

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



АНТОНЕНКО МАКСИМ ВЛАДИМИРОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЯБЛОК В АПК

Специальность 4.3.1. - Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Лимаренко Николай Владимирович

Рязань – 2024

АННОТАЦИЯ

Цель диссертационного исследования - снижение повреждений яблок при транспортировке в АПК.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель работы, задачи исследования, определено народнохозяйственное значение работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации посвящена аналитическому обзору выполненных экспериментов по данной теме, анализу применяемой тары, транспортных средств (далее ТС), определению задач исследования.

Во второй главе предложена конструктивно-технологическая схема контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке, выполнены необходимые теоретические исследования напряженного-деформируемого состояния яблок с учетом демпфирующих свойств контейнера; рассмотрены воздействия рельефа местности на повреждения перевозимых яблок.

Третья глава диссертации нацелена на определение программы, методики экспериментальных исследований повреждений яблок, которые могут быть получены при их транспортировке в предложенной конструкции контейнера; оценены технические возможности экспериментальной установки, осуществляющей имитационное моделирование движения ТС.

В четвертой главе диссертации продемонстрированы результаты экспериментальных исследований, рассмотрены перспективы дальнейшей разработки темы, намечены предложения производству.

Пятая глава диссертации нацелена на выполнение сравнительного экономического обоснования от применения контейнеров, снижающих повреждения яблок при транспортировке по отношению к используемой стандартной таре, сформулировано заключение по результатам работы.

В диссертационной работе приведен библиографический список источников, цитируемых автором. В приложениях к диссертации представлены: результаты расчетов, акт внедрения, документы об апробации результатов.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТРАНСПОРТИРОВКУ ЯБЛОК, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
1.1 Эволюция аграрного производства - фактор обеспечения продовольственной безопасности.....	12
1.2 Анализ тары для транспортировки и хранения яблок, и проведенных исследований в этой области.....	19
1.3 Анализ технических средств для уборки, погрузки и транспортировки яблок.....	28
1.4 Анализ зависимости повреждений яблок от их физико-механических характеристик и качества внутрихозяйственных перевозок.....	35
1.5 Выводы по первой главе	41
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТОРОВ, СПОСОБНЫХ ОКАЗЫВАТЬ ВЛИЯНИЕ НА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЯБЛОК ПРИ КОНТЕЙНЕРНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКЕ	43
2.1 Теоретические предпосылки к обоснованию транспортировки яблок в ящиках и контейнерах	43
2.2 Исследование напряженного состояния перевозимых яблок с учетом демпфирующего устройства контейнера	44
2.3 Расчет основания (днища) экспериментального контейнера, минимизирующего повреждения яблок при транспортировке	49
2.4 Конструктивно-технологическая схема контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке	56
2.5 Имитационное моделирование при оптимизации параметров, определяющих плавность хода автомобиля	58
2.6 Выводы по второй главе	60
ГЛАВА 3 МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРА, СНИЖАЮЩЕГО	

ПОВРЕЖДЕНИЯ ЯБЛОК ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ	62
3.1 Программа и методика проведения экспериментальных исследований	62
3.2 Экспериментальная установка и регистрирующее оборудование	64
3.3 Методика исследования повреждения яблок при транспортировании в таре при воздействии параметров вибрации.....	70
3.3.1 Влияния колебательных движений автомобиля, неровностей дорожного покрытия на повреждения яблок, перевозимых в контейнерах.....	70
3.3.2 Методика исследования повреждения яблок от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний и времени проведения эксперимента	73
3.3.3 Методика определения влияния микрорельефа местности на параметры колебаний кузова при транспортировке в контейнерах.....	77
3.4 Выводы по главе 3	81
ГЛАВА 4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНТЕЙНЕРА, СНИЖАЮЩЕГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ЯБЛОК ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ	82
4.1 Результаты органолептического анализа исследования зависимости повреждения плодов при транспортировании в экспериментальном контейнере от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний и времени проведения эксперимента.....	82
4.1.1 Результаты органолептического анализа повреждения плодов после стендовых имитационных испытаний транспортирования яблок.....	82
4.1.2 Результаты исследования зависимости повреждения плодов от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний и времени проведения эксперимента.....	85
4.2 Результаты влияния микрорельефа местности на сохранность груза при транспортировке в контейнерах.....	103
4.3 Выводы по четвертой главе.....	105
ГЛАВА 5 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТЕЙНЕРА, СНИЖАЮЩЕГО ПОВРЕЖДЕНИЯ	

ЯБЛОК ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ	108
5.1 Экономический эксплуатационный эффект от внедрения транспортных контейнеров с демпфирующими устройствами.....	108
5.2 Экономический эффект от снижения величины повреждений яблок	112
5.3 Выводы по главе 5	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	116
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	118
Приложение А Результаты исследования зависимости повреждения плодов от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний	134
Приложение Б Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре при частоте колебаний при частоте колебаний 1,0; 4,0; 5,0 Гц.....	136
Приложение В Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере при частоте колебаний при частоте колебаний 1,0; 4,0; 5,0 Гц	140
Приложение Г Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре и в экспериментальном контейнере от частоты вращения двигателя 1,0, 4,0, 5,0 Гц	144
Приложение Д Результаты экспериментального исследования зависимости коэффициента повреждения плодоовощной продукции от виброускорения и от времени проведения эксперимента.....	150
Приложение Е	151
Приложение Ж Расчет днища экспериментального контейнера с использованием ПК «SCAD» и теоретическим методом.....	153

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Как известно, одно из важнейших мест в сельскохозяйственном производстве занимает садоводство, одно из значимых мест в котором занимают яблоки. По оценкам маркетингового агентства «BusinessStat», объем рынка яблок в 2017-2024 г.г. вырос на 26,9%: с 1,5 до 2,8 млн т. Вклад в рост этого объемного показателя внес увеличивающийся спрос со стороны сектора промышленной переработки яблок, который после введения продовольственного эмбарго столкнулся с проблемой дефицита импортных концентратов, необходимых для производства соков и плодоовощных консервов. В 2022-2024 г.г. снизится также и объем зарубежных поставок яблок в Россию в связи с логистическими проблемами из-за санкций и наращивания выпуска отечественных фруктов. Превышение экспорта над импортом является важным условием экономического роста в стране [59,60,71]. Исходя из потребности в форсированном импортозамещении на программу развития отечественного производства плодовой продукции выделено порядка 4 млрд. рублей [20,21,33,34].

Согласно, принятой на период с 2017-2025 годы Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства, необходимо развитие научно-технической деятельности с целью получения результатов для создания и внедрения современных технологий производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, обеспечивающих независимость и конкурентоспособность отечественного агропромышленного комплекса [20,21,74,75].

По прогнозу Минсельхоза России, площадь закладки многолетних плодовых и ягодных насаждений к 2024 году увеличится на 68 тысяч гектаров, что позволит нарастить производство плодов и ягод на 41% больше [19,29,34].

Согласно данным, представленным экспертами, существует недостаток современных и технологичных фруктохранилищ, оборудования, в том числе упаковочных и сортировочных линий, позволяющих производителям сохранить

урожаем и обеспечить покупателя качественными фруктами. Для решения этой проблемы предусмотрено развитие питомников и садоводства в рамках ФНТП развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы [32,33,60].

Прогнозируется, что в период с 2023 по 2025 годы общая площадь промышленных яблоневых садов в России увеличится на 37 тыс. гектаров, и сбор товарных яблок в свежем виде достигнет 1,5 млн тонн к 2025 году. Для достижения этой цели необходимо не только увеличить урожайность, но и улучшить сохранение продукции во время уборки и транспортировки. Одним из основных факторов, влияющих на качество плодов и потери во время их заготовки и хранения – внутрихозяйственная транспортировка [33,35,39].

Многочисленными исследованиями установлено, что в процессе уборки и транспортировки, примерно, 15 - 20% продукции получают различного типа механические повреждения и становятся непригодными для последующей реализации. По подсчетам экономистов, ежегодные потери сельскохозяйственной продукции составляют, примерно, 8 млрд. рублей. Таким образом, сокращение повреждений и, соответственно, потерь является сложной задачей, требующей внимания и ресурсов [21,26,29,35].

Степень разработанности темы

Исследованиями по усовершенствованию транспортировки яблок, с учетом их максимальной сохранности в разное время занимались Белю Л.П., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Бычков В.В., Беренштейн И.Б., Варламов Г.П., Заводнов В.С., Заводнов А.В, Каверин В.А., Ломинадзе А.Б., Мартышко В.Н., Пустовалов В.С., Раюшкина А.А., Рембалович Г.К., Симдянкин А.А., Успенский И.А., Цымбал А.А., Чекмарев В.Н., Четвертаков А.В., Фомин С.Д., Фомин С.Л., Юхин И.А., М. O'Brien, R.P. Singh, L.L., Clay-pool и другие ученые.

Рассмотрев труды и разработки ученых, занимающихся вопросами сохранения собранного урожая и транспортировки его потребителю, можно определить ряд факторов, влияющих на повреждения яблок. К ним можно отнести: физико-механические свойства продукции; тип ТС и его технические параметры, влияющие на плавность движения, амплитуду, частоту, скорость и

ускорение колебаний груза и грузовой платформы ТС; технологию уборки, затаривания, упаковки и транспортировки; тип используемой тары [42,44,68]. Однако, несмотря на значительную проработку темы, по-прежнему остаются открытыми вопросы улучшения конструкции контейнера, уменьшающего повреждения яблок при транспортировке.

Таким образом, изложенное выше предопределило цель и задачи, положенные в основу диссертационного исследования.

Цель исследований - снижение повреждений яблок при транспортировке в АПК.

Задачи исследований:

1. Провести анализ существующей тары для транспортировки яблок, проведенных исследований в этой области.
2. Теоретически исследовать факторы, оказывающие влияние на повреждения яблок при контейнерной транспортировке, провести их математическую формализацию.
3. Теоретически обосновать параметры контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке.
4. Разработать методики экспериментальных исследований, позволяющие оценить эффективность теоретически обоснованных параметров контейнера, минимизирующего повреждения яблок при транспортировке.
5. Оценить экономическую эффективность предложенного решения.

Объект исследования – процесс транспортировки яблок в АПК.

Предмет исследований - параметры контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке.

Научная новизна - научно обоснованы параметры контейнера с применением демпфирующих материалов, снижающего повреждения яблок при транспортировке. Разработана математическая модель колебаний контейнера с учетом перевозимых яблок. Получены графические зависимости, связывающие повреждения яблок с основными эксплуатационными параметрами транспортировки. Установлены наиболее неблагоприятные сочетания

эксплуатационных факторов, приводящие к увеличению вертикальных ускорений, испытываемых яблоками при транспортировке. Разработана методика, позволяющая оценить влияние скоростных, нагрузочных параметров контейнера на повреждения яблок при транспортировке.

Теоретическая значимость работы

Теоретически и экспериментально определено, что напряженное состояние перевозимого груза находится в зависимости от характера заполнения контейнера, коэффициента трения между его стенками и яблоками, контактными поверхностями плодов, амплитуды вынужденных колебаний и жесткости демпфера, величины поперечных и продольных колебаний, вызывающих у перевозимых в таре плодов различные повреждения. На основании исследований разработан контейнер, снижающий повреждения яблок при транспортировке.

Практическая значимость работы заключается в предложении обоснованных параметров контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке, экспериментальном их уточнении.

Методология и методы исследования. Выполненные теоретические исследования основаны на принципах и положениях математики и теоретической механики, а также на известных результатах исследований, направленных на снижение повреждений яблок во время их транспортировки. При обосновании прочностных параметров использовались специализированные программы и методики. Обработка экспериментальных данных производилась с использованием методов математической статистики и программных комплексов «Microsoft Excel Office», «SCAD Office».

Положения, выносимые на защиту:

- результаты теоретического обоснования параметров контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке;
- результаты экспериментальных исследований, позволяющие оценить эффективность теоретически обоснованных параметров контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке;
- оценка экономического эффекта предложенного решения.

Достоверность результатов исследований

Экспериментальные исследования проводились на современном сертифицированном оборудовании с использованием стандартных и разработанных методик обработки опытных данных. Выводы, полученные в результате анализа результатов, являются итогами теоретических и экспериментальных исследований. Сходимость теоретических и экспериментальных исследований составляет 95%.

Реализация результатов исследования

Контейнер, снижающий повреждения яблок при транспортировке, апробирован в ООО «Авангард» Рязанской области.

Личный вклад соискателя заключался в постановке цели и задач исследований, в проведении теоретических и экспериментальных исследований, интерпретации полученных результатов, обосновании параметров конструкции контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке, написании научных статей.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на научно-практических конференциях: I Национальной научно-практической конференции с международным участием «Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии», посвященной памяти доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова (2021г.); Национальной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации», посвященной памяти д.т.н. профессора Александра Алексеевича Сорокина (2022г.); Национальной научно-практической конференции «Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве», посвященной памяти д.т.н., профессора Валерия Васильевича Бычкова (2023г.); Международной научно-практической конференции «Инновационные научно-технологические решения для АПК: вклад университетской науки» (2023г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 17 печатных

работ, в том числе, 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Общий объем публикаций соискателя составляет 2,94 усл. п.л., в т. ч. доля соискателя - 2,06 усл. п.л.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа представлена введением, пятью главами, заключением, списком литературы из 82 наименований и семи приложений. Работа изложена на 154 страницах, содержит 28 таблиц и 58 рисунков.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТРАНСПОРТИРОВКУ ЯБЛОК, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Эволюция аграрного производства - фактор обеспечения продовольственной безопасности

Одним из ключевых показателей экономической стабильности государства является его способность обеспечить население продовольствием. Продовольственная безопасность, в свою очередь, зависит от эволюции сельскохозяйственного производства, которое тесно связано с внедрением передовых технологий и оборудования. Это способствует интеграции ТС в единый производственный процесс [1,8,14,62,82].

В настоящее время агропромышленный комплекс России, включая Рязанскую область, сталкивается с рядом структурных трансформаций, вызванных пандемией, санкциями и другими факторами. Эти изменения приводят к снижению темпов инновационного развития отрасли, к проблемам в области импортозамещения. Как известно, использование качественных продуктов является ключевым фактором, обеспечивающим жизнеспособность населения. Следовательно, необходимо на государственном уровне обеспечить доступность продовольствия каждому жителю, совершенствуя систему регулирования и поддержки [8,9,19,63].

В условиях предполагаемого роста объема сельскохозяйственной продукции, особое внимание следует уделить решению проблем, связанных с ее транспортировкой, с модернизацией контейнеров и поддонов, способных сохранить качество перевозимой продукции. Исследования в этом направлении ведутся специалистами агропромышленного комплекса.

Известны научные разработки и теоретические исследования в области сельскохозяйственной техники «Всесоюзного института сельскохозяйственного машиностроения» (ВИСХОМ), «ФГБНУ "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ"», «ФГБОУ ВО Рязанского государственного

агротехнологического университета имени П.А. Костычева», «ФГБОУ ВО Российского государственного аграрного университета имени К.А. Тимирязева» (РГАУ-МСХА) и др.

В периоды планирования уборочной компании, а, следовательно, значительного трудового напряжения, связанного с уборкой урожая значительного трудового напряжения, в связанного с уборкой урожая сельским хозяйствам необходимо внедрять в свою работу специализированные транспортные средства и улучшенный инвентарь и тару. Прежде всего, необходимо определить величину ожидаемого урожая. На основании предварительных данных о количестве урожая, подлежащего уборке, составляется рабочий план. В этом плане указывается необходимое число рабочих-съемщиков, ящиков или контейнеров, лестниц-стремянков, погрузочно-разгрузочных и ТС на весь период уборки. Согласно статистическим данным, точное планирование позволяет значительно повысить эффективность уборочных работ и минимизировать потери урожая [1,9,14,18].

Качество доставки яблок часто подвергается критике из-за повреждений, которые они получают в процессе транспортировки. Перевозчики, как правило, утверждают, что соблюдают температурный и скоростной режимы, а также используют для проезда качественные дороги.

Как известно, существуют определенные нормативные требования перевозки яблок.

Во-первых, при загрузке яблок в тару в ТС требуется предусмотреть небольшое пространство: величиной 3,0 - 5,0 см между каждыми двумя-тремя рядами; величиной 30,0 - 50,0 см между потолком и полом с целью обеспечения равномерного поддержания температуры продукции. Кроме того, следует устранить промежуток между ящиками и задней стенкой, чтобы предотвратить их случайное перемещение.

Во-вторых, необходимо проводить транспортировку в экологически безопасных упаковках с целью предотвращения трения и ударов плодов.

Кроме того, необходимо соблюдать скоростной режим при

транспортировке продукции, чтобы обеспечить сохранность товара от возможных ударов (требование для движения по федеральным трассам - до 90,0 км/час; по региональным - не более 60,0 км/час).

В-третьих, важно учитывать реакцию яблок на воздействие сульфатов и других препаратов, которыми их обрабатывают для увеличения срока хранения.

Следование указанным рекомендациям помогает существенно уменьшить вероятность повреждения яблок во время перевозки и продлить срок их хранения. Эффективное сохранение урожая яблок является важным показателем успеха аграрного предприятия, специализирующегося на садоводстве. Исследования показывают, что большинство повреждений яблок связаны с применением механизированного метода обработки. Нарушение цикла жизни яблок и повреждение их внешних оболочек способствуют появлению различных заболеваний, гнили и недоразвитию плодов, что снижает их качество. Для достижения оптимальных результатов наилучшим решением является сочетание ручного и механического труда. Ручная сортировка и уборка плодов позволяют уменьшить повреждения, но требуют значительных затрат. С другой стороны, автоматизированные методы требуют меньше рабочей силы, но увеличивают риск повреждения плодов (рисунок 1.1) [12,14,61,62,82].



а - Сбор плодов яблок вручную с применением специальных устройств для подъема
б - наполнение контейнеров для транспортировки яблок.

Рисунок 1.1 – Процесс уборки урожая яблок

Таким образом, создание устойчивых к механическим повреждениям и

заболеваниям гибридных сортов позволяет сократить потери продукции и улучшить ее качество. Совместное использование ручного и механического труда при работе с гибридными сортами, позволяет сельскохозяйственным предприятиям достигать высоких показателей эффективности и качества продукции.

Поэтому выбор между ручными и автоматизированными методами возделывания зависит от приоритетов предприятия: либо минимизации повреждений, либо снижения затрат на рабочую силу. Согласно проведенным исследованиям, применение гибридных сортов и смешанных методов выращивания уменьшает убытки продукции на 15-20% и улучшает ее качество на 10-15% [12,19,63].

Известно, что существует несколько критериев определения зрелости яблок. Один из них - съемная зрелость, которая указывает на готовность к сбору урожая. Плоды, достигшие этой стадии, содержат необходимые органические вещества, обладают подходящими свойствами для транспортировки, обработки и длительного хранения.

Второй аспект, который следует учитывать - зрелость плодов, которая проявляется в их окраске, аромате и вкусовых качествах и свойственна определенному сорту. Например, яблоки некоторых зимних сортов достигают потребительской зрелости через несколько месяцев после съема.

Важно сохранить яблоки при транспортировке, учитывая использование определенной тары, предотвращая механические повреждения и минимизируя воздействие на продукцию неровностей дороги. Особое внимание требуется уделить сохранности яблочных плодов. Так разработка и модернизация логистических маршрутов и непосредственно самого процесса уборки урожая играют ключевую роль в достижении поставленной цели.

Таким образом, процесс уборки урожая можно разделить на следующие этапы: определение количества и типа тары, доставка ее до места сбора урожая, погрузочно-разгрузочные работы, и сам процесс перевозки.

В зависимости от объема урожая, формируется бригада из 20-30 человек,

которая делится на несколько групп по 4 - 6 сборщиков. Несколько человек занимаются сбором яблок, в то время как другие занимаются расстановкой тары и сбором падалицы. Сбор яблок осуществляется, как правило, вручную с применением лестниц, платформ, специальных сумок и ведер.

Количество работников, занимающихся сбором фруктов, можно вычислить с помощью уравнения [12].

$$C = \frac{V_c}{V_d \cdot D'} \quad (1.1)$$

где V_c обозначает предполагаемый объем произведенной продукции данного типа, цена;

V_d — объем выработки съемщика в день, цена;

D — среднее время сбора урожая (сутки)

Для повышения эффективности работы группы сборщиков, состоящей из четырех-шести человек, необходимо включить в состав одного вспомогательного рабочего. Основная функция этого рабочего заключается в том, чтобы выносить собранные плоды и укладывать их в тару. Такой подход позволяет основным сборщикам сосредоточиться исключительно на сборе урожая, что в конечном итоге способствует повышению общей продуктивности труда.

Известна технология без использования поддонов. В данном случае фрукты укладываются в ящики вручную и загружаются в ТС поштучно. Этот способ требует больше времени и усилий, но предпочтителен при отсутствии специализированного оборудования.

«Известен пакетный способ сбора яблок?» при котором ящики укладываются на поддоны в количестве от 20 до 25 штук, образуя пакеты, которые, в дальнейшем, с помощью грузоподъемных механизмов загружаются в транспортное средство» [61]. Такой способ позволяет значительно ускорить процесс загрузки и выгрузки, а также снизить риск повреждения фруктов.

Следовательно, решение о методе транспортировки зависит от наличия оборудования и целей компании. Использование пакетного способа с применением поддонов является более эффективным и безопасным для обеспечения сохранности продукции. Использование механизированной

погрузки и выгрузки при транспортировке яблок в контейнерах в пакетном режиме обеспечивает оптимальный выход стандартной продукции. Важно плотно укладывать плоды в контейнеры, чтобы избежать лишних перемещений ящиков и обеспечить сохранность груза во время перевозки.

Сохранность яблок напрямую зависит от состояния их упаковки. Плотная упаковка играет важную роль в защите плодов от механических повреждений, так как она предотвращает их сильное перемещение внутри упаковки. Наоборот, неплотная упаковка увеличивает риск повреждений из-за свободного перемещения яблок. Идеальная упаковка должна обеспечивать надежную фиксацию плодов, не создавая при этом излишнего давления, которое может привести к их порче.

Тип амортизации, используемый в ТС, существенно влияет на сохранение яблок во время их транспортировки. Автомобили с эффективной системой амортизации способны поглощать вибрации и удары, которые возникают при передвижении по неровным дорогам, что снижает вероятность повреждения плодов. В тоже время, автомобили с плохой амортизацией передают все вибрации и удары на груз, что может привести к его серьезным повреждениям.

Одним из ключевых аспектов является качество покрытия дорог, которое влияет на сохранение яблок при их перевозке. Гладкие и ровные дороги обеспечивают более комфортное движение транспортных средств, что снижает вероятность повреждения фруктов. Неровности и ямы на дорогах могут вызывать дополнительные вибрации и удары, которые повлекут за собой повреждения плодов. При планировании маршрутов стоит учитывать состояние дорог, чтобы уменьшить риск потерь.

Сохранение яблок зависит также от скорости транспортировки и расстояния перевозки. Большая скорость передвижения транспортного средства повышает вероятность повреждений из-за усиленных вибраций и ударов. Для минимизации рисков повреждений необходимо выбирать оптимальную скорость транспортировки, учитывая состояние дорожного покрытия и тип амортизации ТС. При планировании дальних транспортировок необходимо учитывать все эти

факторы и предпринимать меры для снижения риска повреждений, например, использовать качественную упаковку и ТС с хорошей амортизацией.

Известно, что одной из ключевых характеристик перевозимой продукции, влияющая на коэффициент использования грузоподъемности ТС, является объемная масса (рисунок 1.2) [5,6,63].



Рисунок 1.2 – Объемная масса перевозимых грузов с учетом вида упаковки

На рисунке 1.3 можно увидеть диаграмму использования коэффициента грузоподъемности в зависимости от категории перевозимых грузов. Классификация грузов зависит от объема и веса груза, от способа упаковки. Повреждения яблок могут возникать из-за динамических и статических нагрузок, зависящих от упругости груза, его поверхности и того, с чем он сталкивается при транспортировке [5,6,62,82].

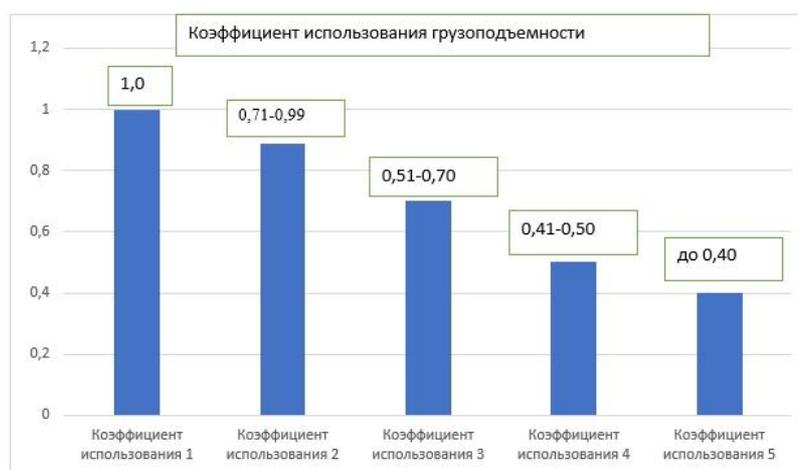


Рисунок 1.3 – Диаграмма использования коэффициента грузоподъемности в зависимости от категории перевозимых грузов

Перед доставкой плодов в места хранения и реализации, яблоки требуют тщательного осмотра и сортировки по степени зрелости и сортам качества. Чтобы избежать порчи плодов после погрузки, яблоки должны быть: сухими, без загрязнений и видимых глазу повреждений. Статистические данные показывают, что 92% яблок при перевозке которых следуют указанным нормативным требованиям, сохраняют свою целостность длительное время [4,7,22,62].

Укладка продукции в тару и транспортировка должна осуществляться с соблюдением требований: яблоки должны быть уложены плотно до краев, чтобы избежать повреждений и трения; ящики с фруктами желательно устанавливать в ТС в шахматном порядке с целью обеспечения достаточной циркуляции воздуха, а также правильного использования холода.

В анализе, представленном в таблице 1.1, рассмотрено воздействие различных факторов окружающей среды на скорость движения ТС, которое перевозит яблоки.

Таблица 1.1 – Влияние климатических условий на скоростной режим ТС

Климатические условия	Зависимость климатических условий и скоростного режима (км/ч)
Осадки	Снижение скоростного режима на 10 (км/ч)
Снег	Снижение скоростного режима на 15 (км/ч)
Воздействие ветра	Снижение скоростного режима на 5-15 (км/ч) (высокий шанс резкого торможения)

Данные исследований показывают, что климатические условия оказывают значительное воздействие на различные аспекты транспортной системы. Это влияние проявляется в изменении расходов на перевозки и в планировании инфраструктуры, учитывая надежность и пропускную способность. Как известно, скорость движения может уменьшиться на 10-25% при влажном асфальте и на 30-40% на заснеженной дороге [4,7].

1.2 Анализ тары для транспортировки и хранения яблок, и проведенных исследований в этой области

Развитие агропромышленного комплекса, как ключевого направления

экономического и социального прогресса страны, играет важнейшую роль в обеспечении населения необходимыми ресурсами и поддержании его здоровья. Благодаря предпринимаемым мерам поддержки возрастает экспортный потенциал отрасли, при этом, особое внимание уделяется выращиванию, транспортировке и хранению яблок.

Известно, что качество яблок зависит от их сохранения на протяжении всего логистического пути. Немаловажное значение при этом имеет правильное применения типа тары, способа упаковки, а также местоположение плодов в таре. Следовательно, подготовленная к применению тара должна не только обеспечить сохранность плодов, но и предоставить удобный к ней доступ, возможность захвата при транспортировке [2,22,31,32,67].

Первые шаги по подготовке хозяйства уборке урожая начинаются задолго до окончательной спелости яблок. На этапе формирования плодов идет предварительная оценка и прогнозирование количества требуемой для сборки тары, транспортного парка и рабочих. Утверждаются итоговые сроки уборки урожая.

В России для хранения и перевозки яблок используют малообъемную, крупно-объемную тару однократного использования, а также многооборотную, предназначенную для многократного перемещения продукции.

Контейнеры, используемые для транспортировки яблок, помимо конструкции могут отличаться и по материалам изготовления.

В Российской Федерации основным материалом для производства транспортировочных контейнеров является древесина хвойных пород дерева, особенностью которых являются стойкость к коррозии и гниению, высокие показатели механической прочности и долговечности, а также лиственные породы (тополь, береза и др.). Используемая в сельском хозяйстве деревянная транспортировочная тара обладает своими достоинствами и недостатками. К положительным моментам можно отнести экологическую безопасность производства и эксплуатации, простоту в использовании, а к недостаткам гидрофобность конструкции, подверженность грибообразованию, гниению,

высокий шанс повредить контейнер в процессе эксплуатации [30,31,62,67].

К малообъемной таре относят деревянные ящики различного конструктивного решения, выполненные, как из фанеры, так и из древесины, в зависимости от особенностей груза. Деревянные ящики могут быть разными по конструкции и объемным параметрам.

К крупно-объемной таре относят, прежде всего, ящичные поддоны и контейнеры. Многочисленные исследования подтверждают, что фрукты лучше сохраняют свои свойства, если хранить их в больших контейнерах, чем в обычных ящиках стандартного размера [74,75].

Согласно исследованиям, использование контейнеров позволяет: полностью автоматизировать процесс погрузки и разгрузки яблок, увеличивая производительность труда в 2 - 3 раза; повысить на 27% эффективность использования складских помещений, снизив расходы на амортизацию на 21% на каждую тонну продукции.

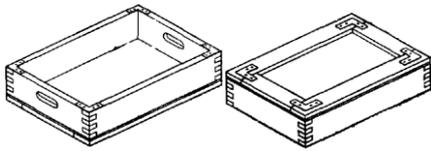
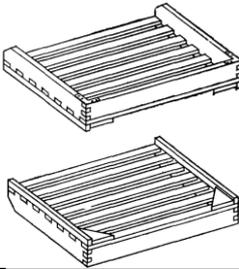
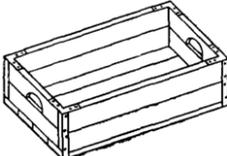
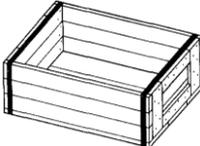
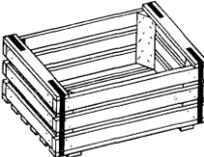
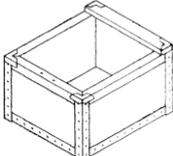
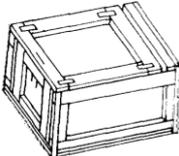
Классифицировать контейнеры можно по следующим группам сборные, сколоченные, сборные с возможностью разбора, комбинированные и фанерные (рисунок 1.4, таблица 1.2) [2].

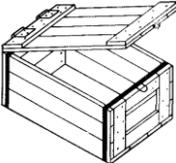
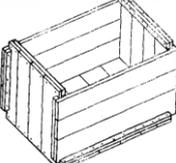
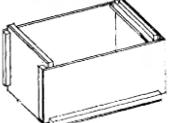


а – ящики с возможностью сборки, б – ящики без возможности сборки с крышкой; в – ящики без возможности сборки без крышки №21 [47]

Рисунок 1.4 - Ящики деревянные транспортировочные

Таблица 1.2 – Виды применяемых ящиков для плодоовощной продукции

Название и свойства	Конструктивная схема	Предельная масса грузов в ящике, кг
1	2	3
Комбинированный контейнер на скобах с едиными боковыми стенками.		20
Деревянные с цельными торцевыми и одной боковой стенками, соединенными в шип, и решетчатым основанием		20
Деревянный с цельными или составными, из двух досок, торцевыми и боковыми стенками, с вкладышами или без них.		20
Фанерный с торцевыми или боковыми стенками, собранный на четырех планках в рамку.		30
Деревянный с четырьмя стенками из планок, соединенных в рамку		30
Дощатый на четырех внутренних трехгранных планках		30
Соединенные между собой перфорированной стальной лентой		30
Торцевые и боковые стенки собраны на четырех рейках в рамку		50

1	2	3
Неразборные плотные с откидной крышкой		50
Разборные дощатые и фанерные		60
Разборные дощатые и фанерные		100

К крупно-объемной таре относят, прежде всего, ящичные поддоны и контейнеры. Многочисленные исследования подтверждают, что фрукты лучше сохраняют свои свойства, если хранить их в больших контейнерах, чем в обычных ящиках стандартного размера.

Для определения количества контейнеров необходимых хозяйству для сборки урожая используется следующая формула:

$$K = \frac{V_c \cdot 100}{E_k}, \quad (1.2)$$

где E_k — максимальная масса перевозимого груза в контейнере, кг;

При размещении на поддоне 20 контейнеров, мы можем определить требуемое количество поддонов (Π):

$$\Pi = \frac{K}{20}. \quad (1.3)$$

Рассмотрим разборный и складной типы ящичных поддонов [6,7,8].

На рисунке 1.5 показаны поддоны УКС-ПЯ-1, УКС-ПЯ-3, которые производит компания ООО "Крон". На изображении видно, что поддон имеет выполненные из древесины смешанных пород решетчатое дно и боковые стенки, запорные устройства и металлический каркас (поддоны УКС-ПЯ-1; УКС-ПЯ-3). Вес такого поддона составляет 450 кг в брутто.



