведение экспериментов. Оценка изменений в исходных данных или параметрах модели, которые влияют на результаты. Это поможет понять устойчивость модели и её предсказательную способность.

7. Документация и представление модели. Описание всех аспектов модели, включая цели, допущения, элементы и взаимосвязи. Это важно для дальнейшего использования модели и её адаптации. Презентация модели заинтересованным сторонам, с пояснениями ее структуры, возможностей и ограничений.

В качестве примера, можно рассмотреть концептуальную модель информационной системы управления проектами. Основные элементы модели могут включать: ресурсы проекта (время, деньги, люди), задачи и этапы проекта, взаимосвязи между задачами (например, последовательность выполнения), и конечные результаты (доставляемые продукты). Взаимодействие между этими элементами будет описывать, как ресурсы распределяются по задачам, и как выполнение одной задачи влияет на следующие этапы проекта.

На основе сформированной концепции разрабатывается технический облик бороздонарезчика. Данная стадия проектирования включает выбор материалов, определение конструкции рабочих органов, подбор систем управления и обеспечение требований эргономики. Бороздонарезчик должен обладать рядом характеристик, которые обеспечат его надежность и долговечность в условиях интенсивной эксплуатации.

Одним из важнейших элементов бороздонарезчика является режущий механизм, который непосредственно отвечает за формирование борозд. Рабочие органы должны быть изготовлены из высококачественных материалов, устойчивых к износу, чтобы выдерживать высокие нагрузки при работе в различных условиях. Чаще всего для этих целей используют специальные сплавы, обладающие высокой прочностью и устойчивостью к коррозии. Кроме того, режущий механизм должен быть легко заменяемым, что обеспечит быстрое обслуживание машины и снизит затраты на ремонт.

Конструкция режущих органов должна учитывать особенности почвы, на которой планируется эксплуатация машины. Для работы на

тяжелых и плотных грунтах требуется оборудование с высокой режущей способностью, которое сможет проникать в почву на необходимую глубину без лишних усилий со стороны оператора. В то же время, на легких почвах машина должна обеспечивать минимальное повреждение структуры почвы, чтобы сохранить ее аэрацию и плодородие.

Другой важной составляющей бороздонарезчика является система привода. Современные машины оснащаются мощными двигателями, которые позволяют эффективно работать даже в сложных условиях. При этом важно, чтобы двигатель обладал высокой экономичностью и минимальным уровнем выбросов вредных веществ, что особенно актуально в условиях повышенных экологических требований к технике, используемой в сельском хозяйстве. Также система привода должна обеспечивать плавную работу машины, чтобы оператор мог точно контролировать глубину и направление нарезки борозд.

Система управления бороздонарезчиком играет ключевую роль в повышении эффективности работы машины. Современные технологии позволяют оснащать технику автоматизированными системами управления, которые снижают нагрузку на оператора и обеспечивают высокую точность выполнения работ. Например, использование навигационных систем и сенсоров позволяет автоматически регулировать глубину нарезки борозд в зависимости от условий почвы и рельефа местности. Это не только улучшает качество работы, но и повышает производительность техники, так как оператор может сконцентрироваться на других аспектах работы.

Таким образом, разработка бороздонарезчика для промышленного садоводства — это многоэтапный процесс, включающий в себя как анализ агротехнических требований, так и проектирование техники с учетом современных технологических решений. Концепция машины формируется на основе анализа условий эксплуатации, а её технический облик разрабатывается с учетом производственных требований и комфорта эксплуатации.

Таким образом, разработка концептуальной модели и формирование технического облика бороздонарезчика включает всесторонний анализ существующих решений, выработку концепции и обоснование параметров устройства. Основное внимание уделяется эффективности выполнения технологических операций, таких как рыхление и перемещение почвы, с использованием обратного фрезерования.

Полезная модель относится к сельскохозяйственному производству и предназначена для использования в сферах садоводства и ягодоводства, лесного хозяйства, плодового и декоративного питомниководства.

Наиболее прогрессивным методом закладки садов, маточников, плодовых и декоративных питомников и ягодников является посадка саженцев и сеянцев в предварительно нарезанные борозды. Эти борозды

нарезаются специальными машинами, которые могут быть самостоятельными машинами для закладки маточников, питомников и ягодников, а также комплексом с посадочными платформами для закладки садов интенсивного типа.

Основное различие между бороздонарезчиками заключается в размерах нарезаемых борозд, а именно в глубине и ширине, которые зависят от типа посадочного материала и целей посадки.

Для закладки интенсивных садов, ягодников, маточников и питомников требуются борозды с глубиной от 0,15 до 0,5 м. и шириной от 0,1 до 0,5 м.

Бороздонарезчики по типу рабочего органа могут быть с активным рабочим органом, с пассивным рабочим органом и комбинированные.

Полезная модель относится к бороздонарезчикам с активным рабочим органом фрезерного типа, которые обеспечивают качественное рыхление и перемещение почвы.

Вновь разрабатываемая машина, пилотное название – бороздонарезчик, должна обеспечивать выполнение следующих технологических операций:

1. Рыхление почвы в зоне посадочного места (борозды).
2. Перемещение разрыхленной почвы из зоны борозды на поверхность.

Анализ показывает, что наиболее эффективным приемом выполнения этих операций является обратное фрезерование почвы (снизу вверх). Фрезерная обработка обеспечивает качественное крошение, а обратное вращение способствует выносу разрыхленной почвы из борозды.

Техническое описание

Бороздонарезчики с активным рабочим органом фрезерного типа предназначены для операций рыхления почвы в зоне посадочного места (борозды) и перемещения разрыхленной почвы из зоны борозды на поверхность.

Активный рабочий орган, особенно фрезерного типа обеспечивает качественное крошение почвы и эффективно выносит разрыхленную почву из борозды благодаря обратному вращению фрезы (снизу вверх).

Внедрение бороздонарезчиков с активным рабочим органом фрезерного типа в сельскохозяйственное производство способствует повышению эффективности и качества посадочных работ. Они могут быть использованы как самостоятельные машины или в комплекте с посадочными платформами для закладки садов интенсивного типа, обеспечивая при этом необходимые размеры и характеристики борозд для различных видов посадок.

Наиболее близкими к полезной модели являются фрезерные бороздонарезчики типов МНБ и БР [70, 71]. Эти устройства оснащены

рабочими органами в виде плоских фрезерных дисков с ножами, установленных так, что их ось вращения перпендикулярна направлению движения бороздонарезчика. Глубина создаваемой борозды зависит от диаметра фрезерного диска, а её ширина определяется формой и размерами ножей.

Основными недостатками этих бороздонарезчиков являются фиксированная ширина борозд и необходимость замены фрезерных дисков или использования ножей других размеров и типов при изменении ширины борозды. Кроме того, фрезерные диски с ножами, предназначенными для нарезания более широких борозд, часто залипаются почвой, что нарушает технологический режим работы и увеличивает энергозатраты процесса.

Цель разработки данной полезной модели заключается в повышении эффективности и качества процесса нарезания борозд для посадки саженцев, а также в увеличении универсальности бороздонарезчика.

Эта цель достигается благодаря использованию в качестве рабочего органа плоского фрезерного диска с закрепленными на нем режущими элементами. Угол установки этих элементов α относительно оси вращения можно регулировать, что позволяет изменять ширину борозды.

Данное техническое решение обеспечивает универсальность бороздонарезчика, так как для посадки различных саженцев необходимы борозды разной ширины при заданной глубине.

2.3 Принципиальная схема рабочего органа

Принципиальная схема (концепт) рабочего органа машины для нарезания борозд под посадку саженцев поясняется на рисунке 13.

Бороздонарезчик оснащен несущей рамой и активным рабочим органом – плоским фрезерным диском с режущими элементами, которые можно устанавливать под различными углами к оси вращения с помощью устройства для регулирования этого угла. На первом изображении рабочий орган установлен под углом $\alpha=90^\circ$ к оси вращения, обеспечивая минимальную ширину борозды ($B_{\min}$). На втором изображении рабочий орган установлен под углом $\alpha<90^\circ$, что позволяет увеличить ширину борозды ($B_{\max}$).

При анализе полезной модели на соответствие критерию «новизна» выявлено, что часть характеристик заявленного устройства является новыми (такие как плоский фрезерный диск с режущими элементами и возможность его наклона), что подтверждает новизну данного технического решения.

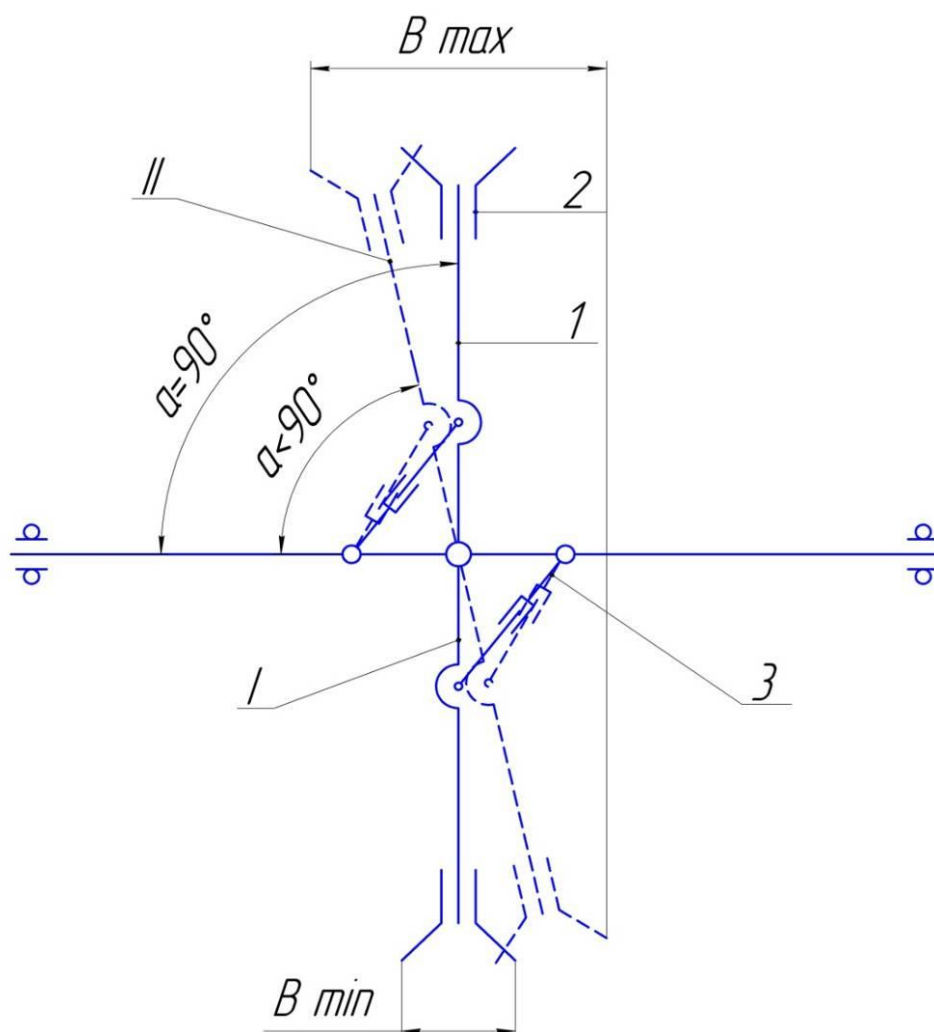


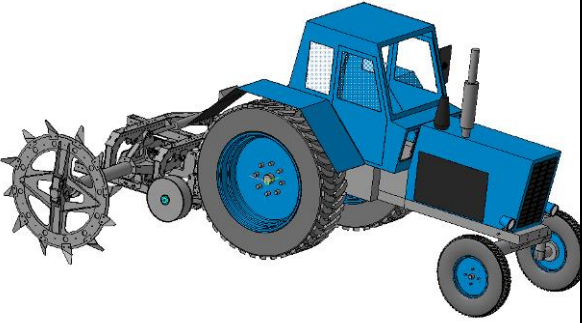
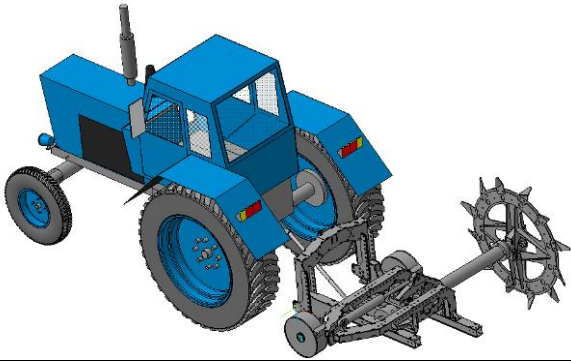
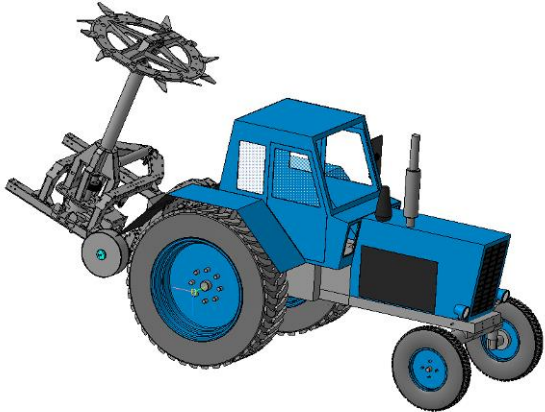
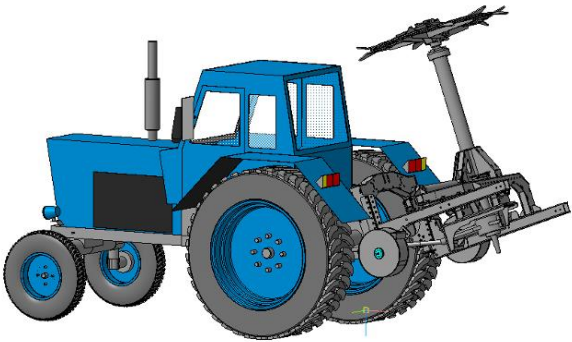
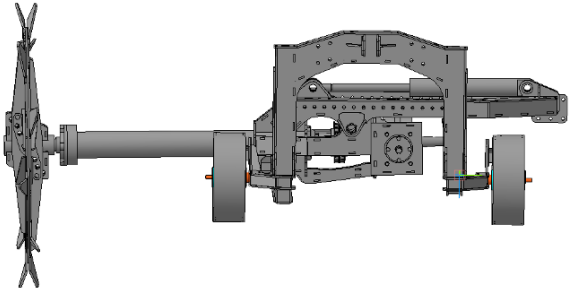
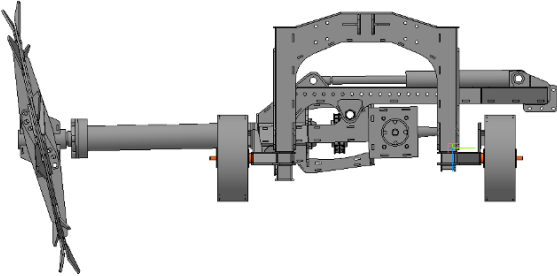
Рисунок 13 – Принципиальная схема (концепт) рабочего органа бороздонарезчика.

Заявленное техническое решение способствует повышению эффективности и качества процесса, делаая бороздонарезчик универсальным. Это делает его привлекательным для потребителей и готовым к внедрению в промышленность, что соответствует критерию «промышленная применимость».

2.4 Формирование технического облика

Для создания технического облика использовалось геометрическое моделирование в 2D и 3D с помощью графического редактора (системы) КОМПАС-3D V15.1. Результаты этого моделирования представлены в таблице 4 и на рисунке 14.

Таблица 4 – Технический облик бороздонарезчика

Бороздонарезчик в рабочем положении в агрегате с трактором типа МТЗ-82	
1	2
	
Бороздонарезчик в транспортном положении в агрегате с трактором типа МТЗ-82	
	
Бороздонарезчик в рабочем положении при установке фрезерного диска $\alpha = 90^\circ$	Бороздонарезчик в рабочем положении при установке фрезерного диска $\alpha = 80^\circ$
	

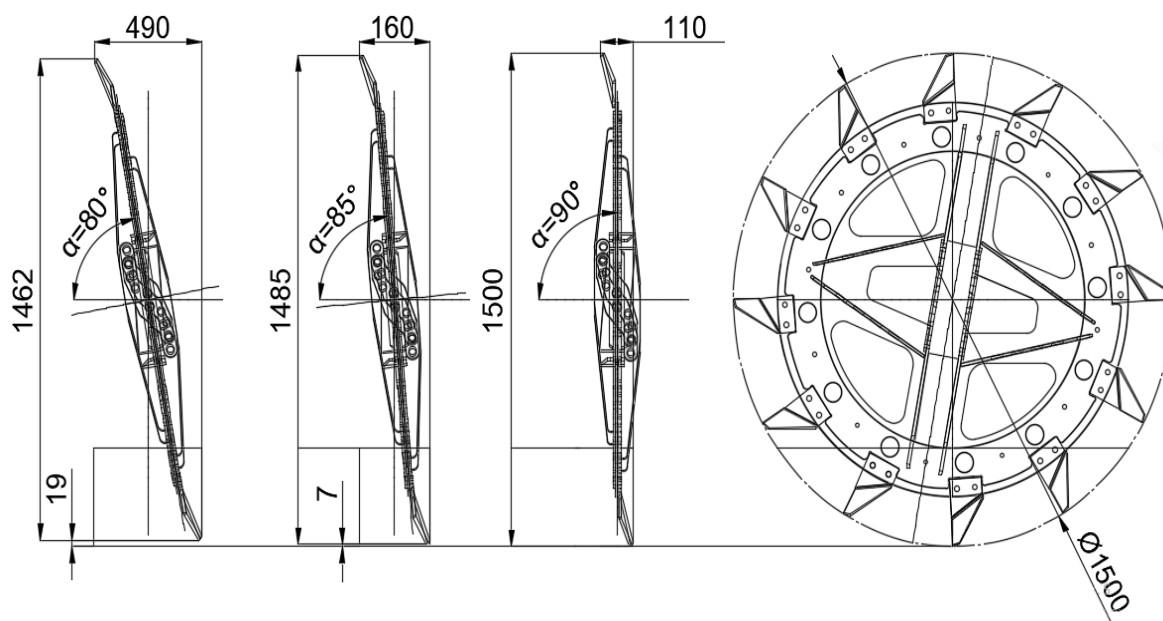


Рисунок 14 – Общий вид рабочего органа бороздонарезчика в 2D-формате

При моделировании рабочего органа бороздонарезчика в 2D формате было установлено, что изменение угла поворота фрезерного диска от 0° до 10° при установочной глубине 0,3 м приводит к изменению ширины борозды от 0,11 м до 0,49 м. Глубина борозды при этом уменьшается на 0,019 м, что соответствует техническим требованиям.

Конструктивное расположение рабочего органа позволяет удобно регулировать угол его установки и обходить заранее установленные шпалеры при создании интенсивного сада.

2.5 Кинематические исследования рабочего органа

Кинематические исследования рабочего органа бороздонарезчика подчеркивают важность обеспечения правильной формы борозды и переноса почвы на поверхность к краю борозды как основного критерия работоспособности устройства.

В процессе работы фрезерного диска отделенная от основного массива почва, подвергаясь действию центробежной силы и своему весу, скользит по поверхности ножа, выполняя сложное движение [72]. Общий процесс движения частиц можно разделить на две фазы: первая фаза – движение частицы по ножу, вторая фаза – движение частицы после схода с ножа.

2.5.1 Теоретические исследования движения частицы почвы по ножу рабочего органа

При процессе фрезерования почва извлекается из массива с помощью всей рабочей длины ножа, и почвенные частицы, достигнув поверхности ножа, движутся по нему до схода с него. По мере освобождения места от частиц, сходящих с ножа, на их место перемещаются частицы, расположенные дальше от конца ножа и ближе к центру вращения фрезы.

Методика определения параметров фрезерных рабочих органов описана в работах таких авторов, как академик В.П. Горячкин, профессора М.Н. Летошнев, В.Г. Турбин, Г.Е. Листопад, А.Н. Семёнов, Е.С. Босой и другие, изучающие механизацию сельского хозяйства и теорию сельскохозяйственных машин.

В работах многих исследователей отмечаются преимущества обратного фрезерования почвы, при котором барабан вращается «снизу-вверх». Это обеспечивает более стабильное движение барабана, уменьшает гребнистость дна, повышает производительность и позволяет формировать земляной валок перед рабочим органом, что способствует выносу почвы из борозды.

На основе этих исследований предложено устанавливать нож на фрезерном барабане под углом β и наклонять рабочий орган к оси вращения под углом α при вращении «снизу-вверх». Это позволит перемещать почву не перед рабочим органом, а в сторону, что предотвратит заливание борозды.

Исследованиями Ю.И. Матяшина, И.М. Гринчука, А.А. Емельянова и других авторов [67] установлено, что при таком направлении вращения ножевого барабана траектория движения точки на ноже описывает удлиненную циклоиду (трохоиду).

Абсолютная скорость любой точки ножа представляет собой геометрическую сумму окружной $v_{кр}$ и поступательной v_n скоростей (рисунок 15 а).

Проекции скорости на оси координат могут быть выражены параметрическими уравнениями:

$$\begin{cases} v_x = v_{пост} + v_{окр} \cos \varphi \\ v_z = v_{окр} \sin \varphi \end{cases}, \quad (2.1)$$

где $v_{пост}$ – поступательная скорость машины, м/с;

$v_{окр}$ – окружная скорость, м/с;

φ – угол поворота ножевого барабана, град.

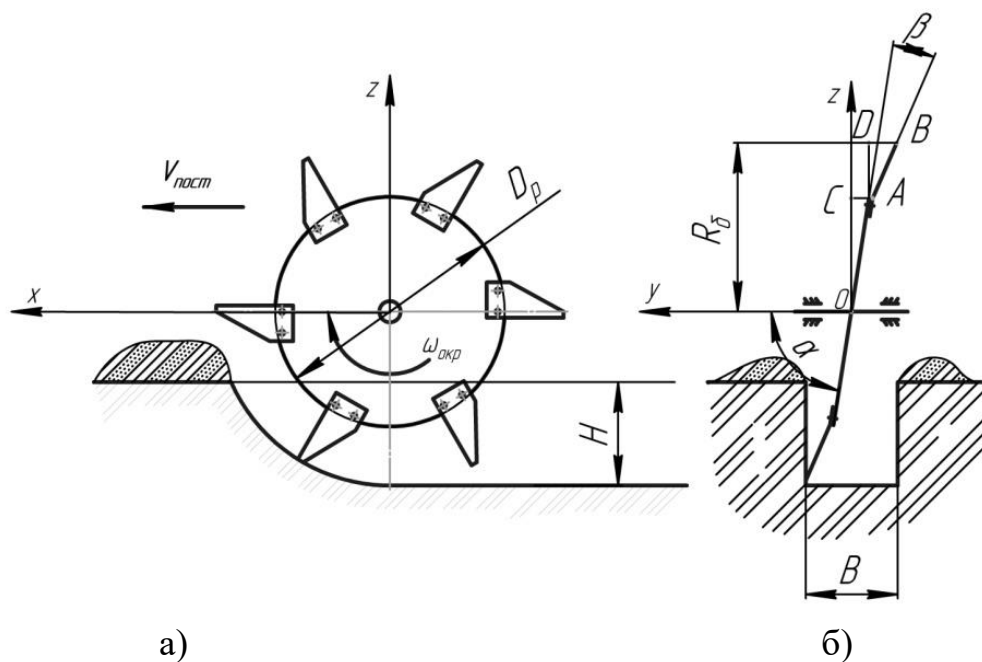


Рисунок 15 – Схема работы фрезерного барабана

Окружная скорость определяется по формуле:

$$v_{окр} = \omega_{окр} \cdot R_{\delta м}, \quad (2.2)$$

где $\omega_{окр}$ – угловая скорость вращения ножевого барабана, c^{-1} ;

t – текущее время, с;

$R_{\delta м}$ – мгновенный радиус ножевого барабана по краю ножа, м.

Из рисунка 15 б. видно, что R_{δ} находим как проекцию рабочего органа на ось z .

$$R_{\delta} = OC + CD \quad (2.3)$$

где OC – проекция диска рабочего органа на ось z , мм:

$$OC = \frac{D_p}{2} \sin \alpha, \quad (2.4)$$

где D_p – диаметр диска рабочего органа, мм;

α – угол наклона рабочего органа, град;

CD – проекция ножа на ось z , мм.

Значение CD зависит от расположения ножа с левой или с правой стороны от диска. Так:

CD с правой стороны находим из $\triangle ABD$:

$$CD = l_n \cdot \sin(\alpha - \beta)$$

CD с левой стороны находим из уравнения:

$$CD = l_n \cdot \sin(\alpha + \beta)$$

где l_n – длина ножа, мм.

β – угол наклона ножа, град.