Рисунок 1.5 – Общий вид ящичных поддонов УКС-ПЯ-1; УКС-ПЯ-3 [82]

В сельском хозяйстве часто используют контейнеры, воспринимающие сосредоточенную нагрузку, создающую проблемы при их перемещении, погрузочно/разгрузочных работах, связанные с необходимостью выравнивания продольной оси контейнера с продольной осью грузовой платформы ТС, что ограничивает ее эффективное использование. Для увеличения грузоподъемности контейнеров их размещают в два яруса с использованием вилочных погрузчиков. Рассмотрим характеристики отечественных плодовых контейнеров, изготовленных в неразборном и складном исполнении (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Контейнеров для транспортировки яблок

Показатели	УКС-ПЯ-3	УКС-ПЯ-1
1	2	3
Конструктивные размеры: мм	1200x800x600	1150x700x600
V, м ³	0,52	0,45
Масса тары, кг	48	44
Масса плодов, кг	280	250

Однако, проведенные исследования доказали, что размещение груза в двух уровнях существенно увеличивает центр тяжести, что влечет за собой уменьшение устойчивости при перемещении по дорогам с неровностями. При перемещении по неровной местности важно правильно расположить контейнеры на платформе, чтобы максимально эффективно использовать доступное пространство. Установка контейнера с продольными осями перпендикулярно продольной оси платформы поможет достичь этой цели.

На иллюстрации 1.6 изображен неразборный контейнер из дерева, который может вместить до 360 килограммов груза.

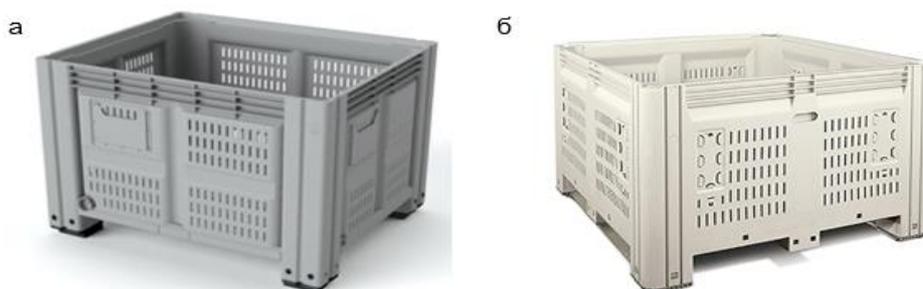


Рисунок 1.6 – Общий вид неразборного контейнера из дерева

В зависимости от их назначения различают два основных типа деревянных контейнеров:

- транспортировочные, способные к модернизации, ремонту и т.п.
- индивидуальные (потребительские) – после поступления на реализацию к потребителю, в дальнейшем не используются.

Известно применение для перевозки грузов полимерной тары. Ее изготавливают в разборном и в неразборном видах из пропилен высокого давления, полиэтилена с примесью стеклопластика. В настоящее время отечественная фирма ООО «Ай-Пласт» производит универсальные неразборные крупногабаритные контейнеры «iBox», используя аналог американской компании «Macro Plastics» модель «MacroBin 33-FV» (рисунок 1.7).



а - типичный образец неразборного крупногабаритного контейнера «iBox» 1200x1000 отечественного производителя ООО "Ай-Пласт"; б - типичный образец неразборного крупногабаритного контейнера «MacroBin 33-FV» американской компании "MacroPlastics"

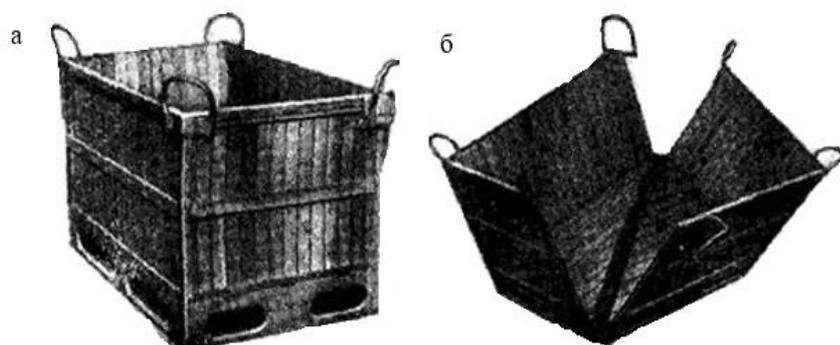
Рисунок 1.7 - Неразборные крупногабаритные контейнеры

В Евросоюзе активно применяют складывающиеся и разборные контейнеры с различными геометрическими характеристиками, имеющие размеры: 1210x1210 мм, 1210x810 мм и т.п.

Интересны контейнеры, выполненные в Италии из металла, фанеры, волокнистых плит и древесины с отверстиями, служащими для обеспечения циркуляции воздуха.

Российские и зарубежные ученые, получившие много авторских свидетельств и патентов на новаторские методы, средства транспортировки и хранения фруктов, и овощей, работают над улучшением качества продукции путем уменьшения динамических нагрузок.

Известен «Складной металлодеревянный контейнер КСП-0,52» с решетчатыми стенками и дном из деревянных щитов, разработанный в Казахстане и предназначенный для упаковки, транспортировки и хранения фруктов» (рисунок 1.8) [16,81,82].



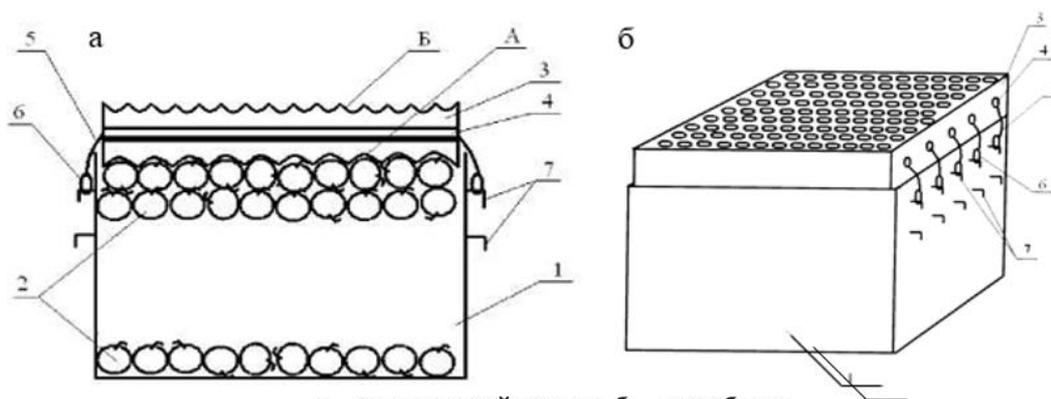
а) – вид в собранном состоянии, б) – вид в разложенном состоянии.

Рисунок 1.8 – Неразборный складной контейнер марки КСП-0,5

«Разъемные половины каркаса соединяются по дну контейнера, а замки в верхней части фиксируют половины, что упрощает захват и подъем контейнера. Грузозахватные скобы на углах позволяют легко перемещать контейнер как вручную, так и с помощью вилочного погрузчика, который может войти в отверстия поддона. Для предотвращения падений и деформации, в зоне соприкосновения он оборудован захватными скобами» [16,81,82].

Заслуживает внимание «Устройство для транспортировки плодоовощной продукции», «состоящее из контейнера с перфорированными стенками и

днищем, а также крышки, выполненной из нежесткого материала и обладающей демпфирующими свойствами». В устройстве снижение повреждений достигается за счет нежесткого контакта плодов с ячейками крышки, а также создания уплотнения, которое не позволяет яблокам перемещаться при транспортировке» [48]» (рисунок 1.9).

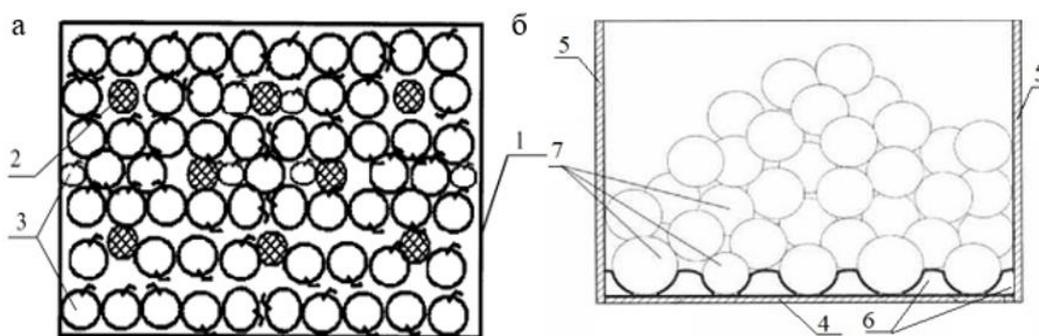


а – поперечный разрез; б – вид сбоку;
 1 - емкость, 2 - фруктово-овощная продукция, 3 - крышечка, 4 - отверстия на крышке, 5 - уплотнительные резинки, 6 - ободки, 7 - крючки типа G, А - область крышки для крупных фруктов, Б - область крышки для мелких фруктов.

Рисунок 1.9 – «Устройство для транспортировки плодоовощной продукции»

На рисунке 1.10 (а) можно увидеть «Устройство для транспортировки легкоповреждаемой плодоовощной продукции», которое содержит контейнер 1, наружное ограждение которого выполнено в виде жестко соединенных рам, к которым прикреплены ограждающие элементы. На днище контейнера в шахматном порядке жестко закреплены вертикальные гибкие стойки» [82]. Достоинством разработки является снижения величины перемещения продукции за счет перераспределения нагрузки между ее вертикальными слоями.

«Контейнер для перевозки плодоовощной продукции» имеет расположенные на дне в шахматном порядке и наполняемые газом полые выступы, выполненные из демпфирующего материала и имеющие форму полусферы» [49] (рисунок 1.10, б). Полученный показатель снижения динамических воздействий на нижние слои перевозимой плодоовощной продукции, является значимым достоинством конструкции.



- а) «Устройство для транспортировки легкоповреждаемой плодоовощной продукции»:
 1 - емкость, 2 - гибкие стойки, установленные вертикально, 3 - плодовые овощи;
 б) «Контейнер для перевозки плодоовощной продукции»:
 4 - дно, 5 - стенка, 6 - выступы, 7 – плоды.

Рисунок 1.10 – Устройства для транспортировки яблок

Известны «Прокладка для транспортировки и хранения плодов в ящиках» (А.С. №1706932) и «Ящик для фруктов» (патент RU 2102298), разработанные Н. Д. Бирючевским; «Устройство для хранения и транспортировки плодов и овощей» (патент RU 2013927), разработанное И.В. Кобозевым и Б.Ж. Карибовым; «Тара для свежих сельскохозяйственных продуктов» (SU740190A1), разработанная В.Е. Гуль, В.П. Антроповой; «Устройство для транспортировки легкоповреждаемой плодоовощной продукции» (RU740190U1), запатентованная Н.В. Бышовым, Н.В. Борычевым, С.А. Крековым, И.А. Успенским и другие конструкции [50,51,52,53,54,55].

Несомненно, важным моментом в развитии коммерческого сектора садоводства является совершенствование тары для перевозки яблок с целью повышения ее сохранности, снижения энергетических и ресурсных затрат. Ежегодно модели тары модернизируются и совершенствуются, меняется типовая модель транспортировочного контейнера» [50,51,52,53,54,55].

1.3 Анализ технических средств для уборки, погрузки и транспортировки яблок

Качество яблок обеспечивается за счет соблюдения технологии выращивания, транспортировки и хранения. Только при соблюдении всех этих условий можно гарантировать высокое качество продукции, которое будет

удовлетворять потребности потребителей и способствовать развитию аграрной отрасли. Для успешной доставки яблок необходимо провести детальное планирование и координацию всех этапов логистической цепочки, начиная с сбора урожая и заканчивая доставкой продукции потребителям.

Исследования показывают, что от 25% до 40% общих затрат на производство яблок приходится на расходы по транспортировке грузов. Это объясняется необходимостью применения специализированных транспортных средств, обеспечивающих сохранность продукции во время перевозки. Особое внимание уделяется внутрихозяйственным перевозкам на тракторах, которые составляют до 60% от общего объема. Это связано с тем, что многие сельскохозяйственные угодья находятся в отдаленных районах, требующих использования специализированной техники для транспортировки продукции. В некоторых случаях в сельских хозяйствах потери плодоовощной продукции в процессах сборки и транспортировки могут достигать 30 – 40 %. Причинами появления повреждений на плодах могут быть следующие факторы: нарушение процесса сбора, сортировки урожая, несоблюдением температурных режимов, технологический процесс укладки плодов в контейнеры и т.д [56,57,57].

Техническое состояние ТС в АПК, играет ключевую роль в процессе выращивания и сохранения культур. В настоящее время, в основном, для сбора яблок используется ручной метод с помощью корзин, лестниц и специальных платформ. Использование этого метода позволяет сократить повреждения плодов во время сбора и укладки их в контейнеры, однако требует дополнительных расходов. Помимо обычных автомобилей и тракторных прицепов, для транспортировки фруктов из сада применяют специализированные ТС, способные осуществлять самозагрузку и саморазгрузку контейнеров.

Ежедневную потребность в вилчатых погрузчиках (P_B) определяют по формуле:

$$P_B = \frac{V_c}{D \cdot ПП}, \quad (1.4)$$

где ПП - дневная производительность погрузчика, ц.

Д — оптимальное время для сбора урожая, дни.

Количество ТС подсчитывают ежедневно с использованием формулы:

$$T_c = \frac{B_c}{D \cdot ПТ} \quad (1.5)$$

где ПТ - дневная производительность ТС в условных единицах.

Как известно, перевозку тары между рядами садовых деревьев, ее вывоз можно выполнить с помощью контейнеровозов, прицепных и гидравлических платформ, тележек, таких как: ТТФ-1, ТТЗ-80, ВУК-3, ТКС-3 (рисунок 1.12 а, б) в агрегате с тракторами Belarus-82.1 (МТЗ-82.1) и др. [10,38,64].



а - общий вид тележки для транспортировки фруктов «ТТФ-1»; б - гидравлическая платформа подъемная садовая 3,5 м.п.

Рисунок 1.12 – Общий вид тележки для транспортировки фруктов «ТТФ-1»; гидравлическая платформа подъемная садовая 3,5м.п.

Для выполнения задач по погрузке и разгрузке используют специальные технические устройства, которые могут быть присоединены к тракторам. Например, погрузочное оборудование, такое как фронтальный погрузчик ПФ-0,3 (рисунок 1.13 а) или вилочный погрузчик JCB 940 (рисунок 1.13 б) и другие [10,11,17].



а - общий вид фронтального погрузчика «ПФ-0,3» установленного на трактор Т-25;
б - типичный облик вилочного погрузчика «JCB 940».

Рисунок 1.13 –Погрузчики «ПФ-0,3», «JCB 940»

Зарубежные компании, такие как США и некоторые страны Европы, все больше внимания уделяют вопросам автоматизации процессов уборки и транспортировки сельскохозяйственной продукции [7,13,17,36,64].

Известны: компания «FFRobotics» (Израиль), представившая на рынок уникальный роботизированный комбайн для сбора яблок «FFRobot», имитирующий движения человеческой руки (рисунок 1.14, а); компания «Abundant Robotics Inc» (Калифорния), поставляющая роботы, использующие для сбора продукции вакуум, роботизированные манипуляции и зондирование (рисунок 1.14, б); корпорация «Vision Robotics», предоставляющая решения и экспертные знания для роботизированных систем и механизации и другие [11,13].



а - роботизированный комбайн для сбора плодов «FFRobot» (Израиль);
робот с именем "б" разработан компанией "Abundant Robotics Inc" из Калифорнии.

Рисунок 1.14 - Роботизированный комбайн для сбора плодов «FFRobot» (Израиль); робот, разработанный в компании "Abundant Robotics Inc" из Калифорнии.

По заявлениям разработчиков, эти роботизированные устройства обладают способностью опознавания поврежденных и больных плодов, при этом, основной причиной их создания является снижение повреждений при съеме и укладке в тару плодов. Применение плодуборочных платформ при уборочных работах способствует повышению производительности труда и позволяет снизить повреждения плодов и деревьев [45,46].

Интерес представляет самоходная платформа для сбора фруктов "PIUMA

4WD" от итальянской компании "REVO" (рисунок 1.15 а), оснащенная полным приводом, двумя боковыми площадками размером 1100x350 мм, способными подниматься на высоту от 1100 до 1750 мм, а также четырьмя конвейерными лентами. Благодаря наличию роликового механизма платформа способна вращать контейнер на 360 градусов в горизонтальной плоскости, обеспечивая равномерную укладку собранных плодов [7,17,36,38,66].

ООО "Фирма ЛТД" в Ростовской области разработала конструкцию самоходного контейнеровоза для сбора урожая «АФ-РР» с гидравлическим подъёмником. В качестве опции в нем может быть установлен автоматический обрезчик деревьев. Система предназначена для транспортировки от 12 до 15 контейнеров (в зависимости от размера) и включает в себя двигатель на 82 л.с. (рисунок 1.15 б) [7].



а - общий вид самоходной плодуборочной платформы «Piuma 4WD» (Италия);
б - автономный контейнеровоз для сбора урожая "АФ-РР" разработан в Ростове-на-Дону.

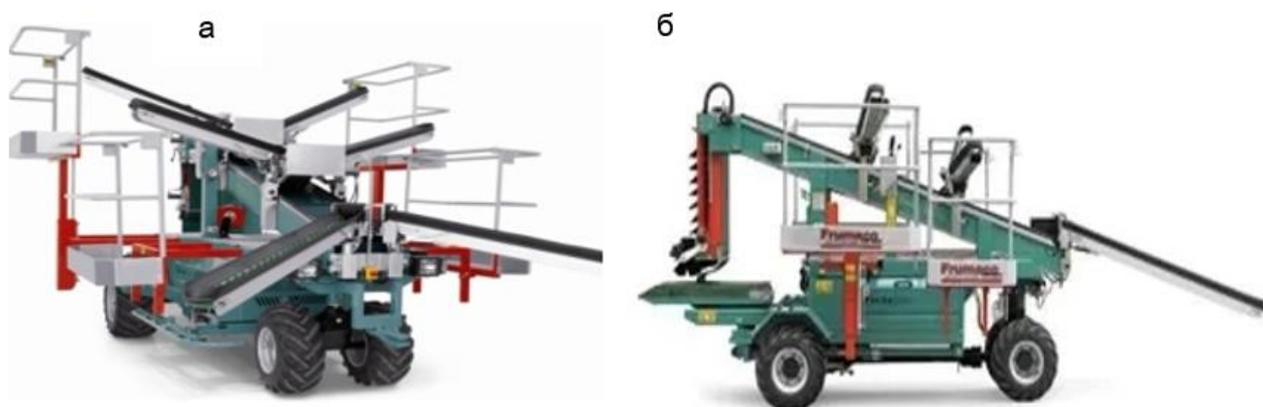
Рисунок 1.15 – Общий вид устройств для сбора фруктов

Разработка компании "Hermes" - самоходная плодуборочная машина "Technofruit CF-110", предназначенная для использования в садах с определенными параметрами. Она оснащена шестью ленточными конвейерами и четырьмя гидравлическими площадками для рабочих, что обеспечивает непрерывный поток продукции и уменьшает физические нагрузки на персонал. Кроме того, машина комплектуется специальным полуавтоматическим перевозчиком "Hermes Bins Trailer", что ускоряет процесс транспортировки и повышает эффективность работы. Все это позволяет сократить время и ресурсы,

необходимые для сбора урожая [72,73].

Более того, автомобиль оснащен инновационной системой мониторинга качества, которая позволяет следить за состоянием изделий на каждом этапе их производства. Это обеспечивает высокое качество продукции и повышает эффективность процесса производства. Система включает в себя датчики для измерения температуры и влажности, а также камеры для визуального контроля. Благодаря этой системе возможно оперативно обнаруживать и исправлять любые отклонения от установленных стандартов, что гарантирует высокое качество конечной продукции [56,57,57].

Таким образом, данная разработка представляет собой комплексное решение, которое сочетает в себе передовые технологии и инновационные подходы к обработке и транспортировке сельскохозяйственной продукции. Это позволяет значительно повысить эффективность работы, снизить затраты и обеспечить высокое качество продукции на всех этапах производственного процесса (рисунок 1.16, а, б). Интересна модель выравнивающей машины для сбора фруктов «Technofruit CF 105», оснащенной системой разравнивания, которая поддерживает ее в оптимальном положении и обеспечивает правильную и бережную загрузку фруктов (рисунок 1.18, б).



а - общий вид самоходной плодуборочной машина «Technofruit CF-110»;

б - общий вид выравнивающей машины для сбора фруктов «Technofruit CF 105».

Рисунок 1.16 – Машины для уборки фруктов (Италия)

Известна своими разработками компания «SORTER» (Польша), которая выпускает самоходные платформы «PS-5». «Разработка запомнилась тем, что на

конструкции платформы размещены две площадки, независимые друг от друга, но имеющие возможность перемещаться на высоту 1,35 - 2,6 м и оснащенные двухуровневыми прицепами. Одна из платформ, расположенная на верхнем уровне, имеет свой прицеп для контейнеров, предназначенный для транспортировки пустых контейнеров, другая платформа, расположенная на нижнем уровне, также имеет свой прицеп, предназначенный для приемки пустых и разгрузки заполненных яблоками контейнеров» (рисунок 1.17) [13,37].



Рисунок 1.17 - Общий вид самоходной плодуборочной платформы «PS-5»

Известна своими уникальными платформами итальянская фирма «ORSI», представляющая, в частности, «самоходную модель «Cross Eco Südtirol 135» (рисунок 1.18). Отличительной особенностью данной модели является наличие независимой подвески, которая дает возможность платформе передвигаться по пересеченной местности с уклоном до 45 градусов» [72,73].



Рисунок 1.18 – Общий вид самоходной платформы для сбора фруктов «Cross Eco Südtirol 135»

Значительный интерес вызывают разработки компании «Tevel» из Израиля, которая специализируется на создании автономных летающих роботов для сбора фруктов. Эта технология помогает решить проблему нехватки рабочей силы в период сбора урожая. Роботы могут собирать фрукты выборочно и передавать данные о качестве, весе, размере, цвете, а также о состоянии здоровья плодов и информацию о времени и месте сбора. Уникальность системы заключается в возможности передачи данных в реальном времени на устройства фермеров, что позволяет им контролировать процесс сбора и мониторить содержимое каждого бункера. Таким образом, аграрии могут отслеживать общий вес фруктов, их размеры, вес, степень зрелости и многое другое.

Следовательно, требуется дальнейшее совершенствование и создание новых отечественных технических средств для сбора и перевозки яблок, что поспособствует увеличению производительности труда, улучшению качества и снижению себестоимости производимой продукции.

1.4 Анализ зависимости повреждений яблок от их физико-механических характеристик и качества внутрихозяйственных перевозок

Известно, что в процессе сбора, укладки в упаковку и транспортировки яблок часто возникают механические повреждения, которые могут привести к ухудшению качества продукции. На иллюстрации 1.19 изображены основные причины подобных повреждений плодов. Рассмотрим некоторые из них.

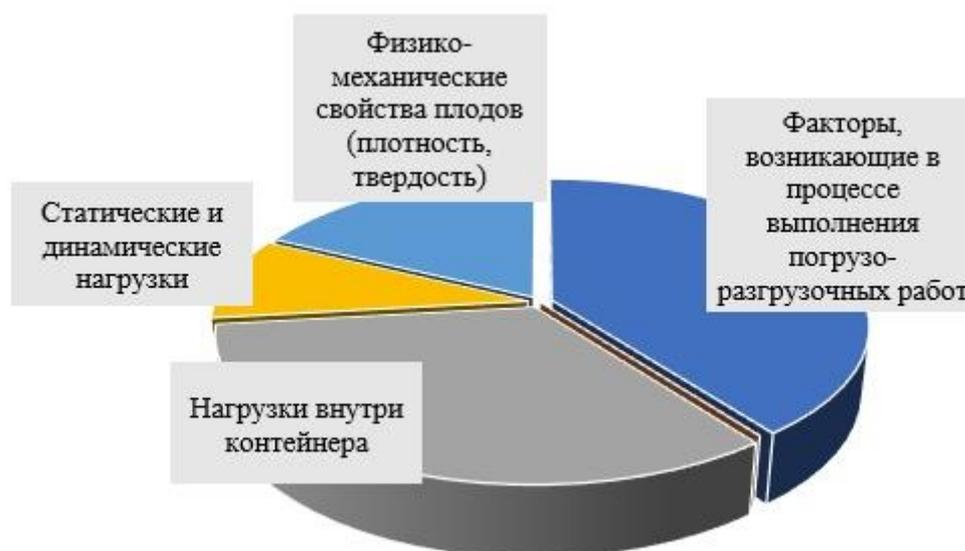


Рисунок 1.19 - Основные причины механических повреждений яблок

Во-первых, стоит отметить физико-механические характеристики яблок, среди которых особенно важными являются прочность, устойчивость к механическим воздействиям, твердость.

Во-вторых, яблоки обладают способностью сопротивляться статическим, динамическим и циклическим нагрузкам, возникающим во время транспортировки и зависящим, в основном, от упругости груза и площади контактной поверхности, объемной массы и других факторов.

В - третьих, внутри контейнера возникают также нагрузки на плоды, например, давление, испытываемое нижним слоем яблок от вышерасположенных слоев и т.п.

В-четвертых, факторы, возникающие при погрузочно-разгрузочных работах и зависящие от технологии их выполнения, типа тары, плотности укладки и других [43].

Существует несколько видов повреждений яблок, которые могут возникать в результате различных видов нагрузки: пробитие или разрыв кожицы возникают при сосредоточенной нагрузке, вмятины и побитости - при равномерно распределенной нагрузке, а усталостные микротрещины в клетках могут перейти в заметные повреждения при повторяющихся нагрузках (рисунок 1.20).



а - синяки, ушибы; б - ушиб с синяком диаметром более 2,5 см; в - порезы.

Рисунок 1.20 – Механические повреждения на плодах

В исследованиях, проведенных Э.Я. Якубовским, изучены предельные углы трения скольжения и трения качения яблок на деревянной, алюминиевой и резиновой поверхностях, представленные в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Предельные значения углов трения и качения яблок в зависимости от материала поверхности (по данным Э.Я. Якубовского)

Материал поверхности	Угол трения скольжения, град.	Угол трения качения, град.	
		По диаметру	По высоте
Дерево	12,5...22,5	2,6...8,1	13,2...21,3
Алюминий	21,2...30,5	2,9...8,9	13,9...22,8
Резина	23,3...33,6	4,4...10,3	15,9...24,3

Установлено, что коэффициент трения скольжения яблок по деревянной поверхности находится в диапазоне от 0,243 до 0,398, по стали - от 0,428 до 0,532, по пористой резине - от 0,377 до 0,688 [3,15,16,37].

К механическим свойствам плодов относят следующие: коэффициенты внешнего и внутреннего трения, угол наклона, угол укладки, масса плодов, их размеры, сопротивление сдвигу и другие.

Исследования, проведенные И.А. Юхиным, показали, «что плоды становятся менее упругими при увеличении амплитуды и числа циклов соударений. Это приводит к увеличению пластической деформации, которая вызывает разрушение клеток плода и способствует его загниванию» [3,15,16,25].

В процессе исследований нами была выявлена закономерность между площадями повреждения плодов и параметрами транспортировки (частотой и амплитудой), определяемая по формуле:

$$S = k A^a n^b, \quad (1.6)$$

где S – площадь повреждений плода, см²;

k - коэффициент пропорциональности;

A - амплитуда колебаний, мм;

n - количество соударений, цикл;

a, b - показатели степеней.

В таблице 1.5 представлены допустимые показатели статической нагрузки некоторых сортов яблок, кинетической энергии их соударения, полученные в результате исследований А.В. Четвертакова.

Таблица 1.5 – Допустимые значения статической нагрузки, кинетической энергии их соударения

Сорт	Допустимая статическая нагрузка на плод (сжатие), Н		Допустимая кинетическая энергия соударения, 10^{-2} Дж	
	Плод - плод	Плод - жесткая поверхность (стальная пластина)	Плод - плод	Плод - жесткая поверхность (стальная пластина)
Антоновка обыкновенная	50	55	9,2	10,2
Пепин шафранный	50	55	7,6	8,6

Также установлено, что начальное сопротивление сдвигу увеличивается при плотной укладке яблок, а углы внутреннего трения насыпи не зависят от размеров плодов и, а также от величины, возникающих нормальных и касательных напряжений [43].

Как известно, одной из особенностей внутрихозяйственных перевозок являются сложные дорожные условия. В процессе транспортировки кузов и находящиеся в нем контейнеры с грузом могут быть подвержены колебаниям ускорения, которых могут достигать $3g$. Эти колебания приводят к повреждению яблок, снижению работоспособности транспортного средства. На рисунке 1.21 рассмотрены факторы, оказывающая влияние на повреждения плодов при транспортировке, а также предложены варианты их уменьшения [16,25,27,70].

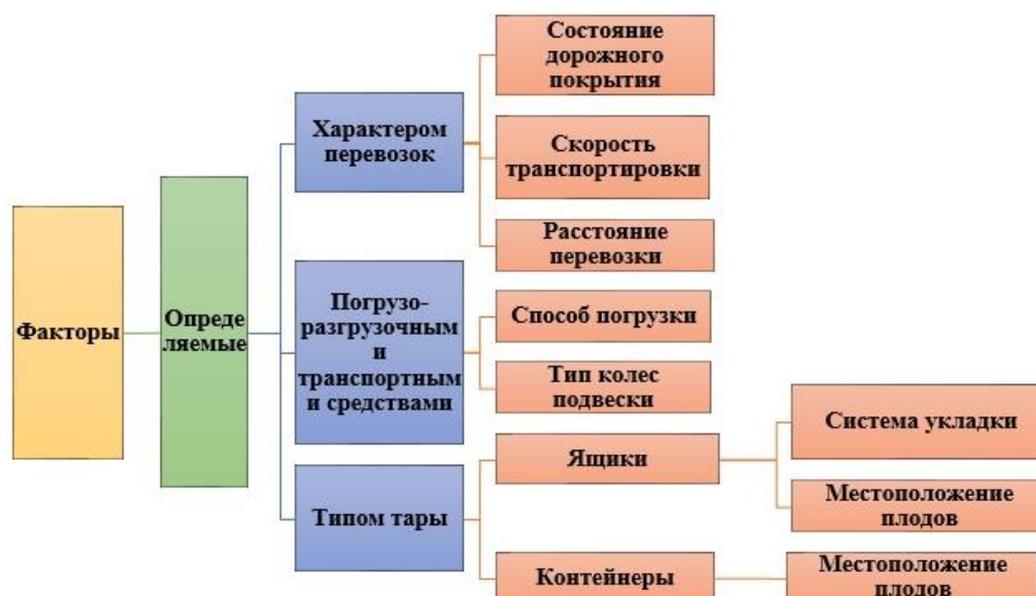


Рисунок 1.21 - Классификация факторов, оказывающих влияние на повреждения яблок при транспортировке

На рисунке 1.22 приведена схема сохранности яблок в процессе уборки урожая с учетом внешних факторов [27].

Время и качество транспортировки яблок в значительной степени зависят от состояния ТС и технологии сбора урожая. Важно обеспечить сохранность продукции в процессе сбора. Применение новых эффективных инновационных технологий транспортировки поможет решить проблемы, связанные с сбором, перевозкой и сохранением качества яблок. Главная цель - соответствие используемой упаковки требованиям безопасности и качества продукции.



Рисунок 1.22 – Повреждения плодоовощной продукции во время уборки урожая

Контейнеры для перевозки яблок должны быть прочными, без запахов и вредных микроорганизмов, со стандартизированным уровнем влажности и чистоты [27,61]. Внутренние поверхности контейнеров должны быть ровными, без дефектов (острые и нешлифованные кромки, заусенцы, сколы и др.). Металлические части контейнеров не должны иметь признаков коррозии и ржавчины. Для облегчения транспортировки и фиксации яблок на нижней части контейнера или поддона должны присутствовать соответствующие устройства. Механизмы закрытия контейнера должны легко пломбироваться и обеспечивать

надежность перевозочной колонны (штабеля). После уборки урожая необходимо произвести сортировку плодов по размеру и качеству, отделить поврежденные и недозревшие экземпляры. Качественные плоды следует разделить на группы в соответствии с требованиями стандарта [15,27,62]. Калибровку яблок можно осуществлять как автоматически, так и вручную. Ручная калибровка требует субъективной оценки специалистами с большим опытом и внимательностью. Механическая калибровка выполняется на специальном сортировочном оборудовании, обеспечивающем минимальную погрешность, но с возможностью повреждения яблок (рисунок 1.23).



Рисунок 1.23- Сортировка и калибровка яблок ручным и механическим способом

Известно, что яблоки - продукт, который быстро портится, поэтому для его сохранения необходимо соблюдать определенные условия транспортировки и хранения. Правила перевозки фруктов в России позволяют использовать различные виды транспорта. Качество перевозимых яблок зависит от различных факторов, таких как вид транспорта, температура перевозки, и т.д. [28,61,70].

Для эффективной транспортировки яблок в контейнерах необходимо правильно распределить их в транспортном средстве, чтобы обеспечить хорошую циркуляцию воздуха. Контейнеры следует устанавливать в прямых или шахматном порядке на расстоянии 6,0 -10,0 см от стен, соблюдая оптимальную высоту штабеля 1,5-2,5 метра для удобства укладки ящиков [76,77,78,79,80,81].