Следовательно, проекция ножа на ось z определяется как:

$$CD = l_n \cdot \sin(\alpha \pm \beta) \quad (2.5)$$

Тогда:

$$R_o = \frac{D_p}{2} \sin \alpha + l_n \sin(\alpha \pm \beta). \quad (2.6)$$

Тогда параметрическое уравнение проекции скорости на оси координат примет вид:

$$\begin{cases} v_x = v_{пост} + \omega_{окр} \left(\frac{D_p}{2} \sin \alpha + l_n \sin(\alpha \pm \beta) \right) \cos \varphi \\ v_z = \omega_{окр} \left(\frac{D_p}{2} \sin \alpha + l_n \sin(\alpha \pm \beta) \right) \sin \varphi \end{cases} \quad (2.7)$$

Частица движется по поверхности (рисунок 16) и характеризуется проекцией скорости на плоскость ножа.

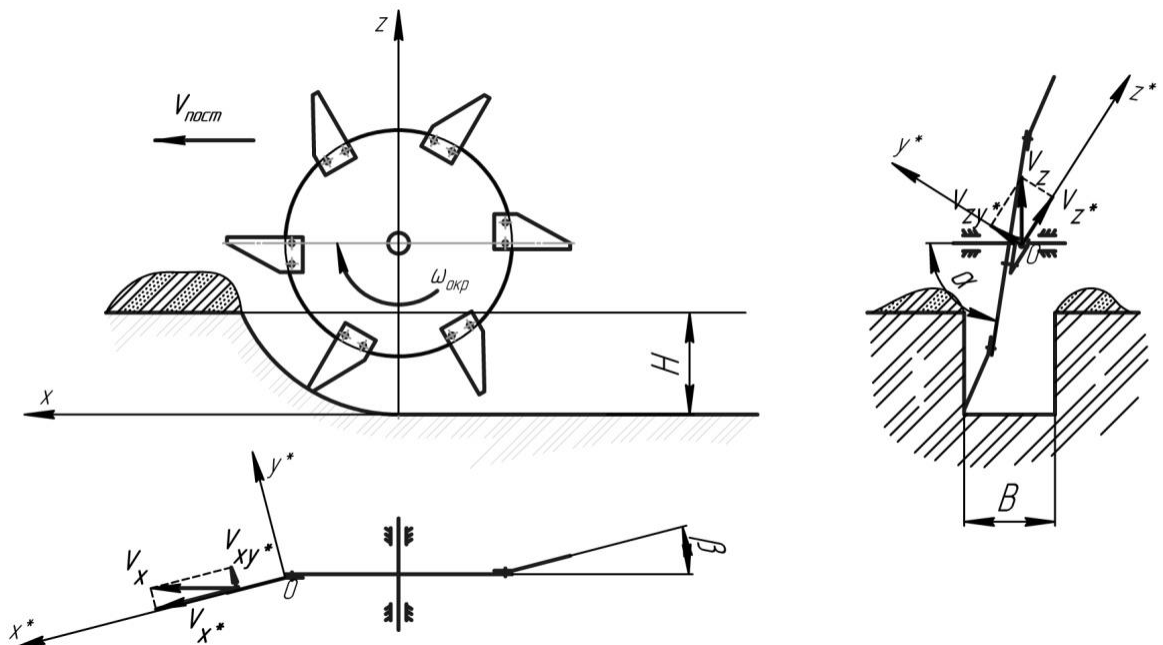


Рисунок 16 – Движение частицы почвы по поверхности ножа

Рассмотрим движение частицы в плоскости XOZ и YOZ.

Проекция скорости V_x на систему координат ножа X^*OZ^* примет вид:

$$v_{x^*} = v_x \cdot \cos(\alpha + \beta), \quad (2.8)$$

$$v_{xy^*} = v_x \cdot \sin(\alpha + \beta). \quad (2.9)$$

Проекция скорости V_z на систему координат ножа Y^*OZ^* примет вид:

$$v_{z^*} = v_z \cdot \sin \alpha, \quad (2.10)$$

$$v_{zy^*} = v_z \cdot \cos \alpha. \quad (2.11)$$

Следовательно, скорость по оси Y^*O составит:

$$v_{y^*} = v_{xy^*} + v_{zy^*} = v_x \sin(\alpha + \beta) + v_z \cos \alpha. \quad (2.12)$$

Следовательно, абсолютная скорость движения частицы по ножу составит

$$v_u = \sqrt{v_{x^*}^2 + v_{y^*}^2}. \quad (2.13)$$

Скорость движения частицы по ножу позволит определить направления ее движения по поверхности ножа и после схода.

2.5.2 Теоретические исследования движения частицы почвы после схода с ножа

Для математического моделирования процесса схода частицы с ножа необходимо учесть два основных аспекта: относительное движение почвы по ножу и полет частицы после схода с него.

При исследовании относительного движения почвы по ножу определяется как почвенные частицы движутся по поверхности ножа под действием силы центробежной силы и собственного веса. Это движение можно моделировать как скольжение или качение частиц по поверхности ножа в зависимости от типа почвы и угла наклона ножа.

При исследовании полета частицы после схода с ножа рассматривается горизонтальная и вертикальная скорости, определяемые начальной скоростью, углом вылета и действующими силами внешней среды (например, сопротивление воздуха). Траектория полета частицы может быть описана уравнениями движения, учитывающими начальные условия и воздействие силы тяжести.

Для более точного математического моделирования эти два аспекта можно рассматривать в рамках физических законов, таких как законы Ньютона для движения тел и уравнения сохранения энергии и импульса. Также, учет геометрии ножа и его поверхностных характеристик (текстура и скорость вращения), играют важную роль в точной моделировании процесса схода частицы с ножа.

Исследование относительного движения частицы по ножу.

Составим уравнения движения материальной точки M в неинерциальной системе координат X^*OZ^* (рисунок 17), которая совершает переносное движение по отношению к инерциальной системе XOZ , прибавляя к активным силам и реакции связи.

Составим дифференциальное уравнение движения точки по ножу:

$$\frac{md^2x_1}{dt^2} = \sum F_{kx}, \quad (2.14.)$$

где m – масса частицы, кг;

$\sum F_{kx}$ – сумма проекций сил F - центробежной, P – веса частицы, и T - трения, действующих на частицу,

$$\sum F_{kx^*} = m\omega^2 \frac{D}{2} \cos\gamma + mg \cos\alpha_p - fN, \quad (2.15)$$

где ω – угловая скорость вращения ножевого барабана, c^{-1} ;

g – ускорение силы тяжести при свободном падении, m/c^2 ;

f – коэффициент трения частицы о рабочую поверхность ножа. $f = \frac{F_{mp}}{N}$;

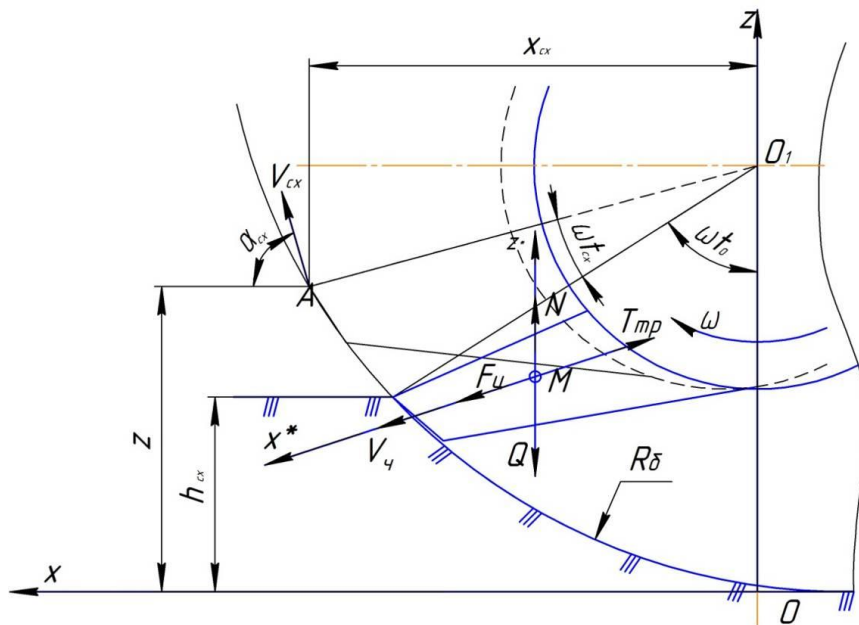


Рисунок 17 – Движение частицы по ножу

N – нормальная сила, действующая со стороны ножа на частицу, H ;

$$N = F \sin \gamma + P \sin (\omega t' + \gamma), \quad (2.16)$$

где t' – текущее время от положения полного заглубления ножевого барабана, s ,

$$t' = t_\phi + t_{cx},$$

где t_ϕ – время поворота радиуса ножевого барабана от положения полного заглубления до полного выхода из слоя, s ;

t_{cx} – время нахождения частицы на ноже с момента его полного выхода, s .

$D/2 = R_\phi - h$ – расстояние от оси вращения, определяющее положение частицы на ноже, m ;

R_ϕ – радиус ножевого барабана по концам ножей, m ;

h – глубина обработки, m ;

γ – угол отклонения рабочей поверхности ножа от радиального направления, град.

После подстановок и преобразований уравнение (2.14.) можно представить в виде:

$$\frac{mdv_{x*}}{dt} = m\omega^2 \frac{D}{2} (\cos \gamma - f \sin \gamma) + m_g [\cos(\omega t' + \gamma) - f \sin(\omega t' + \gamma)]$$

Интегрируя дважды это выражение, определим путь, пройденный частицей.

Скорость частицы:

$$v_{x1} = g \int \cos(\omega t' + \gamma) dt - g f \int \sin(\omega t' + \gamma) dt + \omega^2 \frac{D}{2} (\cos \gamma - f \sin \gamma) \int dt$$

Выполнив замену $\omega t' + \gamma = z$ и проинтегрировав

$\omega dt = dz, dt = \frac{1}{\omega} dz$, получим

$$v_{x*} = \frac{g}{\omega} \sin(\omega t' + \gamma) + \frac{gf}{\omega} \cos(\omega t' + \gamma) + \omega^2 r (\cos \gamma - f \sin \gamma) t + C_1.$$

Постоянную C_1 можно определить, задавшись начальными условиями - положением и скоростью частицы в начальный момент ($t' = 0; x_1 = 0; \dot{x} = 0$):

$$C_1 = \frac{g}{\omega} (\sin \gamma + f \cos \gamma).$$

Подставляя значение постоянной, получаем окончательное выражение скорости частицы:

$$v_{x^*} = \frac{g}{\omega} [\sin(\omega t' + \gamma) + \cos(\omega t' + \gamma)] + \omega^2 \frac{D}{2} (\cos \gamma - f \sin \gamma) t - \frac{g}{\omega} (\sin \gamma + f \cos \gamma). \quad (2.17)$$

Так как $v_{x^*} = \frac{dx^*}{dt}$, то интегрируя равенство (2.17) найдем

$$x^* = \frac{g}{\omega} \int \sin(\omega t' + \gamma) dt + \frac{gf}{\omega} \int \cos(\omega t' + \gamma) dt + \\ + \omega^2 \frac{D}{2} (\cos \gamma - f \sin \gamma) \int t' dt - \frac{g}{\omega} (\sin \gamma + f \cos \gamma) \int dt, \quad (2.18)$$

или после замены $\omega t' + \gamma = z$ и дифференцирования,

$$x^* = \frac{g}{\omega^2} [f \sin(\omega t' + \gamma) - \cos(\omega t' + \gamma)] + \\ + \frac{\omega^2 D (\cos \gamma - f \sin \gamma) t'^2}{4} - \frac{g}{\omega} (\sin \gamma + f \cos \gamma) t' + C_2. \quad (2.19)$$

Постоянную интегрирования C_2 определим, задавшись начальными условиями: при $x_1=0$ и $t'=0$.

$$C_2 = \frac{g}{\omega^2} (\cos \gamma - f \sin \gamma).$$

Тогда путь, пройденный точкой на ноже,

$$x_1 = \frac{g}{\omega^2} [f \sin(\omega t' + \gamma) - \cos(\omega t' \gamma)] + \frac{\omega^2 D (\cos \gamma - f \sin \gamma) t'^2}{4} - \\ - \frac{g}{\omega} (\sin \gamma + f \cos \gamma) t' + \frac{g}{\omega^2} (\cos \gamma - \sin \gamma) \quad (2.20)$$

Если величина x^* окажется больше длины рабочей поверхности ножа l_n , то почвенная частица будет отброшена в зону перед ножевым барабаном. В этом случае время схода t_{cx} определяется условием $x^*=h$ или

$$l_n = \frac{g}{\omega^2} [f \sin(\omega t_{cx} + \gamma) - \cos(\omega t_{cx} \gamma)] + \frac{\omega^2 D (\cos \gamma - f \sin \gamma) t_{cx}^2}{4} - \\ - \frac{g}{\omega} (\sin \gamma + f \cos \gamma) t_{cx} + \frac{g}{\omega^2} (\cos \gamma - f \sin \gamma), \quad (2.21)$$

откуда

$$t_{cx} = \sqrt{\frac{2l_n}{(\cos \gamma - f \sin \gamma) \left(\omega^2 \frac{D}{2} \right) + g}}. \quad (2.22)$$

Частица M , поступившая на рабочую поверхность ножа, сойдет с нее через время t_{cx} .

Таким образом, направление скорости частицы в момент схода с ножа определяется углом α_{cx} , который относительно системы координат XOZ будет равен:

$$\alpha_{cx} = \omega (t_\varphi + t_{cx}) + \gamma + \varphi_\partial, \quad (2.23)$$

где φ_∂ – угол трения частиц о рабочую поверхность ножа, град.

При этом угол поворота ножевого барабана от низшей точки трохоиды до положения выглубления $\omega t_\varphi = \arccos \left(\frac{D}{2R_\partial} \right)$.

С учетом сказанного выражение (2.23) примет вид:

$$\alpha_{cx} = \omega \sqrt{\frac{2R_\partial - D}{\left[\omega^2 \left(\frac{D}{2} \right) + g \right] (\cos \gamma - f \sin \gamma)}} + \arccos \left(1 - \frac{h}{R_\partial} \right) + \gamma + \varphi_\partial. \quad (2.24)$$

Исследование движения частицы почвы после схода с ножа.

Движение частицы после схода с ножа рассмотрим как, брошенного тела под углом к горизонту и характеризующегося следующими уравнениями [68, 69]:

- дальностью полета

$$l_{\max} = \frac{v_{\text{окр}}^2 \sin(2\alpha_{cx})}{g}, \quad (2.25)$$

- высотой полета

$$H_{\max} = \frac{v_{\text{окр}}^2 \sin^2 \alpha_{cx}}{2g}. \quad (2.26)$$

С учетом высоты подъема частицы до схода с ножа уравнения примут вид:

- дальность полета

$$l_{nc} = \frac{v_{\text{окр}}^2 \sin(2\alpha_{cx})}{g} + R_\partial \cos \alpha_{cx}, \quad (2.27)$$

- высота полета

$$H_{nc} = \frac{v_{\text{окр}}^2 \sin^2 \alpha_{cx}}{2g} + R_\partial (1 - \cos \alpha_{cx}) - h. \quad (2.28)$$

Анализируя формулы (2.27) и (2.28), мы видим, что основными параметрами, влияющими на данные показатели, являются угол схода частицы с ножа и угловая скорость ротора.

2.5.3 Теоретическая модель разрушения массива почвы

В процессе работы на нож бороздонарезчика действуют усилия, возникающие из-за сопротивления почвы резанию. Величина этих усилий зависит от множества факторов, таких как:

1. Состояние почвы – влажность, плотность, структура и состав почвы могут значительно влиять на сопротивление.
2. Форма ножей бороздонарезчика – угол заточки, профиль и материал ножей также играют важную роль.
3. Скорость резания – более высокая скорость может увеличить усилия из-за инерции почвенных частиц.
4. Дополнительные факторы – такие как глубина резания, угол установки ножа, и наличие камней или корней в почве.

Эти переменные делают невозможным выведение точной математической зависимости для усилий на ножах. Вместо этого, используются эмпирические данные и экспериментальные исследования для определения необходимых параметров и их влияния на работу бороздонарезчика.

Для практических расчетов и проектирования обычно применяются следующие подходы:

- использование эмпирических формул и моделей основанных на экспериментальных данных, которые учитывают основные факторы и дают приближенные значения усилий;
- применение компьютерного моделирования, т.е. использование программных комплексов для проведения численных расчетов и симуляций;
- проведение реальных испытаний и измерений на опытных участках и калибровка, что позволяет скорректировать модели и сделать их более точными.

Таким образом, точное определение усилий, действующих на нож бороздонарезчика, требует комплексного подхода, сочетающего теоретические знания, эмпирические данные и практические испытания.

Для определения усилия на ноже [73] рекомендуют следующую зависимость:

$$P = p \cdot s \cdot b; \quad (2.29)$$

где: p – среднее удельное сопротивление почвы резанию;

s – подача на один нож;

b – ширина стружки.

Для определения P можно пользоваться эмпирической формулой:

$$P = K + K_v \cdot V_{\text{рез}}; \quad (2.30)$$

где: K – удельное сопротивление почвы при вспашке плугом на скорости 1,0-1,5 м/с;

K_v – коэффициент учитывающий влияние скорости резания.

И.С. Полтавцев [74] предлагает разделить усилия резания на две составляющие:

$$P = P_{\text{л}} + P_{\text{б}}; \quad (2.31)$$

где: $P_{\text{л}}$ – сопротивление резанию стружки, по лобовой части ножа

$P_{\text{б}}$ – сопротивление резанию по боковому лезвию ножа.

При фрезеровании сравнительно узких траншей бороздонарезчиком обычной конструкции с фрезой, установленной перпендикулярно к оси вращения, резание осуществляется лобовой частью ножей, а также двумя боковыми сторонами.

В случае использования фрезы с изменяемым углом установки относительно оси вращения, резание также происходит по лобовой и обоим боковым сторонам ножей. Однако в этом случае в резании попеременно участвуют ножи только одной стороны. Это обеспечивает более равномерное распределение нагрузки и улучшает качество нарезаемых траншей.

Поэтому выражение (3) можно представить в виде:

$$P = P \cdot s^l \cdot b + K^l \cdot s^l \cdot \delta; \quad (2.32)$$

где: K^l – удельное сопротивление резанию плоским ножом;

s^l – толщина стружки;

δ – толщина ножа.

После подстановки получим:

$$P = s \cdot \sin \alpha \cdot P \cdot b + K^l \cdot \delta; \quad (2.33)$$

Толщину стружки s срезаемого слоя представляется выражением:

$$s^2 = x^2 + z^2 \quad (2.34)$$

Исследование энергоемкости формирования борозд.

При расчете потребной суммарной мощности на привод бороздонарезчика можно использовать формулу:

$$N = N_{\text{ф}} + N_o + (N_{\text{ф}} + N_o)(1 - \eta) + N_{\text{и}}; \quad (2.35)$$

где: $N_{\text{ф}}$ – мощность затрачиваемая на фрезерование;

N_o – мощность затрачиваемая на отбрасывание почвы;
 $N_{и}$ – мощность затрачиваемая на передвижение бороздонарезчика;
 η – КПД передачи от трактора к фрезе.

Мощность затрачиваемая на фрезерование, равна:

$$N_{\phi} = \frac{A \cdot n \cdot z}{60 \cdot 75}; \quad (2.36)$$

где: z – число ножей фрезы бороздонарезчика;
 n – скорость вращения, об/мин;
 A – работа одного ножа.

$$A = \int_0^{dx} P dl; \quad (2.37)$$

где: P – сопротивление резанию одного ножа, определяемое по уравнению (2);
 dl – элемент пути ножа.

Пределы интегрирования определяются углами, соответствующими крайним точкам почвенной стружки, т.е. нулю и углу контакта α_K :

$$dl = \sqrt{dx^2 + dy^2}; \quad (2.38)$$

Подставив значения dx и dy , полученные по уравнениям (2) (см. раздел «Определение траектории движения ножей бороздонарезчика и сечение стружки») и выполнив преобразования, получим:

$$dl = \sqrt{(\omega R)^2 + V_n^2 \pm 2V_n \omega R \cos \omega t} \cdot dt; \quad (2.39)$$

Сделаем замены: $V_{окр} = \omega R$; $\alpha = \omega t$.

Тогда: $t = \frac{R}{V_{окр}} \alpha$; $dt = \frac{R}{V_{окр}} d\alpha$

После этой замены уравнение примет вид:

$$dl = \frac{R}{V_{окр}} \sqrt{V_{окр}^2 + V_n^2 \pm 2V_{окр} V_n \cos \alpha} \cdot d\alpha; \quad (2.40)$$

Подставив в уравнение (3) значение P и dl , получим:

$$A = s(pb + K^l \delta) \frac{R}{V_{окр}} \int_0^{\alpha_K} \sqrt{V_{окр}^2 + V_n^2 \pm 2V_{окр} V_n \cos \alpha} \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha; \quad (2.41)$$

Для решения интеграла обозначим:

$$V_{\text{окр}}^2 + V_n^2 = a; \quad \pm 2V_{\text{окр}}V_n = b_1; \quad \cos\alpha = x; \quad d(\cos\alpha) = -\sin\alpha \cdot d\alpha = dx$$

После подстановки и преобразования интеграл примет вид:

$$\int_0^{\alpha_K} \sqrt{V_{\text{окр}}^2 + V_n^2 \pm 2V_{\text{окр}}V_n \cos\alpha} \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha = - \int_0^{\alpha_K} \sqrt{a + b_1 x} \cdot dx; \quad (2.42)$$

Табличное значение интеграла:

$$- \int \sqrt{a + b_1 x} \cdot dx = \frac{2}{3b_1} (\sqrt{a + b_1 x})^3 + c; \quad (2.43)$$

После подстановки значений a, b_1, x получим:

$$\begin{aligned} \int_0^{\alpha_K} \sqrt{V_{\text{окр}}^2 + V_n^2 \pm 2V_{\text{окр}}V_n \cos\alpha} \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha = \\ = \frac{(V_{\text{окр}} \pm V_n)^3}{\pm 3V_{\text{окр}}V_n} - \frac{\left(\sqrt{V_{\text{окр}}^2 + V_n^2 \pm 2V_{\text{окр}}V_n \cos\alpha} \right)^3}{\pm 3V_{\text{окр}}V_n}; \end{aligned} \quad (2.44)$$

Тогда:

$$A = \frac{sR(pb + K^l \delta)}{3V_{\text{окр}}^2 V_n} \left[\pm (V_{\text{окр}} \pm V_n)^3 \pm \left(\sqrt{V_{\text{окр}}^2 + V_n^2 \pm 2V_{\text{окр}}V_n \cos\alpha} \right)^3 \right] \quad (2.45)$$

В этой формуле знак (+) берется при вращении фрезы сверху-вниз, а знак (-) – при обратном вращении.

С некоторыми допущениями, приемлимыми для практических расчетов, значение A может быть определено по упрощенной формуле:

$$A = (pb + K^l \delta) sR \frac{V_{\text{окр}} + V_n}{V_n} (1 - \cos\alpha) \quad (2.46)$$

После подстановки $R(1 - \cos\alpha) = a$ (где a – глубина траншеи) формула примет вид:

$$A = (pb + K^l \delta) sa \frac{V_{\text{окр}} + V_n}{V_n} \quad (2.47)$$

Подставив это значение в уравнение (2), получим:

$$N_{\phi} = \frac{V_{\text{окр}} \pm V_n}{V_{\text{окр}}} \cdot \frac{(pb + K^l \delta) \text{санз}}{60 \cdot 75}, \text{ л. с.}; \quad (2.48)$$

Мощность затрачиваемая на отбрасывание почвы, приближенно может быть определена по формуле:

$$N_o = \frac{K_o B s \gamma V_{\text{окр}}^2}{275 g}; \quad (2.49)$$

где: K_o – коэффициент, зависящий от формы рабочих органов ($K_o = 0,85 - 1,0$; меньшее значение принимают для полевых крючков, большее – для загнутых ножей);

γ – объемный вес почвы;

B – ширина фрезы.

Мощность, затрачиваемую на передвижение бороздонарезчика, определяют из зависимости:

$$N_{\text{и}} = \pm \frac{V_n P_x}{75} \quad (2.50)$$

где: $\pm P_x$ – горизонтальная составляющая суммарного тягового сопротивления машины, которая может быть определена графически.

2.6 Виртуальный эксперимент по оптимизации рабочего органа

Исследования рабочего органа бороздонарезчика проводились с использованием модуля APM Studio, который позволяет проектировать объекты в трехмерном пространстве с применением функций поверхностного и твердотельного моделирования. Программа предоставила возможность создать модель для конечно-элементного анализа, что было необходимо для выполнения прочностных расчетов и определения напряженно-деформированного состояния конструкции.

Характерная особенность метода конечных элементов (МКЭ), который относится к прямым методам, заключается в том, что численные поля неизвестных функций в теле, таких как перемещения, напряжения и силы, определяются на основе вариационных принципов механики упругого тела. При этом непосредственное использование дифференциальных уравнений не требуется. МКЭ является наиболее эффективным прямым методом для приближенного решения прикладных

задач механики.