Одним из определяющих указаний Правительства РФ, стоит вопрос о необходимости круглогодичного обеспечения населения России свежими

фруктами и овощами. Для сохранения свежести фруктов важно учитывать различные биологические и технические аспекты, которые влияют на их долговечность [76,77,78,79,80,81].

Биогенные факторы, такие как нормативный срок хранения и условия выращивания, оказывают влияние на качество яблок. Нормативный срок хранения определяет период, в течение которого яблоки сохраняют свои свойства. Выбор конкретного сорта является ключевым фактором для определения НСХ. Яблоки делятся на сорта с долгим, средним и коротким сроком хранения. Поэтому современный потребитель ориентирован на продукцию, которая сочетает в себе качество и доступность. Соблюдение всех норм и правил при сборе, сортировке, упаковке и транспортировке играет важную роль в увеличении прибыли от продажи яблок, что, в свою очередь, влияет на их стоимость.

1.5 Выводы по первой главе

Анализ факторов, влияющих на транспортировку яблок, показывает, что возникновение потерь яблок при внутрихозяйственных перевозках (ВП) обусловлено: видом применяемой тары для транспортировки; технологическими особенностями процесса сборки урожая, погрузки и разгрузки; видом применяемых ТС, воздействием вибрации при движении на перевозимые яблоки и т.д. Однако необходимо рассмотреть особенности этого воздействия на повреждения яблок при транспортировке, т.е. оценить качество применяемой тары.

Рассмотрен ряд исследований, посвященных влиянию статических, динамических и циклических нагрузок на плоды, однако, необходимы поиск и исследования путей снижения воздействия этих нагрузок на повреждения плодов при транспортировке в таре.

Установлено, что наиболее перспективным решением, позволяющим минимизировать повреждения яблок при контейнерной транспортировке,

является использование нового обоснованного решения конструкции контейнера с применением демпфирующих материалов, минимизирующего повреждения яблок при транспортировке.

В результате полученных выводов сформированы цель, задачи исследований, а также определены объект и предмет работы.

Цель исследований - снижение повреждений яблок при транспортировке в АПК.

Задачи исследований:

1. Провести анализ существующей тары для транспортировки яблок, проведенных исследований в этой области.

2. Теоретически исследовать факторы, оказывающие влияние на повреждения яблок при контейнерной транспортировке, провести их математическую формализацию.

3. Теоретически обосновать параметры контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке.

4. Разработать методики экспериментальных исследований, позволяющие оценить эффективность теоретически обоснованных параметров контейнера, минимизирующего повреждения яблок при транспортировке.

5. Оценить экономическую эффективность предложенного решения.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАКТОРОВ, СПОСОБНЫХ ОКАЗЫВАТЬ ВЛИЯНИЕ НА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЯБЛОК ПРИ КОНТЕЙНЕРНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКЕ

2.1 Теоретические предпосылки к обоснованию транспортировки яблок в ящиках и контейнерах

После анализа хозяйств Рязанской области, таких как ООО «Авангард» Рязанского района, ИП «Айюбова» С.А. Старожиловского района и ООО «ТМ Агро» Михайловского района, было установлено, что в 2023 году они собрали более 3,3 тыс. тонн яблок (что в 2,2 раза выше прошлогоднего).

На примере садоводческого хозяйства «ООО Авангард» рассмотрена технология сбора яблок с укладкой в контейнеры для снижения повреждений груза и транспортировкой до склада, прослежена эффективность ее применения.

При выборе тары для перевозки яблок учитывают ее качество, способность препятствовать трению плодов и смягчать удары при толчках. Обычно для этих целей использовали стружку, специальную бумагу. При укладке плодов учитывают технологию укладки: внизу должны располагаться самые твёрдые, а сверху – более мягкие плоды.

Важной задачей, как показал анализ, является защита плодов от ударов. Для решения этой проблемы установлены определенные ограничения скоростного режима ограничение скоростного режима: для магистралей регионального значения ограничение скоростного режима составляет 60,0 км/ч; для федеральных трасс - 90,0 км/ч. Следовательно, при проезде дорожных участков со сложными дорожными условиями необходимо устанавливать дополнительные ограничения скорости при их пересечении [41].

Как оказалось, плотность укладки слоев яблок не может гарантировать полную сохранность плодов. Причиной этому является наличие различного вида колебаний.

В настоящее время с целью снижения повреждений применяют различные

типы гасителей колебаний. Примером служат ремни из прорезиненной ткани, расположенные с прогибом между противоположными краями контейнера [41]. Таким образом необходима конструкция контейнера, способная снизить воздействия колебаний на плоды, находящиеся внутри.

2.2 Исследование напряженного состояния перевозимых яблок с учетом демпфирующего устройства контейнера

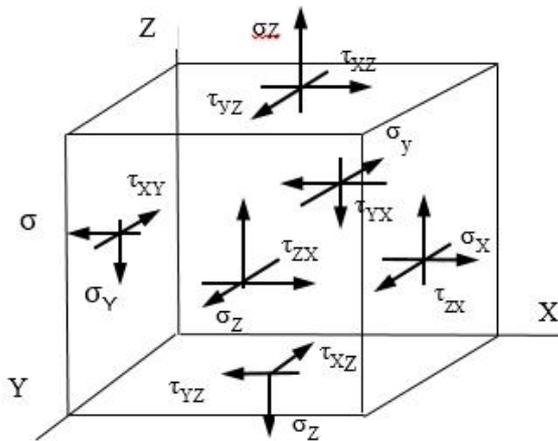
С целью увеличения качества транспортируемой продукции было разработано обоснованное решение конструкции контейнера с применением демпфирующих материалов, снижающего повреждения яблок при транспортировке (далее – экспериментальный контейнер).

Экспериментальный контейнер представляет собой емкость, состоящую из пластин, выполненных из дерева и соединенных между собой посредством петель, обеспечивающих движение боковых стенок на их осях, а на противоположных боковых стенках установлены фиксаторы, состоящие из двух частей, так, что одна часть, закрепленная на внешней поверхности одной боковой стенки, соединяется с другой частью, установленной на внешней поверхности соседней боковой стенки, образуя неподвижное соединение при фиксации обеих частей друг относительно друга. Емкость, заполненная яблоками, может испытывать деформации под воздействием внешних и внутренних нагрузок.

Для изучения процесса повреждения перевозимого продукта в экспериментальном контейнере, рассмотрим напряженное состояние, действующее на взаимно-перпендикулярных площадках малого объема элементарного параллелепипеда [23].

Принимаем перевозимый продукт, как сплошную сыпучую массу. Данное предположение позволит применить стандартную теорию упругости, согласно которой на элементарные площадки выделенного объема параллелепипеда действует девять компонентов напряжений: три нормальных вдоль осей X , Y , Z и шесть касательных, направленных параллельно двум взаимно

перпендикулярным осям. На рисунке 2.1 представлена расчетная схема экспериментального контейнера для транспортировки яблок с компонентами действующих напряжений на элементарных площадках [13,69].



$\sigma_z, \sigma_x, \sigma_y$ - нормальные напряжения, МПа;

$\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{zy}$ - касательные напряжения, МПа.

Рисунок 2.1 – Компоненты, действующих напряжений на элементарных площадках

Совокупность напряжений на трех взаимно-перпендикулярных площадках позволит определить напряженное состояние яблок, которое можно охарактеризовать тензором напряжений:

$$T_H = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} \quad (2.1)$$

Рассмотрим значение каждого напряжения с учетом действующих поверхностных сил материала:

Плоскость ZXY:

$$\sigma_z = \frac{F_z}{S_z}, \quad \tau_{xz} = f\sigma_z, \quad \tau_{yz} = f\sigma_z, \quad (2.2)$$

где F_z - вертикальная составляющая возмущающей силы, Н;

S_z - площадь воздействия поверхностной силы F_z , m^2 ;

f - коэффициент трения между контактными поверхностями древесины, находящийся в пределах 0,25 - 0,40.

Плоскость XZY:

$$\sigma_x = \frac{F_x}{S_x}, \tau_{zx} = f\sigma_x, \tau_{yx} = f\sigma_x, \quad (2.3)$$

где F_x - вертикальная составляющая возмущающей силы, Н;

S_x - площадь воздействия поверхностной силы F_x , m^2 ;

f - коэффициент трения между контактными поверхностями (2.2).

Плоскость YZX:

$$\sigma_y = \frac{F_y}{S_y}, \tau_{xy} = f\sigma_y, \tau_{zy} = f\sigma_y, \quad (2.4)$$

где F_y - вертикальная составляющая возмущающей силы, Н;

S_y - площадь воздействия поверхностной силы F_y , m^2 ;

f - коэффициент трения между контактными поверхностями (2.2).

Определим значения действующих усилий на контактирующих площадках параллелепипеда. В экспериментальном контейнере установлены демпфирующие устройства, которые вызывают в процессе перемещения контейнера вибрацию. Эту вибрацию можно описать общим дифференциальным уравнением вынужденных колебаний системы, без учета свободных колебаний, затухающих со временем [13]. Решение общего дифференциального уравнения позволит получить перемещения контейнера в вертикальной, горизонтальной и боковой плоскости, а также остальные кинематические параметры системы.

Для определения действующих усилий, требуется определить ускорения движения экспериментального контейнера в соответствующих плоскостях. Согласно исследованиям, для определения действующих усилий можно использовать круговые колебания, возникающие в виброплощадке с закрепленным на ней экспериментальным контейнером с грузом яблок [62]. Необходимо отметить, что действующая возмущающая сила, при этих испытаниях, постоянна по величине и непрерывно меняющая свое направление.

Как известно, в определенный бесконечно малый промежуток времени возмущающую силу можно разложить на соответствующие плоскости и получить необходимые ускорения:

$$\begin{aligned} a_z &= -A_B \omega^2 \cos(\omega t + \alpha) \\ a_x &= -A_B \omega^2 \sin(\omega t + \alpha), \\ a_y &= -A_B \omega^2 \sin(\omega t + \alpha) \end{aligned} \quad (2.5)$$

где A_B - амплитуда вертикальных колебаний, м;

ω - частота вынужденных колебаний, 1/с;

α - угол сдвига между внешней силой и вынужденными колебаниями.

Определим частоту вынужденных колебаний по формуле:

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}, \quad (2.6)$$

где c – коэффициент жесткости демпфера, Н/м;

m – колеблющаяся масса, кг.

Тогда, с учетом действующего собственного веса продукта, определим значения, действующих усилий на контактирующих площадках параллелепипеда:

$$\begin{aligned} F_z &= mA_B \omega^2 \cos(\omega t + \alpha) - mg \\ F_x &= mA_B \omega^2 \sin(\omega t + \alpha) \\ F_y &= mA_B \omega^2 \sin(\omega t + \alpha) \end{aligned}, \quad (2.7)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения.

Соответственно, получим значения напряжений:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \frac{mA_B \omega^2 \cos(\omega t + \alpha)}{S_z} - \gamma z \\ \sigma_x &= \frac{mA_B \omega^2 \sin(\omega t + \alpha)}{S_x} \\ \sigma_y &= \frac{mA_B \omega^2 \sin(\omega t + \alpha)}{S_y} \end{aligned}, \quad (2.8)$$

где γ - удельный вес продукта Н/м^3 ;

z – высота насыпи яблок, м.

$$\begin{aligned}
\tau_{xz} &= f \left(\frac{mA_B \omega^2 \cos(\omega t + \alpha)}{S_z} - \gamma z \right) \\
\tau_{yz} &= f \left(\frac{mA_B \omega^2 \cos(\omega t + \alpha)}{S_z} - \gamma z \right) \\
\tau_{zx} &= f \frac{mA_B \omega^2 \sin(\omega t + \alpha)}{S_x} \\
\tau_{yx} &= f \frac{mA_B \omega^2 \sin(\omega t + \alpha)}{S_x} \\
\tau_{xy} &= f \frac{mA_B \omega^2 \sin(\omega t + \alpha)}{S_y} \\
\tau_{zy} &= f \frac{mA_B \omega^2 \sin(\omega t + \alpha)}{S_y}
\end{aligned} \quad , \quad (2.9)$$

С учетом перевозимого продукта и характера заполнения экспериментального контейнера действительный тензор необходимо умножить на коэффициент заполнения $k_{\text{зап}}$.

Преобразуем тензор напряжений с учетом свойств матрицы (2.1) равенства контактных поверхностей $S = S_z = S_x = S_y$ и установившегося движения $\alpha = 0$.

$$T_H = k_{\text{зап}} \frac{m\omega^2 \cos(\omega t)}{S} \begin{vmatrix} A_B tg(\omega t) & f A_B tg(\omega t) & f \left(A_B - \frac{gz}{H\omega^2 \cos(\omega t)} \right) \\ f A_B tg(\omega t) & A_B tg(\omega t) & f \left(A_B - \frac{gz}{H\omega^2 \cos(\omega t)} \right) \\ f A_B tg(\omega t) & f A_B tg(\omega t) & A_B - \frac{gz}{H\omega^2 \cos(\omega t)} \end{vmatrix} \quad (2.10)$$

Преобразуем матрицу (2.10) с учетом уравнения (2.6):

$$T_H = k_{\text{зап}} \frac{c \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right)}{S} \begin{vmatrix} A_B tg\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f A_B tg\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f \left(A_B - \frac{mgz}{cH \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right)} \right) \\ f A_B tg\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & A_B tg\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f \left(A_B - \frac{mgz}{Hc \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right)} \right) \\ f A_B tg\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f A_B tg\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & A_B - \frac{mgz}{Hc \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right)} \end{vmatrix} \quad (2.11)$$

Анализируя матрицу (2.11), можно получить напряженное состояние:

- на поверхности экспериментального контейнера (верх слоя яблок):

$$T_{\text{H}}^{\text{Верх}} = k_{\text{зап}} \frac{c \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right)}{s} \begin{vmatrix} A_B \text{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f A_B \text{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f A_B \\ f A_B \text{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & A_B \text{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f A_B \\ f A_B \text{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f A_B \text{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & A_B \end{vmatrix} \quad (2.12)$$

- на дне экспериментального контейнера (нижний слой яблок):

$$T_{\text{H}}^{\text{Низ}} = k_{\text{зап}} \frac{c \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right)}{s} \begin{vmatrix} A_B \text{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f A_B \text{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f \left(A_B - \frac{mg}{c \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right)} \right) \\ f A_B \text{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & A_B \text{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f \left(A_B - \frac{mg}{c \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right)} \right) \\ f A_B \text{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f A_B \text{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & A_B - \frac{mg}{c \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right)} \end{vmatrix} \quad (2.13)$$

В итоге получим, что напряженное состояние перевозимого груза находится в зависимости от характера заполнения экспериментального контейнера, коэффициента трения между его стенками и яблоками, а также трением между контактными поверхностями плодов, амплитуды вынужденных колебаний и жесткости демпфера.

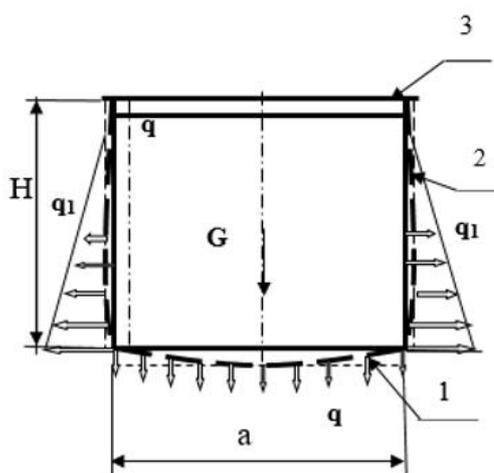
2.3 Расчет основания (днища) экспериментального контейнера, минимизирующего повреждение яблок при транспортировке

Для нормального функционирования контейнера нежелательна излишняя деформация в его элементах, следовательно, необходимо теоретически обосновать его конструктивные параметры.

При анализе экспериментального контейнера, выполненного из дерева, мы учитываем, что формула Эйлера применима при гибкости свыше 50%. Это допущение подтверждено специальными экспериментами, в которых проводилось сжатие стенок деревянных ящиков. При гибкости выше 50% теоретическая кривая Эйлера дает немного завышенные значения критического напряжения для относительно жестких элементов ($50 < \lambda < 75$). Однако, потеря устойчивости в этой области происходит в пределах упругости, и, после снятия

кратковременной нагрузки, элементы возвращаются к прямолинейной форме [27,16]. Ящики с двумя поясами конструкции отличаются от простых ящиков с продольным расположением дощечек степенью заделки их концов.

Принимаем расчетную схему экспериментального контейнера в виде тонкостенной оболочки, имеющей жесткое основание, заполненного яблоками и находящегося под воздействием внешних сил. При расчете будем использовать расчетную схему, представленную на рисунке 2.2.



q, q_1 – горизонтальная и, соответственно, боковая распределенная реакция от веса яблок; G – вес яблок; 1 – днище экспериментального контейнера; 2, 3 – стенки и, соответственно, крышка экспериментального контейнера

Рисунок 2.2 - Расчетная схема экспериментального контейнера, наполненного яблоками

Рассчитаем толщину днища экспериментального контейнера, используя теорию изгиба с прямоугольным очертанием по контуру тонкостенных пластин.

С целью проведения расчета рассмотрим днище экспериментального контейнера в виде тонкостенной прямоугольной деревянной пластины, имеющей одинаковые размеры по осям X, Y и заземленной по контуру (рисунок 2.3).

При расчете должно выполняться условие:

$$W = \frac{\partial W}{\partial x} = \frac{\partial W}{\partial y} = 0, \quad (2.14)$$

где W – прогиб пластины, определяемый с использованием дифференциального уравнения изогнутой средней поверхности пластины (Софи Жермен), мм.

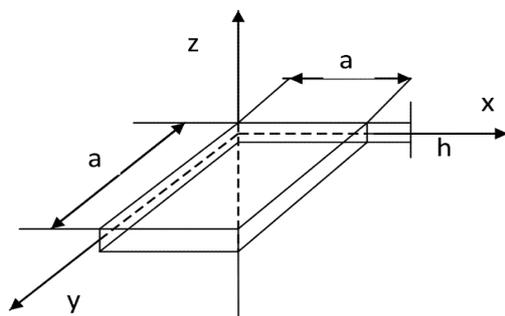


Рисунок 2.3 – Расчетная схема днища экспериментального контейнера

Рассмотрим два предположения:

- дно экспериментального контейнера равномерно нагружено яблоками;
- с целью удовлетворения краевых условий, предположим, что по краям пластины отсутствуют прогибы, и как, следствие, изгибающие моменты.

Как известно, «прочность при статическом изгибе древесины достаточно высока, она примерно в 1,8 раза превышает прочность при сжатии вдоль волокон и составляет около 70% прочности при растяжении. Поэтому, деревянные конструкции (балки, настилы и т.п.) чаще всего работают на изгиб. Немаловажным является факт, что дерево стойко к концентрации напряжений ввиду наличия внутренних поверхностей раздела между волокнами» [13].

Для того, чтобы определить внутренних силовые воздействия необходимо совместно решить уравнения изгибающих моментов M_x , M_y , M_{xy} :

$$\begin{aligned}
 M_x &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x z dz = -D \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right), \\
 M_y &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y z dz = -D \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right), \\
 M_{xy} &= \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} z dz = -D(1 - \mu) \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y},
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

где σ_x , σ_y - нормальные напряжения по осям X и Y (МПа);

$\tau_{x,y}$ - касательные напряжения по осям X и Y (МПа);

μ - коэффициент Пуассона при усиллии, направленном вдоль волокон, $\mu = 0,5$ (для древесины);

D – жесткость деревянной опластины, определяемая по формуле:

$$D = \frac{Eh^4}{12(1-\mu^2)}, \quad (2.16)$$

где E – модуль упругости, находящийся в пределах от 11000 до 14000 МПа;

h - толщина деревянной пластины днища экспериментального контейнера, мм.

Выполняя необходимые преобразования, решим уравнения изогнутой средней поверхности пластины с учетом формулы (2.15):

$$\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} = \nabla \nabla W = \frac{q}{D}. \quad (2.17)$$

Используя граничные условия и имея одинаковые закрепления относительно оси Y , определим, что прогиб является функцией абсциссы X . В результате, можно описать упругую поверхность пластины уравнением:

$$\frac{\partial^4 W}{\partial X^4} = \frac{q}{D} = \frac{12(1-\mu^2)}{Eh^4} q. \quad (2.18)$$

В целях упрощения вычислений представим решение дифференциального уравнения методом начальных параметров., как решение дифференциального уравнения изогнутой оси простой балки, жестко заземленной с двух сторон с учетом принципа независимости действия сил.

В результате, получим уравнения расчета прогиба днища экспериментального контейнера:

$$W(x) = W_1(x) + W_2(x), \quad (2.19)$$

где $W_1(x)$ - прогиб от реакции сжатия яблок;

$W_2(x)$ - прогиб от веса яблок;

$$W_1(x) = \frac{q}{12D} + \left(\frac{a^2 x^2}{2} - ax^3 + \frac{x^4}{2} \right), \quad (2.20)$$

$$W_2(x) = \frac{G}{2D} + \left(\frac{ax^2}{8} - \frac{x^3}{6} + \frac{\left(x - \frac{a}{2}\right)^3}{6} \right) = \frac{G}{4D} \left(\frac{ax^2}{4} - \frac{x^3}{3} + \frac{\left(x - \frac{a}{2}\right)^3}{3} \right), \quad (2.21)$$

$$G = V \cdot \gamma \cdot g, \quad (2.22)$$

где G – вес яблок в контейнере, кг;

V – объем экспериментального контейнера, м³;

γ – плотность яблок в контейнере, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

Складываем производные функций $W_1(x)$ и $W_2(x)$ в уравнениях (2.20, 2.21), и, получим вторую производную прогиба:

$$\frac{\partial^2 W_1}{\partial^2 x} = \frac{q}{12D} (a^2 - 6ax + 6x^2), \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial^2 W_2}{\partial^2 x} = -\frac{Ga}{8D}, \quad (2.24)$$

$$\frac{\partial^2 W}{\partial^2 x^2} = \frac{\partial^2 W_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_2}{\partial x^2} = \frac{q}{12D} (a^2 - 6ax + 6x^2) - \frac{Ga}{8D}. \quad (2.25)$$

Для дальнейших вычислений используем закон Гука для плоской задачи и зададим граничные условия закрепления: $M_{xy} = 0$, $\partial w / \partial y = \partial w / \partial x = 0$.

Проведя необходимые вычисления получим уравнения напряжений, действующие в днище экспериментального контейнера:

$$\sigma_x = -\frac{EZ}{1-\mu^2} \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}, \quad (2.26)$$

$$\sigma_y = -\frac{EZ}{1-\mu^2} \mu \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}. \quad (2.27)$$

Определив максимальное значение второй производной прогиба, получим значения максимальных напряжений, возникающих в днище экспериментального контейнера, и выполнив, необходимые преобразования, получим выражения максимальных напряжений с учетом жесткости пластины:

$$\sigma_{x \max} = \frac{Ea^4}{1536 D^2 (1 - \mu^2)} \cdot \left[\frac{qa}{2} + G \right] \cdot \left[\frac{qa}{3} + G \right], \quad (2.28)$$

$$\sigma_{y \max} = \frac{3a^4 (1 - \mu^2)}{32 Eh^8} \mu \left[\frac{qa}{2} + G \right] \cdot \left[\frac{qa}{3} + G \right]. \quad (2.29)$$

Предыдущие вычисления показывают, что в рассчитываемой пластине действует плоское напряженное состояние. Учитывая моментную теорию упругих оболочек (пластин) определим эквивалентные расчетные «напряжения Мизеса»:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_{x \max}^2 + \sigma_{y \max}^2 - \sigma_{x \max} \cdot \sigma_{y \max} + 3\tau_{xy \max}^2}. \quad (2.30)$$

Так как $\tau_{xy} = 0$; $M_{xy} = 0$; имеем:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_{x \max}^2 + \sigma_{y \max}^2 - \sigma_{x \max} \cdot \sigma_{y \max}}. \quad (2.31)$$

С учетом ранее полученных формул (2.30, 2.31) получим:

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{3a^4 (1 - \mu^2)}{32 Eh^8} \cdot \left[\frac{qa}{2} + G \right] \cdot \left[\frac{qa}{3} + G \right] \sqrt{1 + \mu^2 - \mu}. \quad (2.32)$$

Рассмотрим формулу условия прочности пластины:

$$\sigma_{\text{экв}} \leq \gamma_c R \leq \gamma_c \frac{R_B}{\gamma_m}, \quad (2.33)$$

где $R = R_{fp}^A$ – расчетное сопротивление, МПа;

R_B - предел прочности пластины, МПа;

γ_c - коэффициент условий работы, находящийся в пределах от 0,9-1,0;

γ_m - коэффициент надежности работы по материалу, равный 1,1.

Согласно условию прочности имеем выражение:

$$\frac{k \left[\frac{qa}{2} + G \right] + \left[\frac{qa}{3} + G \right]}{h^8} (1 - \mu^2) \sqrt{1 + \mu^2 - \mu} \leq \gamma_c \frac{R_B}{\gamma_m}. \quad (2.34)$$

Отсюда получим толщину основания днища:

$$h \geq \sqrt[8]{\frac{k \left[\frac{qa}{2} + G \right] + \left[\frac{qa}{3} + G \right] (1 - \mu^2) \sqrt{(1 + \mu^2 - \mu)} \cdot \gamma_m}{R_B \gamma_c}} \quad (2.35)$$

Выполним необходимые преобразования с учетом формулы (2.22), получим формулу для определения днища экспериментального контейнера, мм:

$$h \geq \sqrt[8]{\frac{k \left[\frac{qa}{2} + V\gamma g \right] \cdot \left[\frac{qa}{3} + V\gamma g \right] (1 - \mu^2) \sqrt{(1 + \mu^2 - \mu)} \cdot \gamma_m}{R_B \gamma_c}} \quad (2.36)$$

Таким образом, выполнив теоретический расчет, определили напряженно-деформированное состояние экспериментального контейнера от воздействия статических и динамических воздействий, а также получили формулу для определения толщины его днища (Приложение 7).

Проанализируем выполненный теоретический расчет с проведением дополнительного расчета напряженно-деформированного состояния днища экспериментального контейнера от статических и динамических воздействий с использованием программного комплекса, работа которого основана на методе конечных элементов «Structure CAD».

Перед выполнением расчета зададимся необходимыми начальными параметрами конечно-элементной расчетной схемы: элементам схемы задали жесткость, определили типы конечных элементов, установили необходимые связи в узлах, задали напряжения вдоль заданного направления для пластин и загрузки.

На рисунке 2.4 представлены результаты выполненного расчета: суммарные деформации (мм) днища экспериментального контейнера, поля напряжений МХ (Тм/м), поля напряжений МУ (Тм/м).

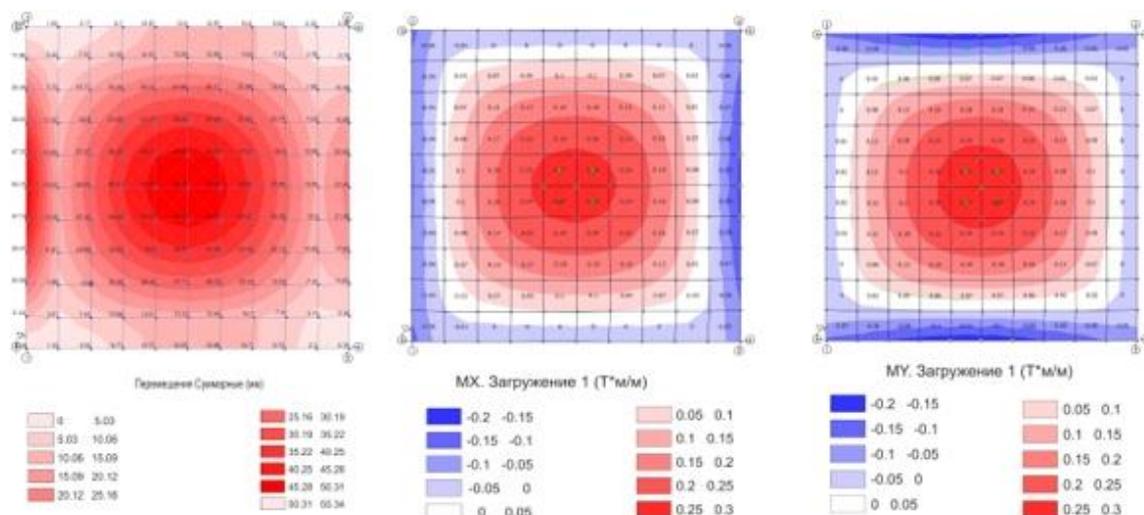


Рисунок 2.4 – Суммарные деформации (мм) днища экспериментального контейнера, поля напряжений МХ (Тм/м), поля напряжений МУ (Тм/м)

Протоколы расчета в ПК «Structure CAD» представлены в приложении 7.

Таким образом, выполнив теоретический расчет и продублировав его с использованием программного комплекса для более точного анализа результатов, определили напряженно-деформированное состояния экспериментального контейнера от воздействия статических и динамических воздействий, получили формулу для определения толщины днища экспериментального контейнера.

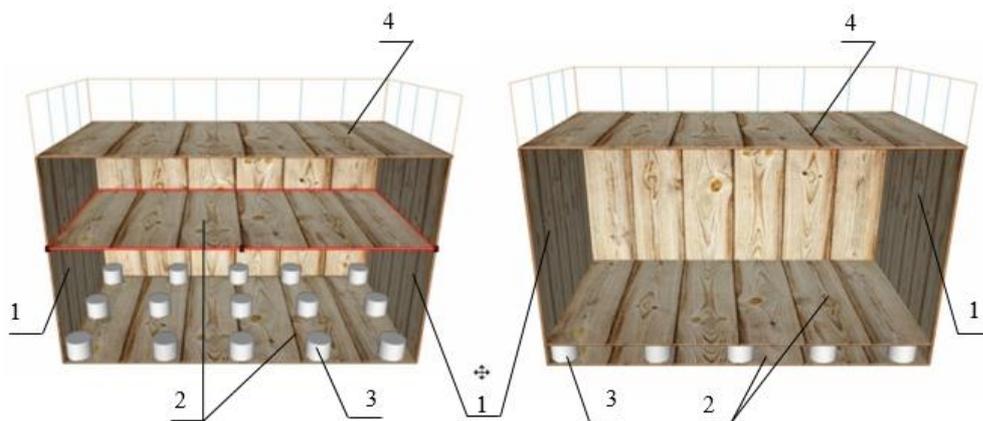
2.4 Конструктивно-технологическая схема контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке

В Рязанском агротехнологическом университете разработана конструкция контейнера, снижающая повреждения яблок при транспортировке (далее экспериментальный контейнер).

Разработанный экспериментальный контейнер, относится к сельскому хозяйству, а именно к устройствам для хранения и транспортировки яблок с целью уменьшения их потерь при транспортировке.

На рисунке 2.5 изображен экспериментальный контейнер, на рисунке 2.6 – конструктивно-технологическая схема.

Конструкция экспериментального контейнера включает: боковые стенки (1), усовершенствованные полиэтиленовыми амортизаторами с жесткостными полиуретановыми демпферами; днище, состоящее из двух элементов (2), расположенных на расстоянии друг от друга, и способных перемещаться в вертикальном направлении, способными к самостоятельному восстановлению формы. Днище экспериментального контейнера (2) необходимо для обеспечения пространственной жесткости амортизатора (3). Боковые стенки усовершенствованы нанесением на них двухслойного вспенено-полиэтиленового покрытия с пенопропиленовыми амортизаторами (3) (рисунок 2.6). Также для крепления стенок и днища друг к другу используют регулируемые крепления и фиксаторы (поз. 4, 5 рисунок 2.6).

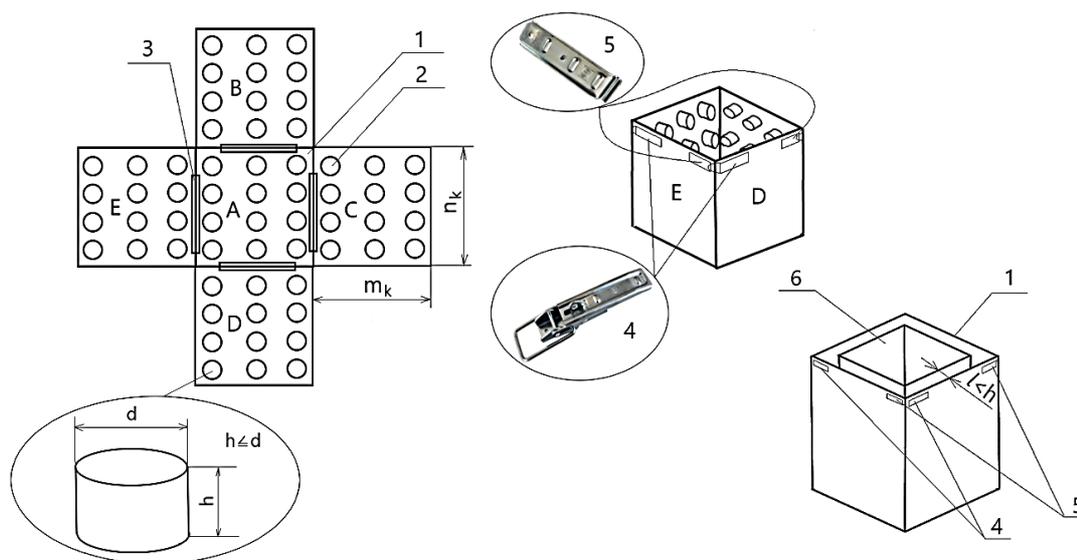


1 - боковые стенки; 2 - днище, состоящее из двух элементов; 3 - амортизаторы из вспененного полиэтилена с внутренним каркасом из полиуретана; 4 – крышка;

Рисунок 2.5 – Общий вид экспериментального контейнера

В результате того, что двойное днище выступает в роли амортизирующей платформы внутри экспериментального контейнера, поглощающей внешние колебания, а усовершенствованные стенки и крышка сокращают поверхностные повреждения за счет своей мягко-эластичной амортизируемой структуры, мы получили положительный эффект от разработанной конструкции экспериментального контейнера, который заключается в снижении повреждений яблок, их теплообмена.