Основная идея метода конечных элементов (МКЭ) заключается в том, что любую непрерывную величину, такую как температура, давление или перемещение, можно аппроксимировать дискретной моделью. Эта модель строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей. Каждый элемент аппроксимируется своим полиномом, а коэффициенты этих полиномов подбираются так, чтобы обеспечить непрерывность величины вдоль границ соседних элементов.

Метод основывается на представлении исследуемого объекта в виде набора простых геометрических фигур, называемых конечными элементами, которые взаимодействуют между собой только в узлах. Эти элементы, расположенные в определенном порядке (в зависимости от конструкции объекта) и закрепленные в соответствии с граничными условиями, формируются с учетом особенностей моделируемого объекта. Такой подход позволяет описать рабочий орган бороздонарезчика [75].

Рабочий орган бороздонарезчика был представлен в виде совокупности элементарных пирамид (рисунок 18).

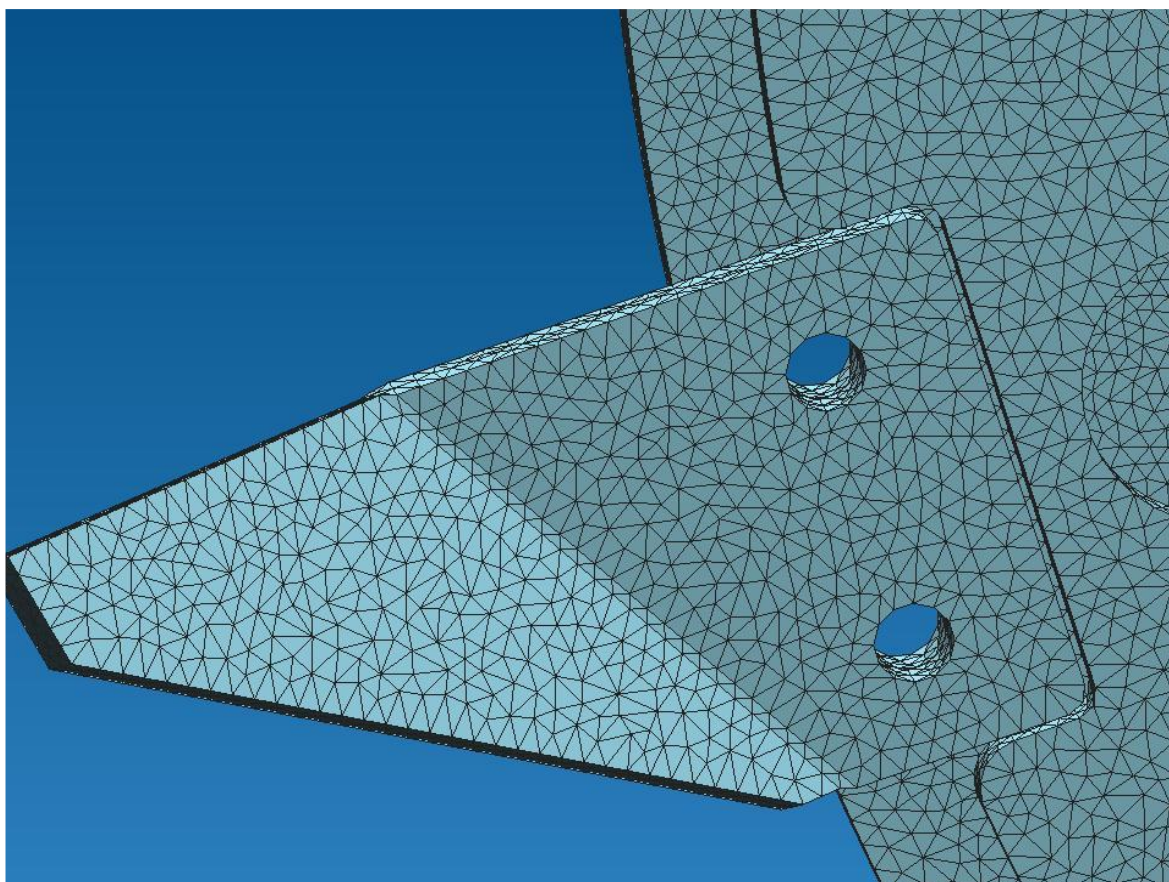


Рисунок 18 – Разбиение рабочего органа методом конечных элементов

Исследования рабочего органа позволили решать задачи расчета

напряженного и деформированного состояний рабочих органов, а также обеспечить выполнение требований технологической операции и прочностных характеристик.

Перемещение ножа фрезы в пространстве является сложным процессом. Когда фреза установлена под углом 90° , ножи двигаются по одинаковым траекториям. При установке фрезы под углами 85° и 80° каждый нож начинает двигаться по своей индивидуальной траектории. То есть, при изменении угла установки фрезы изменяется и угол установки ножа, причем для каждого ножа этот угол становится уникальным. Поэтому невозможно определить оптимальный угол установки ножа с помощью приведенных выше формул.

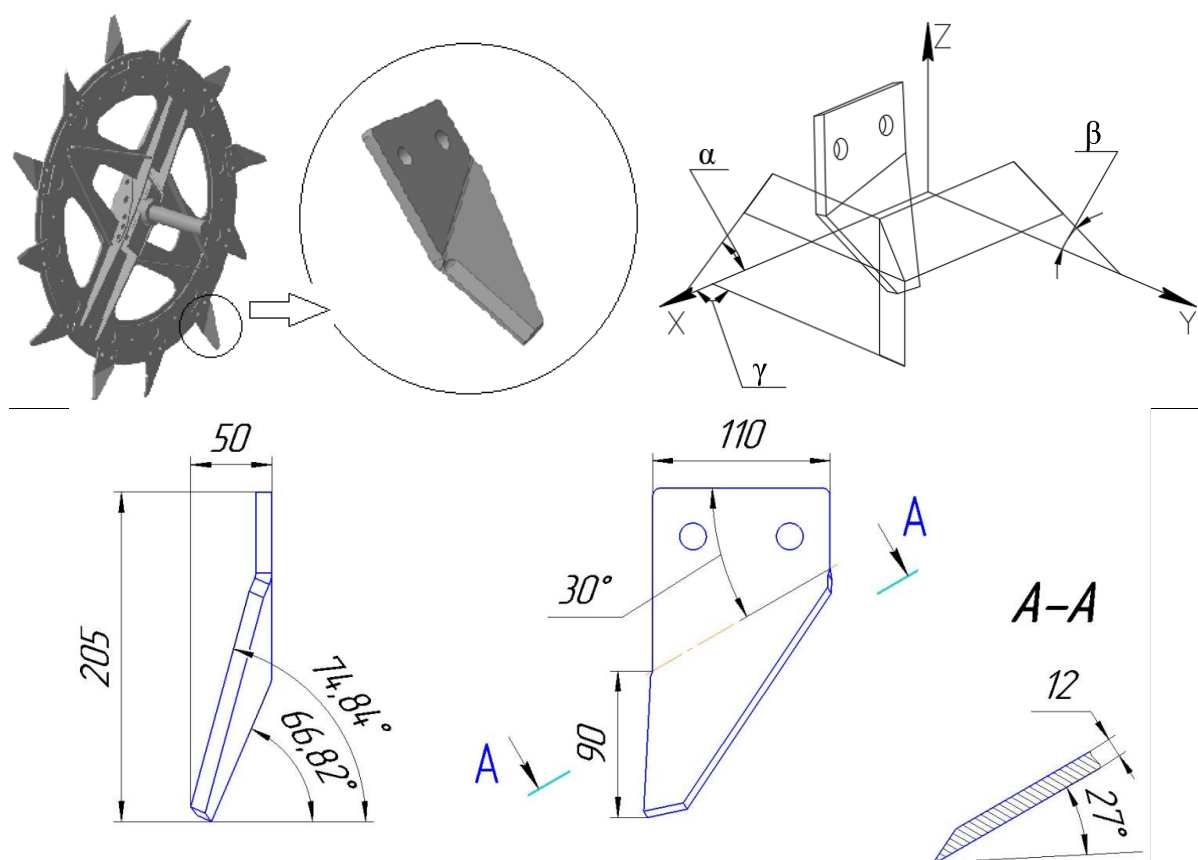
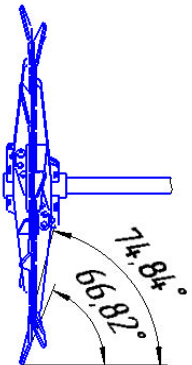
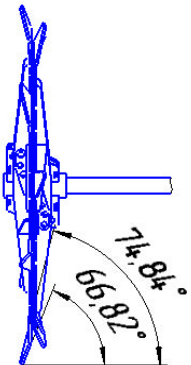
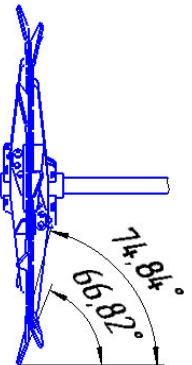
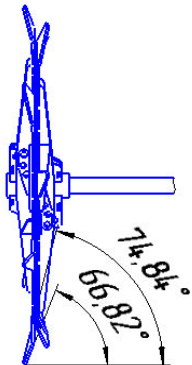
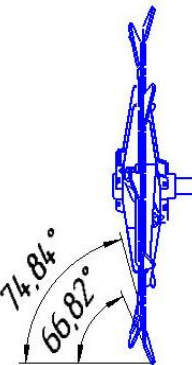
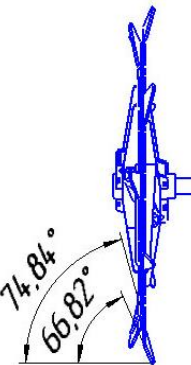
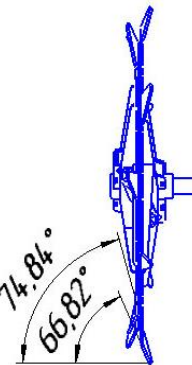
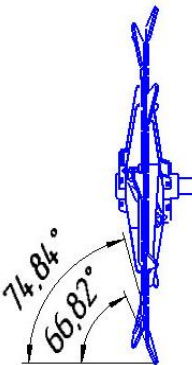
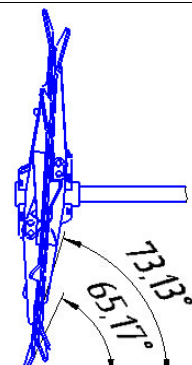
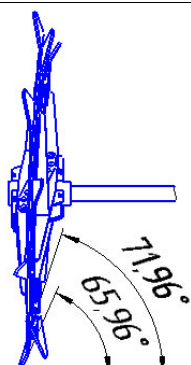
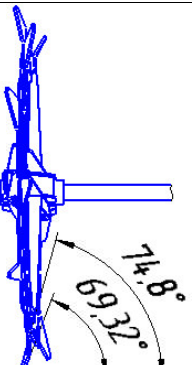
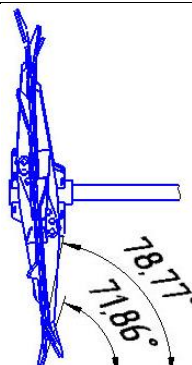
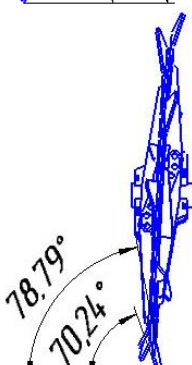
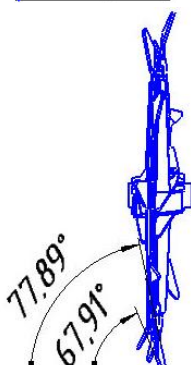
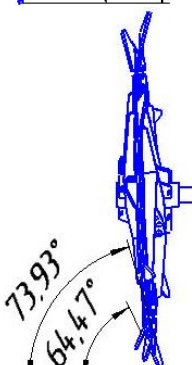
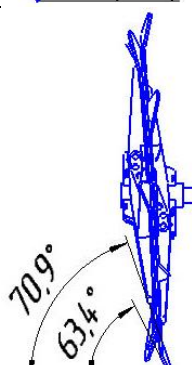


Рисунок 19 – Движение ножа фрезы в пространстве

По результатам ранее проведенных исследований другими авторами [32,33], оптимальным углом установки ножа является угол 20° - 30° . Однако, при рассмотрении углов установки ножей фрезы, которые могут изменяться относительно оси вращения, возникает вопрос о смятии пласта почвы задней фаской ножа (рисунок 19). Для решения этого вопроса проведем имитационный эксперимент по исследованию углов установки ножей (таблица 5).

Таблица 5 – Анализ углов установки ножей фрезерного диска

Угол поворота ножа		0°	60°	120°	180°
Угол установки фрезы 90°	Правый нож				
	Левый нож				
Угол установки фрезы 85°	Правый нож				
	Левый нож				

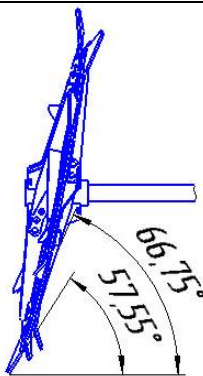
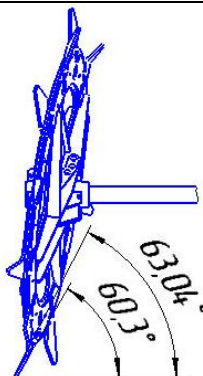
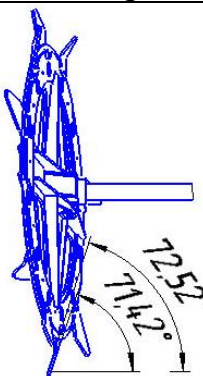
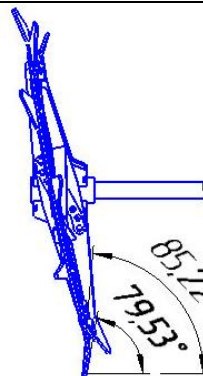
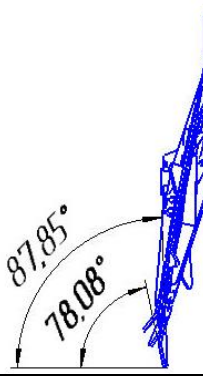
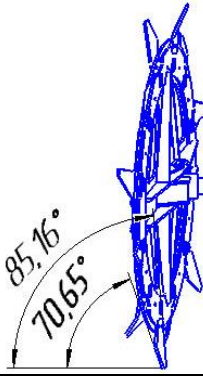
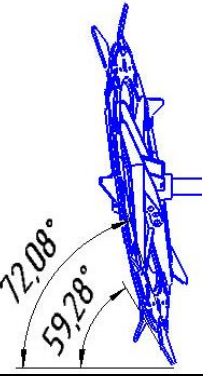
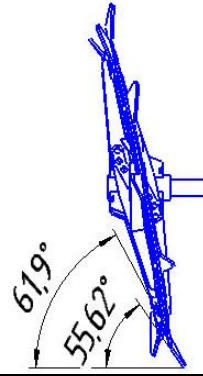
Угол установки фрезы 80°	Правый нож				
	Левый нож				

Таблица 6 – Разница углов расположения передней и задней фаски ножа.

Угол поворота ножа		0°	60°	120°	180°
Угол установки фрезы 90°	Правый нож	8°	8°	8°	8°
	Левый нож	8°	8°	8°	8°
Угол установки фрезы 85°	Правый нож	8°	6°	5°	7°
	Левый нож	8°	10°	9°	7°
Угол установки фрезы 80°	Правый нож	9°	3°	1°	6°
	Левый нож	9°	15°	23°	6°

Данные таблицы 6 демонстрируют, что разница углов передней и задней фаски ножа в различных положениях является положительной. Это подтверждает, что форма и угол установки ножей предлагаемой фрезы соответствуют допустимым нормам, обеспечивая эффективную обработку почвы. Также отмечается, что задняя фаска ножа не вызывает смятия пласта почвы.

2.7 Виртуальное моделирование движения частицы почвы

Использование методов объемного проектирования при компьютерном обеспечении значительно упрощает проверку результатов теоретических исследований, сокращает затраты на проведение экспериментов и улучшает конструкторскую компоновку на этапе

проектирования. Современные технологии позволяют основывать геометрические параметры рабочего органа бороздонарезчика, оптимальные конструктивно-технологические параметры его работы и взаимодействие с почвой на основе компьютерного анализа и моделирования [76].

Для компьютерного моделирования использовались пакеты прикладных программ, такие как SolidWorks, Компас и AutoCAD, работающие на платформе Windows 10.

Виртуальное моделирование взаимодействия рабочего органа (фрезы) бороздонарезчика с почвой представляет собой сложный процесс, включающий в себя симуляцию механических и динамических взаимодействий между фрезой и почвой. Такой подход позволяет детально изучить поведение почвы при обработке и оптимизировать конструкцию рабочего органа для достижения наилучших агротехнических результатов.

Первым этапом является создание цифровой модели фрезы и почвы в специализированном программном обеспечении для компьютерного моделирования (например, SolidWorks или другой программы для моделирования взаимодействия твердых тел и гранулированных материалов). На этом этапе задаются:

1. Геометрия фрезы. Создание точной 3D-модели фрезы с учётом её реальных размеров, формы ножей и их расположения.
2. Параметры почвы. Задание физических характеристик почвы, таких как плотность, влажность, гранулометрический состав, коэффициенты трения и когезии. Эти параметры важны для корректного моделирования поведения почвы при её взаимодействии с фрезой.

На втором этапе моделирования задаются параметры движения фрезы:

1. Угол наклона и скорость вращения. Задание скорости вращения фрезы и её угла наклона относительно поверхности почвы. Скорость вращения определяет, с какой силой и интенсивностью ножи будут взаимодействовать с почвой.
2. Направление вращения. Определение направления вращения фрезы, что влияет на перемещение частиц почвы и их распределение в пространстве.

Третим этапом проводится симуляция взаимодействия фрезы с почвой, проводится исследование следующих параметров:

1. Разрушение и перемещение частиц почвы. В процессе моделирования каждая частица почвы взаимодействует с ножами фрезы. Вращение фрезы приводит к разрезанию почвы, её поднятию и перемещению в сторону. Моделирование учитывает,

как частицы почвы разрушаются и перемещаются вдоль ножей рабочего органа.

2. Сила сопротивления почвы. Программа рассчитывает силы сопротивления, возникающие при взаимодействии ножей с почвой. Эти силы зависят от физических свойств почвы и конструкции фрезы.

На четвертом этапе происходит моделирование перемещения частиц почвы. Определяются:

1. Траектория движения частиц. Каждая частица почвы имеет свою траекторию движения, определяемую формой ножей фрезы, углом их наклона и скоростью вращения. Моделирование позволяет визуализировать, как частицы почвы поднимаются, переворачиваются и перемещаются по поверхности.
2. Параметры формирования борозды. В результате движения фрезы создаётся борозда, и программа фиксирует её параметры (глубину, ширину, форму). Моделирование позволяет оценить, как фреза формирует борозду и насколько равномерно распределяется почва.

Пятым, завершающим этапом является анализ полученных данных, где происходит:

1. Оптимизация параметров. На основе результатов моделирования можно определить, какие параметры фрезы и её работы необходимо скорректировать для достижения оптимального результата. Например, изменение угла наклона ножей или скорости вращения фрезы может привести к улучшению качества борозды и снижению энергозатрат.
2. Оценка качества обработки. Анализируется, насколько качественно фреза выполняет свою задачу, включая оценку размера и формы частиц почвы, распределённых по борозде, и равномерности обработки.

Виртуальное моделирование взаимодействия рабочего органа (фреза) бороздонарезчика с почвой позволяет детально изучить процессы, происходящие при механической обработке почвы, и оптимизировать конструкцию фрезы для достижения наилучших агротехнических результатов. Этот метод способствует снижению затрат на разработку и тестирование новых сельскохозяйственных машин, а также улучшению их производительности и эффективности.

На рисунках 20 – 22 представлены этапы виртуального моделирования взаимодействия рабочего органа (фрезы) с почвой.

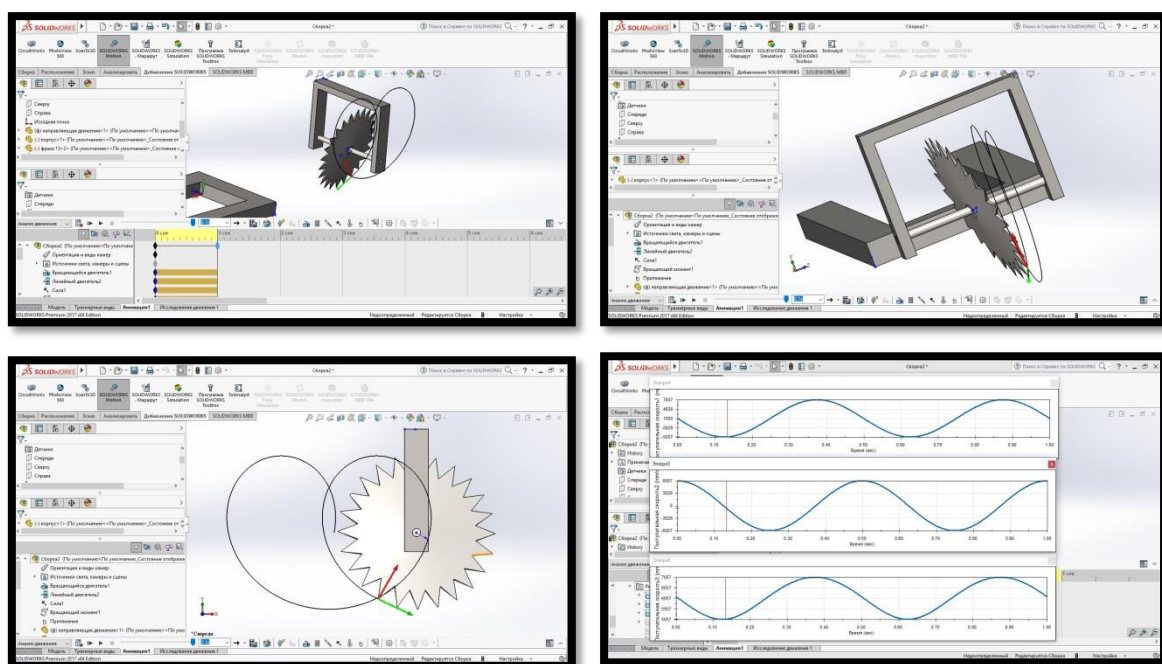
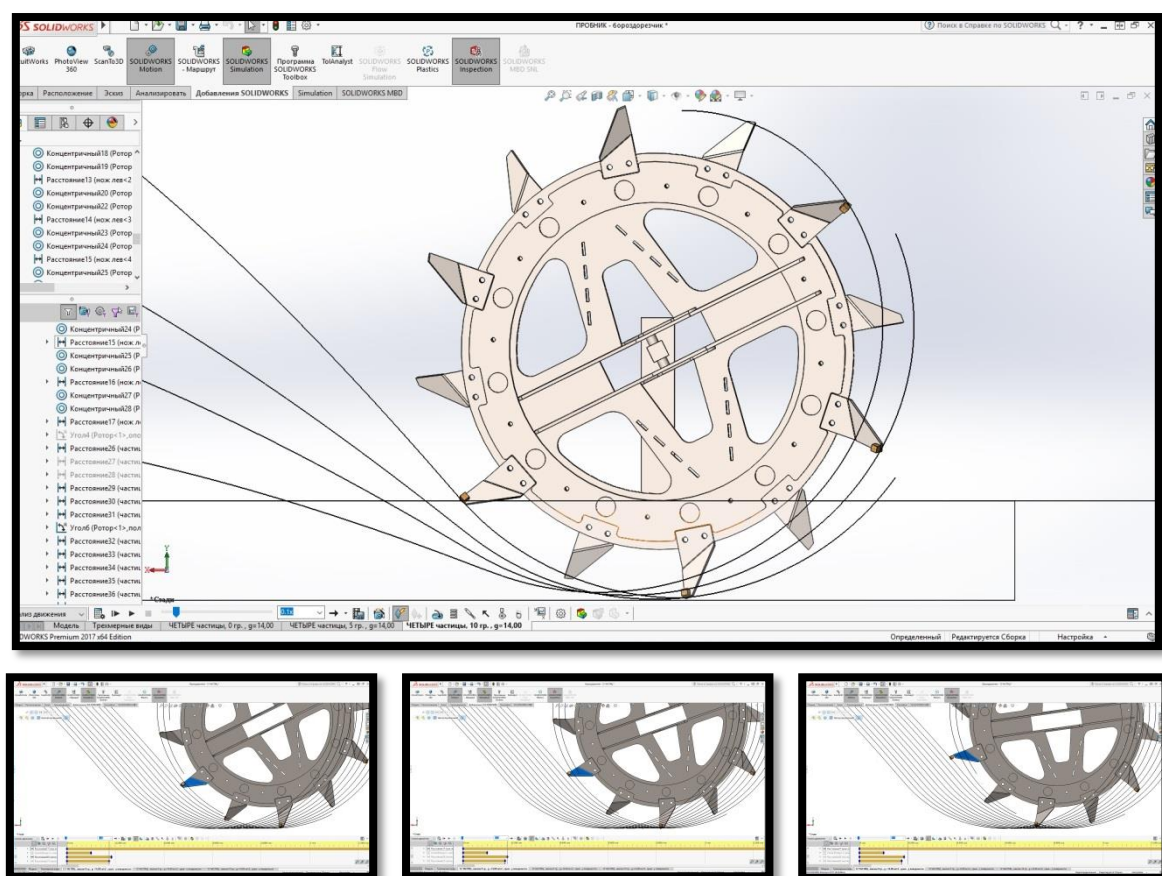


Рисунок 20 – Определение траектории движения ножа рабочего органа

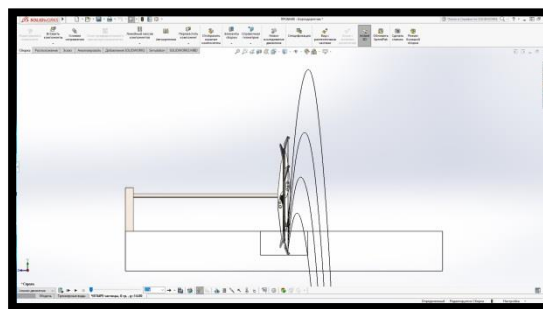
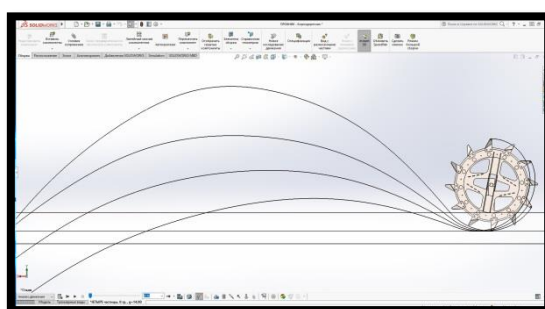
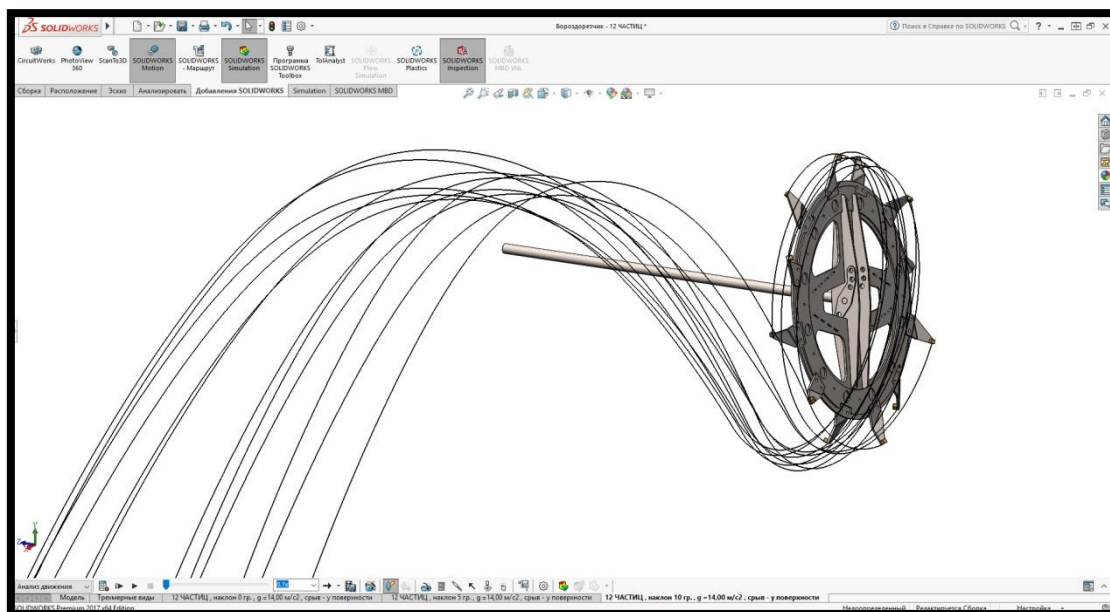


а)

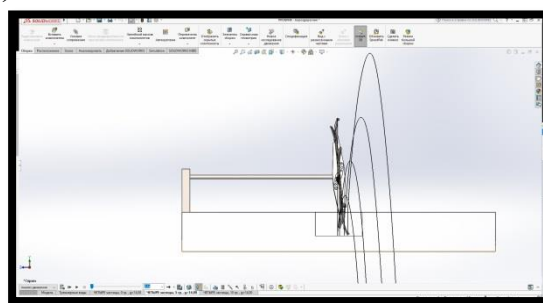
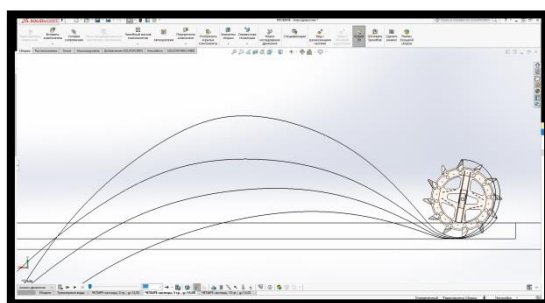
б)

в)

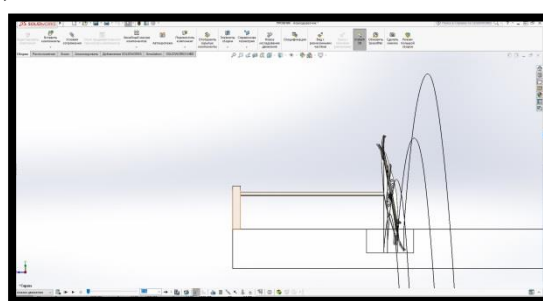
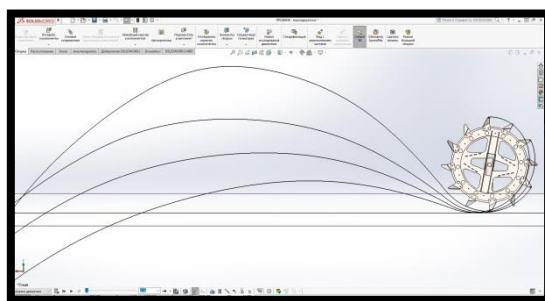
Рисунок 21 – Определение момента схода частицы почвы с ножа рабочего органа:
а – частица находится на поверхности ножа; б – момент отделения частицы от ножа; в – частица отделившись от ножа движется по параболической траектории



а)



б)



в)

Рисунок 22 – Определение траектории полета частицы почвы при разных углах установки рабочего органа: а – узкая борозда ($\alpha=90^0$), б – средняя борозда ($\alpha=85^0$), в – широкая борозда ($\alpha=80^0$)

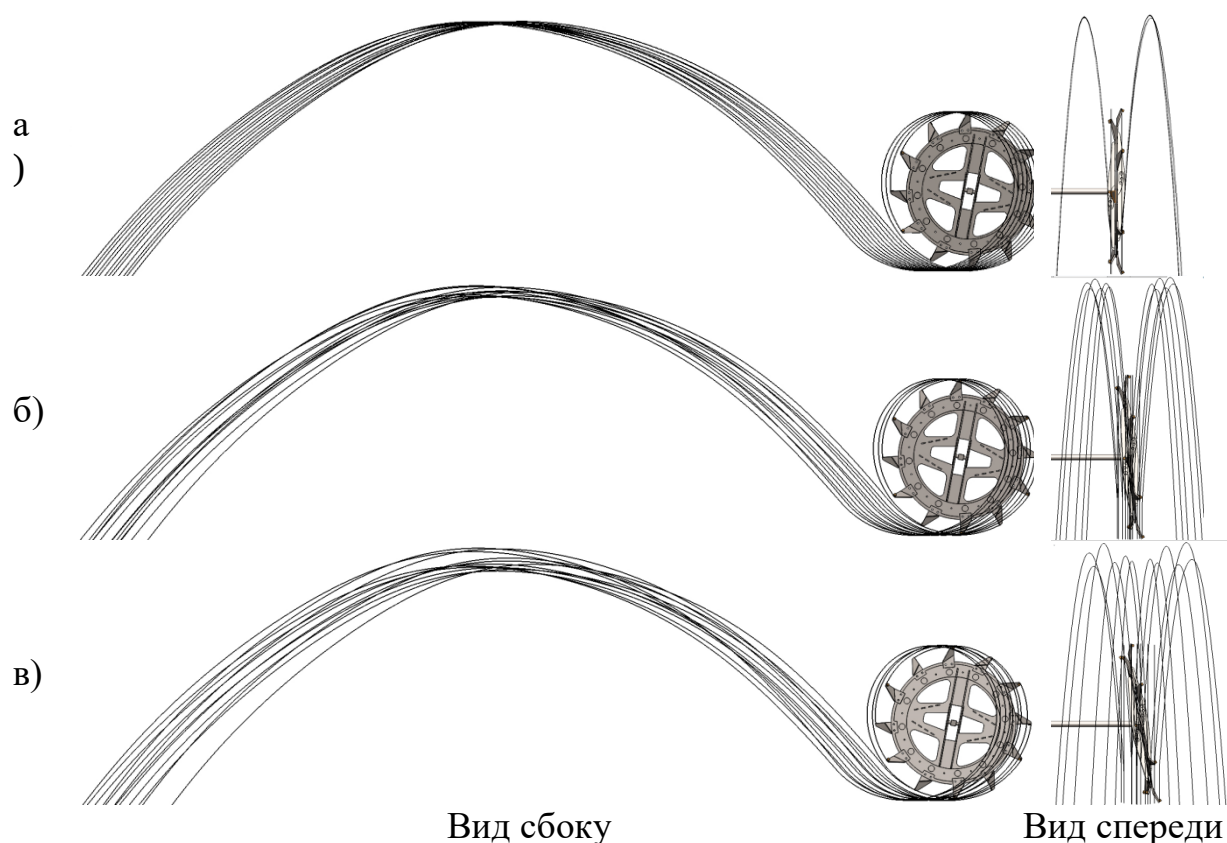


Рисунок 23 – Проекция траектории полета частиц почвы на плоскости YOX и YOZ: а) угол установки фрезы 90 град.; б) угол установки фрезы 85 град; в) угол установки фрезы 80 град.

Для теоретических исследований работоспособности предложенной конструкции рабочего органа была создана схематическая 3D модель, способная выполнять поступательные и вращательные движения. На этапе проектирования были установлены следующие параметры на основе результатов поисковых опытов: диаметр фрезерного диска $D=1500$ мм, скорость вращения $n=120$ оборотов в минуту, поступательная скорость $V_{\text{пост}}=1$ м/сек. Эти параметры были внедрены в модель, и с помощью соответствующего программного обеспечения была рассчитана результирующая скорость ножа $V_{\text{ах}}$ вращения фрезы. Также были определены горизонтальные составляющие на оси X и Y.

Далее на рисунке 23 и в таблице 7 представлены фрагменты моделирования полета частиц почвы после контакта с ножом рабочего органа бороздонарезчика. Показаны проекции на плоскости YOX и YOZ.

Из анализа движения частиц почвы стало ясно, что значительное влияние на траектории частиц оказывают угол наклона диска фрезы, скорость вращения диска и угол установки ножей. В результате проведенных опытов и анализа работ других исследователей было установлено, что для нарезки траншей в почве сельскохозяйственного назначения наиболее эффективно устанавливать ножи под углом

20-25 градусов. Этот угол был принят как постоянный параметр при моделировании.

При диаметре фрезы 1500 мм и угле установки ножей более 80 градусов ширина борозды достигает более 500 мм, что является достаточным для посадки растений с корневой системой любых размеров. Угол установки фрезерного диска варьируется от 90 до 80 градусов, что также влияет на эффективный диаметр фрезы (диаметр окружности точки ножа, наиболее удаленной от оси вращения).

Таблица 7 – Результаты имитационного моделирования полета частицы почвы после контакта с ножом.

Номер НОЖА	Место схода частицы с ножа (ГЛУБИНА)	Максимальное значение координат при заданом угле установки ротора (до удара об землю в процессе полета частицы)								
		Х при 0гр.	Х при 5гр.	Х при 10гр.	З при 0гр.	З при 5гр.	З при 10гр.	У при 0гр.	У при 5гр.	У при 10гр.
нож №1	0 мм (у поверхности)	7610	7460	7225	2039	2022	1975	552	670	764
нож №3		7690	7610	7525	2034	1986	1927	550	580	602
нож №5		7790	7787	7740	2014	1974	1943	574	468	348
нож №7		7865	7905	7845	2036	2022	1978	550	412	260
нож №1	240 мм (у дна траншеи)	4380	4395	4340	234	247	256	251	343	424
нож №3		4445	4305	4105	232	214	191	250	273	290
нож №5		4515	4360	4260	229	205	192	249	178	106
нож №7		4615	4530	4390	231	215	198	250	151	49

Анализ показал, что при диаметре фрезы бороздонарезчика 1500 мм даже небольшое изменение положения плоскости фрезы относительно оси вращения существенно влияет на ширину борозды. Это отражено в таблице 8.

Таблица 8 – изменение ширины борозды при изменении угла установки фрезы.

Угол установки фрезы, град.	80	85	87,5	90
Ширина борозды, мм	110	160	365	490
Эффективный диаметр фрезы, мм	1500	1485	1475	1462
Уменьшение глубины борозды, мм	0	7	12	19

При изменении угла поворота фрезы от 0° до 10° ширина траншеи увеличивается до 490 мм, что соответствует агротехническим требованиям. Однако при этом эффективный диаметр фрезы уменьшается с 1500 мм до 1462 мм, а глубина траншеи снижается на 19 мм. Это означает, что для достижения заданной ширины борозды необходимо одновременно корректировать глубину опускания фрезы на 19 мм (рисунок 22).

Таким образом, регулировка ширины борозды требует внимательного учета положения фрезы по глубине. Увеличение ширины борозды при изменении угла поворота фрезы от 0° до 10° вызывает необходимость корректировки опускания фрезы для поддержания заданной глубины траншеи на уровне 19 мм (рисунок 24).

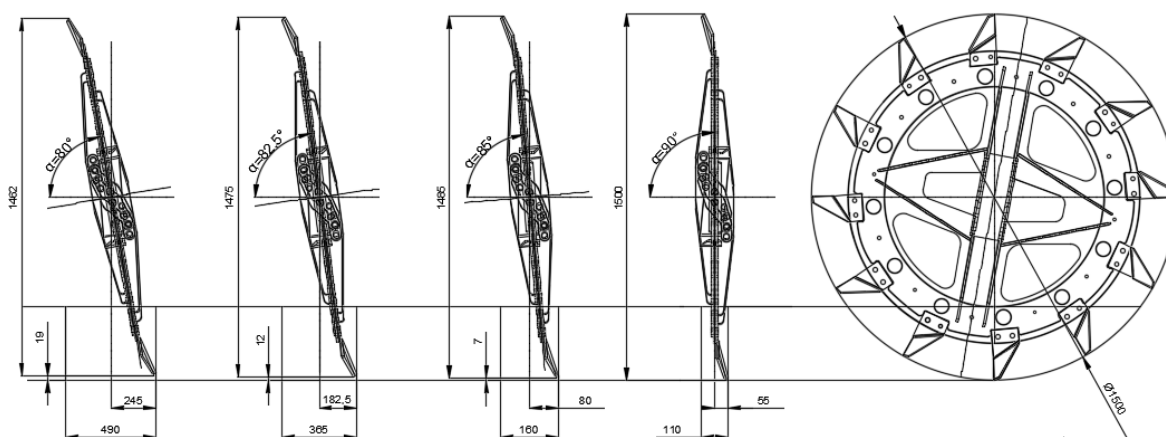


Рисунок 24 – Изменение «эффективного диаметра» фрезы и ширины борозды в зависимости от угла наклона диска

В процессе вращения фрезы почва выбрасывается вверх, отбрасывается назад от трактора и вбок от траншеи. Особое значение имеют траектории частиц почвы вдоль фрезерованной траншеи, поскольку важно избежать её засыпания в процессе обработки и минимизировать разброс по сторонам для удобства последующей засыпки корневой массы.

Траектория полета частицы почвы зависит от скорости вращения рабочего органа и угла его установки. При моделировании этих процессов важно учитывать следующие аспекты:

1. Скорость вращения рабочего органа, повышение которой может

изменить вылет частицы почвы вверх, а также вбок и назад от трактора. Более высокая скорость может повлиять на дальность, на которую выбрасываются частицы почвы.

2. Угол установки рабочего органа, который определяет направление и дальность полета частицы. Он влияет на то, насколько вертикально или горизонтально выбрасывается почва относительно траншеи и трактора.

3. Траектория полета. В результате моделирования выясняется форма траектории частицы почвы в проекциях на плоскости XY и YZ. Это может быть параболическая траектория или другая форма, зависящая от начальной скорости и угла вылета частицы.

4. Визуализация данных. Возможно, приведены графики или диаграммы, которые наглядно демонстрируют зависимость траекторий от параметров исследования.

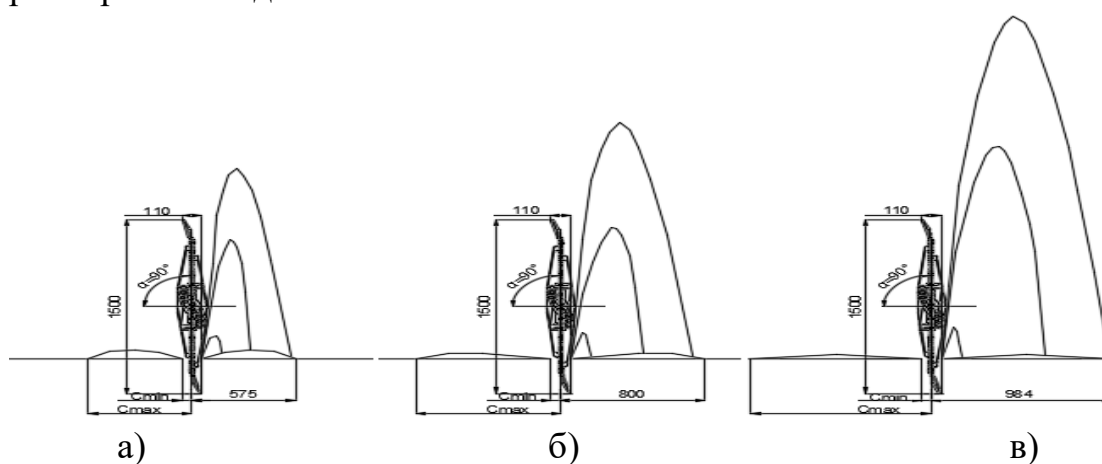


Рисунок 25 – Траектория полета частицы почвы в зависимости от скорости вращения рабочего органа при угле установки рабочего органа 90^0 (вид спереди) а – 100 об/мин.; б – 120 об/мин.; в) 140 об/мин.

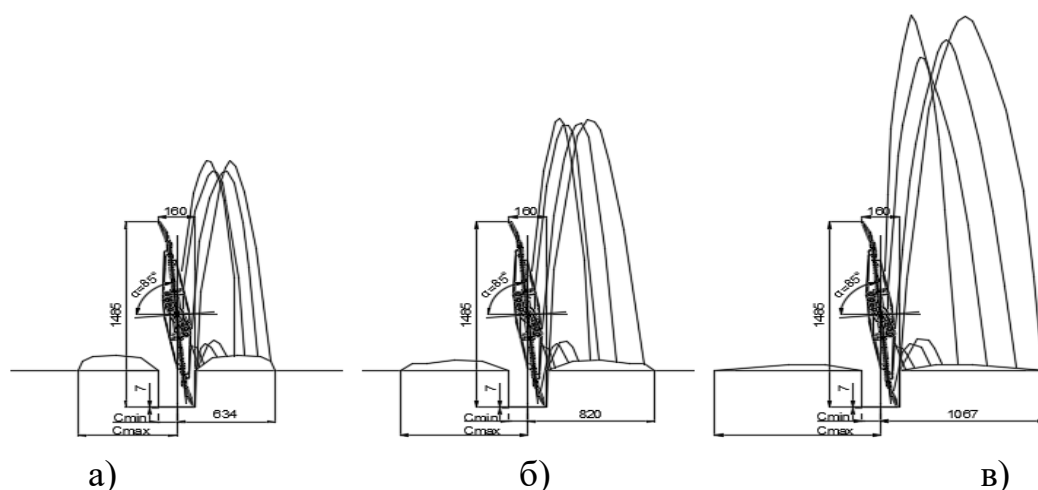


Рисунок 26 – Траектория полета частицы почвы в зависимости от скорости вращения рабочего органа при угле установки рабочего органа 85^0 (вид спереди): а – 100 об/мин.; б – 120 об/мин.; в) 140 об/мин.

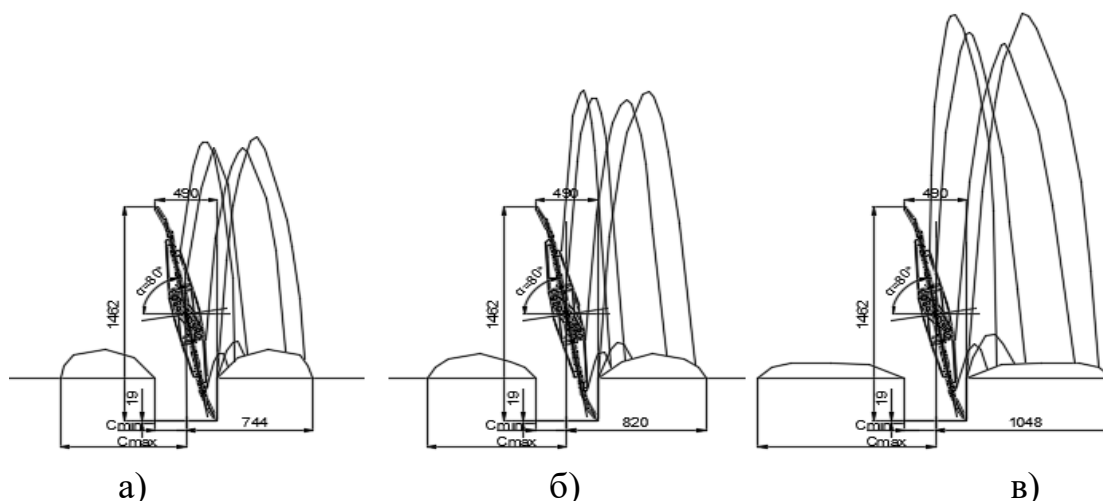


Рисунок 27 – Траектория полета частицы почвы в зависимости от скорости вращения рабочего органа при угле установки рабочего органа 80° (вид спереди): а – 100 об/мин.; б – 120 об/мин.; в) 140 об/мин.

Исходя из этих параметров, возможно определить оптимальные условия работы рабочего органа для минимизации разброса частиц почвы и обеспечения эффективности процесса обработки земли.

В результате моделирования было установлено, что траектории движения частиц почвы в проекциях на плоскости XY и YZ имеют форму параболы с различными характеристиками. Эти данные представлены на рисунках 25 – 27.

В таблице 9 приведены результаты исследования траекторий полета частиц почвы в зависимости от скорости вращения рабочего органа при разных углах установки рабочего органа.

Таблица 9 – Результаты исследования траекторий полета частиц почвы в зависимости от скорости вращения рабочего органа

Угол установки	100 об/мин		120 об/мин		140 об/мин	
	Cmin, мм	Cmax, мм	Cmin, мм	Cmax, мм	Cmin, мм	Cmax, мм
90°	55	575	55	800	55	984
85°	80	634	80	820	80	1067
80°	245	744	245	820	245	1048

Таблица 2.7 представляет результаты исследования траекторий полета частиц почвы в зависимости от скорости вращения рабочего органа при различных углах установки. В ней указаны значения для трех углов установки (90° , 85° , 80°) и трех скоростей вращения (100 об/мин, 120 об/мин, 140 об/мин). Для каждой комбинации угла и скорости приведены значения Cmin и Cmax, которые, отражают минимальное и максимальное расстояния полета частиц почвы.

Разбор таблицы построчно для каждого угла установки:

1. Угол установки 90°:
 - При 100 об/мин: $C_{min} = 55$ мм, $C_{max} = 575$ мм;
 - При 120 об/мин: $C_{min} = 55$ мм, $C_{max} = 800$ мм;
 - При 140 об/мин: $C_{min} = 55$ мм, $C_{max} = 984$ мм.
2. Угол установки 85°:
 - При 100 об/мин: $C_{min} = 80$ мм, $C_{max} = 634$ мм;
 - При 120 об/мин: $C_{min} = 80$ мм, $C_{max} = 820$ мм;
 - При 140 об/мин: $C_{min} = 80$ мм, $C_{max} = 1067$ мм.
3. Угол установки 80°:
 - При 100 об/мин: $C_{min} = 245$ мм, $C_{max} = 744$ мм;
 - При 120 об/мин: $C_{min} = 245$ мм, $C_{max} = 820$ мм;
 - При 140 об/мин: $C_{min} = 245$ мм, $C_{max} = 1048$ мм.