На рисунке 2.6 представлена схема экспериментального контейнера перед началом испытаний, которые проводим в следующей последовательности.



1 – сборный контейнер (А – дно; В, С, D, Е – боковые стенки); 2 – упругие элементы; 3 – петли; 4, 5 – фиксатор боковой стенки; 6 – ящик.

Рисунок 2.6 – Схема экспериментального контейнера

До начала проведения эксперимента подготавливаем конструкцию экспериментального контейнера (1), устанавливая на его днище (А), ящик с яблоками, вертикальные стенки контейнера, при этом, занимают горизонтальное положение. Далее поворотом «боковых стенок (В, С, D, E) на петлях (3) их приводят в вертикальное положение и соединяют фиксаторы (4), закрепленные на внешней поверхности боковых стенок (В, С, D, E) попарно с частями (5), находящимися на внешних поверхностях соседних боковых стенок. После чего фиксаторы стягивают друг с другом, образуя неподвижное соединение. Поскольку высота (h) упругих элементов (2) больше, чем расстояние (l) между соответствующими стенками (В, С, D, E) сборного экспериментального контейнера (1) в собранном состоянии, стенки (В, С, D, E) находятся в вертикальном положении» [6]. Стенки находятся в неподвижном состоянии друг относительно друга и стенками ящика с яблоками, что обеспечивает упругое закрепление ящика внутри сборного экспериментального контейнера (1) при фиксации частей (4, 5). Выполнение упругих элементов (2) с высотой (h) меньше их диаметра (d), позволяет избежать их существенного отклонения от продольных осей, следствием чего могло бы быть «заваливание» одной из сторон внутри контейнера (1) и прекращение выполнения функций демпфирования колебаний. При разгрузке фиксаторы (4, 5) разъединяются и стенки (В, С, D, E) сборного экспериментального контейнера (1), с размещенными на них упругими элементами (2), вращаясь на осях петель (3), занимают горизонтальное положение, после чего ящик с яблоками (6) извлекается.

Использование разработанной конструкции экспериментального контейнера позволяет реализовать способ транспортировки яблок с уменьшением % их повреждения.

2.5 Имитационное моделирование при оптимизации параметров, определяющих плавность хода автомобиля

В последние десятилетия значительно усилилась роль информационных технологий в управлении техническими, сельскохозяйственными и

экономическими системами. При значительной вариантности решений, необходимо использовать методы апробации не на реальных объектах и процессах, а на их аналогах или, так называемых, моделях. В процессе этого исследования появляется возможность создать математическую модель объекта, при работе с которой можно оценить все погрешности проводимого исследования, внести изменения в процесс и получить оптимальный окончательный результат. Имитационная модель – математическое описание объекта, необходимое для дальнейшего исследования. При использовании имитационного моделирования появляется возможность имитировать действие объекта в течение определенного времени, внося корректировки в процесс.

Имитационное моделирование в России получило начало в конце 1960г. публикацией трудов Н.П. Бусленко. Значимы опубликованные труды в этой области профессора Б.В. Анисимова, профессора В.Я. Петрова, доцентов П.Н. Шкатова и В.М. Черненко.

В рамках данного исследования используем имитационное моделирование для исследования параметров, определяющих плавность хода транспортного средства при перевозке яблок.

Как известно, плавность хода грузового автомобиля – его способность передвигаться с малыми колебаниями в различных условиях и, при этом иметь возможность доставить перевозимую продукцию к месту назначения без повреждений. Однако, при взаимодействии с неровностями проселочных дорог, дорожных покрытий, мостовых сооружений, колеса и кузов автомобиля, как и находящийся в кузове груз, совершают колебательные движения, которые, оказывают влияние на эксплуатационные показатели. В результате, снижается скорость автомобиля, возрастает износ шин и расход топлива. Все это приводит к увеличению затрат на техническое обслуживание. Таким образом, плавность хода является одним из важнейших эксплуатационных показателей ТС и определяется амплитудой и частотой колебаний.

При движении в диапазоне частот от 1,0 до 8,0 герц используют зависимость допустимой амплитуды колебаний от частоты [13, 23]:

$$A_0 = \frac{P + \sqrt{P^2 + 2 \cdot \omega^2 \cdot H^2}}{\omega^2}, \quad (2.37)$$

где ω — частота колебаний ТС, Гц;

P – эмпирический коэффициент характеристики допустимых значений скорости колебаний, м/с, находящийся в пределах 5,03 - 5,22;

H — эмпирический коэффициент характеристики допустимых значений ускорения колебаний, м/с², находящийся в пределах 0,3 - 1,42 [41,65]

2.6 Выводы по второй главе

1 Теоретическое исследование факторов, способных оказывать влияние на повреждения яблок при контейнерной транспортировке показало, что наиболее представительными из них являются колебательные нагрузки, особенно при относительно невысоких значениях ускорения.

2 Проведено исследование напряженного состояния яблок с учетом демпфирующего устройства контейнера, минимизирующего повреждения яблок при транспортировке (далее экспериментального контейнера), в результате которого получили, что напряженное состояние перевозимых яблок находится в зависимости от характера заполнения экспериментального контейнера, коэффициента трения между его стенками и яблоками, а также трения между контактными поверхностями плодов между собой, амплитуды вынужденных колебаний и жесткости демпфера:

- на поверхности экспериментального контейнера (верх слоя яблок) (2.10);
- на дне экспериментального контейнера (нижний слой яблок) (2.11).

Выполнили расчет требуемой толщины днища разработанной конструкции экспериментального контейнера (2.36).

Впервые предложено исследовать при расчетах возможности программного комплекса «SCAD Office» и др.

3 Разработана конструктивно-технологическая схема экспериментального контейнера. В результате того, что двойное дно экспериментального контейнера выступает в роли амортизирующей платформы, поглощая внешние колебания, а

усовершенствованные стенки и крышка сокращают поверхностные повреждения за счет своей мягко-эластичной амортизируемой структуры, мы получили положительный эффект от разработанного устройства, который заключается в снижении повреждения плодов, их теплообмена.

4 Теоретически обосновано, что использование экспериментального контейнера с демпфирующей поверхностью позволяет уменьшить повреждения яблок при транспортировке, что подтверждается результатами лабораторных исследований и производственного эксперимента.

ГЛАВА 3 МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРА, СНИЖАЮЩЕГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ЯБЛОК ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ

Основная задача, которую было необходимо решить при проведении экспериментальных исследований состояла в необходимости проверки правильности выводов, сделанных в результате теоретического анализа, а также определении влияния различных режимов вибрации на повреждения яблок при транспортировке в обычном стандартном ящике [12] и в предлагаемой конструкции контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке (далее экспериментального контейнера).

3.1 Программа и методика проведения экспериментальных исследований

Представим в главе программу и методику экспериментальных исследований, нацеленных на проверку результатов, полученных при теоретическом анализе предложенной модели экспериментального контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке:

1 Определение технических возможностей разработанной экспериментальной установки вибрационного стенда, имитирующего реальные процессы движения ТС;

2 Проведение лабораторных испытаний по определению процента сохранения яблок при транспортировке в экспериментальном контейнере при воздействии различных параметров вибрации;

3 Проведение органолептических исследований яблок с целью определения показателей их качества;

4 Изучение воздействие характеристик микрорельефа местности, а также параметров вибрации на повреждения плодов в обычном и в экспериментальном контейнерах при движении ТС.

Для обоснования параметров и режимов работы экспериментального контейнера, были определены характеристики нескольких сортов яблок, выращенных в садоводческом комплексе ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области:

- яблоки сорта «Орлик» – плоды средней величины, массой около 100г, имеющие округлую форму и маслянистую, блестящую кожицу с плотным восковым налетом. Сорт неприхотлив к уходу, влажности, освещенности и качеству грунтов (рисунок 3.1, а).

- яблоки сорта «Богатырь» — плоды округлые, среднего размера, светло-зеленого цвета, отличаются приятным кисло-сладким вкусом и выраженным ароматом. С обладает хорошим вкусом, высоким стабильным урожаем (рисунок 3.1, б).



а - яблоки сорта «Орлик»; б - яблоки сорта «Богатырь».

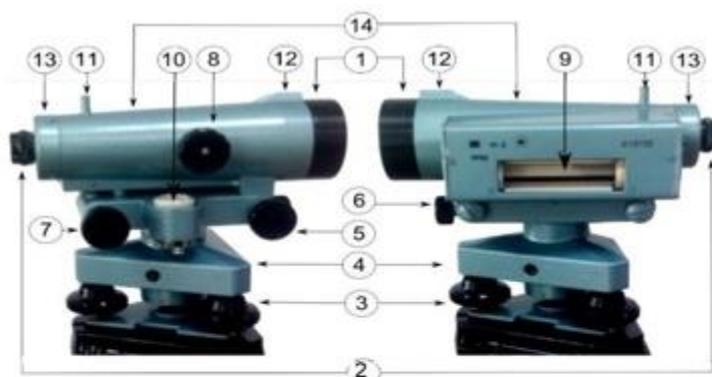
Рисунок 3.1 – Яблоки, выращенные в ООО «Авангард» Рязанской области

Ввиду того, что разные сорта яблок могут быть подвержены повреждениям в разной мере, в зависимости от своих физико-механических характеристик, было принято решения ограничиться одним сортом яблок для проведения имитационных опытов на лабораторной установке с целью получения более достоверных результатов. Таким образом, решено использовать сорт «Орлик», обладающий ярко-выраженными прочностными характеристиками и неприхотливостью к погодным изменениям.

3.2 Экспериментальная установка и регистрирующее оборудование

Для выполнения экспериментальных исследований, проводимых в лабораторных и в производственных условиях, было принято лабораторное оборудование, в том числе регистрирующее и средства механизации их проведения. Для проведения первого этапа исследований по отбору яблок использовали: электронные весы «Adventurer ONAUS» с погрешностью взвешивания 0,005кг; весы платформенные электронные РП-100Ш13У.

Для исследования процесса транспортировки с грузом, находящимся в экспериментальных контейнерах, в качестве средства передвижения было принято транспортное средство (ТС) (трактор «Belarus-82.1») с тракторным прицепом, перемещающим груз от места сбора яблок по дороге, имеющей неровности, до склада. Величину неровностей дорожного покрытия (микропрофиль) определяли с помощью линейки, с ценой деления 1,0 мм, слесарной рулетки, аналогичной точности и нивелира марки «Н-3» (рисунок 3.2).



1 – объектив; 2 – окуляр; 3 – подъемный уровень; 4 – подставка; 5 – наводящий винт; 6 – закрепительный винт; 7 – элевационный винт; 8 – кремальера; 9 – цилиндрический уровень; 10 – круглый уровень (служит для приведения нивелира в горизонтальное положение, под ним находятся юстировочные винты); 11 – прицел; 12 – мушка; 13 – окулярное колено (под ним находятся юстировочные винты сетки нитей); 14 – зрительная труба

Рисунок 3.2 – Устройство нивелира «Н-3»

Величину продольной и поперечной вибрации груза в экспериментальных контейнерах фиксировали измерителем вибрации (виброметром) «МЕГЕОН 09631» (рисунок 3.3, а), технические характеристики которого представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики виброметра «МЕГЕОН 09631»

Параметр	Значение
Датчик вибрации	Пьезоэлектрический
Диапазон измерения виброускорения	0,1...199,9 м/с ² максимум
Диапазон измерения виброскорости	0,1...199,9 мм/с
Диапазон измерения амплитуды колебаний	0,001...1,999 мм (в диапазоне 0...199,9 м/с ²)
Точность измерения	±(5%+2е.м.р.*)
Частотный диапазон измерения виброускорения	10,0 Гц..1,0 кГц (НЧ), 1,0 кГц..-15,0 кГц
Частотный диапазон измерения виброскорости	10 Гц ... 1,0 кГц (НЧ)
Частотный диапазон измерения амплитуды	10 Гц ... 1,0 кГц (НЧ)
Габаритные размеры прибора	70x35x150мм
Габаритные размеры датчика	36x28x135мм

Для измерения частоты вращения вала двигателя (об/мин) использовали лазерный, цифровой тахометр «DT-2234С» (рисунок 3.3, б).



а - измеритель вибрации (виброметр) «МЕГЕОН 09631», б- лазерный, цифровой тахометр «DT-2234С»

Рисунок 3.3 - Измеритель вибрации (виброметр) «МЕГЕОН 09631», лазерный, цифровой тахометр «DT-2234С»

Основные технические характеристики тахометра «DT-2234С» представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Основные технические характеристики тахометра «DT-2234С»

Параметр	Значение
Диапазон измерения, об/мин	2,5-99999
Разрешение, об/мин	0,1 об/мин при 2,5 ~ 999,9 об/мин; 1 об/мин при 1000 ~ 99999 об/мин
Расстояние измерения, мм	50,0 ~ 500,0
Точность, мм	± 0.02% + 1 цифра

В процессе проведения эксперимента нами был использован тахометр «МТЗ 26.3813» для регистрации количества оборотов движка ТС.

Время засекали, используя лабораторный секундомер.

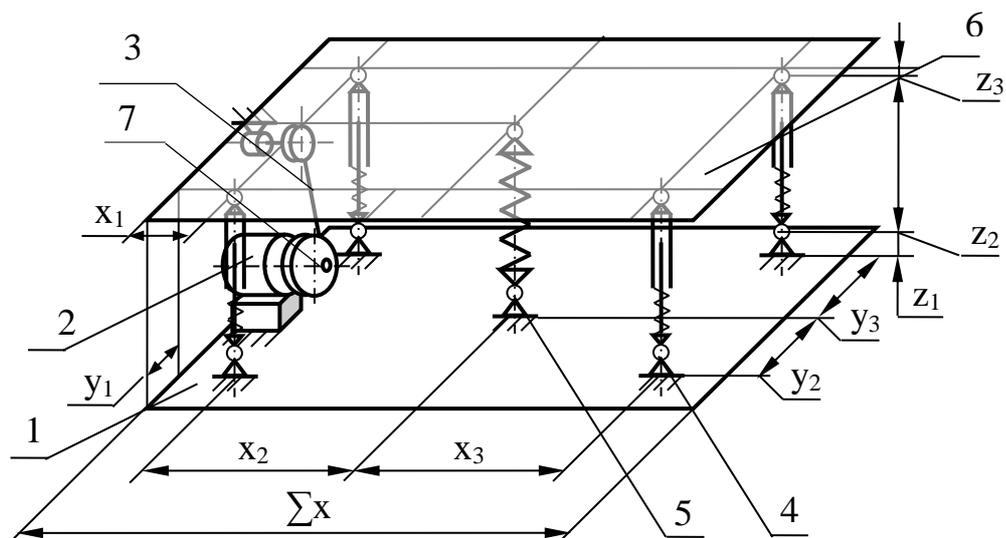
Для проведения исследований была создана экспериментальная установка, которая представляет собой вибрационный стенд, имитирующий вертикальные колебания ТС с грузом во время движения по пересеченной местности и предназначенный для проведения испытаний экспериментального контейнера на устойчивость к вибрациям, и позволяющий проводить испытания в условиях воздействия широкополосной случайной и синусоидальной вибрации.

Исследования воздействия вибрации на повреждение плодов проводились на испытательной вибрационной установке методом имитационного эксперимента. Принципиальная схема установки представлена на рисунке 3.4.

«Вибростенд состоит из основания (1), на котором установлены приводной электродвигатель переменного тока мощностью 1,5 кВт (2), с регулятором числа оборотов, шарнира и качающегося рычага (штока) (3), соединенного с виброплощадкой (6) посредством шарнира. Виброплощадка (6) имеет размеры, соответствующие наружным размерам днища экспериментального контейнера с грузом яблок (на схеме условно не показан) и служит для передачи колебаний экспериментальному контейнеру с яблоками» [6].

На «направляющих пружинах (4) вибростенда закреплена рама виброплощадки (6), предназначенная для установки испытуемого груза. Направляющие пружины (4), установленные между виброплощадкой (6) и основанием (1), служат для в качестве имитации рессоры ТС» [6].

«Разработанная конструкция вибростенда имеет бортовые ограничители (на схеме условно не показаны), имитирующие кузов ТС, и, предназначенные для фиксации груза. Сферическая возвратная пружина (5), установленная между виброплощадкой (6) и основанием (1), служит для ограничения амплитуды движения виброплощадки (6). На валу электродвигателя (2) установлен эксцентрик (7) с регулятором амплитуды движения штока (3), связанный с виброплощадкой (6)» [6].



1 – основание вибростенда; 2 – электродвигатель; 3 – шток; 4 – направляющие пружины; 5 – сферическая возвратная пружина; 6 – виброплощадка; 7 - эксцентрик с регулятором амплитуды движения штока.

Рисунок 3.4 – Принципиальная схема вибрационного стенда для динамического испытания экспериментального контейнера

Технические характеристики вибростенда представлены в таблице 3.3.

«Экспериментальная установка вибростенда позволяет реализовывать весь диапазон транспортной вибрации (частоты колебаний от 0 до 50,0 Гц, амплитуды колебаний от 0,3 до 10,0 мм); обеспечивать плавное изменение частоты и амплитуды колебаний и при необходимости выдержку на заданном режиме колебаний» [6].

Таблица 3.3 - Основные технические характеристики вибростенда

Параметр	Значение
1	2
Грузоподъемность, кг	0,2- 20,0
Мощность электродвигателя, кВт	1,5
Частота вращения двигателя (с регулятором), об/мин (Гц)	120,0-1200,0 (2,0-20,0)
Механические крепления	Вертикально направленные
Частота колебаний площадки, Гц	2,0 – 1500,0
Амплитуда колебаний площадки, мм	0,3 – 5,0
Максимальное ускорение при синусоидальной вибрации, g	100

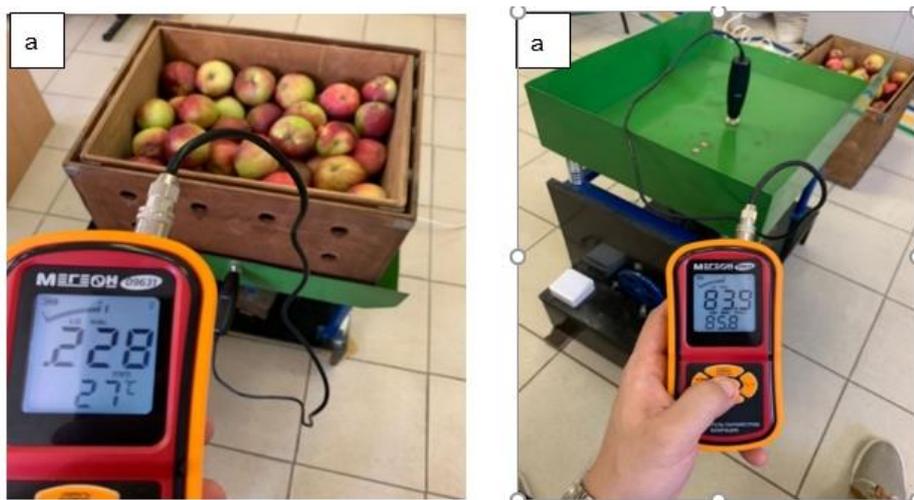
Амплитуда и частота колебаний виброплощадки, виброскорость и виброускорение определяются посредством портативного виброметра «МЕГЕОН 09631», имеющего возможность для определения амплитуды низкочастотных и высокочастотных колебаний.

Последовательность выполнения испытаний экспериментального и обычного контейнеров на вибростенде следующая.

Загружаем на вибростенд экспериментальный контейнер с яблоками. Приводим в движение вибростенд, запустив электродвигатель (2); регулятором оборотов устанавливаем определенную скорость вращения электродвигателя, имитируя скорость автомобиля, а также частоту вращения эксцентрика (7), примерно 500 об/мин. Частоту вращения эксцентрика определяем с помощью портативного виброметра «МЕГЕОН 09631». Пуск электродвигателя при нулевом значении амплитуды уменьшает пусковой ток.

При изменении параметров крутящего момента электродвигателя (2) можно имитировать: увеличение и уменьшение скорости движения ТС по ровной дороге, по грунтовой дороге. Таким образом появляется возможность получить значения вертикальных и горизонтальных колебаний экспериментального контейнера с грузом в зависимости от различных факторов.

Общий вид вибрационного стенда при проведении динамического испытания экспериментального контейнера представлен на рисунке 3.5.



а – экспериментальная установка вибростенда при выполнении испытания; б - общий вид экспериментальной установки вибростенда

Рисунок 3.5 – Общий вид вибрационного стенда для динамического испытания экспериментального контейнера

Исследование проводили с изменением амплитуды колебаний от 5,0мм до 35мм с шагом 10 мм, а также с изменением частоты работы двигателя от 1,0 до 5,0 Гц. Для первого этапа моделирования установили частоту вращения вала двигателя равную 1,0 Гц, амплитуду колебаний 5,0мм (таблица 3.4).

Таблица 3.4 - Параметры проведения испытаний на вибростенде

Амплитуда колебаний платформы вибростенда, мм	Частота колебаний платформы вибростенда, Гц	Скорость движения платформы вибростенда, м/с	Время воздействия, с
5,0 – 35,0	1,0 – 5,0	3,0	0 - 3000

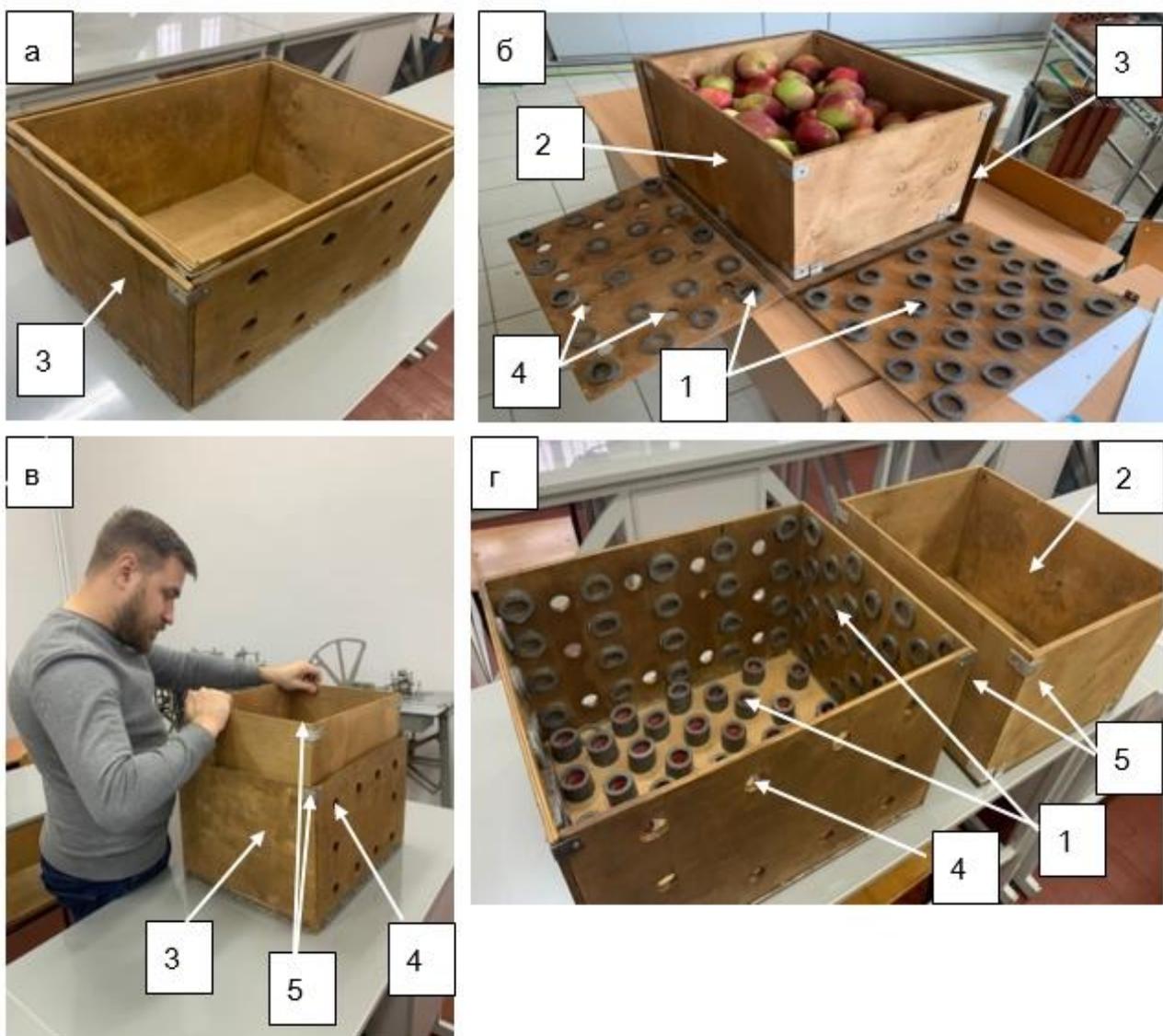
Для сравнительного анализа при проведении исследований использовали стандартную деревянную тару, находящуюся в эксплуатации в настоящее время в агропромышленном комплексе Рязанской области с размерами 475x285x245мм [35]. В таблице 3.5 приведены параметры стандартной тары и экспериментального контейнера.

Таблица 3.5 – Параметры тары для перевозки яблок

Параметры	Стандартная тара – ящик деревянный тип 2 ГОСТ17812-75	Экспериментальный контейнер
Масса общая (брутто), кг	18,45 - 21,25	9,20 - 22,20
Масса яблок (нетто), кг	15,2 - 18,0	15,0 - 18,0
Полезный объем, м ³	0,033	0,033
Вес ящика, контейнера, кг	3,25	4,20
Габаритные размеры, мм:		
длина	475	470
ширина	285	280
высота	245	250

Конструкция экспериментального контейнера приведена на рисунке (рисунок 3.7).

Таким образом, изготовленный вибростенд позволил имитировать полный спектр вибрации транспортного средства. Воспроизводимые частоты от 0 до 50,0 Гц и амплитуды колебаний от 0,3 до 10,0 мм. Стенд обеспечен возможностью регулирования выдаваемой частоты и амплитуды колебаний.



а – экспериментальный контейнер с демпфирующей внутренней поверхностью; б – экспериментальный контейнер в разобранном виде; в – сборка экспериментального контейнера в эксплуатируемое состояние; г – отдельные части экспериментального контейнера; 1 - упругие элементы (демпферы), 2 – деревянный ящик для яблок, 3 – контейнер, 4 – отверстия для поступления воздуха; 5 – соединительные элементы

Рисунок 3.7 – Общий вид экспериментальный контейнера с демпфирующей внутренней поверхностью

3.3 Методика исследования повреждения яблок при транспортировании в таре при воздействии параметров вибрации

3.3.1 Влияния колебательных движений автомобиля, неровностей дорожного покрытия на повреждения яблок, перевозимых в контейнерах

Как известно, колебательную систему автомобиля можно подразделить на

подрессоренную и неподрессоренную массы. К неподрессоренным элементам относят колеса в сборе, оси, так как их сила тяжести не передается через устройство подвески. В тоже время, к подрессоренным относят элементы, масса которых передается рессорам, кузов, рама автомобиля с находящимися на ней. Многочисленными исследованиями определено, что основное воздействие на плавность хода оказывают колебания кузова или поступательные перемещения в вертикальной плоскости, Z , и продольные угловые колебания. В тоже время, нельзя не обозначить воздействие на автомобиль других колебаний.

Горизонтальные поперечные и угловые колебания возникают из-за боковой упругости шин и влияют на устойчивость транспортного средства, его управляемость. Поперечные колебания кузова влияют на управляемость автомобиля, на его устойчивость при воздействии поперечных сил. Горизонтальные продольные колебания зависят от неровностей дорожного покрытия, они обусловлены горизонтальными составляющими реакции дороги.

В результате проведенных исследований мы выяснили, что одним из основополагающих факторов, оказывающих влияние на порчу яблок, являются вертикально ускоренные колебания кузова ТС.

Известны два типа колебаний – собственные и вынужденные. Собственные колебания зависят от массы автомобиля, его геометрических параметров и упругих характеристик. Вынужденные колебания появляются в результате взаимодействия ТС с неровностями дорожного покрытия и зависят от характеристики неровностей, скорости движения и параметров автомобиля. Следовательно, можно считать, что основными характеристиками вынужденных колебаний являются высота и количество неровностей на участке протяженностью 1,0м. Исходя из вышесказанного мы можем сделать вывод, что для перехода из первого товарного сорта во второй и нестандартный сорта требуется создание такого сочетания частоты амплитуды и виброускорения, при котором превышение одного из указанных параметров вызовет неотъемлемые повреждения плодов.

Можно предположить, что колебания, образующиеся при пересечении

разного типа местности с переменным микрорельефом, постоянно выводят ТС из устойчивого движения, что, в результате, может привести к появлению резонансных колебаний в кузове, а следовательно, и к увеличению повреждений плодов.

Исследования Беренштейна И. Б. доказывают, «что появление резонанса при движении по пересеченной местности происходит в безрессорном прицепе при скоростном режиме 13,0 км/ч, а в прицепе с рессорами 8,0 км/ч. При смене типа дороги на асфальтированную поверхность дорожного полотна появление резонанса будет наблюдаться в безрессорном прицепе при скорости около 10,0 км/ч, а в прицепе с рессорами около 5,0 км/ч» [24,62,65].

На рисунке 3.8 представлена статическая схема механических воздействий на груз, при которой автомобиль находится без движения.



Рисунок 3.8 – Статическая схема механических воздействий на груз при его транспортировке

На рисунке 3.9 представлена динамическая схема механических воздействий на груз при его транспортировке, при которой автомобиль находится в движении, на рисунке 3.10 - схема общего случая движения автомобиля с учетом воздействующих на него сил.

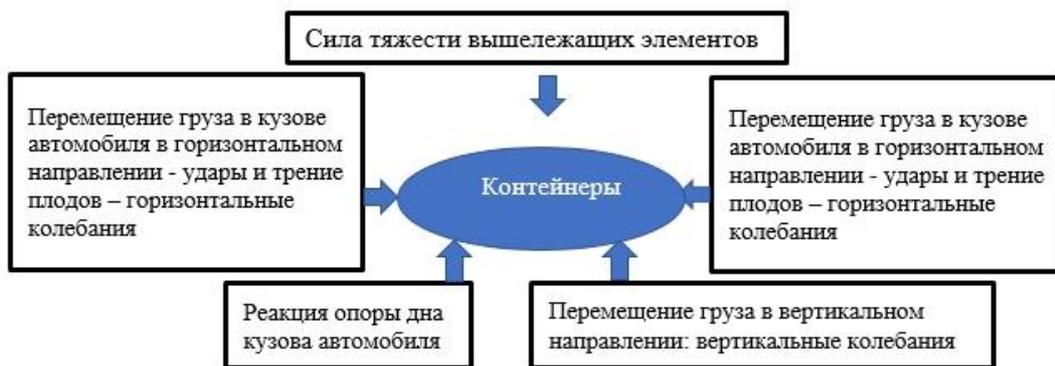


Рисунок 3.9 – Динамическая схема механических воздействий на яблоки при их транспортировке

При движении ТС по дороге возникают следующие воздействия (рисунок 3.10):

- силы, передаваемые на колеса, R_x (появляются в результате взаимодействием колес с неровностями дорожного покрытия);
- силы сопротивления воздуха, R_v (появляются в результате движения автомобиля в потоке движущегося воздуха (ветра));
- силы сопротивления разгону в виде приведенной силы инерции.