Эти данные показывают, как меняются характеристики траекторий полета частиц почвы в зависимости от угла установки рабочего органа и скорости его вращения. Например, при увеличении скорости вращения обычно увеличивается как минимальное, так и максимальное расстояние полета частицы (C_{min} и C_{max}). Также видно, что изменение угла установки влияет на дальность полета и разброс частиц почвы в траншеи.

Эти данные могут быть полезны для оптимизации процесса бороздонарезания и выбора оптимальных параметров работы рабочего органа в сельскохозяйственной технике.

Исходя из теоретических исследований, можно рекомендовать следующие параметры и режимы работы фрезерного бороздонарезчика:

1. Для эффективного выноса разрыхленной почвы на поверхность рекомендуется, чтобы фреза работала по принципу снизу-вверх. Это способствует поднятию почвенных частиц и их высыпанию на поверхность.

2. Для создания траншеи, предназначенной для посадки растений с различной структурой корневой системы, ширина траншеи может варьироваться в пределах от 0,1 до 0,5 метра. Для регулировки ширины траншеи рекомендуется изменять угол наклона диска фрезерного барабана в диапазоне от 90 до 80 градусов.

3. При изменении угла наклона фрезы меняется и эффективный диаметр фрезы. Например, при диаметре 1500 мм и максимальном наклоне в 80° диаметр фрезы уменьшается на 38 мм, что следует учитывать при проектировании и настройке оборудования.

4. Траектория движения частиц почвы при работе фрезы приближается к параболе. Максимальный разброс почвы от плоскости вращения фрезы может достигать до 1050 мм, что требует установки специальных ограждающих щитков для контроля и минимизации разброса почвы в процессе работы.

Эти рекомендации помогают оптимизировать процесс работы бороздонарезчика, обеспечивая эффективное создание траншей для посадки растений с учетом различных агротехнических требований и условий.

3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Методология исследования

Методология исследований заключается в использовании системного подхода и разбивки процесса проектирования на этапы.

Системный подход заключается в следующем:

- Определение потребностей конечных пользователей (фермеров и садоводов), анализ существующих проблем и ограничений.
- Постановка целей проектирования, определение задач и критериев успешности.
- Включение знаний и методов из агрономии, механики, электротехники и экологии.

Процесс проектирования содержит следующие этапы:

- исследовательский этап – сбор и анализ данных, изучение существующих технологий и решений, проведение научных исследований;
- концептуальное проектирование – разработка концепций машин, создание схем и чертежей;
- разработка прототипов – создание опытных образцов и их тестирование;
- оптимизация и внедрение – улучшение прототипов, подготовка к массовому производству, внедрение в практику.

Существующие методы исследований можно представить в виде следующей классификации (рисунок 28).

Теоретические методы содержат:

- анализ литературы – изучение научных публикаций, патентов и технической документации по тематике садоводческих машин;
- математическое моделирование – разработка математических моделей для анализа и оптимизации рабочих процессов машин;
- компьютерное моделирование и симуляция – использование программных средств для создания виртуальных моделей и проведения симуляций.

При использовании экспериментальных методов проводится: тестирование в лабораторных условиях для оценки характеристик материалов и компонентов машин; испытания машин в реальных условиях эксплуатации для оценки их производительности, надежности и эффективности; оценка прототипов машин, проведение корректировок и улучшений на основе результатов испытаний.

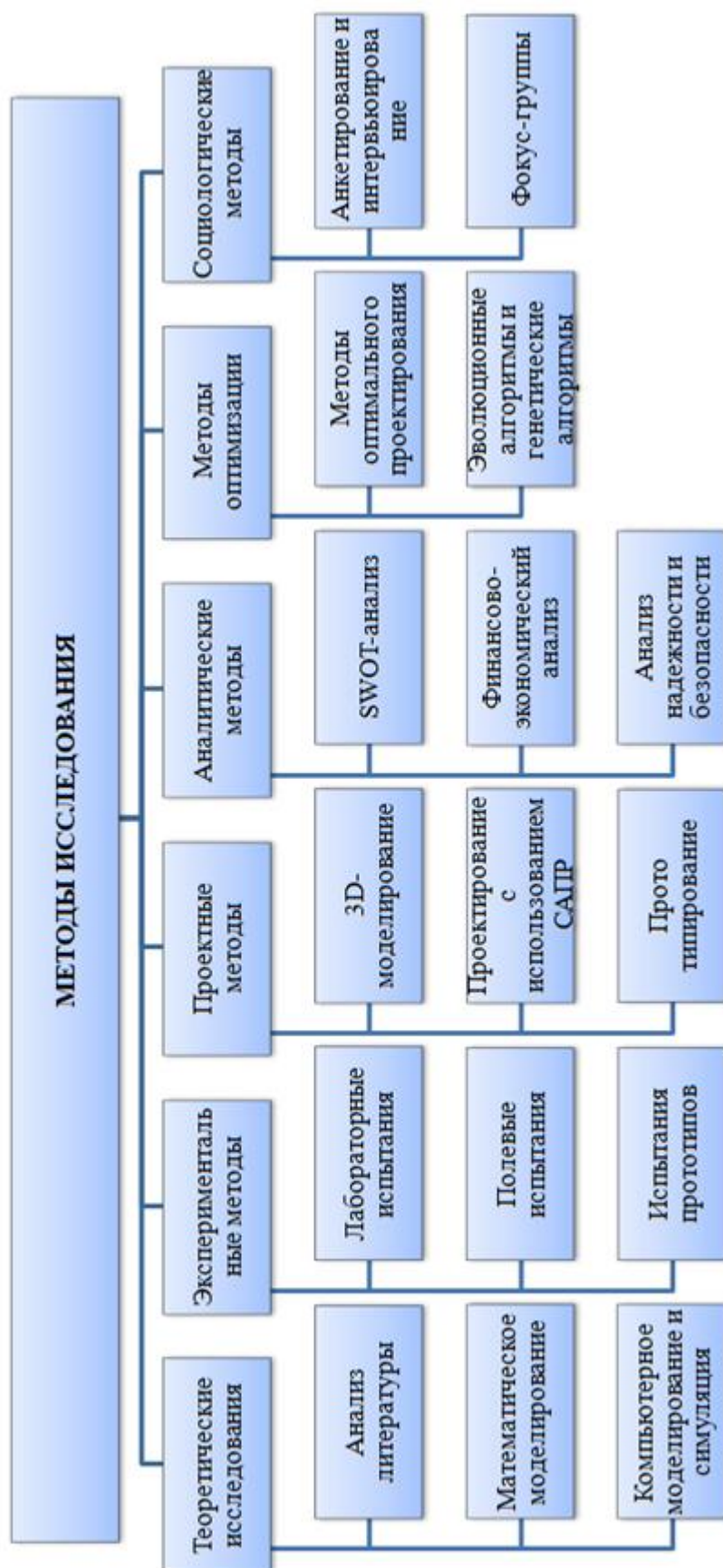


Рисунок 27 – Классификация методов исследования

Проектные методы заключаются в:

- создании трехмерных моделей машин с использованием CAD-систем;
- разработке технической документации и чертежей с помощью специализированного ПО (САПР);
- создании физических моделей и прототипов с использованием аддитивных технологий (например, 3D-печать).

Аналитические методы включают:

- SWOT-анализ – оценка сильных и слабых сторон, возможностей и угроз при разработке новых машин.
- Финансово-экономический анализ – оценка экономической целесообразности проектирования и производства машин.
- Анализ надежности и безопасности - оценка рисков и разработка мер по обеспечению надежности и безопасности эксплуатации машин.

Методы оптимизации являются:

- Методы оптимального проектирования – применение методов линейного и нелинейного программирования для оптимизации параметров машин.
- Эволюционные алгоритмы и генетические алгоритмы – использование методов искусственного интеллекта для поиска оптимальных решений.

Социологические методы заключаются в проведении:

- Анкетирования и интервьюирования, т.е. в сборе данных от конечных пользователей для определения их потребностей и оценки удовлетворенности существующими решениями.
- Проведении обсуждений с участием представителей целевой аудитории для выявления требований и предпочтений.

Методология и методы исследования проектирования и создания машин для садоводства включают широкий спектр теоретических, экспериментальных, проектных, аналитических и социологических методов. Комплексный подход позволяет учитывать все аспекты разработки и создания эффективных, надежных и экономически целесообразных машин, отвечающих потребностям современного садоводства.

3.2 Программа-методика проведения имитационного моделирования

Программа-методика проведения имитационного моделирования включает использование нескольких программных продуктов, каждый из которых специализируется на определенных аспектах проектирования и расчетов в области машиностроения.

Сначала была использована система автоматизированного проектирования КОМПАС, разработанная компанией «АСКОН». С ее помощью была создана детализированная трехмерная модель технического средства, в данном случае, бороздонарезчика для садоводства. КОМПАС позволяет создавать ассоциативные модели, включая как оригинальные, так и стандартизированные конструктивные элементы. Это способствует быстрому созданию моделей на основе ранее разработанных прототипов благодаря параметрической технологии.

Затем для исследования напряженно-деформированного состояния рабочих органов использовалась CAE система APM WinMachine. Эта программа специализируется на автоматизированном расчете и проектировании механического оборудования. APM WinMachine учитывает требования государственных стандартов и правил, что позволяет проводить точные расчеты и визуализировать результаты, что особенно важно для оценки работоспособности рабочих органов в различных условиях эксплуатации.

Наконец, для виртуального моделирования взаимодействия рабочих органов бороздонарезчика с почвой использовалась программа SolidWorks от компании SolidWorks Corporation (США). SolidWorks представляет собой систему автоматизированного проектирования с привычным графическим интерфейсом на платформе Microsoft Windows. Эта программа позволяет инженерам-проектировщикам создавать и визуализировать модели, проводить эксперименты с элементами и размерами, а также создавать подробные чертежи.

В результате использования указанных программных средств была выполнена полная цепочка работ по проектированию и исследованию бороздонарезчика: от создания трехмерной модели в КОМПАС до анализа напряженно-деформированного состояния в APM WinMachine и моделирования взаимодействия с почвой в SolidWorks. Этот комплексный подход позволяет не только сократить сроки проектирования и снизить материалоемкость конструкций, но и улучшить их работоспособность и эффективность в эксплуатации.

3.3 Программа-методика экспериментальных исследований взаимодействия рабочих органов бороздонарезчика с почвой

Для проверки и подтверждения результатов теоретических и компьютерных исследований была разработана экспериментальная программа, включающая использование специально подготовленного технического средства – универсального бороздонарезчика с изменяемым углом установки фрезерного рабочего органа.

Экспериментальные исследования проводились в несколько этапов.

На первом этапе был изготовлен универсальный бороздонарезчик с учетом оптимальных геометрических параметров, разработанных в ходе теоретических исследований. Были установлены специальные маркеры и системы для точного контроля угла установки фрезерного рабочего органа.

На втором этапе проводилась подготовка испытуемой модели и места проведения испытаний.

Испытания проводились в соответствии с требованиями стандартов, такими как:

ГОСТ 33736-2016 «Техника сельскохозяйственная. Машины для глубокой обработки почвы. Методы испытаний»;

ГОСТ 20915-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний»;

ГОСТ 28305-89 «Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Правила приемки на испытания»;

ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24057-88, ГОСТ 24059-88 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки»;

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

Использовались стандартные контрольно-измерительные приборы и вычислительная техника для регистрации и анализа данных.

Третий этап заключался в проведение полевых испытаний. Эксперименты включали последовательное изменение угла наклона фрезерного диска бороздонарезчика ($\alpha=90^\circ$, $\alpha=85^\circ$, $\alpha=80^\circ$) при нарезке борозды под посадку саженцев и подвоев. Каждый установленный угол наклона анализировался при нарезке двух траншей в прямом и обратном направлениях на протяжении 50 метров.

На четвертом этапе проводились обработка и анализ данных. Полученные данные о напряжениях и деформациях рабочих органов бороздонарезчика в различных режимах работы были подвергнуты комплексному анализу. Сравнение экспериментальных результатов с результатами теоретических моделей и компьютерного моделирования (проведенного с использованием программ Microsoft Word, Excel, AutoCad, Kompas и Solid Works) позволило оценить точность предложенных теоретических предположений.

Пятый этап заключался в формулировании выводов и рекомендаций. На основе анализа результатов экспериментов были сформулированы выводы о работоспособности и эффективности универсального бороздонарезчика с изменяемым углом установки фрезерного рабочего органа. Рекомендации включали оптимизацию конструкции и процессов работы для повышения производительности и снижения нагрузок на рабочие органы.

На шестом этапе проводилась технико-экономическая оценка

испытуемого объекта. Осуществленная технико-экономическая оценка использования разработанного бороздонарезчика позволила оценить его экономическую целесообразность и потенциальные преимущества перед существующими аналогами.

Изображения и фотоматериалы (рисунки 28, 29) отражают ключевые моменты проведения экспериментов, демонстрируя процесс нарезки борозды под различными углами установки фрезерного рабочего органа.

Весь процесс проведения экспериментальных исследований строго соответствовал установленным стандартам и методикам, что гарантировало объективность полученных результатов и их применимость в реальных условиях эксплуатации агротехнических машин.



Рисунок 28 – Фрагменты испытаний универсального бороздонарезчика (а – узкая борозда ($\alpha=90^0$), б – средняя борозда ($\alpha=85^0$), в – широкая борозда ($\alpha=80^0$))



Рисунок 29 – Борозды различной ширины (а – узкая борозда ($\alpha=90^0$), б – средняя борозда ($\alpha=85^0$), в – широкая борозда ($\alpha=80^0$))

3.4 Разработка метода определения профиля борозды

Определение формы борозды в земле – это важный аспект при проектировании и эксплуатации сельскохозяйственной техники, такой как бороздонарезчики и плуги. Существует несколько методов для измерения и оценки формы борозды, включая как традиционные, так и современные

подходы (рисунок 30)



Рисунок 30 – Классификация методов определения профиля борозды

Один из самых простых методов – это визуальное изучение борозды после её нарезки. Оценка проводится на месте работы с помощью инструментов, таких как рулетка и измерительные линейки, для определения ширины, глубины и углов отклонения борозды от горизонтальной плоскости.

Использование цифровых камер и видеокамер для документирования процесса нарезки и последующего изучения борозды. Это позволяет более детально анализировать форму и параметры борозды в статическом и динамическом режимах.

Применение технологий сканирования, таких как лазерное сканирование или структурированный свет, для создания трехмерной модели борозды. Это позволяет точно измерять её форму, объем, а также глубину и ширину в различных сечениях.

Некоторые современные бороздонарезчики оснащены датчиками, которые автоматически измеряют параметры борозды в процессе работы.

Применение программных средств для создания математических моделей процесса нарезки борозды и её формы. Это включает использование CAD-систем для виртуального моделирования, что позволяет предсказывать форму борозды и оптимизировать проектирование рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения в зависимости от условий эксплуатации и требуемой точности измерений. Оптимальный выбор метода зависит от конкретных задач и доступных ресурсов для проведения измерений и анализа данных.

Для измерения и оценки качественных характеристик обработки почвы бороздонарезчиком, таких как размеры борозды, глубина нарезания

и гребнистость (образование насыпного вала), используются специализированные методики и стандарты, например, ГОСТ 33687-2015. Вот как происходит измерение и анализ этих параметров:

1. Измерение глубины нарезания борозды.

Глубину нарезания борозды (обозначаемую как $(H+e)$) измеряют взрыхленным слоем почвы до подпахотного слоя. Для этого линейку погружают вдоль длины борозды через интервал в 1 метр для измерения глубины. Для достижения точности и надежности результатов глубину измеряют не менее 20 раз в каждой борозде. Полученные данные записываются и обрабатываются статистическим методом. Обычно вычисляют среднее арифметическое значение глубины нарезания, стандартное отклонение и коэффициент вариации.

2. Округление результатов. Результаты вычислений округляются до первого десятичного знака для повышения точности.

3. Оценка гребнистости (образование насыпного вала). Гребнистость борозды оценивается на основе формирования насыпного вала, который может повлиять на дальнейшие агротехнические процессы. Этот параметр также важен для оценки качества обработки почвы.

4. Стандарты и методы испытаний. Для обеспечения стандартизации и объективности измерений используются ГОСТы, такие как ГОСТ 33687-2015, который определяет методику испытаний для машин и орудий поверхностной обработки почвы. Этот стандарт включает в себя рекомендации по измерению параметров борозд, включая глубину, ширину и другие характеристики.

5. Применение результатов. Полученные данные о глубине нарезания и гребнистости борозды помогают оценить эффективность работы бороздонарезчика и провести необходимые корректировки в его настройке или эксплуатации. Эти параметры также могут использоваться для оптимизации процессов посадки саженцев и подвоев, обеспечивая наилучшие условия для развития растений. Таким образом, точное измерение и анализ формы борозды играют ключевую роль в повышении качества обработки почвы и улучшении эксплуатационной эффективности сельскохозяйственных машин.

Методика определения глубины обработки почвы с использованием продольного профилирования представляет собой важный инструмент для оценки эффективности работы сельскохозяйственной техники, включая бороздонарезчики. Вот как проходит процесс выполнения продольного профилирования:

Процесс выполнения продольного профилирования заключается в следующем:

1. Подготовка инструментов и оборудования - устанавливают горизонтальную рейку длиной 3-6 м на опорные стойки. Один конец рейки располагается на рейке поперечного профилирования, а другой – на

вспомогательной рейке, которая также фиксируется на опорах.

2. Измерение и отметка перед проходом машины - перед проходом технического средства (например, бороздонарезчика) измеряют показания продольного профиля до начала обработки почвы. Отмечают и фиксируют расстояния на вспомогательной и поперечной рейках.

3. Обработка почвы - машина начинает процесс обработки почвы, проходя через заранее установленные отметки.

4. Измерение после прохода машины - после прохождения машины повторно устанавливают поперечную рейку в соответствии с предварительными отметками на вспомогательной и поперечной рейках.

5. Измерение глубины - измерения глубины производят через каждые 5 см по длине борозды. Определяют расстояние от поверхности почвы до нижней части рейки, фиксируя данные для последующего анализа.

Полученные данные о глубине обработки почвы обрабатываются для вычисления средней глубины нарезания, стандартного отклонения и других параметров, характеризующих равномерность и качество обработки. Эти результаты могут использоваться для корректировки работы технических средств, оптимизации процесса обработки и повышения качества сельскохозяйственных операций.

Продольное профилирование позволяет получить детализированную информацию о глубине нарезания борозды на всей длине прохода машины, что особенно важно для точного контроля за выполнением агротехнических операций и соблюдением требуемых стандартов.



Рисунок 31 – Устройство для поперечного и продольного профилирования

Профилометр, использованный для более точного и наглядного получения профиля обработанной почвы, представляет собой специализированное измерительное устройство (рисунок 31).

Профилометр состоит из двухметровой линейки с регулярно размещенными отверстиями и нанесенной разметкой по всей длине. Отверстия располагаются с шагом 5 см. На линейку также установлен

набор штырей, которые вставляются в отверстия до соприкосновения с почвой.

Для снятия показаний профилометр устанавливается на двух ножках поперек борозды, чтобы обеспечить стабильное положение при измерении. Штыри профилометра вставляются в отверстия с целью контакта с поверхностью почвы. Это позволяет точно определить высоту почвенных слоев вдоль длины борозды.

Для повышения точности измерения профилометр устанавливается по уровню, чтобы его высотное положение точно повторяло микрорельеф створа. Измерения проводятся с использованием металлической линейки с точностью до 1 см, что обеспечивает достаточную точность для анализа профиля почвы.

Преимуществами использования профилометра являются: высокая точность измерений благодаря регулярной разметке и установке по уровню, возможность наглядного отображения профиля обработанной почвы с помощью полученных данных, обеспечение объективной оценки качества обработки почвы и равномерности работы сельскохозяйственных машин (рисунок 32).

Таким образом, профилометр представляет собой важный инструмент для сельскохозяйственных исследований, обеспечивающий точное измерение и анализ профиля обработанной почвы в условиях полевых испытаний.



**Рисунок 32 – Определение профиля нарезаемой борозды
(установка профилометра)**

Для оценки качества технологического процесса нарезания борозд были определены следующие габаритные характеристики:

1. Глубина нарезания (H). Глубина нарезания борозды измеряется от поверхности почвы до самой нижней точки борозды. Это важный параметр, который влияет на уровень подготовки почвы к последующим агротехническим операциям.

2. Ширина сверху (a) и внизу (b) нарезаемых борозд. Ширина борозды измеряется в двух ключевых точках: сверху (на поверхности почвы) и внизу (на дне борозды). Разница между шириной сверху и внизу может давать представление о форме и стабильности борозды.

3. Ширина (d) и высота (h) образовавшегося вала почвы. После нарезания борозды часто образуется вал почвы вокруг нее. Ширина этого вала (d) измеряется на поверхности почвы, а высота (h) – от поверхности почвы до верхушки вала.

4. Осыпание на дно канавы (e). Этот параметр характеризует склонность почвы к оседанию в дно борозды после ее нарезания. Величина осыпания (e) измеряется на дне борозды и может варьироваться в зависимости от угла нарезания и других факторов.

Эти параметры измеряются и анализируются для оценки равномерности и качества нарезки борозды. Результаты измерений позволяют судить о эффективности работы технических средств и оптимизировать их производственные процессы. (рисунок 33).

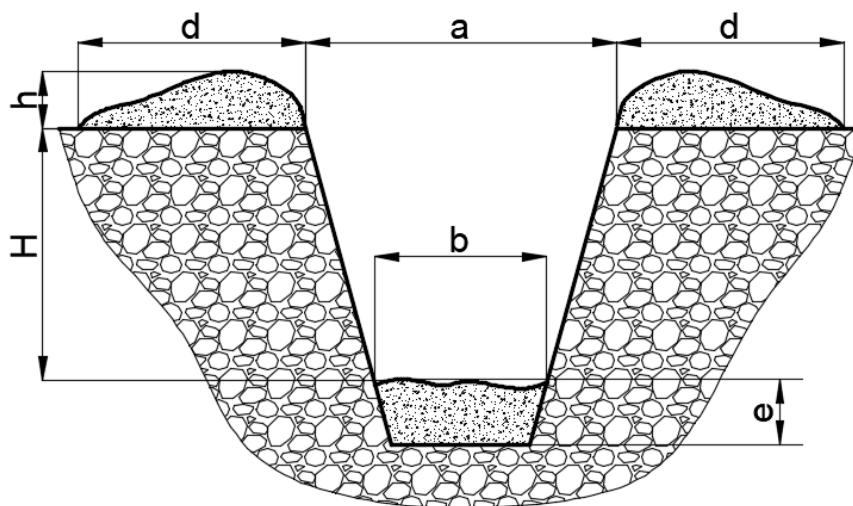


Рисунок 33 – Габаритные характеристики борозды

Для полноценного анализа влияния технологического процесса на качество почвы были взяты пробы из нескольких точек, охватывающих различные глубины и состояния почвенного слоя. Это позволяет учесть изменения, происходящие в почве под воздействием рабочего органа бороздонарезчика.

Пробы были взяты из следующих точек:

1. До обработки (слой 0-20 см, 20-40 см): Пробы взяты на различных глубинах до проведения технологического процесса. Это позволяет определить исходное состояние почвы и сравнить его с изменениями, вызванными действием бороздонарезчика.

2. В зоне воздействия рабочего органа: Пробы были взяты из взрыхленной почвы на дне борозды, где произошло нарезание, а также из образовавшегося вала почвы вокруг борозды. Это позволяет оценить изменения в структуре и физико-химических свойствах почвы после ее обработки.

Для каждой пробы были измерены характеристики, такие как абсолютная влажность, плотность и агрегатный состав почвы. Эти данные являются ключевыми для оценки влияния технологического процесса на почвенное покрывное покрытие и его свойства.

Анализ этих параметров позволяет делать выводы о эффективности рабочего органа бороздонарезчика, его влиянии на структуру почвы и способность почвы к последующей обработке и использованию в сельском хозяйстве.

3.5 Разработка метода определения фрактальных характеристик почвы

Крошение почвы при обработке - это процесс разрушения почвенных глыб и агрегатов в результате механического воздействия при проведении сельскохозяйственных работ, таких как пахота, боронование или культивация. Характеризуется уменьшением размеров почвенных частиц и изменением структуры почвы.

Изучение фрактальных характеристик почвы является важной задачей для понимания ее структуры и свойств. Фрактальная геометрия используется для анализа сложных и нерегулярных структур, таких как почвенные частицы или пористое пространство почвенной матрицы [77].

Для разработки метода определения фрактальных характеристик почвы можно использовать следующие подходы:

1. Метод измерения размеров частиц. Для определения фрактальных характеристик необходимо измерить размеры почвенных частиц на микро- или наноуровне. Это может быть достигнуто с помощью различного рода микроскопических методов, таких как сканирующая электронная микроскопия (SEM) или атомно-силовая микроскопия (AFM).
2. Анализ дискретизированных данных. После получения изображений почвенных частиц необходимо провести анализ дискретизированных данных, чтобы выявить фрактальные свойства в структуре. Для этого

можно использовать специализированное программное обеспечение для анализа изображений и обработки данных.

3. Разработка математических моделей. На основе полученных данных о размерах и форме частиц можно разработать математические модели, которые описывали бы структуру почвы с точки зрения фрактальной геометрии.
4. Эмпирическая проверка. Разработанный метод необходимо эмпирически проверить на ряде образцов различных типов почв для подтверждения его пригодности к использованию.

Таким образом, разработка методов определения фрактальных характеристик почвы требует комбинированного подхода, включая экспериментальные измерения, анализ данных и математическое моделирование.

Прямые методы измерения крошения почвы включают использование аппаратуры для непосредственного измерения фракций или размеров частиц после обработки. Например, ареометрический метод основан на определении плотности и размеров частиц с помощью специального прибора - ареометра. Пипеточный метод основан на отсеивании частичек через стеклянную трубку определенного диаметра.

Косвенные методы оценивают степень крошения путем изучения изменений свойств почвы после обработки. Метод Рутковского основан на изменении объемной массы сжатых образцов почвы до и после обработки.

Ситовой метод является одним из самых простых и надежных способов оценки крошения почвы: он основан на просейке образца через серию пористых сит различной фракции для определения распределения размеров частиц.

Для определения гранулометрического состава почвы обычно используют метод сухого ситового анализа. Этот метод включает в себя процесс просеивания почвенной пробы через набор стандартных сит различных размеров, чтобы определить процент содержания песка, ила и глины в почве.

Что касается микроагрегатного состава, для его определения часто используют различные лабораторные методы. Например:

1. Метод агрегатного анализа при помощи гидродиспергирования, который позволяет оценить размеры микроагрегатов в почве.

2. Определение содержания органического углерода и минеральных компонентов для характеристики структуры почвенной твердой фазы.

Зачастую лучше проводить несколько методов одновременно для более точной характеристики состава почвы.

Отбор проб из трех мест (верх борозды и дно) также является хорошей практикой, так как это может дать представление о возможной изменчивости гранулометрии и микроаггаций в пределах поля или угодий.

При определении гранулометрического состава почвы после прохода борзодонарезчика использовался ситовой метод [83]. (ГОСТ 12536-79. Грунты.

Для получения более точных результатов, пробы для исследования отбирались в трех местах с верха борозды (вал, гребень) и со дна борозды (осыпь) в точках указанных на схеме (рисунок 34).

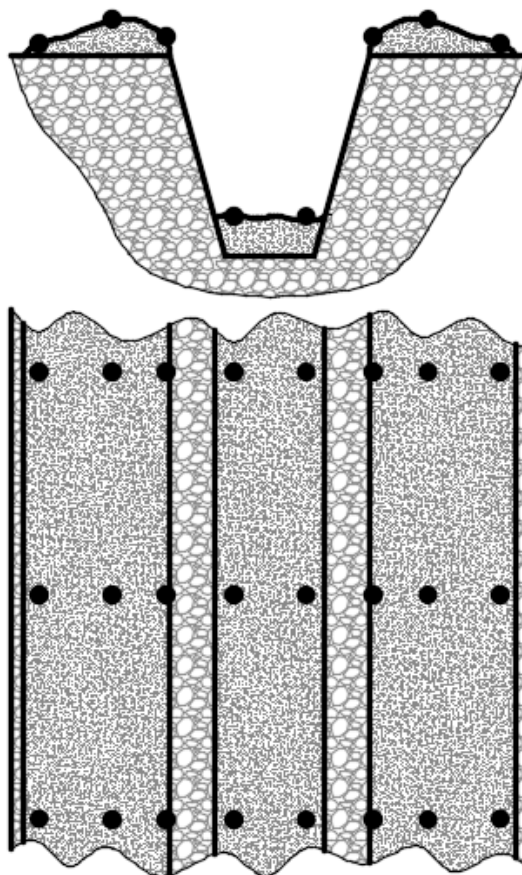


Рисунок 34 – Схема забора проб почвы

Для определения гранулометрического состава почвы, Вы использовали различные инструменты и оборудование. Вот список средств, которые были использованы (согласно рисункам 35 – 37):

- набор сит с размерами отверстий: 0,25; 0,5; 1; 3; 5; 7; 10 мм., позволяющий отсечь частицы по размеру и классифицировать их в соответствии с гранулометрическим составом;
- лабораторные электронные весы с относительной погрешностью взвешивания не более 0,01%, для точного измерения массы образцов почвы и отсеянных частиц;
- технические весы с относительной погрешностью взвешивания не более 0,1%, использовались для измерения более крупных масс, которые не требуют такой высокой точности, как лабораторные весы;

- шкаф сушильный использовался для сушки образцов почвы перед взвешиванием и анализом;
- лопатка и линейка использовались для отбора проб и измерения размеров образцов.

Эти инструменты и оборудование помогают проводить лабораторное определение гранулометрического состава почвы и получать более точные результаты.

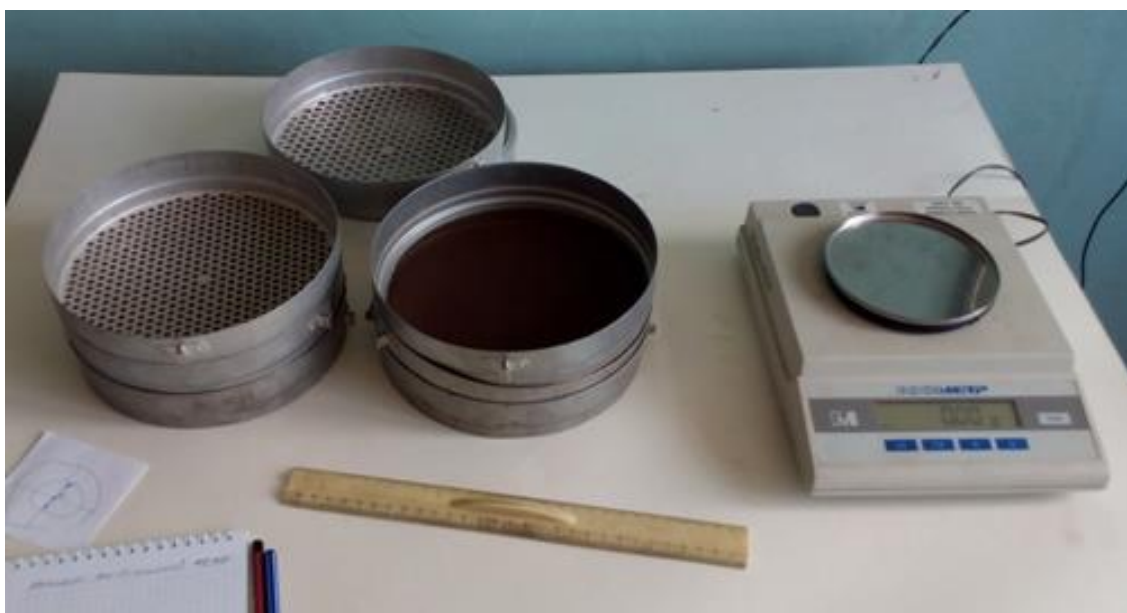


Рисунок 35 – Подготовка оборудования к взвешиванию

После того как были подготовлены пробы и установлены сита, процесс определения гранулометрического состава может быть описан следующим образом:

1. Подготовка проб: Вначале необходимо высушить пробы почвы, после чего их можно использовать для определения гранулометрического состава.

2. Процесс ситового анализа:

- установить сита вертикально в порядке увеличения размеров отверстий (от наименьшего к наибольшему);
- поместить пробу земли в верхнее сито;
- начать просеивание материала круговыми движениями в течение 5-7 минут;
- оставшийся материал на каждом сите взвесить с точностью до 0,01 г.

3. Отбор частиц крупнее 50 мм: Этап проводится вручную, за которым следует измерение и взвешивание полученных результатов.

4. Расчет процентного содержания фракций: Принимая общую массу пробы за 100%, определяется процент каждой фракции путем деления массы частиц на общую массу и умножением результата на

100%.

Данный процесс поможет получить данные о гранулометрическом составе почвенной пробы для последующего анализа и интерпретации результатов.



Рисунок 36 – Просеивание и взвешивание исследуемого материала



Рисунок 37 – Измерение частиц размером более 50 мм

3.6 Обработка экспериментальных данных

Обработка экспериментальных данных является важной частью научного исследования. В данном случае, полученные результаты эксперимента обрабатывались с помощью методов математической статистики.

Для определения среднеарифметического значения величин использовалась формула (3.1), где X_i - отдельные значения измеряемой величины, а n - количество проведенных опытов.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (3.1)$$

Среднеквадратичное отклонение (стандартное отклонение) характеризует меру рассеяния данных и вычисляется по формуле (3.2). Оно дает абсолютную оценку разброса значений.

Среднее квадратическое отклонение величины:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (3.2)$$

Коэффициент вариации, рассчитываемый по формуле (3.3), является относительным показателем разброса значений. Он позволяет сравнивать различные наборы данных независимо от их масштаба.

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} 100. \quad (3.3)$$

Показатель точности опыта или относительная ошибка выборочной средней может быть рассчитан при помощи критерия Стьюдента и методики указанной в формуле (3.4).

$$S_{om} = \frac{(\bar{X} + t_{0,05} \cdot \sigma) - \bar{X}}{\bar{X}} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

Отклонение между теоретическими и экспериментальными зависимостями можно оценить по относительной ошибке, как указано в формуле (3.5). Здесь $X_{рас}$ - расчетное значение величины, $\bar{X}$ - среднее арифметическое значение экспериментальной величины, а n - количество точек.

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_{рас} - \bar{X}}{X_{рас}} \right) \cdot 100 \%, \quad (3.5)$$

Для обработки полученных результатов были использованы программы MathCad и Excel.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты полевых испытаний экспериментальной модели бороздонарезчика

Результаты экспериментальных исследований - это данные и выводы, полученные в результате проведения экспериментов или исследований. Эти результаты могут включать в себя числовые значения, графики, таблицы, анализ данных, статистическую обработку информации и интерпретацию полученных результатов. Они являются основой для делания выводов, формулирования заключений и дальнейших шагов в исследовательском процесс.

На опытных полях ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» были проведены полевые испытания для подтверждения теоретических исследований и актуальности применения универсальной конструкции бороздонарезчика с изменяемым углом установки фрезерного рабочего органа (рисунок 38).

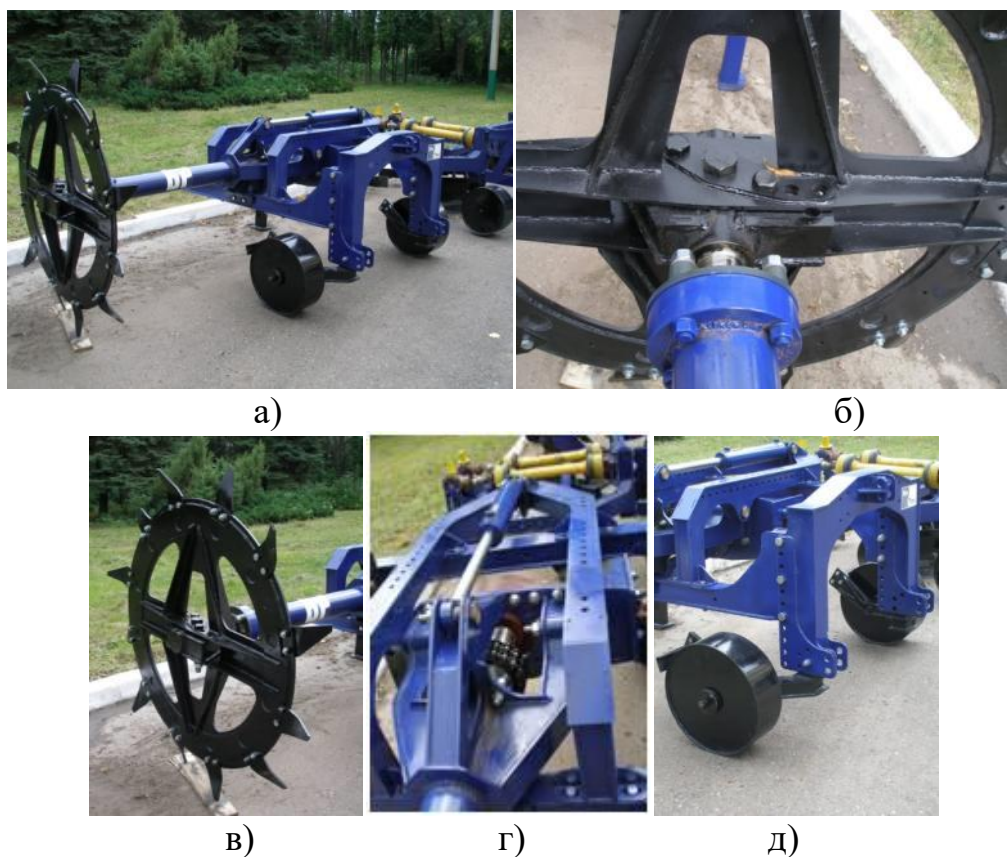


Рисунок 38 – Универсальная конструкция бороздонарезчика с возможностью изменения угла установки фрезерного рабочего органа относительно оси вращения.

(а – общий вид; б – механизм регулирования ширины борозды; в – рабочий орган (фреза); г – привод рабочего органа; д – механизм регулирования глубины борозды.)

4.2 Результаты исследования профиля борозд

Исследования показали, что универсальный бороздонарезчик при различных углах установки рабочего органа может выполнять нарезку посадочных борозд с указанными параметрами (таблица 10).

Таблица 10 – Параметры нарезаемых борозд

Величина угла установки рабочего органа к оси вращения	Габаритные характеристики борозды					
	H	a	b	d	h	e
90^0	32	19	11	55	5	2
85^0	28	30	17	63	12	4,1
80^0	27	57	38	52,5	12,7	3,3

Среднеарифметические данные были использованы для построения моделей поперечных профилей, которые были получены при различных углах установки рабочего органа (рисунок 39).

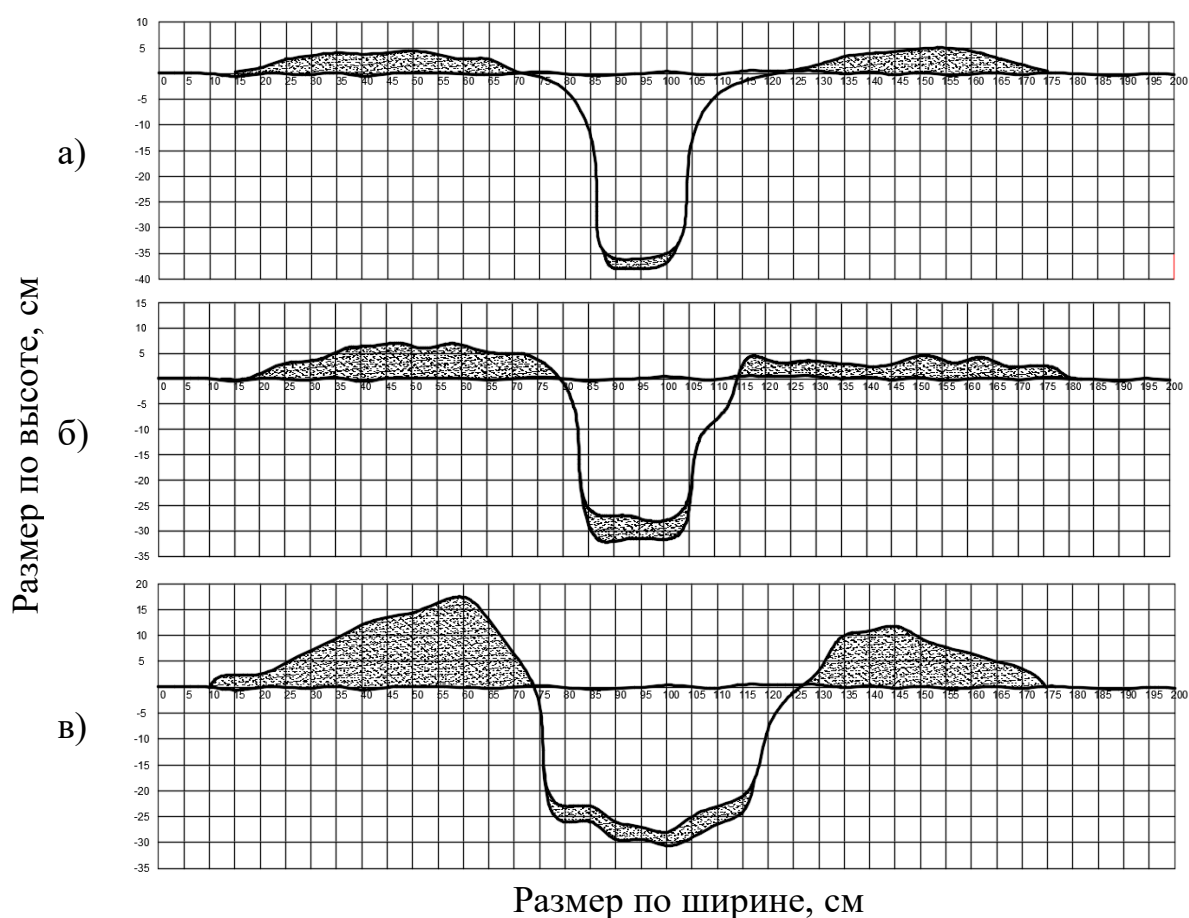


Рисунок 39 – Поперечные профили нарезаемых борозд при различных углах установки рабочего органа (а – узкая борозда ($\alpha=90^0$), б – средняя борозда ($\alpha=85^0$), в – широкая борозда ($\alpha=80^0$))

Сопоставление результатов виртуального моделирования и полевых испытаний работы бороздонарезчика, а именно вынос разрыхленной почвы и образование гребня, показало 95% идентичности.

В результате исследования профилей борозд, были определены следующие показатели (таблица 10): средний объем почвы, выносимый на левую ($V_{\text{лев}}$) и правую ($V_{\text{прав}}$) сторону траншей, средний объем почвы оставшейся и осыпавшейся в траншее ($V_{\text{осыпь}}$), среднее расстояние выноса почвы на поверхность ($L_{\text{вынос}}$) среднее расстояние максимального выноса почвы из траншей ($L_{\text{мах.вынос}}$)

Таблица 11 – Данные замеров поперечных профилей борозд

№ п/п	Вид борозды	Данные замеров				
		$V_{\text{лев}}, \text{ м}^3$	$V_{\text{прав}}, \text{ м}^3$	$V_{\text{осыпь}}, \text{ м}^3$	$L_{\text{вынос}}, \text{ см}$	$L_{\text{мах.вынос}}, \text{ см}$
1	Узкая ($\alpha=90^\circ$)	0,018	0,018	0,0038	80	57
2	Средняя ($\alpha=85^\circ$)	0,02	0,02	0,01	83	53
3	Широкая ($\alpha=80^\circ$)	0,055	0,033	0,013	83	43

При увеличении угла поворота фрезерного диска и, следовательно, ширины борозды, объемы выносимой почвы из траншеи также увеличиваются. При создании узкой и средней траншей одинаковое количество грунта выносится на левую и правую стороны, что свидетельствует о равномерности перемещения грунта. Исключением является широкая траншея, при которой вынос почвы на левую сторону превышает вынос на правую сторону на 40%. Это происходит из-за большего отклонения оси вращения диска от направления движения агрегата. Также следует отметить, что рабочий орган расположен справа от трактора, что также влияет на изменение траектории полета частиц из-за отражений о поверхность трактора.

Среднее расстояние выноса почвы навстречу практически не меняется при любом положении фрезерного диска. Однако различия наблюдаются при рассмотрении среднего расстояния максимального выноса почвы из траншей. С увеличением ширины траншеи это расстояние незначительно, но все же уменьшается. Этому способствует также угол наклона фрезерного диска, который влияет на изменение траектории полета частичек грунта. Согласно данным эксперимента наименьшее значение расстояния максимального выноса почвы наблюдается при угле $\alpha=80^\circ$ (широкая борозда), а так как большая часть грунта сосредоточена возле траншеи, что значительно упрощает засыпку корневой системы после посадки.

Объем осыпи на дне траншеи увеличивается при изменении угла поворота рабочего органа. Если рассматривать плоскость поверхности

земли, то с поворотом рабочего органа увеличивается расстояние между ножами, что приводит к уменьшению выноса и увеличению осыпаемости грунта. Это подтверждают данные испытаний. Наименьший объем сыпи наблюдается при профилировании узкой траншеи, который возрастает в средней и еще более значительно в широкой борозде.

Так при изменении угла поворота фрезы от 0^0 до 10^0 ширина траншеи увеличивается до 490 мм, что находится в пределах агротехнических требований. Однако, при этом эффективный диаметр фрезы уменьшается с 1500 мм до 1462 мм, а глубина траншеи уменьшается на 19 мм.

Таким образом, при регулировании ширины борозды одновременно требуется принимать во внимание положение фрезы по глубине. Увеличение ширины борозды от 0^0 до 10^0 вызывает необходимые корректировки опускания фрезы для получения заданной глубины траншеи до 19 мм.

4.3 Результаты исследования гранулометрического состава почвы

Результаты анализа композиции почвы, которая была обработанна универсальным бороздонарезчиком, взятой из дна борозды и не тронутых слоев почвы между рядами, представлены на рисунках (41 – 45).

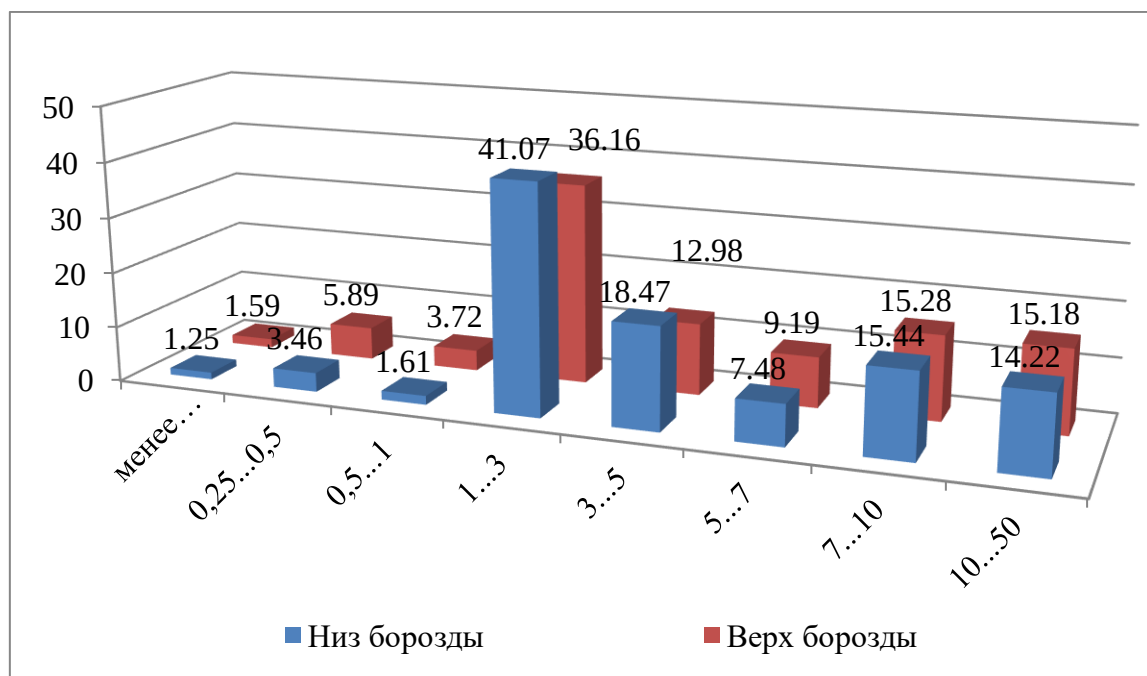


Рисунок 41 – Гранулометрический состав почвы по фракциям (мм) после обработки рабочим органом с установкой 90^0