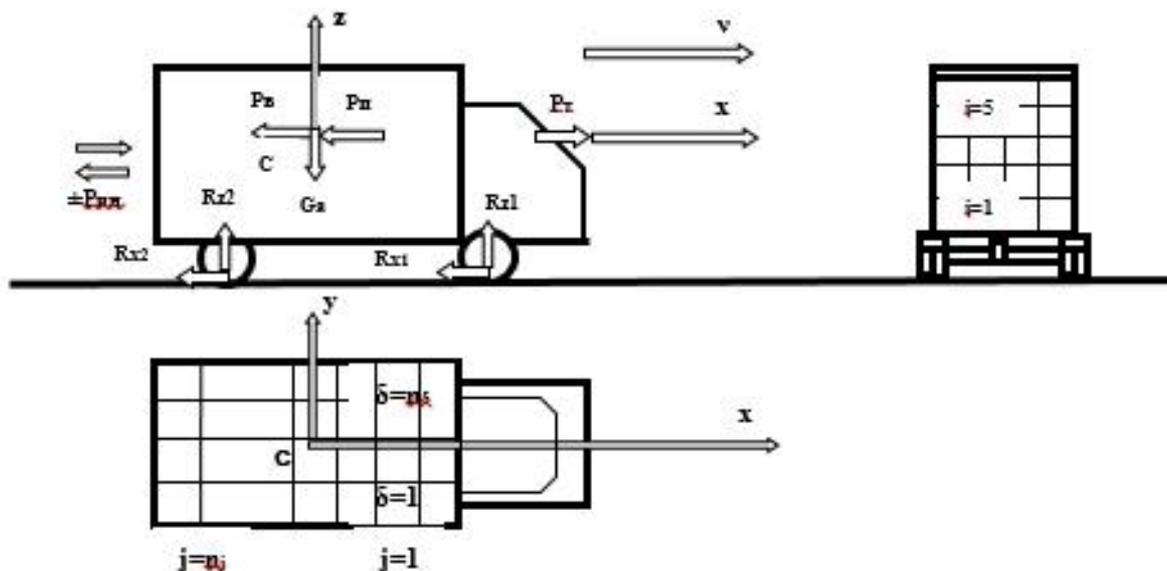


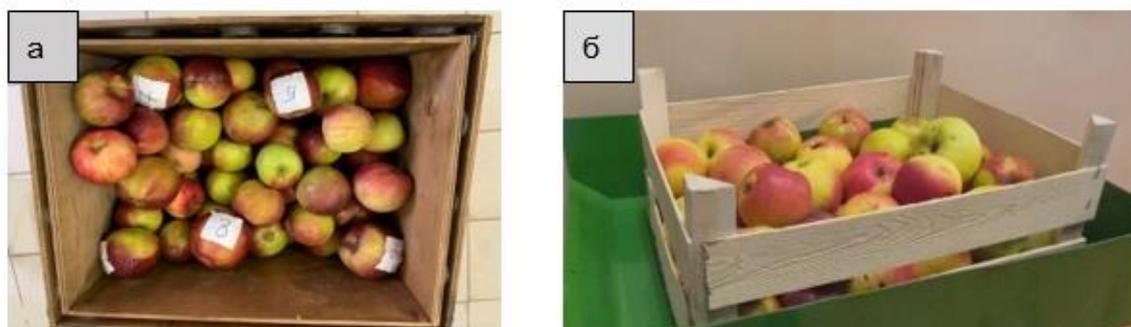
Рисунок 3.10 – Схема общего случая движения автомобиля с учетом воздействующих на него сил

После загрузки яблук ТС перевозит их, часто по пересеченной местности или дорогам, имеющим некачественное дорожное покрытие, что приводит к постоянным изменениям скорости и плавности движения автомобиля. В результате, возникают динамические воздействия на ТС с перевозимым грузом яблук, что влечет их повреждение. Следовательно, важной задачей является поиск эффективных способов уменьшения процента повреждения яблук, перевозимых ТС.

3.3.2 Методика исследования повреждения яблук от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний и времени проведения эксперимента

Изучение воздействия вибрации на яблоки занимались многие ученые [28],

как в России, так и за рубежом, однако, в рамках данного исследования представлен, разработанный в РГАТУ, экспериментальный контейнер. Для сравнительного анализа при проведении исследований использовали стандартную деревянную тару, тип [35] (рисунок 3.11).



а –экспериментальный контейнер; б –стандартная деревянная тара.

Рисунок 3.11 – Экспериментальный контейнер и стандартная деревянная тара с контрольными плодами

Для испытаний использовались яблоки сорта «Орлик», выращенные в ООО «Авангард» Рязанского Района Рязанской области, так как они являются менее чувствительными к механическим повреждениям (рисунок 3.1, а). Для исследования были отобраны репрезентативные образцы из партии свежесобранных яблок.

Проведена сравнительная органолептическая оценка их качества:

- внешний вид: плод свежий, без повреждений вредителями и болезнями, с плодоножкой, но без повреждения плода;
- вкус и запах: кисло-сладкий;
- степень зрелости: плод однородный, съемной степени зрелости;
- состояние мякоти: мякоть доброкачественная;
- дефекты: без повреждений.

На основании проведенной органолептической оценки качества яблок установили, что все исследуемые образцы отвечают требованиям [28,40].

Далее было произведено взвешивание образцов. С этой целью были использованы электронные весы «Adventurer ONAUS» с погрешностью взвешивания 0,005кг; весы платформенные электронные РП-100Ш13У, а также

точные электронные карманные весы МН-500, 500/0.1 г. для измерения массы каждого образца. Отмечали результаты взвешивания по каждому образцу.

Рассмотрим методику проведения исследования.

В стандартную тару заложили 50, в экспериментальный контейнер – 54 яблока. Исследование проводили с использованием вибростенда, имитирующего дорожные условия. Для определения амплитуды колебаний кузова ТС и ее частоты использовали портативный виброметр «МЕГЕОН 09631», для измерения частоты вращения электродвигателя - цифровой тахометр «DT-2234С».

На виброплощадку (6) вибростенда (рисунок 3.4), которая служит для передачи колебаний, устанавливали поочередно стандартную тару с яблоками или нагруженный экспериментальный контейнер с отмеченными плодами в количестве восьми штук. Вибростенд имеет бортовые ограничители, имитирующие кузов ТС, а также предназначенные для фиксации груза. Запустив электродвигатель переменного тока мощностью 1,5 кВт (2), установим нужные нам обороты, используя регулятор числа оборотов (штока) (3), соединенного с виброплощадкой (6) посредством шарнира. В процессе исследования меняем количество оборотов двигателя в сторону увеличения регулятором, выполняя, при этом, замеры показаний тахометром, а амплитуду с помощью портативного измерительного устройства виброметра «МЕГЕОН 09631». Параллельно, проводим анализ повреждения яблок, находящихся в экспериментальном контейнере, визуально и с взятием образцов, с целью определения % повреждения, после хранения.

После недельного хранения плоды извлекались из исследуемой тары (экспериментального и серийного контейнеров). Далее производилась оценка яблок визуальным методом, на предмет выраженных повреждений, и в дальнейшем был произведен органолептический анализ плодов [28]. Отмеченные плоды исследовали более детально, с целью уточнения величины деформаций, в течение последующих 24 - 48 суток со дня проведения испытания. «Как известно, при пластических деформациях, происходит разрушение клеток плода, в результате чего кислород, поступивший через ферменты в разрушенные клетки,

вызывает потемнение мякоти и появление гнилостных бактерий. При этом, к высшему товарному сорту относили плоды без механических повреждений, суммарная площадь нажимов на которых не превышает 1,0 см²; к первому сорту - суммарная площадь нажимов не более 2,0 см²; ко второму сорту – от 2,0 до 5,0 см²; к нестандарту – свыше 5,0 см²» [28,40].

Процентное число поврежденных плодов, то есть переход из первого товарного сорта во второй сорт и нестандарт по стандартной таре и по экспериментальному контейнеру, поочередно, определяем по формуле:

$$П = \frac{B_2 + B_{нс}}{B_k} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

где П – поврежденные плоды, %;

B_2 – количество плодов 2 сорта, шт.;

$B_{нс}$ – количество нестандартных плодов, шт.;

B_k – количество контрольных плодов, шт.

Процент сохранившихся плодов первого сорта тогда будет равен:

$$С = 100 - П, \quad (3.2)$$

где 100 – процент плодов 1 сорта в исходном материале.

По результатам исследования были построены графические зависимости процента повреждений яблок (г), находящихся в стандартной таре и в экспериментальном контейнере, в зависимости от частоты вращения двигателя 1,5 – 5,0 Гц, амплитуды колебаний (мм) и времени проведения эксперимента (мин). В результате исследования выполнен анализ тары, примененной при экспериментах, с учетом результатов проведенных опытов.

Результаты исследований представлены в главе 4, разделе подразделе 4.1.2 в таблицах 4.2 - 4.15, графические зависимости - на рисунках 4.5 - 4.14. Результаты исследований в стандартной таре и в экспериментальном контейнере, полученные в зависимости от частоты вращения двигателя 1,5, 4,0, 5,0 Гц, амплитуды колебаний (мм) и времени проведения эксперимента (мин) представлены в приложении Б, В, Г данной диссертации.

3.3.3 Методика определения влияния микрорельефа местности на параметры колебаний кузова при транспортировке в контейнерах

Существуют два вида колебаний: установившиеся и неустановившиеся. Первые появляются в результате наезда автомобиля на одиночные ямы, канавы и неровности разной высоты и диаметра. Вторые можно отследить при движении автомобиля по систематически повторяющимся неровностям (волновое пучение, стыки на бетонных плитах, сетчатое пучение, гребенка).

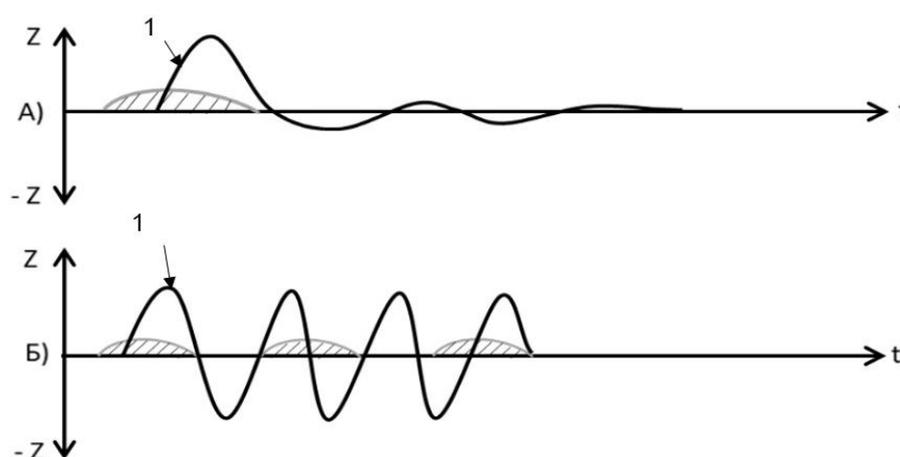
При движении автомобиля колебания кузова можно характеризовать следующими параметрами: амплитудой, частотой, виброскоростью, виброускорением, общей амплитудой и осевым смещением кузова. При увеличении скоростного режима движения транспортного средства вышеуказанные параметры пропорционально увеличиваются, исключением можно считать амплитуду. Аналогичную зависимость можно проследить и при увеличении дорожных неровностей, за исключением частоты. Таким образом состояние дорожного полотна оказывает прямое влияние на осевое отклонение кузова и колебания под рессорной массы автомобиля, и, следовательно, колебаний перевозимого груза.

Дополнительно, важно отметить, что неустановившиеся колебания могут значительно влиять на сохранность яблоч. Установившиеся колебания, в свою очередь, могут привести к ускоренному износу подвески и других компонентов автомобиля. Регулярный мониторинг и оценка ровности покрытия позволяют своевременно выявлять и устранять дефекты дорожного полотна, что способствует повышению безопасности дорожного движения. Внедрение современных технологий в дорожное строительство и ремонт может значительно улучшить качество покрытия и уменьшить влияние неровностей на колебания автомобиля.

Рассмотрим методику проведения эксперимента, которая включает рассмотрение следующих параметров: амплитуды, частоты, виброскорости, виброускорения, общая амплитуды и осевого смещения кузова.

Первым этапом проведения эксперимента является анализ автодорожного

полотна на предмет наличия разного вида повреждений и неровностей, которые оказывают непосредственное влияние на плавность движения автомобиля, и следовательно, количества повреждений яблок. Ровность покрытия измеряют суммой амплитуд колебания подпрессоренной массы или массы автомобиля при проезде неровностей на участке. Также важно учитывать влияние температуры и влажности на состояние яблок, так как эти факторы могут значительно изменять их устойчивость к механическим повреждениям. Результаты исследования могут быть использованы для разработки рекомендаций по оптимизации условий транспортировки, что позволит минимизировать потери и улучшить качество перевозимых фруктов. На рисунке 3.12 можно увидеть графические зависимости колебаний транспортного средства при взаимодействии подвески с поверхностью дорожного полотна.



а - неустановившиеся; б - установившиеся;

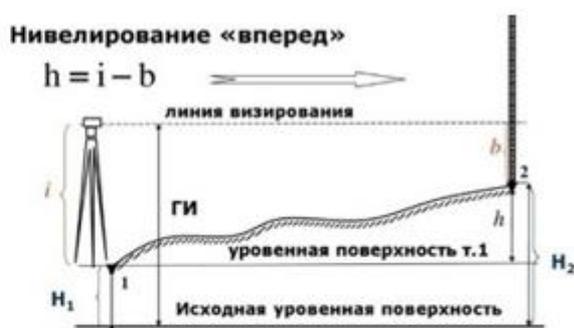
1 - неровность дороги; t - время

Рисунок 3.12 - Виды колебаний автомобиля при взаимодействии с дорогой.

Основными характеристиками микрорельефа являются: длина и высота неровности, оказывающие влияние на величину колебательных процессов, возникающих при движении ТС с грузом яблок.

Высоту неровности определяли с использованием геометрического нивелирования, при котором превышение между определенными точками, получают как разность отсчетов по рейкам при горизонтальном положении визирной оси нивелира. В ходе измерительных работ, нами было произведено

создание визуальной модели дорожной обстановки. С помощью специализированного оборудования (комплект оптический нивелир Н-3) были выполнены измерения превышения контрольных точек с средним интервалом равным 10 сантиметрам методом геометрического «нивелирования вперед». Первый этап работы включал настройку нивелира, оптический окуляр которого должен располагаться геометрически выше точки 1. Следующий этап включал определение высоты нивелира i , и, далее, визируя на рейку, отвесно установленную в точке 2, брали отсчет b , соответствующий расстоянию от низа рейки до горизонтального луча, задаваемого нивелиром (рисунок 3.13).



i - расстояние от поверхности земли до оси нивелира, м; b - расстояние от низа рейки до горизонтального луча, задаваемого нивелиром, м; h - превышение по высоте между точками 1 и 2, м; l - расстояние между точками 1 и 2, м.

Рисунок 3.13 – Геометрического «нивелирования вперед»

Для повышения точности измерений рекомендуется проводить несколько повторных замеров и усреднять полученные результаты. Важно также учитывать возможные погрешности, связанные с наклоном рейки или неправильной установкой нивелира. Эти меры помогут минимизировать ошибки и обеспечить более точное моделирование дорожной ситуации.

Следовательно, в процессе проведения испытаний, превышение по высоте между точками 1 и 2 определялось по формуле:

$$h = i - b, \quad (3.3)$$

где i - расстояние по отвесной линии визирного луча (центра окуляра зрительной трубы) до центра геодезического знака в данной точке;

b - отсчет.

При создании визуальной модели дорожной обстановки на 100 метровом участке грунтовой дороги были проведены эксперименты по измерениям высоты неровности с шагом 10,0 метров.

Методика проведения эксперимента следующая. Нивелир (модель Н-3) устанавливаем в 25,0 метрах от исследуемого участка и проводим его юстировку. Корректировка высоты прибора проводилась с помощью специализированной нивелировочной рейки (5). При проведении эксперимента измерительная рейка смещалась на 25,0 см четыре раза. Таким образом, были проведены 4 опыта с отметкой показаний прибора, и аналогично, были сняты показания высоты неровности дороги в поперечном направлении. Неровности измерялись с помощью тридцатисантиметровой масштабной линейки и рулетки. Были измерены как глубина неровности, так и их длина. Следующий участок дороги определен на расстоянии 10,0 м от предыдущего, и, измерения были выполнены в аналогичной последовательности. Таким образом, было произведено 40 опытов, результаты которых были занесены в таблицы (Приложение Д).

Для повышения точности измерений рекомендуется проводить несколько повторных замеров с целью получения усредненного результата. Важно также учитывать возможные погрешности, связанные с наклоном рейки или неправильной установкой нивелира. Эти меры помогут минимизировать ошибки и обеспечить более точное моделирование дорожной ситуации.

По полученным данным были рассчитаны средние показатели по следующей формуле:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n}, \quad (3.4)$$

где Z_i — измеренное значение неровности, м;

n — количество испытаний.

Расчетное значение Z_0 определялось следующим образом:

$$Z_0 = \frac{1}{2} \cdot Z \quad (3.5)$$

На четырех наиболее повреждённых участках, измерения проводились с пятикратной частотой. Размеры изъянов дорожного полотна измерялись при помощи слесарной рулетки.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}, \quad (3.6)$$

где S_i — текущее значение длины неровности, м.

Измерение проводилось на тех же участках дороги, где определялась глубина неровности. Повторность измерений также была пятикратной.

Расчетное значение уклона принималось согласно выражению:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i}{n}, \quad (3.7)$$

где β_i — текущее значение уклона поверхности, град.

По полученным данным с помощью табличного процессора «Microsoft Excel» были получены основные вероятностные характеристики микропрофиля. В дальнейших исследованиях полученные значения измерений дорожных условий смоделировали на лабораторной экспериментальной установке.

Результаты исследований представлены в главе 4, разделе 4.2 в таблицах 4.16 - 4.17, графические зависимости представлены на рисунках 4.15 и в Приложении Д.

3.4 Выводы по главе 3

В третьей главе разработаны программа, общие и частные методики экспериментальных исследований, позволяющие оценить эффективность теоретически обоснованной конструкции экспериментального контейнера.

Проведена оценка технических характеристик разработанной экспериментальной установки вибрационного стенда, имитирующего реальные процессы движения транспортного средства, перевозящего груз (ТС).

Изготовленный вибростенд позволил имитировать полный спектр вибрации транспортного средства. Воспроизводимые частоты от 0 до 50,0 Гц и амплитуды колебаний от 0,3 до 10,0 мм. Стенд обеспечен возможностью регулирования выдаваемой частоты и амплитуды колебаний.

На основе полученных данных, обработанных в табличном процессоре «Microsoft Excel», были выявлены ключевые вероятностные характеристики микропрофиля.

ГЛАВА 4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНТЕЙНЕРА, СНИЖАЮЩЕГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ЯБЛОК ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ

4.1 Результаты органолептического анализа исследования зависимости повреждения плодов при транспортировании в экспериментальном контейнере от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний и времени проведения эксперимента

4.1.1 Результаты органолептического анализа повреждения плодов после стендовых имитационных испытаний транспортирования яблок

В ходе экспериментального исследования были изучены повреждения плодов от влияния частоты вращения двигателя, амплитуды вертикальных колебаний с параметрами вибрации. Время вибрационного воздействия при всех исследуемых режимах находилось в пределах от 10 - 50 сек. Исследования проводили с использованием вибростенда при имитации движения ТС при перевозке груза в стандартной таре и в экспериментальном контейнере с внутренней демпфирующей поверхностью.

При визуальном осмотре определены следующие повреждения плодов: деформация о дно и стенки, при сжатии друг с другом, проколы плодоножкой, разрывы кожицы. Определено, что основным, полученным плодами, повреждением оказалась потертость кожицы плодов (рисунок 4.1, а). Так как при трении поверхности плодов между собой, о стенки контейнера, о поверхности рабочих органов механизмов для уборки, нарушается кутиновый слой, при этом, нижележащие покровные ткани не повреждаются. При заживлении ткани появляются участки серого цвета, портящие внешний вид плодов и овощей, но не влияющие, существенно, на сохраняемость плодов.

Следующими значимыми повреждением оказались густая коричневая сетка из опробковевшей ткани на яблоках; нажимы, т.е. повреждения кожицы и мякоти, вызванные давлением, ударом, сильным трением (рисунок 4.1, б), нажимы проявляются без открытых незарубцевавшихся ран, без вытекания сока;

заживший разрыв кожицы, общей площадью не более $1/4 \text{ см}^2$, в том числе пятна парши (рисунок 4.1, в).



а - потертость кожицы плодов, б – нажимы, в - заживший разрыв кожицы

Рисунок 4.1 - Повреждения, полученные плодами во время проведения испытаний

На рисунке 4.2,а представлены опытные образцы плодов, располагавшихся, при проведении испытания, в верхнем слое стандартного ящика, на рисунке 4.2, б - опытные образцы плодов, располагавшихся в верхнем слое экспериментального контейнера с внутренними демпфирующими поверхностями.



а – опытные образцы плодов, располагавшихся, при проведении испытания, в верхнем слое стандартной тары; б – образцы плодов, располагавшихся в верхнем слое экспериментального контейнера

Рисунок 4.2 – Образцы плодов, располагавшихся в верхнем слое



а – опытные образцы плодов, располагавшихся, при проведении испытания, в нижнем слое стандартной тары; б – образцы плодов, располагавшихся в нижнем слое экспериментального контейнера

Рисунок 4.3 – Образцы плодов, располагавшихся в нижнем слое

При оценке полученных плодов при проведении опытов повреждений в зависимости от их характера и величины яблоки разделяли на пять групп: без механических повреждений; с ушибами и нажимами общей площадью до 1,0 см; с ушибами и нажимами общей площадью до 2,0 см; с нажимами общей площадью до 5,0 см; с сильными нажимами общей площадью более 5,0 см, с проколами и разрывами кожицы.

К первому товарному сорту относили плоды с повреждениями по первой - третьей группам, ко второму - плоды четвертой группы, и к нестандарту - плоды пятой группы.

Процент поврежденных плодов и процент сохранившихся яблок в стандартной таре:

$$П_1 = 20,0 \% ; C_1 = 80,0 \%$$

Процент поврежденных плодов и процент сохранившихся яблок в экспериментальном контейнере:

$$P_1 = 1,9 \%; C_1 = 98,1 \%$$

Результаты испытаний представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Качественные показатели тары (стендовые испытания)

Ящик	Распределение яблок по товарным сортам							
	Высший сорт		Первый сорт		Второй сорт		Нестандарт	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Стандартная тара	32	64,0	8	16,0	6	12,0	4	8,0
Экспериментальный контейнер	50	92,5	3	5,6	1	1,9	-	-

Таким образом, полученные результаты опытов показывают, что при одной и той же продолжительности вибрации повреждения плодов зависят от величины амплитуды и частоты колебаний. С их увеличением, при всех типах колебаний, количество яблок без механических повреждений уменьшается (рисунки 4.3, б и 4.4, б), но повышается число плодов с повреждениями до 1,0 см и до 2,0 см (рисунок 4.4, а) [6]. В отдельных случаях размеры повреждений плодов доходили до 5,0 см (4.3, а).

Как видно из таблицы, наибольший выход плодов высшего сорта получен при использовании экспериментального контейнера, который составил 92,5%.

Результаты исследований приведены в Приложении А.

4.1.2 Результаты исследования зависимости повреждения плодов от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний и времени проведения эксперимента

При имитационном моделировании транспортной ситуации при транспортировке яблок в стандартной таре и в экспериментальном контейнере рассмотрим зависимости повреждения яблок, %, от частоты вращения двигателя 1,0, 2,0; 2,4; 2,8, 4,0, 5,0 Гц, амплитуды колебаний, мм, времени проведения эксперимента, мин.

В таблицах 4.2 – 4.4 представлены результаты исследований зависимости

повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере, при частоте колебаний 2,0Гц, 2,4Гц, 2,8Гц, соответственно.

Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментального контейнере, при частоте колебаний 1,0 Гц, 4,0 Гц и 5,0 Гц представлены в приложении Б данной диссертации.

Таблица 4.2 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере (частоте колебаний 2,0Гц)

Амплитуда, мм	Частота колебаний 2,0 Гц				
	Повреждения яблок, %				
5	2,20%	2,31%	2,01%	3,14%	1,84%
15	2,74%	2,63%	2,17%	3,43%	1,41%
25	2,54%	1,38%	1,63%	2,66%	1,72%
35	1,41%	1,51%	1,34%	2,43%	1,87%

Таблица 4.3 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере (частоте колебаний 2,4Гц)

Амплитуда, мм	Частота колебаний 2,4 Гц				
	Повреждения яблок, %				
5	2,26%	2,09%	2,21%	2,52%	2,98%
15	1,19%	2,67%	1,65%	1,67%	1,54%
25	3,50%	1,56%	3,10%	1,54%	1,27%
35	1,97%	1,35%	3,39%	2,27%	1,18%

Таблица 4.4 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере (частоте колебаний 2,8Гц)

Амплитуда, мм	Частота колебаний 2,8 Гц				
	Повреждения яблок, %				
5	2,47%	1,75%	2,45%	2,29%	1,43%
15	2,98%	2,22%	2,79%	1,73%	1,56%
25	2,78%	1,67%	3,12%	2,53%	1,67%
35	2,22%	1,82%	2,94%	2,30%	1,76%

На графиках, приведенных на рисунках 4.4 - 4.6 представлены результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере, при частоте колебаний 2,0Гц, 2,4Гц, 2,8Гц, соответственно, при временных промежутках от 10,0 – 50,0 мин и амплитуде

колебаний 5,0 - 35,0 мм.

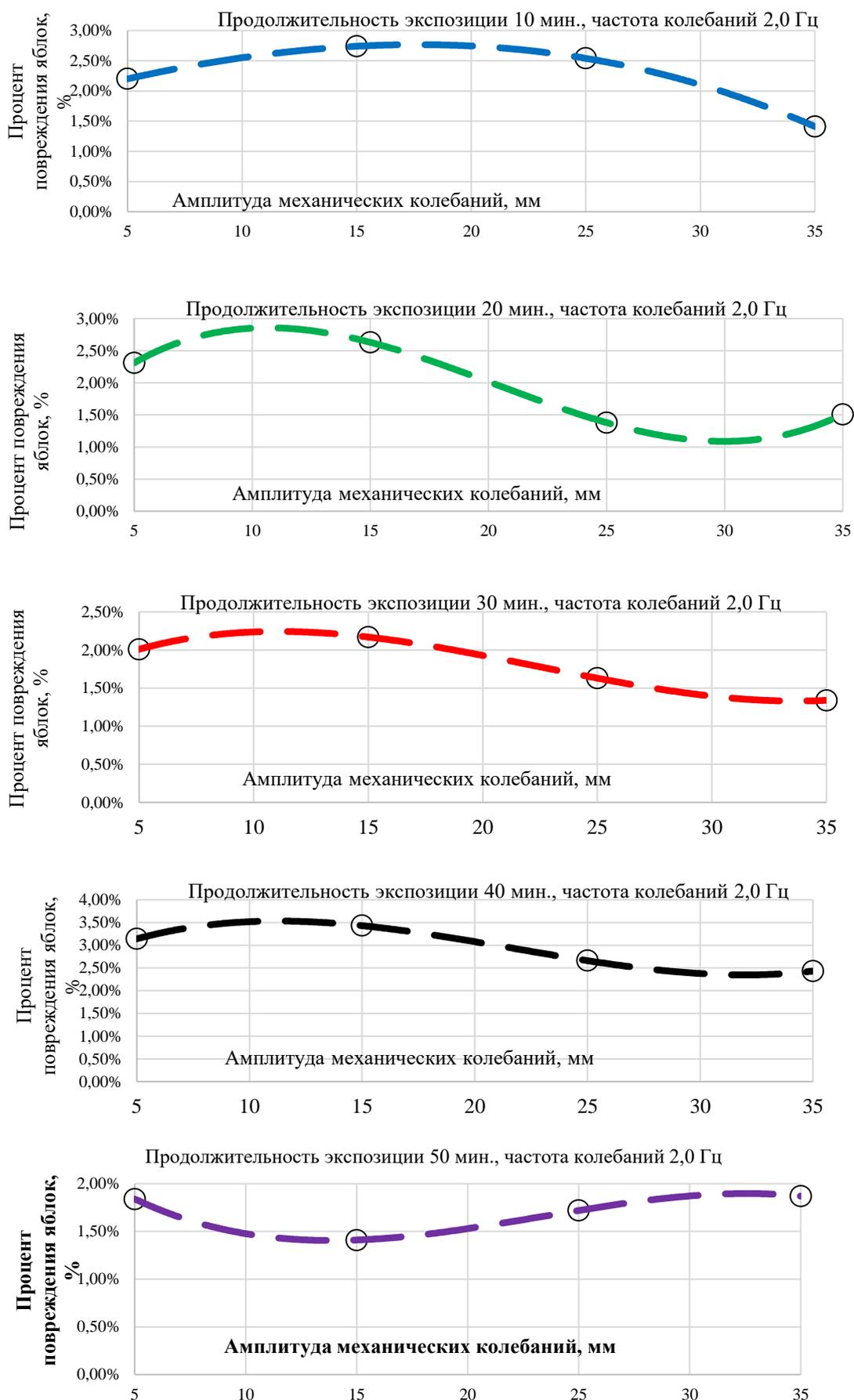


Рисунок 4.4 – Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в контейнере, при частоте колебаний 2,0 Гц

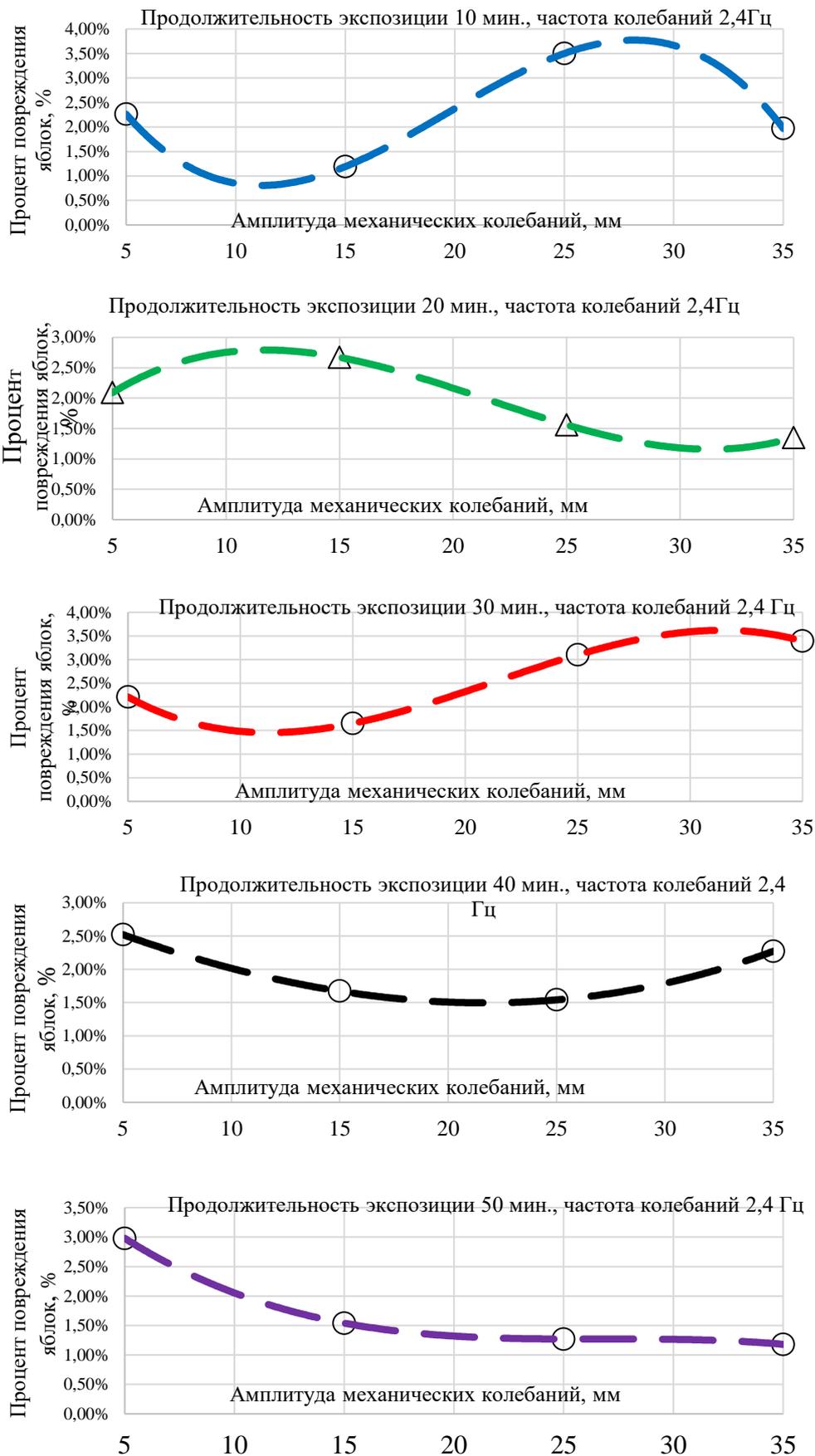


Рисунок 4.5 – Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в контейнере, при частоте колебаний 2,4 Гц

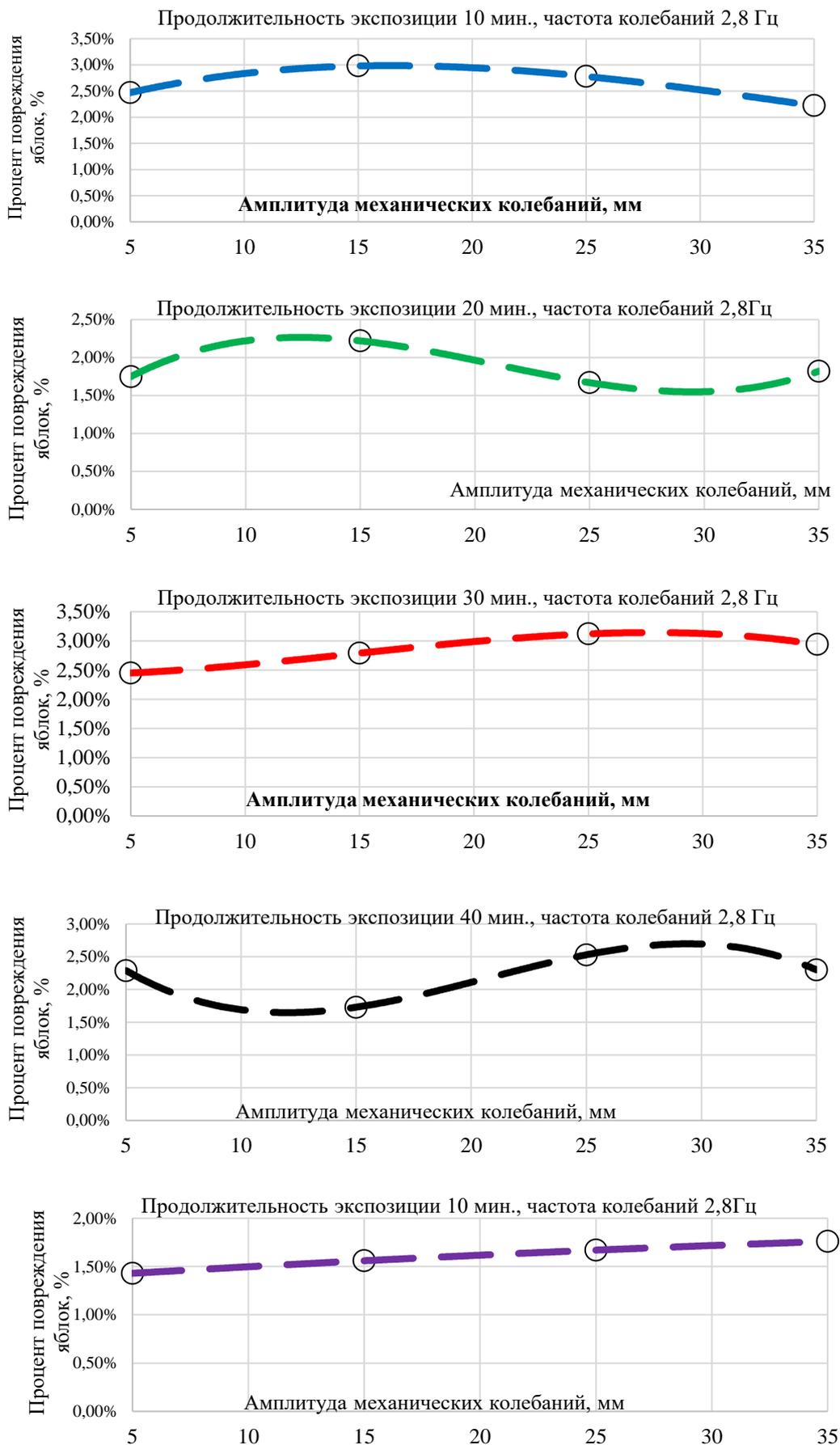


Рисунок 4.6 – Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере, при частоте колебаний 2,8 Гц

В таблице 4.5 представлены сводные результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемой в эксплуатируемом контейнере при частоте колебаний 2,0, 2,4, 2,8 Гц.

Таблица 4.5 – Сводные результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере

Продолжительность , мин.		Частота колебаний 2,0 Гц				Частота колебаний 2,4 Гц				Частота колебаний 2,8 Гц			
		Амплитуда колебаний, мм				Амплитуда колебаний, мм				Амплитуда колебаний, мм			
		5	15	25	35	5	15	25	35	5	15	25	35
10	Повреждения яблок, %	2,20	2,74	2,54	1,41	2,26	1,19	3,50	1,97	2,47	2,98	2,78	2,22
20		2,31	2,63	1,38	1,51	2,09	2,67	1,56	1,35	1,75	2,22	1,67	1,82
30		2,01	2,17	1,63	1,34	2,21	1,65	3,10	3,39	2,45	2,79	3,12	2,94
40		3,14	3,43	2,66	2,43	2,52	1,67	1,54	2,27	2,29	2,23	2,53	2,30
50		1,84	1,4%	1,72	1,87	2,98	1,54	1,27	1,18	1,43	1,56	1,67	1,76

Рассмотрим результаты исследования зависимости % повреждений яблок, транспортируемых в стандартной таре от амплитуды колебаний для каждого значения частоты колебаний, Гц, и продолжительности, мин (рисунки 4.7 – 4.9).

В таблицах 4.6 – 4.8 представлены результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре, при частоте колебаний 2,0 Гц, 2,4, 2,8 Гц, соответственно. Результаты исследований при частоте колебаний 1,0 Гц, 4,0 Гц и 5,0 Гц представлены в приложении В.

Таблица 4.6 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре при частоте колебаний 2,0 Гц

Амплитуда, мм	Частота колебаний 2,0 Гц				
	Повреждения яблок, %				
5	5,13%	6,65%	4,99%	5,05%	4,78%
15	5,64%	6,31%	5,57%	4,58%	3,40%
25	5,88%	7,12%	5,74%	4,13%	4,35%
35	5,02%	6,69%	5,88%	4,46%	4,55%

Таблица 4.7 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре при частоте колебаний 2,4 Гц

Амплитуда, мм	Частота колебаний 2,4 Гц				
	Повреждения яблок, %				
5	6,15%	7,21%	4,16%	7,82%	6,75%
15	6,69%	7,35%	5,40%	7,33%	6,38%
25	5,79%	7,93%	4,91%	7,87%	6,25%
35	6,75%	6,75%	6,42%	7,32%	5,68%

Таблица 4.8 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре при частоте колебаний 2,8 Гц

Амплитуда, мм	Частота колебаний 2,8 Гц				
	Повреждения яблок, %				
5	5,68%	4,67%	3,89%	6,41%	3,62%
15	5,80%	4,58%	4,65%	6,70%	3,58%
25	5,29%	4,83%	4,59%	6,34%	3,55%
35	5,47%	4,75%	5,33%	6,21%	3,52%

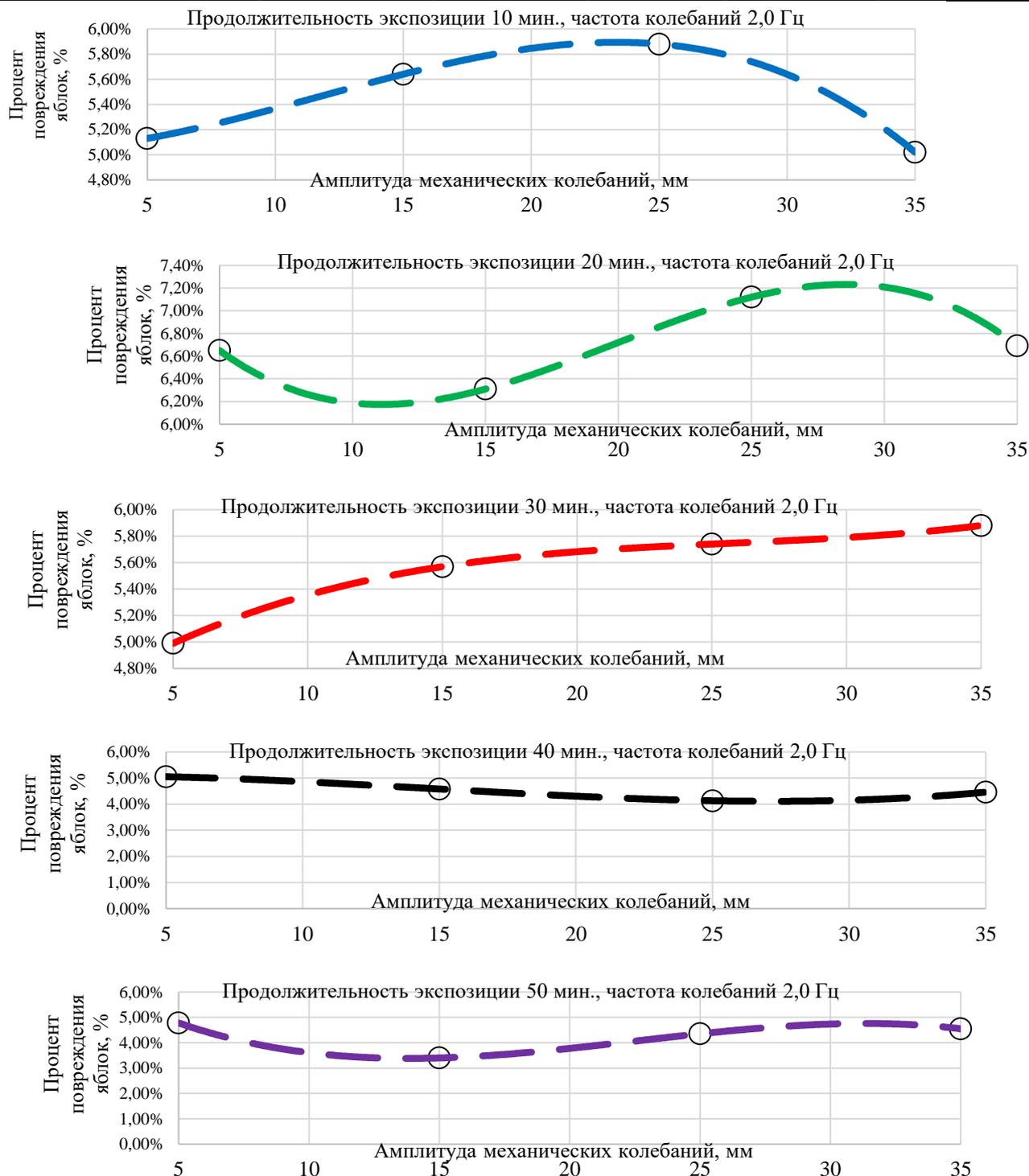


Рисунок 4.7 – Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре, при частоте колебаний 2,0 Гц

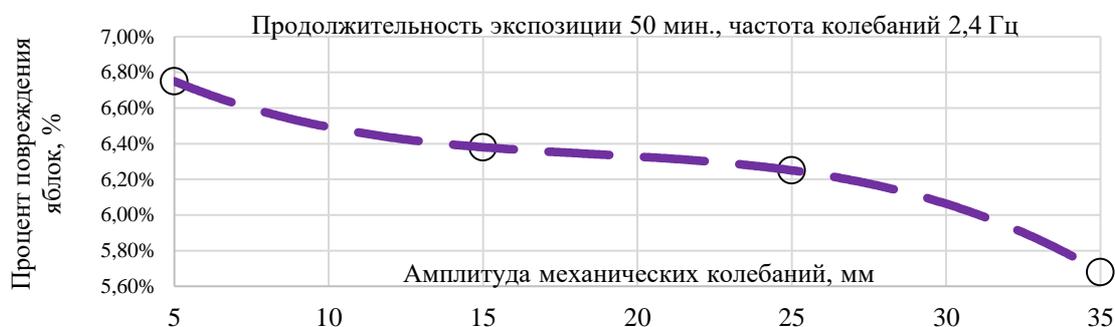
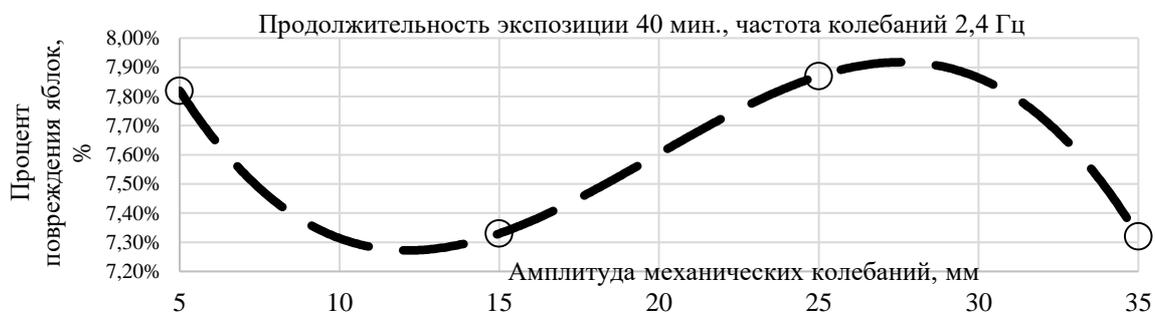
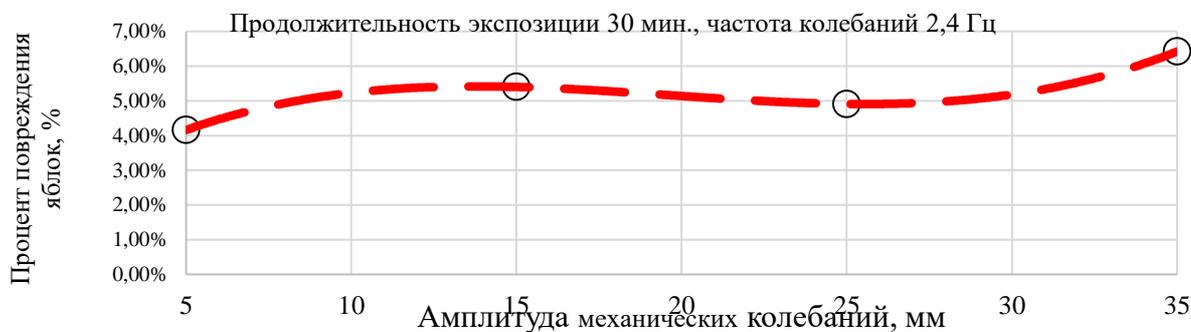
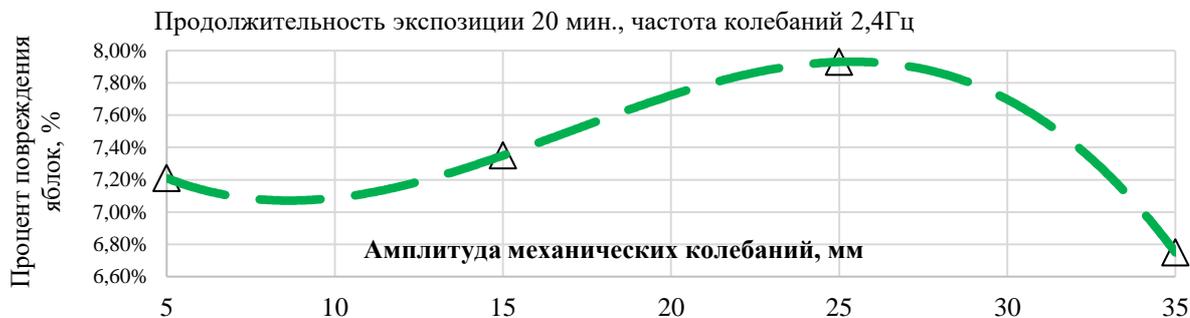
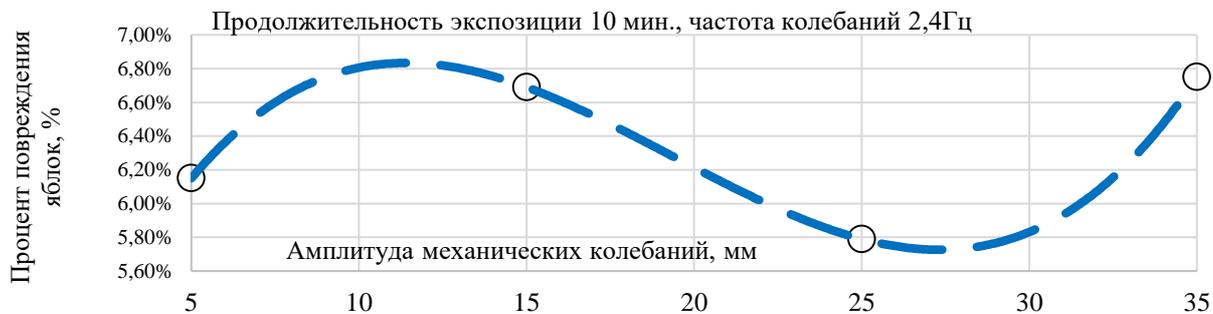


Рисунок 4.8– Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре, при частоте колебаний 2,4 Гц

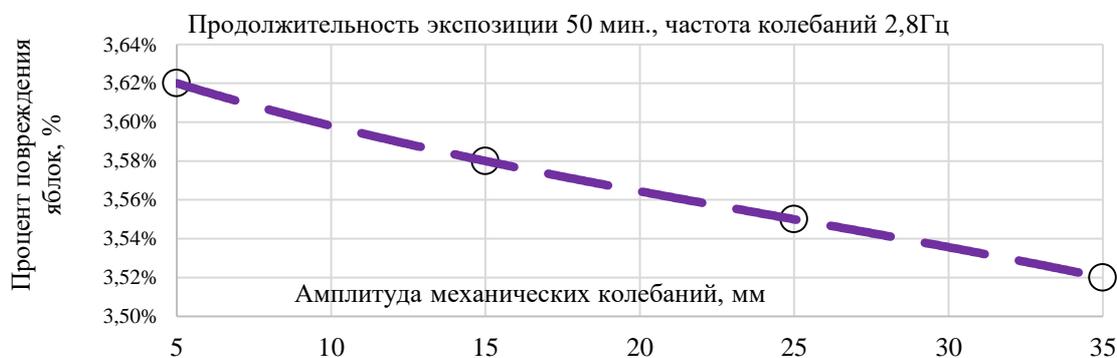
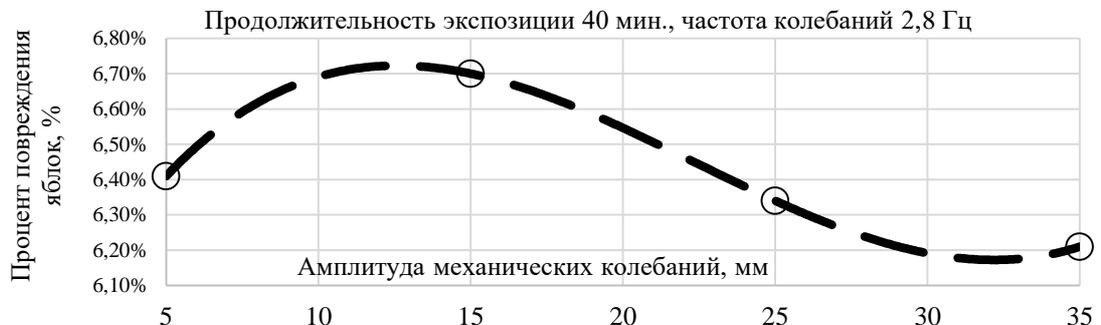
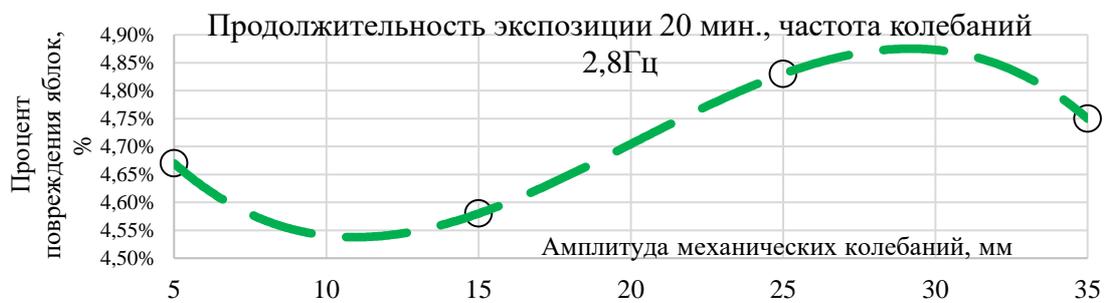
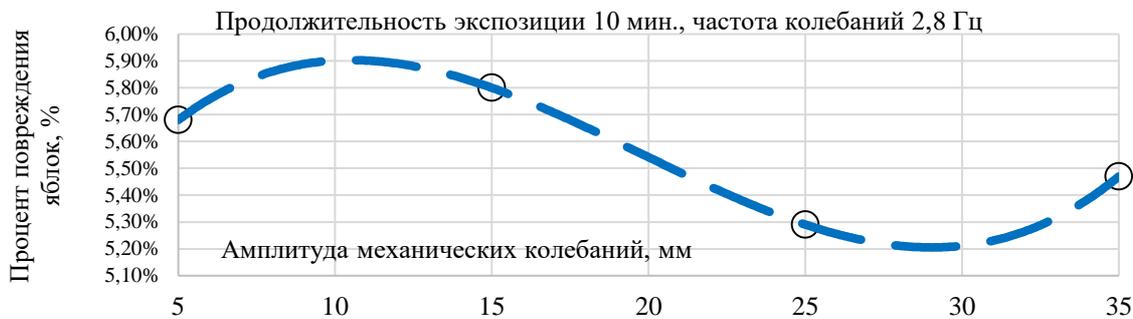


Рисунок 4.9– Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре, при частоте колебаний 2,8 Гц

В таблице 4.9 представлены сводные результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре при частоте колебаний 2,0, 2,4, 2,8 Гц.

Таблица 4.9 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре

№	Продолжительность, мин.	Повреждения яблок, %	Частота колебаний 2,4 Гц				Частота колебаний 2 Гц				Частота колебаний 2,8 Гц			
			Амплитуда колебаний, мм				Амплитуда колебаний, мм				Амплитуда колебаний, мм			
			5	15	25	35	5	15	25	35	5	15	25	35
1	10		6,15	6,69	5,79	6,75	5,13	5,64	5,88	5,02	5,68	5,80	5,29	5,47
2	20		7,21	7,35	7,93	6,75	6,65	6,31	7,12	6,69	4,67	4,58	4,83	4,75
3	30		4,16	4,40	4,91	4,42	4,99	5,57	5,74	5,88	3,89	4,65	4,59	4,33
4	40		7,82	7,33	7,87	7,32	4,05	4,58	4,46	2,43	6,41	6,70	6,34	6,21
5	50		6,75	6,38	6,25	5,68	4,78	4,55	4,35	1,87	3,62	3,58	3,55	3,52

В таблицах 4.10, 4.11 представлены результаты сравнительного анализа зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре и в экспериментальном контейнере от частоты вращения двигателя 2,0 – 2,4 Гц, амплитуды колебаний, 5,0 – 35,0мм, времени проведения эксперимента, мин.

Таблица 4.10 – Зависимость повреждения яблок, %, от частоты вращения двигателя 2,0 Гц, амплитуды колебаний, мм, частоты колебаний, Гц, времени проведения эксперимента при имитационном моделировании, мин

Продолжительность стендовых испытаний, мин	Частота колебаний, Гц	Продолжительность эксперимента, мин	Амплитуда колебаний, мм	Повреждения яблок, %	
				Стандартная тара	Экспериментальный контейнер
1	2	3	4	5	6
10,00	2,00	10,00	5,00	5,13	2,20
	2,00	10,00	15,00	5,64	2,74
	2,00	10,00	25,00	5,88	2,54
	2,00	10,00	35,00	5,02	1,41
20,00	2,00	20,00	5,00	6,65	2,31
	2,00	20,00	15,00	6,31	2,63
	2,00	20,00	25,00	7,12	1,38
	2,00	20,00	35,00	6,69	1,51
30,00	2,00	30,00	5,00	4,99	2,01
	2,00	30,00	15,00	5,57	2,17
	2,00	30,00	25,00	5,74	1,63
	2,00	30,00	35,00	5,88	1,34

1	2	3	4	5	6
40,00	2,00	40,00	5,00	4,05	3,14
	2,00	40,00	15,00	4,58	3,43
	2,00	40,00	25,00	4,13	2,66
	2,00	40,00	35,00	4,46	2,43
50,00	2,00	50,00	5,00	4,78	1,84
	2,00	50,00	15,00	5,40	1,41
	2,00	50,00	25,00	4,35	1,72
	2,00	50,00	35,00	4,55	1,87

Дальнейшие расчеты выполнены с использованием использования табличного процессора «MS Excel», интегрированного в пакете «MS Office». На рисунке 4.10 представлена графическая зависимость повреждения яблок, %, при продолжительности исследования, мин, частоте вращения двигателя 2,0 Гц.

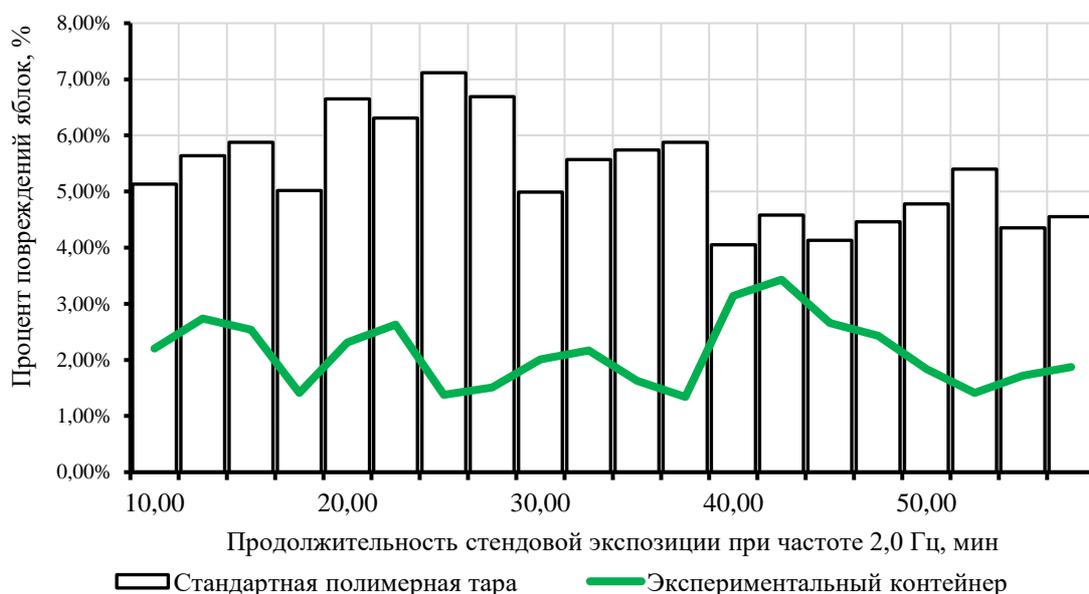


Рисунок 4.10 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте вращения двигателя 2,0 Гц

По результатам эксперимента, проведенного при частоте вращения двигателя 2,0 Гц для стандартной тары и экспериментального контейнера, из графических зависимостей, представленных на рисунке 4.10, определено, что процент повреждения яблок, перевозимых в экспериментальном контейнере значительно ниже, чем в стандартном. Например, при продолжительности исследования 25,0мин процент повреждения яблок в экспериментальном

контейнере составил 1,4%, в стандартном – 7,0%.

В таблице дисперсионного анализа 4.11 представлены данные исследований для построения линии тренда (модели полиномиальной аппроксимации) и определения коэффициента детерминации. Коэффициент детерминации служит мерой адекватности модели: чем он больше, тем лучше (при прочих равных условиях) оценено уравнение полиномиального тренда.

Таблица 4.11 – Результаты дисперсионного анализа

Продолжительность, стендовых исследований, мин	Повреждения яблок в стандартной таре, %	Повреждения яблок в экспериментальном контейнере, %
10,00	5,42	2,22
20,00	6,69	1,96
30,00	5,55	1,79
40,00	4,31	2,92
50,00	4,77	1,71

Рассматривая полученный набор полученных данных исследований повреждения яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте вращения двигателя 2,0 Гц, представленной на рисунке 4.9, мы можем визуально определить падения и подъемы показателей, которые он содержит. Закономерность подъемов и падений называется трендом, который может говорить о том, увеличиваются или уменьшаются наши данные.

Построим линию тренда (модель полиномиальной аппроксимации). уравнение полиномиального тренда будет выглядеть следующим образом:

$$y = t_1 \cdot x^0 + t_2 \cdot x^1 + t_3 \cdot x^2 + \dots t_n \cdot x^n, \quad (4.1)$$

где конечная степень определяется степенью полинома.

Данная модель описывает массу повреждений яблок в зависимости от – от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний, времени проведения эксперимента, по которые мы хотим эти повреждения спрогнозировать. Полученный коэффициент R^2 детерминации говорит о качестве построенной модели.

На рисунке 4.11 рассмотрены результаты дисперсионного анализа с построением диаграммы рассеивания, определена значимость коэффициента детерминации. Для того, чтобы проверить, существует ли зависимость между факторами, построим точечную диаграмму (поле корреляции) рассеивания. Так

как первый член уравнения с кубической степенью равен нулю, опускаем его в расчетах, как недостаточно влияющий на результаты.

Повреждения яблок при колебаниях на частоте 2,0 Гц с амплитудами от 5,0 до 35,0 мм

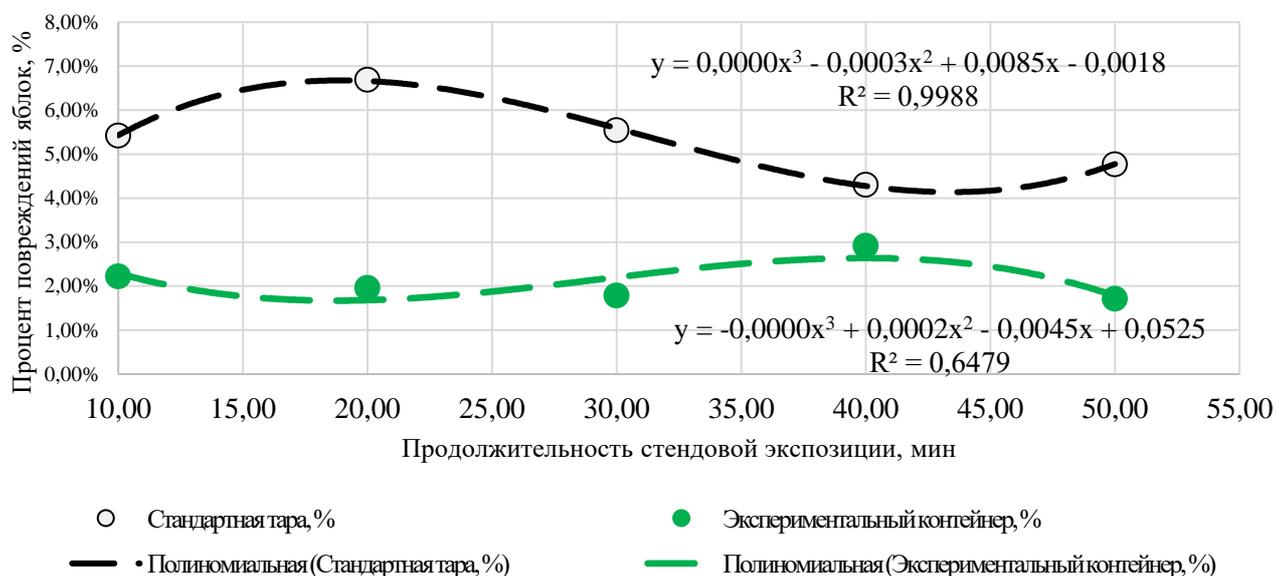


Рисунок 4.11 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от продолжительности экспозиции, мин, при частоте 2,0 Гц с амплитудами от 5,0 – 35,0 Гц

По полученной графической зависимости, приведенной на рисунке 4.11, очевидна нелинейная связь между факторами. Получено уравнения регрессии для стандартной тары:

$$y = 0,0000x^3 - 0,0003x^2 + 0,0085x - 0,0018.$$

Коэффициент детерминации равен: $R^2 = 0,9988$.

Значение коэффициента детерминации $R^2=0,9988$ приближается к 1,0, что показывает адекватность полученной модели регрессии данным проведенных исследований.

Получено уравнения регрессии для экспериментального контейнера:

$$y = -0,0000x^3 + 0,0002x^2 - 0,0045x + 0,0525.$$

Коэффициент детерминации равен: $R^2 = 0,6479$.

Значение коэффициента детерминации $R^2=0,6479$ приближается к 0,65, что показывает адекватность полученной модели регрессии данным проведенных исследований. Уравнение регрессии значимо и может применяться при прогнозе.

Таблица 4.12 – Зависимость повреждения яблок, %, от частоты вращения двигателя 2,4 Гц, амплитуды колебаний, мм, частоты колебаний, Гц, времени проведения эксперимента при имитационном моделировании, мин.

Продолжительность стендовых испытаний, мин	Частота колебаний, Гц	Продолжительность эксперимента, мин	Амплитуда колебаний, мм	Повреждения яблок, %	
				Стандартная тара	Экспериментальный контейнер
10,00	2,40	10,00	5,00	6,15	2,26
	2,40	10,00	15,00	6,69	1,19
	2,40	10,00	25,00	5,79	3,50
	2,40	10,00	35,00	6,75	1,97
20,00	2,40	20,00	5,00	7,21	2,09
	2,40	20,00	15,00	7,35	2,67
	2,40	20,00	25,00	7,93	1,56
	2,40	20,00	35,00	6,75	1,35
30,00	2,40	30,00	5,00	4,16	2,21
	2,40	30,00	15,00	4,40	1,65
	2,40	30,00	25,00	4,91	3,10
	2,40	30,00	35,00	4,42	3,39
40,00	2,40	40,00	5,00	7,82	2,52
	2,40	40,00	15,00	7,33	1,67
	2,40	40,00	25,00	7,87	1,54
	2,40	40,00	35,00	7,32	2,27
50,00	2,40	50,00	5,00	6,75	2,98
	2,40	50,00	15,00	6,38	1,54
	2,40	50,00	25,00	6,05	1,27
	2,40	50,00	35,00	5,68	1,18

На рисунке 4.12 представлена графическая зависимость повреждения яблок, %, при продолжительности исследования, мин, частоте вращения двигателя 2,4 Гц.

По результатам эксперимента, проведенного при частоте вращения двигателя 2,4 Гц для стандартной тары и экспериментального контейнера, из графических зависимостей, представленных на рисунке 4.12, определено, что процент повреждения яблок, перевозимых в экспериментальном контейнере значительно ниже, чем в стандартном.

Например, при продолжительности исследования 25,0 мин процент повреждения яблок в экспериментальном контейнере составил 1,56%, в стандартном – 8,0%.