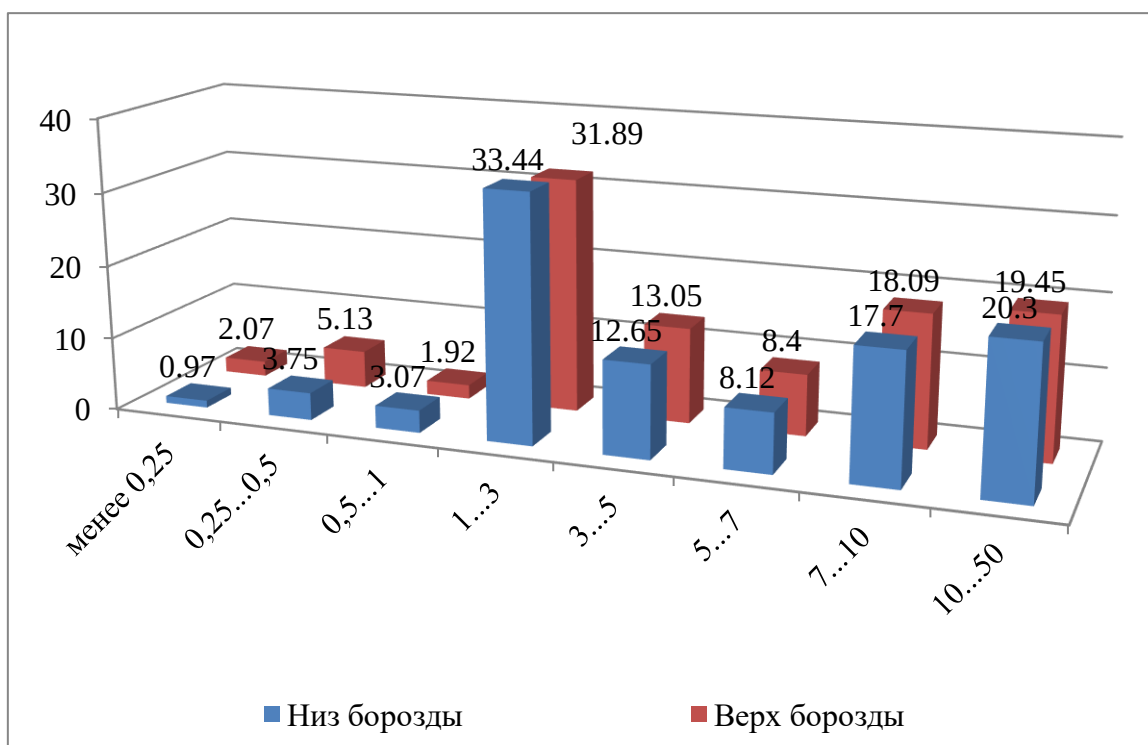


Рисунок 42 – Гранулометрический состав почвы по фракциям (мм) после обработки рабочим органом с установкой 85°

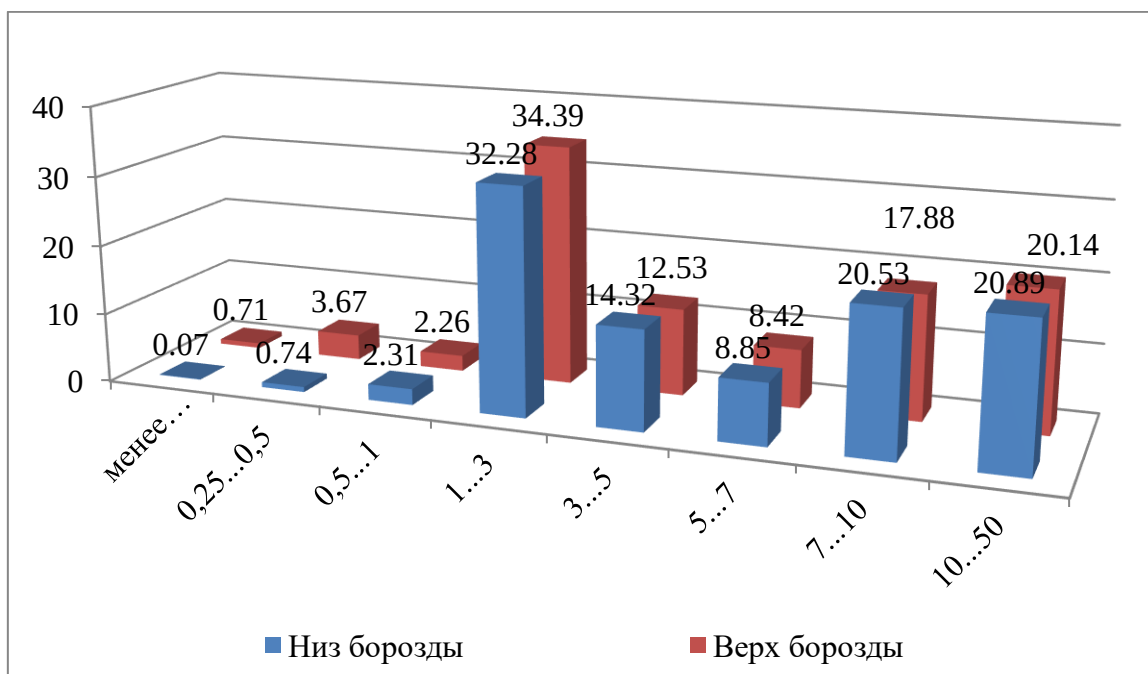


Рисунок 43 – Гранулометрический состав почвы после обработки рабочим органом с установкой 80°: а – верх канавы, б - дно канавы.

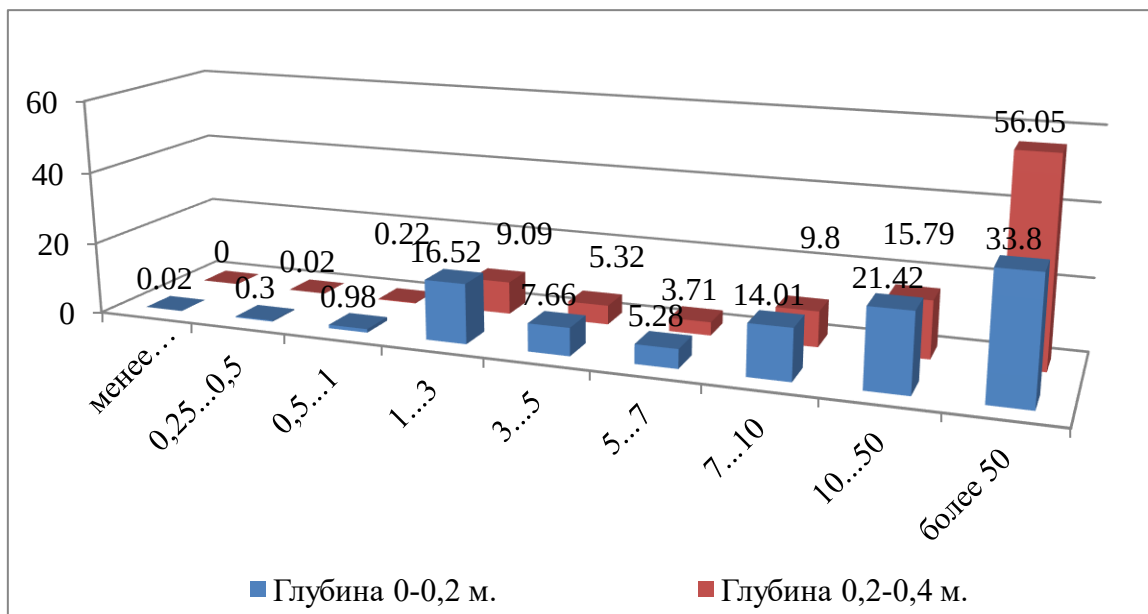


Рисунок 44 – Гранулометрический состав почвы по фракциям (мм) до обработки рабочим органом

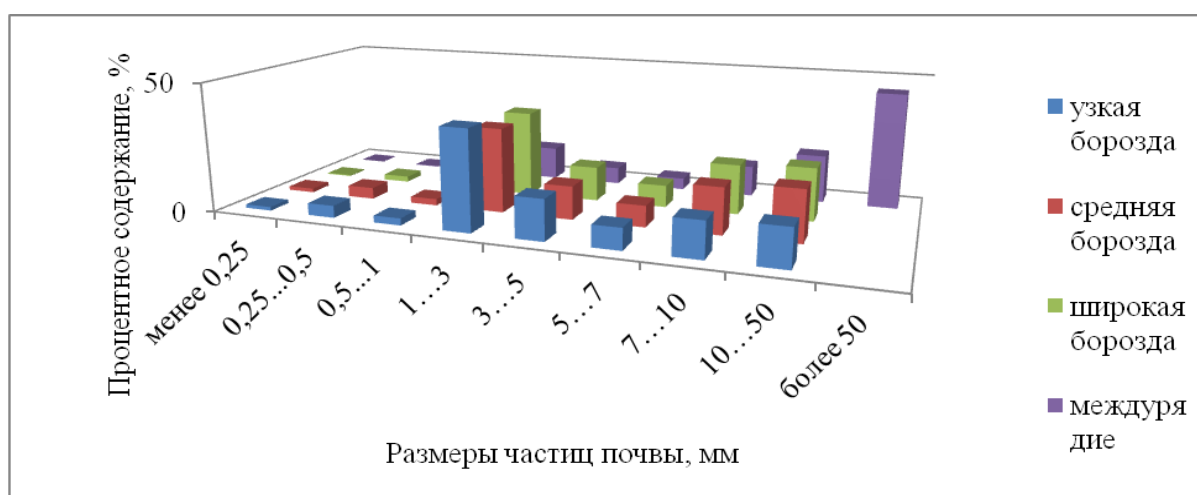


Рисунок 45 – Обобщенный анализ гранулометрического состава почвы

Установлено, что основной размер частиц взрыхленной почвы во всех трех случаях ширины борозд соответствует фракции 1-3 мм.

Для более полного исследования величины частиц почвы был определен эквивалентный диаметр частиц, который рассчитывается как среднеарифметическое значение их диаметров в объеме материала:

$$d_g = \sum_{i=1}^k d_i \frac{c_i}{100} \quad (4.1)$$

где: d_i – среднее значение диаметра частиц; i – го класса;
 c_i – процентное содержание i -го класса в пробе по весу;
 k – число классов.

Эта формула позволяет рассчитать средневзвешенный диаметр частиц почвы, учитывая распределение частиц по фракциям (рисунок 46). Она дает возможность получить обобщенную характеристику размера частиц, которая учитывает весовые доли различных фракций в исследуемом образце (таблица 11).

Таким образом, зная распределение частиц по классам размера и их процентное содержание, можно вычислить эквивалентный диаметр, который будет представлять усредненный размер частиц в почвенном образце.

Таблица 11 – Расчет эквивалентного диаметра частицы почвы

№	Место отбора пробы	Количество фракций (мм), %									d _э , мм
		до 0,25	0,25...0,5	0,5...1	1...3	3...5	5...7	7...10	10...50	свыше 50	
1	Узкая борозда (дно)	1,59	5,89	3,72	36,16	12,98	9,19	15,28	15,18	0	7,7
2	Узкая борозда (верх)	1,25	3,46	1,61	41,07	18,47	7,48	12,44	14,22	0	7,4
3	Средняя борозда (дно)	2,07	5,13	1,92	31,89	13,05	8,4	18,09	19,45	0	9,1
4	Средняя борозда (верх)	0,97	3,75	3,07	33,44	12,65	8,12	17,7	20,3	0	9,3
5	Широкая борозда (дно)	0,71	3,67	2,26	34,39	12,53	8,42	17,88	20,14	0	9,3
6	Широкая борозда (верх)	0,07	0,74	2,31	32,28	14,32	8,85	20,53	20,89	0	9,8
7	Междурядье (0...20 см)	0,02	0,3	0,98	16,52	7,66	5,28	14,01	21,42	33,8	25,5
8	Междурядье (20...40 см)	0	0,02	0,22	9,09	5,32	3,71	9,8	15,79	56,05	34,2

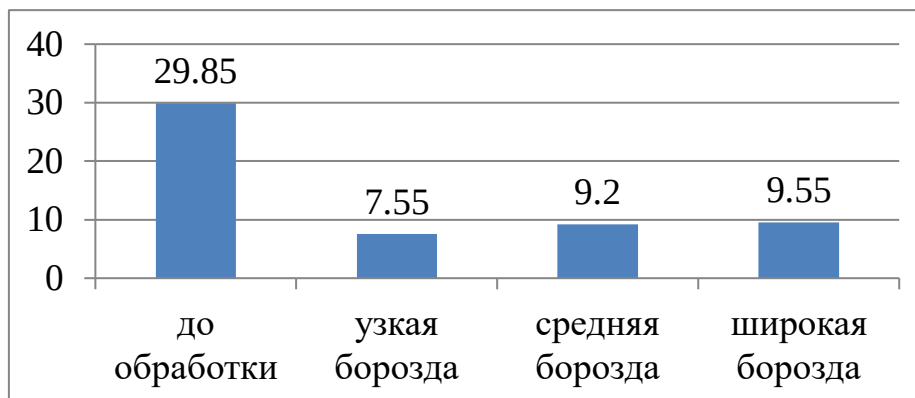


Рисунок 46 – Размер средневзвешенной частицы проб почвы, взятых до обработки и в бороздах (мм)

На основании проведённых полевых испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Использование в данной модели универсального бороздонарезчика с регулируемым углом установки фрезерного рабочего органа относительно оси вращения позволяет создавать посадочные борозды с различными размерными параметрами. Таким образом, этот бороздонарезчик подходит для использования при создании маточников, питомников, садов и ягодников.

2. Объём и форма вынесенной за пределы траншеи почвы, а также дальность разлета частиц находятся в пределах 800-820 мм, что не вызовет затруднений при засыпке корневой системы посаженных саженцев и подвоев.

3. Незначительная осыпь на дне траншеи несущественно влияет на её глубину, но создаёт благоприятные условия для успешного укоренения растений, поскольку корни укладываются на предварительно рыхлённую почву.

4. В процессе нарезания борозд основная масса обработанной почвы соответствует фракции 1–3 мм, что обеспечивает более плотное прилегание земли к корневой системе при посадке, повышая процент приживаемости саженцев.

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

5.1 Расчет стоимости производства бороздонарезчика

Расчет стоимости новой машины осуществляется методом поэлементного суммирования затрат на её изготовление [82]. Затраты, формирующие стоимость производства опытного образца, классифицируются по экономическому содержанию и включают следующие статьи:

- Затраты на приобретение комплектующих и материалов;
- Затраты на оплату труда;
- Начисления на заработную плату;
- Прочие расходы;
- Накладные расходы.
-

Расчет стоимости основных материалов и комплектующих выполнялся на основе анализа рынка, согласно следующим формулам:

$$M = \sum_{i=1}^n C_i \cdot M_i + T_p, \quad (5.1)$$

где C_i – оптовая цена i -го материала;

M_i – количество i -го материала;

T_p – транспортные расходы (5%).

$$P = \sum_{i=1}^m C_{onmi} \cdot t_i + T_p, \quad (5.2)$$

где $C_{opt i}$ – оптовая цена i -го изделия;

t_i – количество i -тых изделий;

m – количество покупных изделий;

T_p – транспортные расходы (5%).

Результаты расчетов приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Стоимость покупных изделий и материалов на изготовление БРК-1

№	Наименование	Кол.	Цена, тенге	Стоимость, тенге
Покупные изделия и материалы				
1	Редуктор PRZEK GLEB WIRAX (П)	1 шт.	234000	234000
2	Карданный вал .040.071.105.115.115	1 шт.	54496	54496
3	Гидроцилиндр ЦГ-0.40x400.700.040	1 шт.	53003	53003
4	Цепь 2ПП-31.75.177	1,6 м	3000	4800
5	Подшипник UCFC 209	4 шт.	6028	24112
6	Подшипник UCFC 213	1 шт.	20742	20742
7	Подшипник UCF 212	1 шт.	6852	6852
8	Краска воздушной сушки VIKА	2 л	5801	17403
9	Метизы	32 кг	950	30400
Лазерная резка				
10	410500	410500	410500	410500
Всего:				856308
Транспортные расходы (+ 5%):				42815,4
Итого:				899123,4

Определение основной заработной платы для изготовления БРК-1 проводилось по методике [82]. Основная заработная плата рабочих рассчитывалась исходя из тарифной ставки на выполнение технологических операций по следующей формуле:

$$Z_{осн} = \sum_{i=1}^m C_i \cdot t_i, \quad (5.3)$$

где C_i – тарифная ставка за операцию; t_i – трудоемкость операции;
 m – количество исполнителей.

Результаты расчета необходимого количества человеко-часов и расчета основной заработной платы представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Трудоемкость и основная заработная плата на изготовления опытного образца

Затраты труда по видам работ, чел*час					
Заготовительные	Слесарные	Фрезерные	Токарные	Сварочные	Покраска
10,2	23,5	6,6	22,1	30	4,2
Тарифная ставка по видам работ, тенге/час					
5000	3000	8000	8000	3500	3000
Заработная плата по видам работ, тенге					
51000	70500	52800	176800	105000	12600
Общая заработная плата 468700 тенге					

Расчет стоимости изготовления БРК-1 осуществлялся по методике

[82]. Начисления на заработную плату составляют 30,2% от основной заработной платы работников:

$$\text{ЗДОП} = \text{ЗОСН} \times 0,302, \quad (5.4)$$

где КЗ = 0,302 – коэффициент начисления на заработную плату.

Стоимость изготовления включает:

$$\text{СИЗГ} = \text{М} + \text{Р} + \text{ЗОСН} + \text{ЗДОП}, \quad (5.5)$$

Затраты на подготовку производства (для малых предприятий – не более 10% от стоимости изготовления):

$$\text{Ср} = \text{СИЗГ} \times 0,1 \quad (5.6)$$

Прочие (неучтенные) расходы составляют 5% от затрат на подготовку производства:

$$\text{ПРАС} = \text{Ср} \times 0,05, \quad (5.7)$$

Накладные расходы производства (для малых предприятий – 60% от общей стоимости прямых затрат):

$$\text{НР} = (\text{Ср} + \text{ПРАС}) \times 0,6, \quad (5.8)$$

На основании полученных данных определяется:

1. Себестоимость изготовления БРК-1, которая выражается суммой прямых затрат и накладных расходов:

$$\text{СОП} = \text{Ср} + \text{НР}, \quad (5.9)$$

2. Коммерческая стоимость включает затраты на хранение, обслуживание и транспортные расходы опытного образца. Коммерческая себестоимость определяется с 5% надбавкой к себестоимости:

$$\text{СКОМ} = 1,05 \times \text{СОП}, \quad (5.10)$$

Проектная цена изделия включает в себя стоимость изделия и НДС, который составляет 12% от коммерческой стоимости:

$$\text{НДС} = 0,12 \times \text{СКОМ}, \quad (5.11)$$

Соответственно, проектная цена изделия определяется как:

$$\text{ЦПР} = \text{СКОМ} + \text{НДС}, \quad (5.12)$$

Прибыль от реализации новых изделий принимается равной 20%, поэтому окончательная стоимость готовой продукции составит:

$$\text{СП} = \text{ЦПР} \times \text{ПР}, \quad (5.13)$$

где ПР = 1,2 – коэффициент, учитывающий прибыль от реализации.

Результаты расчета представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет стоимости изготовления БРК-1

№	Статья расходов	Обозначение	Затраты, тенге
1	Материалы и покупные изделия	М+Р	899123,4
2	Заработная плата	З _{осн}	468700,0
3	Начисления на з/п 1	З _{доп}	141547,4
4	Итого затраты на изготовление	С _{изг}	1509370,8
5	Затраты на подготовку производства	С _р	150937,1
6	Прочие (неучтенные) расходы (5% п. 5)	П _{рас}	7546,9
7	Итого прямых затрат	С _р + П _{рас}	158483,9
8	Накладные расходы (60% п. 7)	Н _р	95090,4
9	Всего затрат	С _{оп}	1762945,1
10	Коммерческая себестоимость (+5% к п. 9)	С _{ком}	1851092,3
11	НДС (12% к п. 10)	НДС	222131,1
12	Проектная цена изделия	Ц _{пр}	2073223,4
Стоимость готовой продукции (+20% к п. 12)		С _п	2487868,1 (2500000,0)

5.2 Оценка технического уровня и конкурентоспособности

При оценке технического уровня и конкурентоспособности промышленной продукции используются следующие нормативные документы:

1. ГОСТ 22732-77. Методы оценки уровня качества промышленной продукции. Основные положения;
2. ГОСТ 22851-77. Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции. Основные положения;

3. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения;

4. ГОСТ 2.116-84. Карта технического уровня и качества продукции;

5. ГОСТ Р 53057-2008. Машины сельскохозяйственные. Методы оценки конкурентоспособности;

6. РД 50-149-79. Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции, М.: Издательство стандартов, 1979, 120 с.;

7. РД 50-451-84. Методические указания. Установление базовых образцов для оценки технического уровня и качества промышленной продукции, М.: Издательство стандартов, 1984, 23 с.;

8. Общие методические рекомендации по оценке технического уровня промышленной продукции. ГКНТ СССР от 24.10.89 № 665.

Согласно этим нормативным документам существуют следующие определения показателей технического уровня и конкурентоспособности объекта:

- технический уровень продукции – это относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, с базовыми значениями соответствующих показателей;
- оценка технического уровня продукции – это совокупность операций, включающих выбор номенклатуры показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и их сравнение с базовыми значениями;
- базовое значение показателя технического уровня продукции – это значение показателя, принимаемое за основу при сравнительной оценке;
- конкурентоспособность – это уровень технических, эксплуатационных, экономических, социальных и экологических параметров машины, позволяющий ей выдерживать конкуренцию с аналогичными машинами на рынке;
- интегральный показатель конкурентоспособности – это рыночная характеристика машины, включающая оценку основных экономических, социальных и агротехнических показателей в сравнении с требованиями рынка (реальными потребностями покупателей) или характеристиками другой машины.

В соответствии с указанными нормативами, образцы промышленной продукции делятся на несколько категорий по качеству и конкурентоспособности (таблица 15).

Таблица 15 – Градация технической продукции по уровням качества и конкурентоспособности

Градация качества продукции	Качественная характеристика продукции
1. Градация П – превосходный (высший) уровень качества	Превосходит лучшие мировые достижения; соответствует требованиям международных стандартов (высшая категория качества)
2. Градация С – средний уровень качества	Соответствует лучшим мировым достижениям и требованиям международных стандартов (первая категория качества)
3. Градация У – удовлетворительный уровень качества	Удовлетворяет требованиям потребителей и имеет спрос, но уступает лучшим мировым достижениям; соответствует требованиям стандартов и технических условий; морально устарела, подлежит модернизации
4. Продукция низкого качества	Морально устаревшая, но еще пользуется спросом, и поэтому не снятая с производства; изготовлена без отступлений от требований стандартов и технических условий; подлежит снятию с производства
5. Некачественная (бракуемая) продукция	Изготовленная с отступлением от требований стандартов и технических условий

Согласно РД 50-149-79, при оценке технического уровня и конкурентоспособности новой продукции используется сравнение её с базовыми значениями показателей технического уровня, принятыми для серийных образцов.

В соответствии с ГОСТ Р 53057-2008, базовыми образцами для сравнения могут быть:

- Серийная отечественная машина аналогичного типа и класса, пользующаяся наибольшим спросом на рынке;
- Серийная машина из стран СНГ или дальнего зарубежья в случае отсутствия отечественного аналога.

Перечисленные нормативные документы определяют алгоритм оценки и сравнения показателей технического уровня и конкурентоспособности, который включает:

- Выбор базы для сравнения;
- Определение оценочных показателей технического уровня и конкурентоспособности.

ГОСТ Р 53057-2008 рекомендует использовать интегральный показатель, включающий наиболее важные технико-экономические и технологические характеристики, по мнению лиц, проводящих оценку.

При оценке технического уровня и конкурентоспособности

бороздонарезчика БРК-1 нами были использованы следующие показатели:

- Стоимость машины;
- Показатели качества выполнения технологического процесса.

Для сравнения были выбраны следующие базовые образцы (таблица 16):

- Фрезы передней (мод. ANTERIORE) и задней (мод. POSTERIORE) навески компании AGROFER (Италия);
- Фрезы компании VIMAS Revo (Италия);
- Фреза FSS-35 компании Warka (Польша).

Таблица 16 – Базовые машины для оценки технического уровня и конкурентоспособности бороздонарезчика БРК-1

Фрезы компании AGROFER (Италия)	
	
мод. POSTERIORE (задняя навеска)	мод. ANTERIORE (передняя навеска)
	
Фреза AGROFER (мод. POSTERIORE) в работе	

Фрезы компании VIMAS Revo (Италия)



тип А



тип В



Фреза VIMAS Revo (тип А) в работе

Фреза FSS-35 компании Warka (Польша)



Фреза FSS-35 (вид спереди)



Фреза FSS-35 (вид сзади)



Фреза FSS-35 в работе

Продолжение таблицы 16.

Бороздонарезчик БРК-1 ООО «НПП «ПитомникМаш» (Россия, г. Мичуринск)	
	
Бороздонарезчик БРК-1 (общий вид)	Бороздонарезчик БРК-1 (в транспорте)
	
Бороздонарезчик БРК-1 в работе	

Таблица 17 – Базовые технико-экономические и технологические показатели сравниваемых машин

№	Наименование базовых показателей	Фрезы AGROFER (Италия)	Фрезы VIMAS Revo (Италия)	Фреза FSS-35 Warka (Польша)	Бороздонарезчик БРК-1 (Россия)
1	Тип машины	навесная			
2	Агрегатирование		трактор кл. 0,9 – 1,4 кН		трактор кл. 1,4
3	Потребляемая мощность, кВт	не более 35	не более 30		не более 35
4	Рабочая скорость, км/час	до 5			
5	Ширина борозды, м	0,25-0,4	0,25-0,55	0,25-0,55	0,1-0,5
6	Глубина борозды, м	до 0,25	до 0,1-0,4	до 0,35	до 0,5
7	Стоимость , тенге.	7800000	4700000	3000000	2500000

Сравнительный анализ базового интегрального показателя, включающего технологические характеристики (ширина и глубина

борозды) и стоимость машин, показал преимущество бороздонарезчика БРК-1 по стоимости (стоимость машины по ценам 2024 года составляет 2500000 тенге) и более широкому диапазону технологических характеристик (ширина борозды составляет от 0,1 до 0,5 м, а глубина - до 0,5 м), при прочих равных базовых показателях.