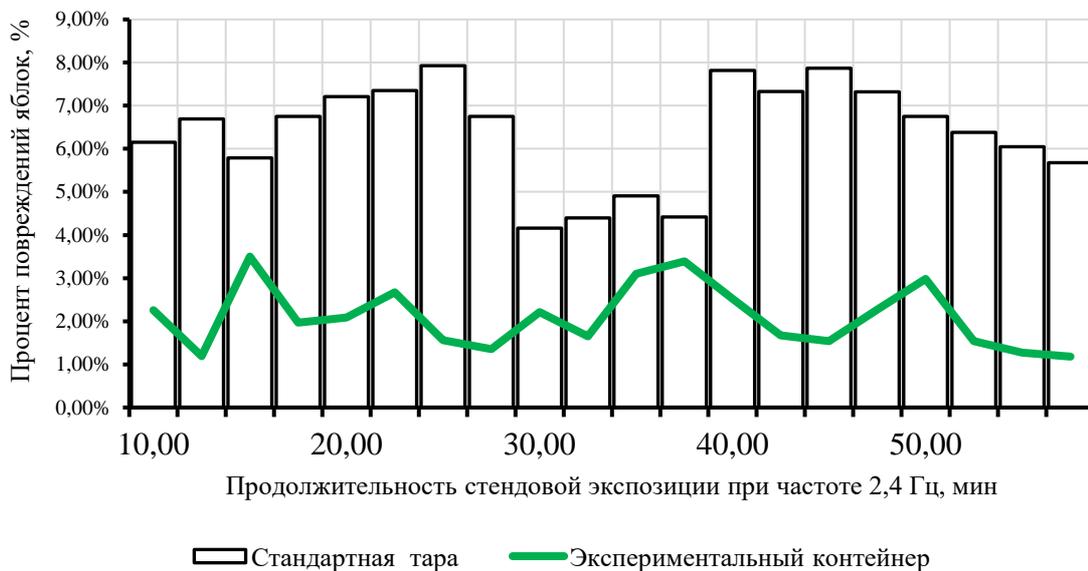


Рисунок 4.12 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте 2,4 Гц

В таблице дисперсионного анализа 4.13 представлены данные исследований для построения линии тренда (модели полиномиальной аппроксимации) и определения коэффициента детерминации.

Таблица 4.13 – Результаты дисперсионного анализа

Продолжительность, стендовых исследований, мин	Повреждения яблок в стандартной таре, %	Повреждения яблок в экспериментальном контейнере, %
10,00	6,60	3,36
20,00	7,31	2,04
30,00	7,47	2,39
40,00	7,59	2,10
50,00	6,82	1,84

На рисунке 4.13 рассмотрены результаты дисперсионного анализа с построением диаграммы рассеивания, определена значимость коэффициента детерминации. Для того, чтобы проверить, существует ли зависимость между факторами, построим точечную диаграмму (поле корреляции) рассеивания.

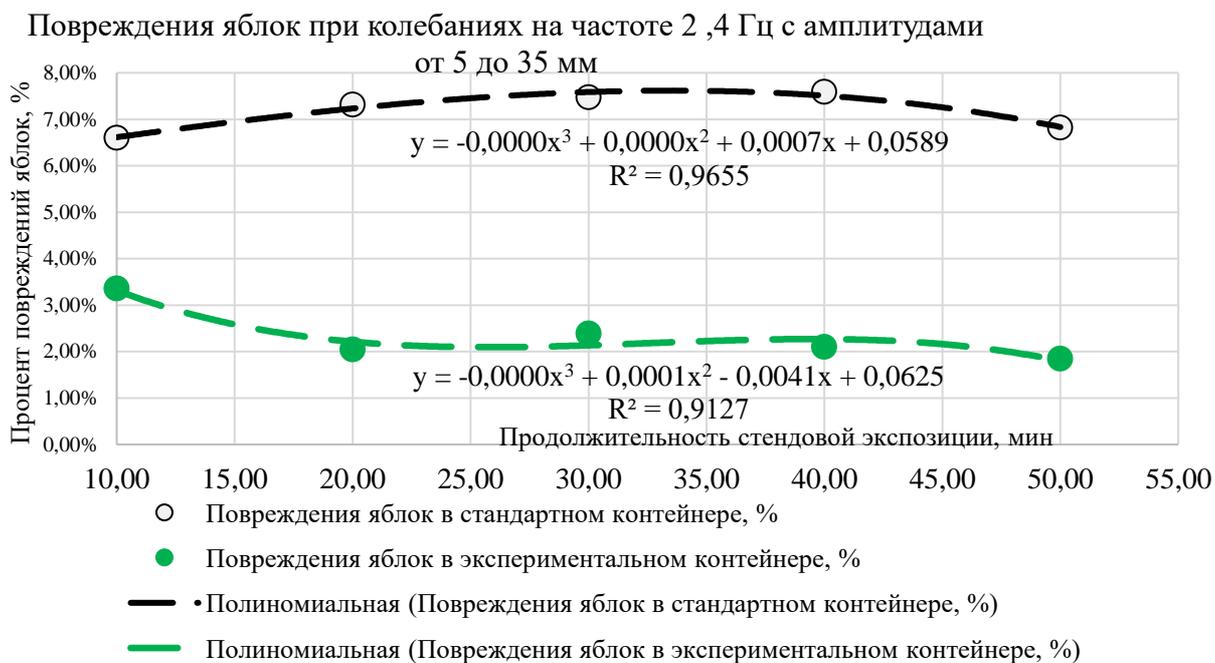


Рисунок 4.13 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте 2,4 Гц с амплитудами от 5 - 35Гц

Получено уравнения регрессии для стандартной тары:

$$y = -0,0000 x^3 + 0,0001 x^2 - 0,007x + 0,0589$$

Коэффициент детерминации равен: $R^2 = 0,9655$.

Значение коэффициента детерминации $R^2=0,9655$ приближено к 1,0, следовательно, модель адекватна данным проведенных исследований.

Получено уравнения регрессии для экспериментального контейнера:

$$y = -0,0000 x^3 + 0,0001 x^2 - 0,00419x + 0,0625$$

Коэффициент детерминации равен: $R^2 = 0,9125$.

Значение коэффициента детерминации $R^2=0,9125$ приближено к 1,0, что показывает адекватность полученной модели регрессии данным проведенных исследований. Уравнение регрессии значимо и может применяться при прогнозе.

В таблице 4.14 представлены результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре и в экспериментальном контейнере от частоты вращения двигателя 2,8 Гц, амплитуды колебаний, 5,0 – 35,0мм, времени проведения эксперимента, мин.

На рисунке 4.14 представлена графическая зависимость повреждения

яблок, %, при продолжительности исследования, мин, частоте вращения двигателя 2,8 Гц.

Таблица 4.14 – Зависимость повреждения яблок, %, от частоты вращения двигателя 2,8 Гц, амплитуды колебаний, мм, частоты колебаний, Гц, времени проведения эксперимента при имитационном моделировании, мин

Продолжительность стендовых испытаний, мин	Частота колебаний, Гц	Продолжительность эксперимента, мин	Амплитуда колебаний, мм	Повреждения яблок, %	
				Стандартная тара	Экспериментальный контейнер
10,00	2,80	10,00	5,00	5,68	2,47
	2,80	10,00	15,00	5,80	2,98
	2,80	10,00	25,00	5,29	2,78
	2,80	10,00	35,00	5,47	2,22
20,00	2,80	20,00	5,00	4,67	1,75
	2,80	20,00	15,00	4,58	2,22
	2,80	20,00	25,00	4,83	1,67
	2,80	20,00	35,00	4,75	1,82
30,00	2,80	30,00	5,00	3,89	2,45
	2,80	30,00	15,00	4,65	2,79
	2,80	30,00	25,00	4,59	3,12
	2,80	30,00	35,00	4,33	2,94
40,00	2,80	40,00	5,00	6,41	2,29
	2,80	40,00	15,00	6,70	2,23
	2,80	40,00	25,00	6,34	2,53
	2,80	40,00	35,00	6,21	2,30
50,00	2,80	50,00	5,00	3,22	1,43
	2,80	50,00	15,00	3,58	1,56
	2,80	50,00	25,00	3,65	1,67
	2,80	50,00	35,00	3,48	1,76



Рисунок 4.14 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте 2,8 Гц

По результатам эксперимента, проведенного при частоте вращения двигателя 2,8 Гц для стандартной тары и экспериментального контейнера, из графических зависимостей, представленных на рисунке 4.14, определено, что процент повреждения яблок, перевозимых в экспериментальном контейнере значительно ниже, чем в стандартном. Например, при продолжительности исследования 25,0мин процент повреждения яблок в экспериментальном контейнере составил 1,67%, в стандартном – 4,83%.

В таблице дисперсионного анализа 4.15 представлены данные исследований для построения линии тренда (модели полиномиальной аппроксимации) и определения коэффициента детерминации.

На рисунке 4.15 рассмотрены результаты дисперсионного анализа с построением диаграммы рассеивания, определена значимость коэффициента детерминации.

Таблица 4.15 – Результаты дисперсионного анализа

Продолжительность, стендовых исследований, мин	Повреждения яблок в стандартной таре, %	Повреждения яблок в экспериментальном контейнере, %
10,00	5,56	2,61
20,00	4,71	1,87
30,00	4,37	2,83
40,00	6,42	2,34
50,00	3,48	1,61

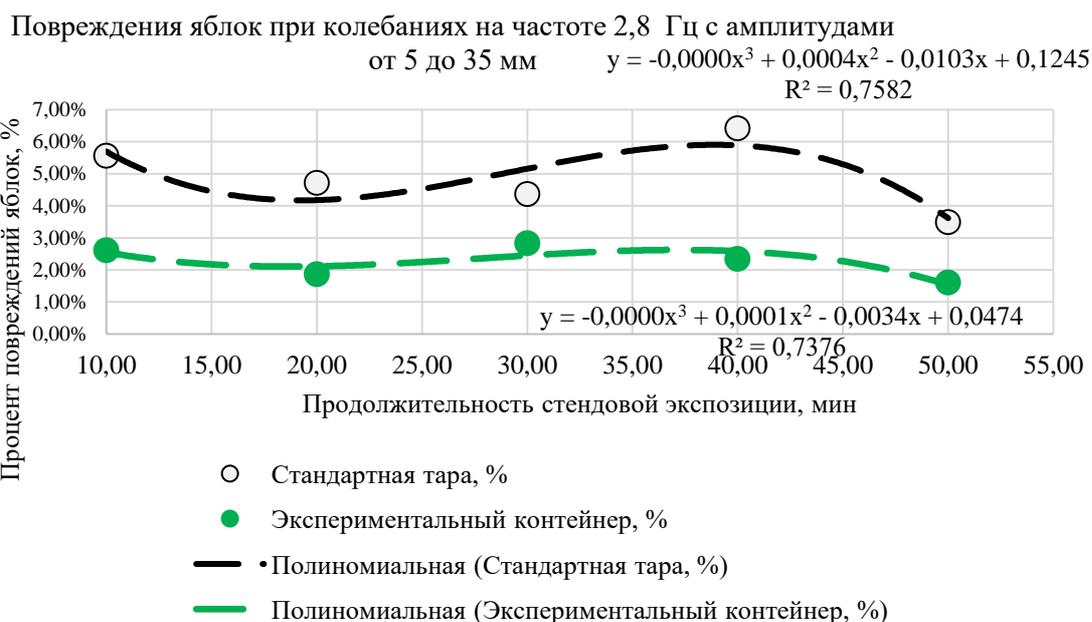


Рисунок 4.15 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте 2,8 Гц с амплитудами от 5,0 – 35,0Гц

Получено уравнения регрессии для стандартной тары:

$$y = -0,0000 x^3 + 0,0004 x^2 - 0,0103x + 0,1245.$$

Коэффициент детерминации равен: $R^2 = 0,7582$.

Значение коэффициента детерминации $R^2 = 0,7582$ больше 0,75, следовательно, очевидна адекватность полученной модели регрессии данным проведенных исследований.

Получено уравнения регрессии для экспериментального контейнера:

$$y = -0,0000 x^3 + 0,0004 x^2 - 0,0103x + 0,1245.$$

Коэффициент детерминации равен: $R^2 = 0,7376$

Значение коэффициента детерминации $R^2=0,5082$ более 0,55, что показывают, адекватность полученной модели регрессии данным проведенных исследований. Уравнение регрессии значимо и может применяться при прогнозе.

Таким образом, можно сделать вывод, что при увеличении частоты вращения двигателя и времени проведения эксперимента амплитуда колебаний носит циклический характер, процент повреждений плодоовощной продукции уменьшается.

В результате того, что двойное дно контейнера выступает в роли амортизирующей платформы внутри ящика, поглощая внешние колебания, а усовершенствованные стенки и крышка сокращают поверхностные повреждения за счет своей мягко-эластичной амортизируемой структуры, мы получили положительный эффект от разработанного устройства, который заключается в снижении травмируемости яблок, и, в конечном результате, в уменьшении потерь продукции.

4.2 Результаты влияния микрорельефа местности на сохранность груза при транспортировке в контейнерах

Проведённые нами эксперименты с экспериментальным вибростендом показали, что ключевыми свойствами поверхности дороги, которые сказываются на величине колебаний, являются диаметр и глубина неровностей.

«В соответствии с методикой, разработанной в п. 3.3.2, была определена характеристика микропрофиля дороги, оказывающей влияние на плавность хода

транспортного средства и уровень повреждений перевозимого груза» . Высоту неровностей определяли, используя геометрическое нивелирование на участке грунтовой дороги протяженностью 100,0 м с промежутками для снятия показаний через 10,0 м. Повторяя четырехкратно измерения, определили их среднее значение. Эти данные позволяют более точно прогнозировать поведение транспортного средства на различных участках дороги. При проведении эксперимента измерительная рейка смещалась на 25,0 см метров 4 раза. Таким образом были проведены 4 опыта и сняли 4 типа показаний и, аналогично, рассмотрены следующие участки, каждый из которых имел протяженность 10,0 метров.

Неровности измерялись с помощью тридцатисантиметровой масштабной линейки и рулетки. Была измерена как глубина неровности, так и их диаметр.

Для повышения точности измерений рекомендуется проводить несколько повторных замеров с дальнейшим усреднением полученных результатов. Эти характеристики могут быть использованы для разработки рекомендаций по улучшению условий транспортировки грузов. По полученным данным с помощью табличного процессора «Microsoft Excel» были получены основные вероятностные характеристики микропрофиля (таблица 4.16). В дальнейшем, полученные значения измерений дорожных условий смоделировали на экспериментальной установке и провели имитационный эксперимент.

Таблица 4.16 - Результаты исследования микропрофиля дороги на предмет высоты, длины и диаметра неровностей

Наименование показателя	Единица измерения	Интервал изменения параметра	Шаг изменения параметра
1	3	4	5
Масса единицы тары с грузом	кг	25	5
Высота волны неровностей микрорельефа	м	0,009 - 0,05	0,001
Длина волны неровностей микрорельефа	м	1,5 - 4,5	0,3
Скорость движения автомобилей при внутрихозяйственных перевозках по грунтовым дорогам	км/час	30 - 40	10
Скорость движения автомобилей при в междугороднем сообщении	км/час	40 - 80	10
Частоты колебаний кузова	Гц	0-100	20

В таблице 4.17 и на рисунке 4.16 приведена зависимость частоты колебаний кузова, Гц от скорости движения транспортного средства и длины неровности.

Таблица 4.17 - Зависимость частоты колебаний кузова, Гц от скорости движения транспортного средства и длины неровности.

Скорость движения транспортного средства, км/ч	Длины неровности, м				
	0,2м	0,5м	0,75 м	1,0 м	1,25 м
1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0
20	21	18	16	15	9
40	40	37	34	32	25
60	63	58	52	47	39
80	95	82	78	75	71

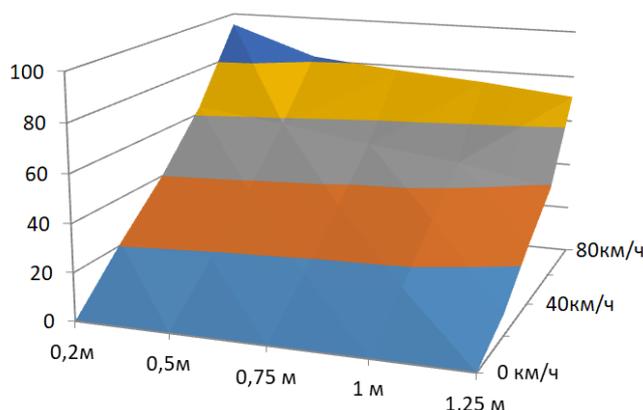


Рисунок 4.16 - Зависимость частоты колебаний кузова от скорости движения транспортного средства и длины неровности.

Как видно из графика на рисунке 4.16 при увеличении длины неровности и скорости движения и частота колебаний кузова транспортного средства увеличивается, что оказывает негативное влияние на груз, находящийся в это время в кузове.

4.3 Выводы по четвертой главе

Исследования показали, что величина повреждений плодов находится в прямой зависимости от амплитуды и частоты колебаний. Увеличение значений данных параметров прямопропорционально образованию повреждений яблок.

1. Выявлено что при постоянном времени исследования, увеличение амплитуды и частоты колебаний, пропорционально увеличивает и количество

повреждений на плодах яблок. Размеры появившихся повреждений варьируются от 1 до 5 см. Наибольший выход плодов высшего сорта получен при использовании контейнерной тары, минимизирующей повреждения яблок при транспортировке с внутренней демпфирующей поверхностью, который составил 92,5%.

2. Исследованиями установлено, что при частоте вращения двигателя 2,0 Гц процент повреждения яблок, перевозимых в экспериментальном контейнере значительно ниже, чем в стандартном. Например, при продолжительности исследования 25,0 мин процент повреждения яблок в экспериментальном контейнере составил 1,4%, в стандартном – 7,0%. Данные получены при частоте вращения двигателя от 1,5 – 5,0 Гц.

3. Получены математические модели (уравнения регрессии) описывающие влияние амплитуды колебаний, времени движения транспортного средства и частоты вращения двигателя на повреждения яблок, перевозимых в стандартных и экспериментальных контейнерах, соответственно. Коэффициенты детерминации показывают, что полученные уравнения регрессии значимы и могут применяться при прогнозе.

4. Установлено, что при увеличении частоты вращения двигателя и времени проведения эксперимента амплитуда колебаний носит циклический характер, процент повреждений плодоовощной продукции уменьшается.

5. Исследованиями установлено, что двойное дно экспериментального контейнера выступает в роли амортизирующей платформы внутри, поглощая внешние колебания, а усовершенствованные стенки и крышка сокращают поверхностные повреждения за счет своей мягко-эластичной амортизируемой структуры. Таким образом получен положительный эффект от разработанной тары с внутренней демпфирующей поверхностью, который заключается в снижении повреждения яблок. Использование контейнера с данными параметрами позволяет минимизировать повреждения яблок при транспортировке на 3,23 %.

6. Результаты исследований свидетельствуют о том, что вибрационное воздействие по-разному влияет на качество плодов. Тем не менее, как показала

математическая обработка данных, различия между исследуемыми типами колебаний с одинаковыми параметрами в значениях выхода плодов первого товарного сорта оказались несущественными при доверительном уровне вероятности 0,95. Определено, что продолжительность воздействия вибрации также играет важную роль в повреждении плодов. Более длительное воздействие приводит к увеличению повреждений, независимо от типа колебаний.

7. Установлено, что при увеличении длины неровности и скорости движения частота колебаний кузова транспортного средства увеличивается, что оказывает негативное влияние на груз, находящийся в это время в кузове.

ГЛАВА 5 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТЕЙНЕРА, СНИЖАЮЩЕГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ЯБЛОК ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ

Целью экономического обоснования является определение экономической целесообразности применения транспортировочных контейнеров для перевозки плодоовощной продукции в агропромышленном комплексе.

Основным ожидаемым результатом внедрения разработки является снижение повреждений плодоовощной продукции, повышение количества и увеличения сроков хранения для реализации плодов.

В результате выполнения работы установлено, что применение данного технического решения позволит сократить порчу плодоовощной продукции при транспортировке яблок из сада до мест их дальнейшей обработки и реализации.

Методика оценки экономической эффективности при проведении экспериментов с транспортировочными контейнерами следующая:

$$\mathcal{E}_{\text{СУМ}} = \mathcal{E}_{\text{ЭКС}} + \mathcal{E}_{\text{ПОВР}}, \quad (5.1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ЭКС}}$ — экономический эффект от уменьшения эксплуатационных затрат,

$\mathcal{E}_{\text{ПОВР}}$ — экономический эффект при уменьшении повреждений плодоовощной продукции.

Определить общую экономическую эффективность применения нового типа транспортировочных контейнеров возможно при расчете всех видов экономических затрат и определении общей финансовой выгоды.

5.1 Экономический эксплуатационный эффект от внедрения транспортировочных контейнеров с демпфирующими устройствами

Эксплуатационные затраты – это затраты, связанные с текущей деятельностью предприятия, направленной на производство и реализацию продукции. В сельском хозяйстве выделяют несколько видов эксплуатационных затрат:

Затраты на семена, удобрения и средства защиты растений. Эти затраты относятся к основным затратам сельскохозяйственного производства, так как являются необходимыми для получения хорошего урожая. Семена обеспечивают начальный материал для выращивания растений, удобрения обогащают почву необходимыми питательными веществами, а средства защиты растений помогают бороться с вредителями и болезнями.

Затраты на технику и механизацию. Приобретение и обслуживание сельскохозяйственной техники – также одна из основных статей расходов в сельском хозяйстве. Современная техника позволяет увеличить производительность работы, сократить время на выполнение сельскохозяйственных операций и улучшить качество производимой продукции.

Затраты на топливо и энергию. Для работы сельскохозяйственной техники и обогрева жилья животных необходимо топливо и энергия. Расходы на топливо и энергию являются значительными для сельскохозяйственных предприятий и напрямую влияют на экономическую эффективность производства.

Затраты на оплату труда. Сельское хозяйство требует значительного количества рабочей силы для выполнения различных сельскохозяйственных операций. Затраты на оплату труда сотрудников также являются значительной статьей расходов для сельскохозяйственных предприятий [1,5,18].

Эксплуатационные затраты при выращивании яблок также включают в себя расходы на удобрения, орошение, защиту от вредителей и болезней, техническое обслуживание и другие операционные издержки, позволяющие снизить эксплуатационные расходы в долгосрочной перспективе.

Для вычисления экономического эффекта от внедрения транспортировочных контейнеров с демпфирующими устройствами можно использовать следующую формулу:

$$E = (C_c - C_э) + (P_c - P_э), \quad (5.2)$$

где E — экономический эффект от внедрения,

C_c — совокупные издержки на транспортировку без использования контейнеров с демпфирующими устройствами,

$C_э$ — совокупные издержки на транспортировку с использованием контейнеров с демпфирующими устройствами,

P_c — потери (например, повреждения продукции) без использования контейнеров с демпфирующими устройствами,

$P_э$ — потери (например, повреждения продукции) с использованием контейнеров с демпфирующими устройствами.

Эта формула позволяет оценить снижение издержек и уменьшение потерь продукции благодаря использованию специальных контейнеров с демпфирующими устройствами. Положительное значение E указывает на экономический эффект (выгоду) от внедрения, а отрицательное — на отсутствие экономической выгоды.

Производительность определяется по следующей формуле:

$$P = \frac{I_{ст} \times T_p}{O_t}, \quad (5.3)$$

где $I_{ст}$ - (идеальное время цикла) теоретически минимальное время, необходимое для выпуска единицы продукции, мин;

T_p – (выпуск продукции) общее количество выпускаемой продукции, кг;

O_t – (операционное время) - время, когда оборудование действительно работало и выпускало продукцию, мин;

Производительность составила:

- при ВП яблук в стандартных контейнерах:

$$P = \frac{1200 \cdot 30}{1250} = 28,8 \frac{\text{кг}}{\text{час}}$$

- при ВП яблук в экспериментальных контейнерах:

$$P = \frac{1300 \cdot 30}{1310} = 29,77 \text{ кг/час.}$$

Качество относится к потерям, вызываемым несоответствием произведенной продукции критериям, установленным стандартами. При расчете качества важно соотношение выпуска продукции, имеющей отличные показатели, к общему объему:

$$Q = \frac{G_p}{T_p}, \quad (5.4)$$

где Q – качество яблук после транспортировки, %;

Gr – яблоки без повреждений, кг;

Tr - общий объем перевозимых яблок, кг.

Выполнив необходимые вычисления, получим качественные показатели:

- при ВП яблок в стандартной таре

$$Q = \frac{26,7}{30} \times 100\% = 89\%.$$

- при ВП яблок в экспериментальных контейнерах:

$$Q = \frac{29,5}{30} \times 100\% = 98,3\%.$$

Определение приведенных затрат и годового экономического эффекта от использования экспериментального контейнера при выращивании яблок является важным шагом в оценке эффективности данного инновационного подхода.

Использование экспериментального контейнера может способствовать снижению расходов на внешние ресурсы, такие как вода и удобрения, благодаря более эффективному использованию этих ресурсов в условиях контролируемой среды. Кроме того, контейнер может снизить затраты на защиту растений от вредителей и болезней за счет предотвращения контакта с внешними агентами.

Для оценки экономического эффекта от использования экспериментального контейнера необходимо провести сравнительный анализ приведенных затрат на выращивание яблок с использованием контейнера и без него. После этого можно рассчитать разницу в издержках и определить годовой экономический эффект от внедрения инновационного подхода.

Таким образом, проведение анализа приведенных затрат и оценка годового экономического эффекта от использования экспериментального контейнера при выращивании яблок позволят оценить эффективность данного метода и принять решение о его внедрении в агропромышленное производство.

Результаты расчета эксплуатационных затрат на внедрение экспериментальных контейнеров с демпфирующими устройствами включают в себя комплексный анализ всех связанных с этим затрат: постоянные издержки (FC); переменные издержки (VC); снижение потерь и затрат на ущерб (PL); итоговые эксплуатационные затраты (TC).

Итоговые эксплуатационные затраты включают сумму всех постоянных и переменных издержек, с учетом снижения потерь и затрат на ущерб:

$$TC_{\text{экс}} = FC + VC - PL, \quad (5.5)$$

где $TC_{\text{экс}}$ — общие эксплуатационные затраты,

FC — постоянные издержки,

VC — переменные издержки,

PL — снижение потерь и затрат на ущерб.

Результаты расчета эксплуатационных затрат представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Расчет эксплуатационных затрат

Виды затрат	Ден.ед. к массе	Контейнер	
		Стандартная тара	Экспериментальн ый контейнер
1	2	3	4
Амортизационные отчисления, Z_a	руб/т	19,24 (14,53)	24,65 (19,93)
Техническое обслуживание и ремонт,	руб/т	27,83 (20,11)	21,72 (15,74)
Оплата труда рабочих, Z_o	руб/т	46,25 (54,69)	43,53 (49,63)
Итого, эксплуатационные затраты, $Z_{\text{экс}}$	руб/т	93,32 (89,93)	89,9 (85,3)
В скобках указаны значения, соответствующие эксплуатационным затратам при ВП яблок.			

Определяем приведенные затраты и годовой экономический эффект от использования экспериментального контейнера в результате снижения эксплуатационных затрат при ВП яблок [1,5]:

$$Э_{\text{экс}} = (93,32 - 89,9) \cdot 460 = 1573,2 \text{ руб.}$$

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

Экономическая эффективность: определяется разницей между общими затратами на транспортировку с использованием и без использования экспериментальных контейнеров.

Рентабельность: если снижение потерь и затрат на ущерб превышает суммарные затраты на внедрение и эксплуатацию контейнеров, то их использование является экономически эффективным.

5.2 Экономический эффект от снижения величины повреждений яблок

Эффективное снижение повреждений яблок имеет значительное

экономическое значение для производителей и потребителей. Поврежденные яблоки не только имеют более короткий срок хранения, но и ослабляют качество продукции, что приводит к уменьшению прибыли и потере клиентов.

Минимизация повреждений яблок способствует уменьшению потерь продукции, продлению срока хранения и улучшению её внешнего вида, что в свою очередь повышает спрос на продукцию. Таким образом, экономический эффект от снижения повреждений яблок включает в себя увеличение прибыли от реализации продукции, снижение издержек на обработку и утилизацию повреждённых яблок, а также укрепление позиций компании на рынке. Кроме того, снижение повреждений позволяет сократить расходы на логистику и хранение, что дополнительно увеличивает общую рентабельность производства. Также важно отметить, что минимизация повреждений способствует улучшению качества продукции, что может привести к увеличению её стоимости на рынке. В результате, компания может получить дополнительные конкурентные преимущества и укрепить свою репутацию среди потребителей.

Экономический эффект от снижения величины повреждений яблок при их ВП определяется выражением:

$$\mathcal{E}_{\text{повр}} = I_{\text{С}} - I_{\text{М}} \quad (5.6)$$

где $I_{\text{С}}$ — издержки от яблок при ВП серийным транспортировочным контейнером, руб;

$I_{\text{М}}$ — издержки от повреждения яблок при ВП экспериментальным контейнером, руб;

Денежные потери от повреждения плодов при ВП определяем выражением:

$$I = Q_{\text{Общ}} \cdot P_{\text{Кл}} \cdot Ц_{\text{Р}} \quad (5.7)$$

где $Q_{\text{Общ}}$ — количество перевезенного урожая за время уборки одним контейнером, т;

$P_{\text{Кл}}$ — величина повреждений яблок, %;

$Ц_{\text{Р}}$ — ценовая разница (товарных и поврежденных яблок), руб/т.

Изучение влияния типа тары на сохранность яблок является важной задачей сельскохозяйственной науки и практики. Проведенные исследования

показали, что стандартная тара обеспечивает более низкую величину повреждений яблок», всего 11%, по сравнению с экспериментальным контейнером, где данное значение составило 1,7%.

Таким образом, использование экспериментального контейнера способствует более высокой сохранности яблок в процессе транспортировки и хранения. При этом стоимость данного контейнера может оправдать себя, учитывая экономию на затратах на замену поврежденных яблок.

Ценовая разница между продовольственными и поврежденными яблоками составляет 6600 рублей в тонне. Это позволяет оценить потенциальную экономическую выгоду от снижения уровня повреждений и улучшения условий транспортировки продукции, получим следующие выражения для определения издержек от повреждения продукции»:

- При повреждении яблок в стандартной таре:

$$I_C = 460,0 \times 0,11 \times 6600,0 = 33396,0 \text{ руб.}$$

- При повреждении яблок в экспериментальных контейнерах:

$$I_M = 460,0 \times 0,0017 \times 6600,0 = 5161,0 \text{ руб.}$$

Подставляем полученные значения в формулу (5.6) и получаем экономический эффект от снижения величины повреждения продукции:

$$Э_{\text{повр}} = 33396,0 - 5161,0 = 28235,0 \text{ руб.}$$

Использование экспериментального контейнера не только снижает издержки, но и способствует сохранению качества продукции. Это особенно важно для поддержания репутации компании на рынке. Кроме того, снижение повреждений уменьшает количество отходов, что положительно сказывается на экологии. В долгосрочной перспективе, такие меры могут привести к увеличению доли рынка и привлечению новых клиентов.

Полученный экономический эффект от применения контейнеров при ВП яблок:

$$Э_{\text{сум}} = 28\,235 + 1573,2 = 29\,808,2 \text{ руб.}$$

Таким образом, экономический эффект от снижения повреждений яблок включает в себя увеличение прибыли от реализации продукции, снижение издержек на обработку и утилизацию поврежденных яблок, а также укрепление

позиций компании на рынке.

5.3 Выводы по главе 5

Экономическая эффективность использования экспериментального контейнера подтверждается следующими параметрами:

- использование транспортировочных контейнеров с демпфирующими устройствами не только обеспечивает сохранность продукта, но также способствует его безопасной и эффективной транспортировке. Кроме того, правильно подобранная тара позволяет улучшить внешний вид продукции, что повышает ее привлекательность для покупателей;

- определение экономической эффективности тары выполнено путем сравнения технико-экономических показателей двух типов контейнеров: стандартного и транспортировочного с демпфирующими устройствами, предназначенных для одних и тех же целей.

- полученный экономический эффект от применения контейнеров при ВП яблос составил 29 808,2руб. за тонну.

Необходимо разрабатывать методы оценки экономической эффективности контейнерной тары, минимизирующей повреждения яблос при транспортировке яблос в сельском хозяйстве, определить технологические возможности ее применения. Предложенный подход к конструированию контейнеров для транспортировки яблос открывает возможность серийного их изготовления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ факторов, влияющих на транспортировку яблок, показал, что недостаточно изучены вопросы, связанные с использованием тары, которая оказывает непосредственное воздействие на повреждения продукции. Рассмотрен ряд исследований, посвященных влиянию статических, динамических и циклических нагрузок на плоды, однако, необходимы поиск и исследования путей снижения воздействия этих нагрузок на повреждения плодов при транспортировке в таре.

2. Теоретические исследования показали, что факторами, способными оказывать влияние на повреждения яблок при контейнерной транспортировке являются амплитуда (от 5,0 мм до 35,0мм) и частота (в диапазоне от 1,0 Гц до 5,0 Гц) колебательных нагрузок при значениях ускорения в пределах 3,0 м/с.

3. Теоретически обоснованы параметры контейнера с внутренней демпфирующей поверхностью, снижающего повреждения яблок при транспортировке. Обоснованными параметрами следует считать следующие: при нагружении контейнера, имеющего размеры 0,47x0,28x0,25(н), яблоками общим весом 18,0кг параметр жесткости составит $k=0,1 \cdot 10^{-11}$ (м⁶/Н), обоснована толщина днища - 0,0049м, эти параметры дают возможность снизить получаемые повреждения яблок в процессе транспортировки.