Бороздонарезчик БРК-1 по уровню качества и конкурентоспособности соответствует лучшим мировым достижениям и требованиям международных стандартов (градация С по РД 50-451-84).

6. ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К БОРОЗДОНАРЕЗЧИКАМ

Основные технико-технологические требования к бороздонарезчикам, сформулированные на основании ГОСТ Р 54783-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения» и других стандартов, охватывают несколько ключевых аспектов:

1. Технологический процесс – нарезка борозд под посадку саженцев плодовых деревьев, ягодных кустарников и черенков клоновых подвоев.
2. Условия применения – все зоны возделывания промышленных садов и питомников, как на равнинах, так и на склонах с уклоном до 20° на почвах всех типов. Предшествующая операция включает осеннюю основную обработку почвы (зяблевая вспашка, глубокое рыхление) с последующей обработкой дисковыми боронами.
3. Качество выполнения технологического процесса:
 - количество и форма борозд – нарезка 1, 2 или 4 прямоугольных борозд. допускается незначительное расширение борозды вверх из-за осыпания стенок;
 - расстояние между бороздами - определяется требованиями посадки, минимальная ширина междурядий – 0,7 м;
 - размеры борозды – ширина до 0,5 м для саженцев плодовых деревьев, до 0,3 м для ягодных кустарников, 0,1-0,15 м для черенков клоновых подвоев; глубина до 0,5 м для саженцев плодовых деревьев, 0,25-0,3 м для саженцев слаборослых деревьев, 0,2-0,3 м для ягодных кустарников и черенков клоновых подвоев;
 - отклонения – не более 15% от заданной глубины;
 - осыпание почвы – допускается до 15% от заданной глубины;
 - состояние стенок борозды – не допускается их разрушение после прохода машины;
 - почва вокруг борозды – должна быть рядом для последующего перемещения обратно в борозду;
 - крошение почвы – количество комков от 1 до 10 мм должно составлять не менее 55%, комки более 50 мм не допускаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам теоретических, виртуальных и производственных испытаний сформулированы следующие выводы:

1. Разбивка мест и посадка подвоев в питомниках и саженцев в садах являются ключевыми этапами при организации этих объектов. Использование предварительно нарезанных борозд для посадки плодовых и ягодных растений представляет собой наиболее эффективный метод. Однако отсутствие специализированных машин для нарезки борозд и высокая стоимость и некоторые недостатки зарубежных аналогов вызывают необходимость разработки отечественного бороздонарезчика с возможностью создания борозд различных размеров.

2. Исследование существующих машин показало, что наиболее эффективным рабочим органом для нарезки борозд является дисковая фреза с ножами и горизонтальной осью вращения. Регулируемый угол установки диска позволяет изменять параметры борозды в соответствии с агротехническими требованиями.

3. На основе теоретических исследований процесса взаимодействия фрезы с почвой установлено, что частицы почвы совершают сложное движение в трех плоскостях. Обратное фрезерование почвы («снизу-вверх») признано наиболее эффективным, так как оно обеспечивает качественное крошение почвы и вынос разрыхленной почвы из борозды. Для контроля разброса почвы можно использовать специальные щитки.

4. В соответствии с требованиями к посадке растений, оптимальный диаметр диска с ножами – 1500 мм, угол установки диска – 80-90°, скорость вращения фрезы – 120 об/мин. Это позволяет получить борозду шириной от 110 до 490 мм и глубиной до 500 мм.

5. Проведенный сравнительный анализ показал, что предложенный бороздонарезчик имеет более широкий диапазон технологических характеристик (ширина борозды 0,1-0,5 м, глубина до 0,5 м) и при этом более доступен по цене (325 000 руб.), соответствуя мировым стандартам качества.

6. Были разработаны и предложены технико-технологические требования для бороздонарезчиков, предназначенных для промышленного садоводства, что обеспечивает их соответствие международным стандартам и высокую конкурентоспособность на рынке.

Эти выводы показывают, что предложенная конструкция бороздонарезчика обладает значительными преимуществами и отвечает современным требованиям промышленного садоводства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Текущий документ не содержит источников.

1. Куликов И.М., Медведев С.М., Принёва Л.А. Реализация научных разработок в садоводстве - важная составляющая развития сельского хозяйства России. Садоводство и виноградарство. 2016;(5):7-14. <https://doi.org/10.18454/VSTISP.2016.5.3441>
2. Панов, И.М. Актуальные проблемы развития современного земледелия и земледельческих орудий / И.М. Панов // Тракторы и сельхозмашины, № 1, 1993.
3. Панов, И.М. Теория, конструкция и расчет ротационных почвообрабатывающих машин / И.М. Панов, Ж.Е. Токушев. – Кокшетау: Изд. Кокшетауского университета, 2005. – 314 с.
4. Атласкиров, А.М. Оптимизация параметров и режимов работы ротационной садовой косилки / А.М. Атласкиров, Ю.А. Шекихачев, Л.А. Шомахов, Р.А. Балкаров, Х.М. Сенов, С.А. Твердохлебов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2012. – № 79. – с. 305–314.
5. Эркенов, А.Н. Обоснование конструктивно-технологической схемы комбинированного пахотного агрегата с активным рабочим органом / А.Н. Эркенов, М.Х. Аушев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов, Д.А. Гергокаев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2012. – № 76. – с. 443–453.
6. Завражнов, А.И. Технологии и техника промышленного садоводства / А.И. Завражнов, А.А. Завражнов, В.Ю. Ланцев, К.А. Манаенков, В.Ф. Федоренко. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 520 с.
7. Манаенков, К. А., Ресурсосберегающие технологии и комплекс машин для ухода за почвой в интенсивных садах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Манаенков Константин Алексеевич. - Мичуринск - Научоград РФ. – 2010. – 315 с.
8. Завражнов А.И., Завражнов А.А., Ланцев В.Ю. Система технологий и машин для интенсивного садоводства России // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина (Москва, ВИМ, 17-18 сентября 2013 г.). Ч. 1. - М.: ВИМ, 2013., с. 137-140.
9. Завражнов, А.А. Перспективное техническое средство, применяемое для обустройства посадочных мест под посадку плодово-ягодных культур // А.А. Завражнов, А.И. Завражнов, В.Ю. Ланцев, А.С. Ибраев, Л.М. Нургалиев. - Материалы научно-практической конференции «Развитие производственного и научного потенциала отрасли

- садоводства и питомниководства в Российской Федерации». 12-14.09.2019. – Мичуринск – с. 258-262.
10. Шекихачев, Ю.А. Механико-технологическое обоснование технических средств для ухода за почвой террасированных склонов в условиях горного садоводства (на примере центральной части Северного Кавказа): дис. ...д-ра техн. наук: 05.20.01 / Шекихачев Юрий Ахметханович. – Нальчик., 2001. – 424 с.
 11. Винокуров, В.Н. Машины и механизмы лесного хозяйства и садово-паркового строительства: учебник для вузов / В. Н. Винокуров, Г. В. Силаев, А.А.Золотаревский; Под ред. В. Н. Винокурова. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 400 с.
 12. Система критериев качества, надежности, экономической эффективности сельскохозяйственной техники: инструктивно-метод. издание. – М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2010. - 188 с.
 13. Завражнов А.И., Завражнов А.А, Ланцев В.Ю. Формирование системы технологий и машин для промышленного садоводства.// Плоды и овощи - основа структуры здорового питания человека: Мат. междунар. науч.-практ.конф. 7-8 сентября 2012 года в г. Мичуринске Тамбовской области. - Мичуринск-научоград РФ, 2012., с. 350-356
 14. Сиразеева А.Ф., Мухитдинова А.Р. Роль социального фактора в повышении производительности труда. Казанский экономический вестник. 2023;(3):30-35.
 15. Шахмирзоев Р.А., Догеев Г.Д., Шахмирзоев А.Р. Развитие интенсивного садоводства в Республике Дагестан. Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2017;(144 (2)):51-55.
 16. Машины для посева и посадки [Электрон. ресурс]. – 2010. – Режим доступа: URL: <http://present5.com/> (дата обращения 09.02.2018).
 17. Посадка и посев лесных культур [Электрон. ресурс]. – 2010. – Режим доступа: URL: referatwork.ru (дата обращения 09.02.2018).
 18. Обработка почвы [Электрон. ресурс] // Технологии и технические средства в сельском хозяйстве. – 2010. – Режим доступа: URL: <http://kalxoz.ru/str/1poshva1.htm> (дата обращения 09.02.2018).
 19. Макенова Г.У., Саурукова А.К. Инновационная экономика и человеческий капитал Республики Казахстан. ЕВРАЗИЙСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ: экономика, право, политика. 2015;(1):43-47.
 20. Ибраев, А.С. Техническое средство для устройства борозд под посадку плодово-ягодных культур / / Российский рецензируемый научный журнал «Агропродовольственная политика России», №5 – Тюмень, 2020. – с.47-51.
 21. Дашков В.Н., Капустин Н.Ф., Снежко Э.К., Дегтерев Д.В., Кузьмичев Д.С. СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛИВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР. Мелиорация. 2008;(1):52-57.

22. Хлесткина Е.К., Лоскутов И.Г., Баталова Г.А., Вишнякова М.А., Чухина И.Г., Ухатова Ю.В., Заварзин А.А. Об итогах V Вавиловской международной конференции (21–25 ноября 2022 г., Санкт-Петербург). Биотехнология и селекция растений. 2022;5(4): 79-89. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2022-4-о6>
23. A. A. Zavrazhnov, A. I. Zavrazhnov, A. A. Zemlyanov, V. Yu. Lantsev, D. V. Akishin, A. S. Ibraev, A. V. Yakushev / Sowing Geometry of Intertilled Crops // ISSN 1068-3674, Russian Agricultural Sciences, 2022, Vol. 48, No. 1, pp.47–56. © Allerton Press, Inc., 2022. Russian Text © The Author(s), 2022, published in Rossiiskaya Sel'skokhozyaistvennaya Nauka, 2022, No. 1, pp. 59–66.
24. Гаджиев С.Г., Самусь В.А. Типы саженцев яблони и груши для интенсивных садов в условиях Республики Беларусь. Плодоводство. 2022;34(1):188-196. <https://doi.org/10.47612/0134-9759-2022-34-188-196>
25. Рябцева Т.В. 10-летние исследования роста и продуктивности яблони на подвоях различной силы роста в зависимости от типа кронирования посадочного материала. Плодоводство. 2013;25(1):69-79.
26. Егоров Е.А., Бунцевич Л.Л. Технологические основы и организация производства саженцев и другого посадочного материала садовых культур. Садоводство и виноградарство. 2018;(2): 39-42. <https://doi.org/10.25556/VSTISP.2018.2.12305>
27. Агросервер. Бороздодел [Электрон. ресурс]. – 2005. – Режим доступа: URL: <https://agroserver.ru> (дата обращения 10.02.2018).
28. Завражнов, А.А. Машины для нарезания технологических борозд в садоводстве / / А.А. Завражнов, А.И. Завражнов, А.С. Ибраев, А.С. Гончаров, В.Ю. Ланцев. - Российский рецензируемый научный журнал «Агропродовольственная политика России», №3 – Тюмень, 2018. – с.40-44.
29. Xuerui Li, Junhui Lin, Qing Li, Wen Cao / Research on assist design strategy of electric garden tools driven by data and intelligence // Advanced Design Research Volume 2, Issue 1, June 2024, Pages 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.ijadr.2024.09.003>
30. Ибраев, А.С. Актуальность применения бороздонарезчика для посадки садовых культур // Ж. К. Кубашева, Л. М. Нургалиев, Б. Т. Алибаев, Г. М. Абишева. - Научный рецензируемый электронный журнал «Наука и образование», №4 – Мичуринск, 2019.
31. Stephen Dougherty / The Machine in the Garden in the 21st Century // January 2017, American Studies in Scandinavia 49(1):83-99, DOI:10.22439/asca.v49i1.5464
32. Chenglin Wang, Lufeng Luo / Application of Smart Technology and Equipment in Horticulture // Submission received: 19 June 2024 / Accepted: 20 June 2024 / Published: 26 June 2024, <https://doi.org/10.3390/>

horticulturae10070676

33. Агрегатный состав почвы (структура почвы). Зависимость структуры от химического состава почвы. Сложение почв. Мероприятия по улучшению химического состава почвы. Почвоведение [Электрон. ресурс]. – 01.08.2017. – Режим доступа: URL <https://vseobiology.ru/pochvovedenie-s-osnovami-rastenivodstva/617-12-agregatnyj-sostav-pochvy-struktura-pochvy-zavisimost-struktury-ot-khimicheskogo-sostava-poch> (дата обращения 23.09.2018).
34. Агротехническая оценка качества обработки почвы [Электрон. ресурс]. – 2017. – Режим доступа: URL: <https://poznayka.org> (дата обращения 23.09.2018).
35. Сцепка для борозд МНБ-1. Институт садоводства Украинской академии аграрных наук, ГП [Электрон. ресурс]. – 1994. – Режим доступа: URL: <http://www.opt-union.ru> (дата обращения 10.02.2018).
36. Машины для обработки почвы. Научная библиотека им. А.М. Игнатова [Электрон. ресурс]. – 2005. – Режим доступа: URL: http://www.f-mx.ru/selskoe_lesnoe_xozyajstvo_i/mashiny_dlya_obrabotki_pochvy.html (дата обращения 10.02.2018).
37. Плодовый сад. [Электрон. ресурс] / Просветительский авторский сайт Ирины Сергеевны Исаевой. – 2018. – Режим доступа: URL: <http://www.plodosad.ru> (дата обращения 18.09.2018).
38. Устройство для нарезки борозд: пат. 1303050 ГК СССР : 319.2 (088.8) / Ш.М. Григорян, Л.Г. Прпрян, К.Г. Арутюнян, И.Н. Егоров, С.П. Авакян и Р.О. Акопян; заявитель и патентообладатель Армянский сельскохозяйственный институт. – № 37764228/30-15; заявл. 31.07.1984.; опубл. 15.04.1987, Бюл. № 14. – 2 с.
39. Устройство для нарезки поливных борозд: пат. 1546015 ГК СССР : 631.347.1 (088.8) / Н.Т. Лактаев, П.Я. Саруханов, В.Ф. Перман, М.Г. Хорст, В.В. Хегай и О.Ю. Наганова; заявитель и патентообладатель Научно-производственное объединение Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации им. В.Д. Журина. – № 4370091/30-15; заявл. 18.02.1988.; опубл. 28.02.1990, Бюл. № 8. – 3 с.
40. Дисковый рабочий орган для обработки почвы : пат. 2093973 Рос. Федерация : МПК A01B23/00/ В.Е. Ложкин, М.М. Черных ; заявитель и патентообладатель В.Е. Ложкин, М.М. Черных. – № 2004121631/14 ; заявл. 5.10.1995 ; опубл. 27.10.1997, Бюл. № 4. – 4 с.
41. Почвообрабатывающее орудие-щелерез : пат. 2514446 Рос. Федерация : МПК A01B13/02 / Р.Д. Джавадов; заявитель и патентообладатель осударственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИМ Россельхозакадемии) – № 2514446 ; заявл. 6.12.2012 ; опубл.

- 27.04.2014, Бюл. № 4. – 9 с.
42. Комаров, А. П. Варианты конструктивно-технологических схем щелевателя / А. П. Комаров. - Текст : непосредственный // Молодой ученый. - 2019. - № 47 (285). - С. 151-153. - URL: <https://moluch.ru/archive/285/64238/> (дата обращения: 20.08.2024).
 43. Глубокорыхлитель [Электрон. ресурс]. – 2009. – Режим доступа: URL: <http://t-i-t.com.ua/glubokoryhlitel.html> (дата обращения 09.02.2018).
 44. Hettiaratchi, D.R.P., Reece, A.R. The Present State of the Theory of Soil Cutting // Journal of Terramechanics. 1965. - №2. - s.65-79.
 45. Lovelidge' Brian Farmers' Experiences of High Speed Ploughing of Various Soils. // Farm Machaniz and Build. 1968. - №20. - №226. - p.46-47.
 46. McKyes, E. Soil cutting and tillage / E McKyes. – Elsevier Science Publishers B.V., 1985. 2. Plasse, R. Simulation of narrow blade performance in different soils/ Plasse R., Raghavan G.S.V. and McKeys E. // American Society of Agricultural Engineers, - St. Joseph, Michigan. – 1983. - № 3.
 47. Siemens, J.C., Weber, J.A. and Thornborn, T.H. Mechanics of Soil as Influenced by Model Tillage Tools // Transactions of the ASAE. 1965. - №1. -s.4-7.
 48. O'callaghan J.R. Labarge of soil by Tined Implement journal of agricultural Engineering. Research, vol. 9, №3, 1964, p. 18-25.
 49. Zavrazhnov A.I. Methods for restoring fertility and improving physical and mechanical properties of soils Zavrazhnov A.I., Vedishchev S.V., Kadomtsev A.I., Pavlov A.G., Prokhorov A.V., Vyguzov M.E. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. «International Conference on Agricultural Science and Engineering» 2021. С. 012045.
 50. Hettiaratchi, D.R., Reece, A.R. Symmetrical Three-Dimensional Soil Failure // Journal of Terramechanics. 1967. - №4. - s.45-67.
 51. Завражнов, А.А. Цифровое моделирование формирования технологических борозд в садоводстве рабочим органом типа «качающаяся шайба» / / А.А. Завражнов, А.И. Завражнов, А.С. Ибраев, А.С.Гончаров, В.Ю. Ланцев. - Материалы I международной научно-практической конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса» - Тамбов ФГБОУ ВО «ТГТУ», 10-12.10.2018. - с.81-83
 52. Горячкин В. П. Земледельческая механика. Ч. 1. (Основы теории земледельческих машин и орудий). — М.: Кн. изд-во студ. Петр. с.-х. акад., 1919. — 200 с.
 53. Фонарёв, П.А. Геотехнические свойства грунтов: учебно-методическое пособие/ П.А. Фонарёв, С.Н. Емельянов, Р.Г. Кочеткова, Т.В. Левочкина, Г.А. Назипова. – М.: МАДИ, 2017. – 56 с.
 54. Камбулов С.И., Семенихина Ю.А., Рыков В.Б., Колесник В.В., Попов А.С. Динамика влажности обрабатываемого слоя почвы при возделывании сои. Зерновое хозяйство России. 2018;(2):50

<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-56-2-50-54>

55. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин [Текст] / Г.Н. Синеоков - М.: Машиностроение, 1977. - 326 с.
56. Новиков Ю.Ф. Некоторые вопросы воздействия корпуса плуга на почву [Текст] / Ю.Ф. Новиков ZZ Сборник работ ВНИИМЭСХ. Выпуск XI - Ростов-на Дону, 1969, с. 88-94.
57. Крамаренко Л.А. Посадка абрикоса в условиях Средней полосы. [Электрон. ресурс]. – 30.01.2018. – Режим доступа: URL: <http://sad-moip.msu.ru/?p=1685> (дата обращения 10.02.2024).
58. Далин А.Д., Павлов П.В. Ротационные грунтообрабатывающие иземлеройные машины. М.: Машгиз, 1950. С.
59. Камбулов С.И., Пархоменко Г.Г., Бабенко О.С., Божко И.В. Влияние параметров рабочего органа культиватора на качество крошения почвенного пласта. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022;16(1):41-46. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-1-41-46>
60. Матуа В.П., Исаев Е.Н., Чирва Д.В. Методика исследования связных грунтов на накопление остаточных деформаций. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016; (3):186-193.
61. Зеленин А. Н. и др. Машины для земляных работ. Учебное пособие для вузов. М., «Машиностроение», 1975. 424 с
62. Каталог техники. Сельхозтехник [Электрон. ресурс]. – 2016. – Режим доступа: URL: <http://selhoztechnik.com> (дата обращения 10.02.2018).
63. Ибраев, А.С. Теоретическое исследование кинематики рабочего органа универсального бороздонарезчика, работающего по принципу «качающаяся шайба» // А.С. Ибраев, А.В. Сясин. - Научный журнал Вестник Государственного университета имени Шакарима города Семей, №1 – Семей, 2019. – с. 312-316
64. Эталонные агротехнические требования к почвам питомника [Электрон. ресурс]. – 01.08.2017. – Режим доступа: URL: https://studwood.ru/1553843/agropromyshlennost/vliyaniya_osnovnoy_obrabotki_strukturno_agregatnyy_sostav_pochvy (дата обращения 23.09.2018).
65. Летошнев М. Н. Сельскохозяйственные машины: теория, расчёт, проектирование и испытание: учеб. пособие / М. Н. Летошнев. - М.; Л.: Сельхозгиз, 1955. - 764 с.
66. Будаговский В.И. Культура слаборослых плодовых деревьев. - М., «Колос», 1976. - 304 с.
67. Цымбал, А.А. Особенности автоматизированного проектирования машинных агротехнологий в ягодоводстве / А.А. Цымбал, И.Г. Смирнов, Д.О. Хорт // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. - №5. - С. 6-8.
68. Мешков В.Г., Искра Д.Е. Структурно-параметрическая модель системы

- проектирования. Известия Юго-Западного государственного университета. 2020;24(4):244-255. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-244-255>
69. Припадчев А.Д. и др. Концептуальные основы проектирования облика летательного аппарата. // Фундаментальные исследования № 6, 2013, с. 561-564.
70. Завражнов, А.А. Результаты полевых испытаний универсального бороздонарезчика / / А.А. Завражнов, А.И. Завражнов, В.Ю. Ланцев, А.С. Ибраев. - Научный журнал Вестник Государственного университета имени Шакарима города Семей, №1(85) – Семей, 2019. – с. 309-312.
71. Завражнов, А.И. Результаты полевых испытаний серийного бороздонарезчика типа МНБ-4 / А.И., Завражнов, А.А. Завражнов, Ж.К. Кубашева, А.С. Ибраев // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию Конституции Республики Казахстан и Ассамблеи народа Казахстана «Наука и образование XXI века: опыт и перспективы» Часть II. – г. Уральск: Зкату им. Жангир хана, 20-21.11.2015. – с. 351-356.
72. Филипов Р.А. Обоснование параметров выносной фрезерной секции для обработки почвы в приствольных зонах плодовых насаждений / Р.А. Филипов, Д.О. Хорт, В.А. Шевкун. – Энергетика и автоматика. 2018. №2(36). – с. 66-78
73. Далин, А.Д. Ротационные грунтообрабатывающие и землеройные машины / А.Д. Далин, П.В. Павлов. – М.: изд. и 1-я тип. Машгиза. 1950. – 258 с.
74. Полтавцев, И.С. Фрезерные канавокапатели / И.С. Полтавцев. - М., Машгиз. 1954. – 132 с.
75. Булгаков А.И., Манапов Р.М., Муселемов Х.М., Устарханов О.М. Расчет трехслойных балок по методу конечных элементов с помощью ПК ЛИРА. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;41(2):125-132. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2016-41-2-125-132>
76. Куц В.В., Разумов М.С., Митрофанов М.В. Моделирование фрезы с радиальной конструктивной подачей для обработки РК-профильных отверстий. Известия Юго-Западного государственного университета. 2019;23(5):82-93. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-82-93>
77. Савин И.Ю. Пространственные аспекты прикладного почвоведения. Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020; (101):5-18. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-5-18>
78. Степанов С.Н. Колхозный плодовой питомник. М. Сельхозгиз (Государственное издательство сельскохозяйственной литературы) 1955 г. 80 с.
79. Кутейников В.К. Механизация работ в садоводстве 2-е изд., перераб.

- и доп. / Кутейников В.К., Лосев Н.П. и др. М.: Колос - 1983. - 319 с.
80. Метлицкий З.А. Повышение урожайности садов. Издание 2-е. М. Сельхозгиз 1959г. 144с.
81. Селезнева Е.В., Юрина Т.А. Автоматизация поиска оптимальных параметров математической модели промышленного объекта. Научный рецензируемый журнал "Вестник СибАДИ". 2016;(3(49)):105-110. [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2016-3\(49\)-105-110](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2016-3(49)-105-110)
82. Великанов К.М. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник / К.М. Великанов, В.Ф. Власов, Г.А. Краюхин и др.: под общ. ред. К.М. Великанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 448 с.
83. Тихомирова Т. П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учеб. пособие / Т. П. Тихомирова, Е. И. Чучкалова. – Екатеринбург: РГППУ, 2008. – 185 с.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Ибраев Адиль Серикович

**ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ
В ПРОМЫШЛЕННОМ САДОВОДСТВЕ**

монография

Подписано к печати 21.02.2025 г.
Формат 60х84 1/16 Бумага листовая 80 м/г
Объем 8,94 п.л. Заказ №270
Тираж 500 экз.

*Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленных оригиналов*

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический
университет имени Жангир хана»
090009, г.Уральск, Жангир хана, 51