4. Экспериментально установлено, что двойное дно экспериментального контейнера выступает в роли амортизирующей платформы внутри, поглощая внешние колебания, а усовершенствованные стенки и крышка сокращают поверхностные повреждения за счет своей мягко-эластичной амортизируемой структуры. Использование контейнера с данными параметрами позволяет снизить повреждения яблок при транспортировке в среднем на 3,23% или в 2,5 раза по сравнению со стандартной тарой. Наименьшие повреждения плодов высшего сорта при транспортировке в таре с внутренней демпфирующей поверхностью составили 1,7%.

5. Использование экспериментального контейнера с внутренней демпфирующей поверхностью при обоснованных параметрах обеспечивает

экономический эффект от снижения величины повреждений продукции 28 235 руб./т.

Рекомендации производству

Транспортировку яблок следует производить с использованием контейнеров, позволяющих снизить повреждения яблок, что позволит уменьшить их потери и увеличить сроки хранения продукции.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Развитием полученных результатов является изучение прочих способов модернизации экспериментального контейнера, обоснование параметров для других типов плодоовощной продукции, исследование влияния динамических нагрузок на работу амортизаторов, рассмотрение дорожных условий, создающих значительную вибрацию на перевозимую продукцию и влияющих на его повреждения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аксенов, А. Г. Состояние технического обеспечения производства овощных культур в Российской Федерации / А. Г. Аксенов, А. В. Сибирев // Картофель и овощи. – 2021. – № 8. – С. 3-8. – DOI 10.25630/PAV.2021.85.47.001.
2. Антоненко, М. В. Анализ инновационных технических средств для транспортировки плодоовощной продукции на примере рефрижераторов / М. В. Антоненко, И. А. Успенский, Г. К. Рембалович // Инновационные научно-технологические решения для АПК, Рязань, 20 апреля 2023 года. Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 266-271.
3. Антоненко, М. В. Влияние воздухообмена, влажности и температуры на сохранность сельскохозяйственной продукции / М. В. Антоненко, И. А. Успенский, Г. К. Рембалович // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина, Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 13-16.
4. Антоненко, М. В. Влияние коэффициента сопротивления качению колес автомобиля на перевозку плодоовощной продукции / М. В. Антоненко, И. А. Успенский // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации, Рязань, 22 декабря 2022 года / ФГБОУ ВО РГАТУ АВТОДОРОЖНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2022. – С. 107-111.
5. Антоненко, М. В. Влияние микрорельефа дороги на движение транспортных средств в АПК / М. В. Антоненко, И. А. Успенский // Инновационные решения в области развития транспортных систем и дорожной инфраструктуры, Рязань, 27 октября 2022 года / ФГБОУ ВО РГАТУ

АВТОДОРОЖНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2022. – С. 258-265.

6. Антоненко, М. В. влияние микрорельефа местности на параметры колебаний кузова при транспортировке в контейнерах / М. В. Антоненко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 199. – С. 9-18. – DOI 10.21515/1990-4665-199-002.

7. Антоненко, М. В. Влияние уборки и обработки плодоовощной продукции на её транспортировку и сохранность / М. В. Антоненко // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации, Рязань, 22 декабря 2022 года / ФГБОУ ВО РГАТУ АВТОДОРОЖНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2022. – С. 116-120.

8. Антоненко, М. В. Особенности перевозок сельскохозяйственных грузов – основа эффективности сельского хозяйства / М. В. Антоненко, И. А. Успенский // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации, Рязань, 22 декабря 2022 года / ФГБОУ ВО РГАТУ АВТОДОРОЖНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2022. – С. 49-55. – EDN IMDZGY.

9. Антонова, Т. С. Разработка системы мониторинга доставки грузов / Т. С. Антонова // Цифровые технологии в преподавании профильных дисциплин : Сборник кейсов и практических заданий по развитию цифровых компетенций обучающихся среднего профессионального и высшего образования. – Казань : Общество с ограниченной ответственностью «Логос-Пресс», 2023. – С. 105-109. – EDN ROUMHF.

10. Антоненко, М.В. Анализ техники, используемой в сельском хозяйстве, условия эффективности ее применения / М.В. Антоненко, И.А. Успенский, И.В. Фадеев // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии : материалы I национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой памяти

доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова. - Рязань : РГАТУ, 2021. - Часть I. - С. 376-382. ISBN 978-5-98660-387-2 - Текст : непосредственный.

11. Антоненко, М.В. К вопросу анализа технических характеристик машин и механизмов, применяемых в сельском хозяйстве // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии : материалы I национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой памяти доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова. - Рязань : РГАТУ, 2021. - Часть I. - С. 382-389. ISBN 978-5-98660-387-2 - Текст : непосредственный.

12. Антоненко, М.В. Проблемы развития автомобильной промышленности и эффективности транспорта / М.В. Антоненко, И. А. Успенский // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации : материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н. Александра Алексеевича Сорокина. 2022. - С. 61-66. - Текст : непосредственный.

13. Арленинов, Д. К. Влияние новых расчетных характеристик древесины на определение коэффициента продольного изгиба / Д. К. Арленинов // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 4. – С. 16-20. – DOI 10.33622/0869-7019.2020.04.16-20.

14. Артемова, Е.И. Проблемы обеспечения продовольственной безопасности России её регионов / Е.И. Артемова, Е.В. Плотникова, М.Н. Оболенская. - Текст : электронный // Вестник Академии знаний. – 2020. – №3 (38). – С. 44-49. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=430714794>.

15. Белю Л.П. Сохранность плодов на внутрихозяйственных перевозках / Симдянкин А.А., И.А. Успенский, Л.П. Белю, И.А. Юхин, О.В. Филюшин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2020. - №2 С.346 – 356 - Текст : непосредственный.

16. Белю, Л. П. Оценка повреждения яблок в таре на автомобильных перевозках агропромышленного комплекса : специальность 05.20.01

"Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Белю Людмила Петровна, 2020. – 152 с. – EDN SIVFKB.

17. Белю, Л. П. Транспортировка и хранение свежих плодов и овощей / Л. П. Белю, Д. А. Федяшов, А. С. Дорогов // Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве : Материалы национальной научно-практической конференции, посвященные памяти д.т.н., профессора Бычкова Валерия Васильевича, Рязань, 28 февраля 2023 года / ФГБОУ ВО РГАТУ АВТОДОРОЖНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 145-152.

18. Белю, Л.П. Анализ проблем транспортировки сельскохозяйственной продукции / И. А. Успенский, Л. П. Белю, И. А. Юхин, О. В. Филюшин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 1. – С. 147-154. – DOI 10.36508/RSATU.2024.38.68.020. – EDN CNORRX.

19. Белю, Л.П. Использование сетевого планирования при грузоперевозках сельскохозяйственной продукции - Текст : непосредственный // Актуальные вопросы применения инженерной науки : материалы Международной студенческой научно-практической конференции. - Рязань: - РГАТУ, 2019 - С. 219-224.

20. Белю, Л.П. Некоторые тенденции развития логистических процессов в сельском хозяйстве - Текст : непосредственный // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: материалы Международной научно-практической конференции - Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.Л. Огарева, 2017. - С. 125-131.

21. Белю, Л.П. Современные проблемы рационального использования автомобильного транспорта в сельском хозяйстве [Текст] / Л.П. Белю // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве : материалы 68-й Международной научно-практической

конференции, посвященной Году экологии в России - Рязань: РГАТУ, 2017. - С. 26-30.

22. Белю, Л.П. Воздействие колебаний плодоовощной продукции на ее повреждения / И. А. Успенский, Л. П. Белю, А. С. Сивиркина [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 1. – С. 155-162. – DOI 10.36508/RSATU.2024.98.54.021. – EDN IXADSM.

23. Бурмистрова, Т. И. Основы технической надежности конструктивных систем с применением древесины / Т. И. Бурмистрова, В. Ю. Частова // Дни студенческой науки : Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института промышленного и гражданского строительства, Москва, 27 февраля – 03 2023 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. – С. 281-283.

24. Влияние параметров колебаний автомобиля на повреждение плодоовощной продукции / М. В. Антоненко, И. А. Успенский, А. С. Сивиркина, Н. В. Лимаренко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 198. – С. 1-12. – DOI 10.21515/1990-4665-198-001.

25. Влияние сублимационной сушки на качественные показатели клубней картофеля / В. И. Старовойтов, С. В. Жевора, О. А. Старовойтова [и др.] // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 4. – С. 60-64. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-4-60-64.

26. Внедрение интеллектуальной системы в процессы перевозки грузов для увеличения безопасности транспортировки / А. В. Шемякин, И. А. Успенский, О. Н. Дидманидзе [и др.] // Транспортное дело России. – 2023. – № 5. – С. 118-123. – DOI 10.52375/20728689_2023_5_118..

27. Выращивание картофеля и топинамбура с применением микроэлементов / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А. А. Манохина, В. А. Чайка // Вестник ИрГСХА. – 2022. – № 108. – С. 41-52. – DOI 10.51215/1999-3765-2022-108-41-52.

28. ГОСТ 27572-18 Яблоки свежие для промышленной переработки. Технические условия. Fresh apples for processing. Specifications : Информационные данные : Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 29.08.75 N 2288: дата введения 07.01.2018 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. - Москва : Стандартинформ, 2017. - 12с.

29. Гришин, А. П. Применение аппарата нечеткой логики в задачах автоматизации технологических процессов сельского хозяйства / А.А Гришин, В.А. Гришин, З.А. Годжаев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2018. – №1, Том 19. – С.40 – 46. <https://elibrary.ru/item.asp?edn=ylohmn> (дата обращения 20.05. 2022). - Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

30. Дорохов А. С. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021614625 Российская Федерация. Программа управления климатической камерой контейнерного типа : № 2021613580 : заявл. 19.03.2021 : опубл. 26.03.2021 / А. А. Гришин, А. Ю. Измайлов, А. С. Дорохов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».

31. Дорохов, А. С. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля / А. С. Дорохов, А. В. Сибирев, А. Г. Аксенов, М. А. Мосяков // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 1. – С. 12-16. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-1-12-16.

32. Дорохов, А. С. Научно-методологические основы технологического процесса уборки сельскохозяйственных культур / А. С. Дорохов, Н. В. Алдошин, А. Г. Аксенов [и др.]. – Санкт-Петербург : Издательство "Лань", 2022. – 268 с. – ISBN 978-5-8114-9973-1.

33. Еремин, А.А. Инновационные технологии производства, хранения и переработки сахарной свеклы : Аналитический обзор / В. Ф. Федоренко, Н. П. Мишууров, Т. А. Щеголихина [и др.]. – Москва : Росинфрамагротех, 2020. – 92 с. – ISBN 978-5-7367-1584-8.

34. Измайлов, А. Ю. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства / Я. П. Лобачевский, Ю. Ф. Лачуга, А. Ю. Измайлов, Ю. Х. Шогенов // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 3(309). – С. 2-12. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-3-2-11.

35. Измайлов, А. Ю. Современные технологии и техника для сельского хозяйства - тенденции выставки AGRITECHNIKA 2019 / А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, А. С. Дорохов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 6. – С. 28-40. – DOI 10.31992/0321-4443-2020-6-28-40.

36. Инновационные проекты малого и среднего бизнеса Европы / Роботизированный комбайн для сбора плодов FFRobot / <https://tehnobiz.fun/robotizirovannyj-kombajn/prodovolstvie> (дата обращения: 08 января 2022). - Текст : электронный.

37. Инновационные решения снижения повреждений и потерь клубней при уборке и хранении картофеля / Р. В. Безносок, И. А. Успенский, Н. Ю. Харламова [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 188. – С. 250-260. – DOI 10.21515/1990-4665-188-020.

38. Инновационные технологии и оборудование для сортировки и хранения картофеля : Аналитический обзор / В. Ф. Федоренко, В. И. Старовойтов, О. А. Старовойтова [и др.]. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2021. – 84 с. – ISBN 978-5-7367-1632-6.

39. Интеллектуальные технологии в оригинальном семеноводстве клубнеплодов : Аналитический обзор / Н. П. Мишуров, Т. А. Щеголихина, С. В. Жевора [и др.]. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2023. – 84 с. – ISBN 978-5-7367-1749-1.

40. Интродукция топинамбура в Российской Федерации / В. И. Старовойтов, С. В. Жевора, В. А. Бызов [и др.]. – Москва : ООО "КнигИздат", 2024. – 324 с. – ISBN 978-5-4492-0594-0.

41. Исследование алгоритма динамического расчета для уменьшения факторов, усиливающих колебательные движения автомобилей, приводящие к порче перевозимой плодоовощной продукции / И.А. Успенский, М.В. Антоненко, Н.В. Лимаренко [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 3(67). – С. 487-497. – DOI 10.32786/2071-9485-2022-03-55.

42. Исследование транспортировки яблок в таре по дорогам с различным покрытием / Л. П. Белю, И. А. Успенский, И. А. Юхин [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2023. – № 3(71). – С. 526-539. – DOI 10.32786/2071-9485-2023-03-52.

43. Коваленко, А. В. Определение допустимых режимов уплотнения фруктов в таре при их товарной обработке / А. В. Коваленко, М. А. Иванова, А. С. Громцев // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – № 1. – С. 11.

44. Лобачевский, Я. П. Современное состояние технологического обеспечения производства овощных культур в Российской Федерации / Я. П. Лобачевский, А. С. Дорохов, А. В. Сибирев // Овощи России. – 2023. – № 5. – С. 5-17. – DOI 10.18619/2072-9146-2023-5-5-17.

45. Манохина, А. А. Возделывание продовольственного картофеля из мелких мини-клубней, полученных в условиях водно-воздушной культуры / А. А. Манохина, В. И. Старовойтов, О. А. Старовойтова // Проблемы и перспективы развития науки и образования : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тверь, 14 февраля 2023 года. – Тверь: Издательство Тверской ГСХА, 2023. – С. 350-353.

46. Митрохина, Е. В. Самоходные машины для уборки картофеля / Е. В. Митрохина, Н. А. Антоненко, П. С. Синицин // Научно-техническое обеспечение

технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина , Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 242-248.

47. Патент 2532829 Российская Федерация, МПК 51 В 65 D 85/34 Устройство для транспортировки плодоовощной продукции : № 2013113331/13; заявл. 27.03.2013 ; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 31 / И.А. Успенский, А.А. Симдянкин, И.А. Юхин и соавт. ; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – 7 с. - Текст : непосредственный.

48. Патент 2636569 Российская Федерация, МПК51 В 65 D 85/34 Устройство для транспортировки легкоповреждаемой плодоовощной продукции : № 2016120142 ; заявл. 24.05.2016 ; опубл. 23.11.2017, Бюл. № 33. / И.А. Юхин, А.А. Голиков, А.А., Симдянкин, И.А. Успенский и соавт. ; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – 5 с. - Текст : непосредственный.

49. Патент № 2648772 С1 Российская Федерация, МПК А01F 25/00. Способ хранения клубней топинамбура : № 2017120372 : заявл. 09.06.2017 : опубл. 28.03.2018 / В. И. Еремченко, Н. Н. Колчин, С. Н. Петухов, П. А. Еремин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

50. Патент № 2754027 С1 Российская Федерация, МПК G01N 3/32, G01N 33/02. Устройство для оценки повреждаемости клубнеплодов : № 2020136522 : заявл. 06.11.2020 : опубл. 25.08.2021 / В. Н. Зернов, С. Н. Петухов, А. Г. Аксенов

[и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ".

51. Патент № 2764947 С1 Российская Федерация, МПК F26В 9/06. Контейнер для транспортировки, сушки и хранения семян : № 2021120575 : заявл. 13.07.2021 : опубл. 24.01.2022 / А. Ю. Измайлов, М. Л. Крюков, М. В. Иванов, К. А. Степанов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».

52. Патент № 2775698 С1 Российская Федерация, МПК А01F 25/00. Способ хранения клубнеплодов : № 2021108880 : заявл. 01.04.2021 : опубл. 06.07.2022 / Ю. А. Масюк, Ю. П. Бойко, Н. Н. Гордиенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха".

53. Правительство Российской Федерации / Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017 - 2025 годы / официальный сайт. - Москва. - Обновляется в течение суток URL:

<http://static.government.ru/media/files/EIQtiyxIORGXoTK7A9i497tyyLAmnIrs.pdf>
(дата обращения: 10 ноября 2022). - Текст : электронный.

54. Патент на полезную модель № 200402 U1 Российская Федерация, МПК В65D 85/50. Контейнер для сбора, транспортировки и хранения образцов семян и плодов растений : № 2020123481 : заявл. 08.07.2020 : опубл. 22.10.2020 / Л. В. Цаценко, С. В. Исакова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина".

55. Патент на полезную модель № 210336 U1 Российская Федерация, МПК В60Р 1/00. Демпфирующее устройство кузова транспортного средства : № 2021137033 : заявл. 14.12.2021 : опубл. 08.04.2022 / Р. В. Безносюк, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева".

56. Перспективы биологизированной системы земледелия в картофелеводстве / Н. В. Воронов, В. И. Старовойтов, О. А. Старовойтова [и др.] // Наука Санкт-Петербурга - Петрограда - Ленинграда и обеспечение безопасности страны : Материалы Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 24 марта 2022 года. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2022. – С. 346-352.

57. Перспективы исследования колебательных движений автомобиля, влияющих на сохранность плодоовощной продукции, перевозимой в контейнерах / И. А. Успенский, М. В. Антоненко, Н. В. Лимаренко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 3. – С. 154-162. – DOI 10.36508/RSATU.2023.25.94.020.

58. Повышение эффективности внутрихозяйственных перевозок плодоовощной продукции / А. А. Голиков, О. В. Филюшин, Н. В. Лимаренко [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2023. – № 2(70). – С. 429-439. – DOI 10.32786/2071-9485-2023-02-51.

59. Повышение эффективности деятельности предприятия по перевозке контейнерных грузов / Ю. Р. Яковлева, Д. А. Ямщиков // Экономика и управление в XXI веке: тенденции развития. – 2014. – № 19-2. – С. 145-149. – EDN TBVJUV.

60. Продовольственная безопасность России и экономические механизмы ее обеспечения / Н. С. Шайтура, Н. В. Останкова, Е. А. Родина [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 7. – С. 209-216.

61. Пустовалов, В.С. Совершенствование технологического процесса вывозки яблок из сада и обоснование параметров вибрационной установки для уплотнения их в контейнерах : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание степени кандидата технических наук / В.С. Пустовалов ; Всесоюзный ордена трудового

красного знамени НИИ садоводства им. И.В. Мичурина. – Мичуринск, 1984. - 195 с. - Текст : непосредственный.

62. Раюшкина, А.А. Повышение сохранности плодоовощной продукции при ее доставке потребителям автомобильным транспортом : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание степени кандидата технических наук / А.А. Раюшкина ; Волгоградский государственный технический университет. Волгоград, 2004. - 200 с. - Текст : непосредственный.

63. Рябчиков, Д. С. Обоснование параметров устройства для транспортировки корнеклубнеплодов : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Рябчиков Дмитрий Сергеевич, 2021. – 113 с.

64. Сибирев, А. В. Определение показателей уровня техногенного воздействия технологического комплекса машин на уборке овощных культур / А. С. Дорохов, А. Г. Аксенов, М. А. Мосяков // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 2. – С. 15-18. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-2-15-18.

65. Симдянкин, А. А. Оценка повреждаемости яблок в таре при их перевозке по дорогам с различным покрытием / А. А. Симдянкин, Л. П. Белю // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 4(48). – С. 113-121. – DOI 10.36508/RSATU.2020.48.4.016.

66. Смирнов, И. Г. Товарная обработка и упаковка плодов / И. Г. Смирнов, Н. А. Антоненко, Е. В. Митрохина // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина , Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 184-190.

67. Смирнов, И. Г. Транспортировка семенных клубней картофеля / И. Г. Смирнов, Н. А. Антоненко, Е. В. Митрохина // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина , Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 202-208.

68. Солдат, И. Е. Интеллектуальные технологии в точном земледелии / И. Е. Солдат, О. Д. Мещеряков // Инновационные технологии в земледелии и растениеводстве : Сборник научных статей, посвященный 70-летию доктора сельскохозяйственных наук Юшкевича Леонида Витальевича, Омск, 25 октября 2022 года. – Омск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Омский аграрный научный центр", 2022. – С. 286-291. – EDN AFKDBU.

69. Соловьев, С. А. Методы расчета и проектирования деревянных конструкций на заданный уровень надежности / С. А. Соловьев, А. А. Соловьева. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2022. – 138 с. – ISBN 978-5-907606-28-9. – EDN HNUFOT.

70. Солошенко, Р. В. Роль сельского хозяйства и сельских территорий в обеспечении национальной продовольственной безопасности / Р. В. Солошенко, Е. Н. Ноздрачева, А. В. Долгополов // Экономические науки. – 2021. – № 197. – С. 192-197. – DOI 10.14451/1.197.192. – EDN JWQOER.

71. Степнова, А. С. Совершенствование технологии транспортировки и хранения томатов на основе системы оценки и прогнозирования качества : специальность 05.18.01 "Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Степнова Алевтина Сергеевна, 2021.

72. Теоретические подходы к оптимизации уборки топинамбура в условиях неопределенности / В. И. Старовойтов, О. А. Старовойтова, А. А.

Манохина [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 7(313). – С. 22-27. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-7-22-27.

73. Технологии возделывания картофеля / Г. К. Рембалович, И. А. Юхин, С. Н. Борычев, И. А. Успенский // Перспективы развития технической эксплуатации мобильной техники : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 23-летию кафедры «Техническая эксплуатация транспорта», Рязань, 08 ноября 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет, 2023. – С. 28-34.

74. Требования к транспортировке картофеля / С. Н. Борычев, И. А. Успенский, Г. К. Рембалович, А. А. Кутыраев // Инновационные научно-технологические решения для АПК, Рязань, 20 апреля 2023 года. Том Часть II. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 422-431.

75. Успенский, И. А Перспективы развития транспортной техники для внутрихозяйственных перевозок плодоовощной продукции в агропромышленном комплексе: коллективная монография / И.А., Успенский, И.А., Юхин, К.А. Жуков, Э.А. Зейналов и др. - Текст : непосредственный / - Рязань: Изд. ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2015. - 349 с

76. Успенский, И. А. Алгоритм сохранения качества плодоовощной продукции при уборочно-транспортных работах / И.А. Успенский, И.А. Юхин, С.В. Колупаев, К.А. Жуков - Текст : непосредственный // Техника и оборудование для села. - 2013. - №12. - С. 12-15. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20926774> / (дата обращения: 27.06.2023). - Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

77. Успенский, И. А. Имитационное моделирование плавности хода автомобиля / И. А. Успенский, О. В. Филюшин, М. В. Антоненко // Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве : Материалы национальной научно-практической конференции, посвященные памяти д.т.н., профессора Бычкова Валерия Васильевича, Рязань, 28 февраля 2023 года / ФГБОУ ВО РГАТУ АВТОДОРОЖНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ. – Рязань: Рязанский

государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 209-214.

78. Успенский, И. А. Требования к перевозке овощей и фруктов / И. А. Успенский, А. А. Кутыраев // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина , Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 255-261.

79. Успенский, И.А. Вариантное моделирование контейнера для перевозки и хранения плодоовощной продукции / И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, М.В. Антоненко - Текст : непосредственный // В сборнике: Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве. Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора Бычкова Валерия Васильевича. РГАТУ, 2023. С. 20 - 26.

80. Успенский, И. А. Научно-практические аспекты транспортного моделирования / И. А. Успенский, Д. С. Рябчиков, А. С. Степашкина // Современные направления и подходы к проектированию и строительству инженерных сооружений : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Рязань, 19 декабря 2019 года / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева». – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2020. – С. 162-166. – EDN ZJVSOA.

81. Успенский, И.А. Снижение повреждаемости сельскохозяйственной продукции (на примере картофеля) при использовании пневмоконтейнера / И.А. Успенский И.А., И.А. Юхин, А.В. Шемякин, В.В. Терентьев, И.А. Пискачев - Текст : непосредственный // Вестник Рязан. гос. агротехнол. ун-та им. П. А. Костычева. Рязань. - 2018. - №1(37). - С. 104-108.

82. Юхин, И.А. Снижение повреждений картофеля и яблок на внутрихозяйственных перевозках стабилизацией транспортных средств : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Юхин Иван Александрович ; ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». - Рязань, 2016. - 388 с. : ил. - Текст : непосредственный.

Приложение А Результаты исследования зависимости повреждения плодов от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний

Таблица А1 - Результаты исследования зависимости повреждения плодов от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний 5,0 мм и времени проведения эксперимента

Частота вращения, Гц	Амплитуда, мм	5,0 мм				
	Время, мин	10	20	30	40	50
1.0	m _{общ} , кг	0,1788	0,2100	0,1400	0,1663	0,1575
	m _{пов} , кг	0,0026	0,0040	0,0030	0,0043	0,0044
2.0	m _{общ} , кг	0,143	0,168	0,112	0,133	0,126
	m _{пов} , кг	0,0021	0,0032	0,0024	0,0034	0,0035
2,4.	m _{общ} , кг	0,127	0,134	0,105	0,143	0,129
	m _{пов} , кг	0,0016	0,0027	0,0018	0,0026	0,0035
2,8	m _{общ} , кг	0,124	0,112	0,142	0,118	0,108
	m _{пов} , кг	0,0034	0,0045	0,0041	0,0052	0,0047
4.0	m _{общ} , кг	0,1588	0,1675	0,1313	0,1788	0,1613
	m _{пов} , кг	0,0200	0,0034	0,0023	0,0033	0,0044
5.0	m _{общ} , кг	0,1550	0,1400	0,1775	0,1475	0,1350
	m _{пов} , кг	0,0043	0,0056	0,0051	0,0065	0,0059

Таблица А2 - Результаты исследования зависимости повреждения плодов от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний 15,0 мм и времени проведения эксперимента

Частота вращения, Гц	Амплитуда, мм	15,0 мм				
	Время, мин	10	20	30	40	50
1.0	m _{общ} , кг	0,1587	0,1865	0,1243	0,1476	0,1399
	m _{пов} , кг	0,0023	0,0036	0,0027	0,0038	0,0039
2.0	m _{общ} , кг	0,102	0,123	0,119	0,113	0,137
	m _{пов} , кг	0,0015	0,0025	0,0031	0,0032	0,0035
2,4	m _{общ} , кг	0,102	0,141	0,113	0,122	0,11
	m _{пов} , кг	0,0032	0,0047	0,0046	0,0053	0,0045
2,8	m _{общ} , кг	0,132	0,129	0,116	0,097	0,117
	m _{пов} , кг	0,0037	0,0042	0,0054	0,0047	0,0053
4.0	m _{общ} , кг	0,1410	0,1487	0,1166	0,1587	0,1432
	m _{пов} , кг	0,0018	0,0030	0,0020	0,0029	0,0039
5.0	m _{общ} , кг	0,1376	0,1243	0,1576	0,1310	0,1199
	m _{пов} , кг	0,0038	0,0050	0,0046	0,0058	0,0052

Таблица А3 - Результаты исследования зависимости повреждения плодов от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний 25,0 мм и времени проведения эксперимента

Частота вращения, Гц	Амплитуда, мм	25.0 мм				
	Время, мин	10	20	30	40	50
1.0	m _{общ} , кг	0,1312	0,1541	0,1027	0,1220	0,1156
	m _{пов} , кг	0,0019	0,0029	0,0022	0,0031	0,0032
2.0	m _{общ} , кг	0,128	0,114	0,124	0,098	0,109
	m _{пов} , кг	0,0024	0,0038	0,0046	0,0042	0,0035
2,4	m _{общ} , кг	0,114	0,101	0,133	0,124	0,106
	m _{пов} , кг	0,0025	0,0022	0,0038	0,0031	0,0027
2,8	m _{общ} , кг	0,125	0,132	0,113	0,129	0,117
	m _{пов} , кг	0,0031	0,0034	0,0043	0,0038	0,0048
4.0	m _{общ} , кг	0,1165	0,1229	0,0963	0,1312	0,1183
	m _{пов} , кг	0,0015	0,0025	0,0017	0,0024	0,0032
5.0	m _{общ} , кг	0,1138	0,1027	0,1303	0,1082	0,0991
	m _{пов} , кг	0,0031	0,0041	0,0038	0,0048	0,0043

Таблица А4 - Результаты исследования зависимости повреждения плодов от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний 35,0 мм и времени проведения эксперимента

Частота вращения, Гц	Амплитуда, мм	35.0 мм				
	Время, мин	10	20	30	40	50
1.0	m _{общ} , кг	0,1182	0,1388	0,0926	0,1099	0,1041
	m _{пов} , кг	0,0017	0,0026	0,0020	0,0028	0,0029
2.0	m _{общ} , кг	0,1182	0,1388	0,0926	0,1099	0,1041
	m _{пов} , кг	0,0017	0,0026	0,0020	0,0028	0,0029
2,4	m _{общ} , кг	0,1050	0,1107	0,0868	0,1182	0,1066
	m _{пов} , кг	0,0013	0,0022	0,0015	0,0021	0,0029
2,8	m _{общ} , кг	0,1025	0,0926	0,1174	0,0975	0,0893
	m _{пов} , кг	0,0028	0,0037	0,0034	0,0043	0,0039
4.0	m _{общ} , кг	0,1050	0,1107	0,0868	0,1182	0,1066
	m _{пов} , кг	0,0013	0,0022	0,0015	0,0021	0,0029
5.0	m _{общ} , кг	0,1025	0,0926	0,1174	0,0975	0,0893
	m _{пов} , кг	0,0028	0,0037	0,0034	0,0043	0,0039

Приложение Б Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре при частоте колебаний при частоте колебаний 1,0; 4,0; 5,0 Гц.

Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре при частоте колебаний при частоте колебаний 1,0; 4,0; 5,0 Гц представлены в таблицах Б.1, Б.2, Б.3, в графических зависимостях на рисунках Б.1, Б.2, Б.3.

Таблица Б1 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре при частоте колебаний 1,0 Гц

Частота колебаний 1,0 Гц					
Амплитуда, мм	Повреждения яблок, %				
5	6,15	7,21	4,16	7,82	6,75
15	6,69	7,55	5,40	8,33	6,38
25	5,79	7,13	4,91	7,87	6,25
35	5,75	6,75	4,42	7,32	5,68

Таблица Б2 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре при частоте колебаний 4,0 Гц

Частота колебаний 4,0 Гц					
Амплитуда, мм	Повреждения яблок, %				
5	5,13	6,65	4,99	4,05	4,48
15	5,64	7,31	5,57	4,58	5,40
25	5,88	7,12	5,54	4,33	4,55
35	5,02	6,69	5,38	4,26	4,35

Таблица Б3 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых стандартной таре при частоте колебаний 5,0 Гц

Частота колебаний 5,0 Гц					
Амплитуда, мм	Повреждения яблок, %				
5	5,68	4,67	3,89	6,41	3,62
15	5,80	4,88	4,65	6,70	3,78
25	5,29	4,83	4,59	6,34	3,65
35	5,47	4,75	4,33	6,21	3,52

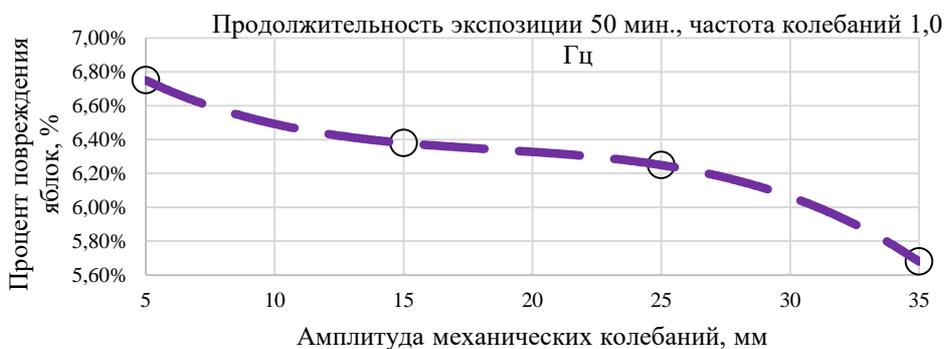
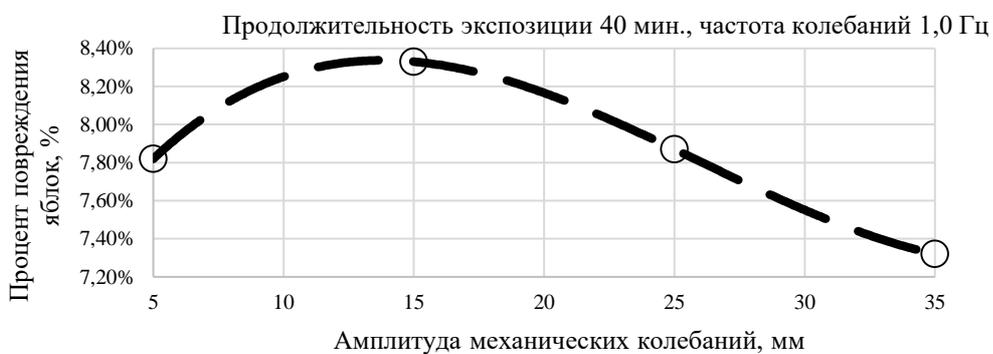
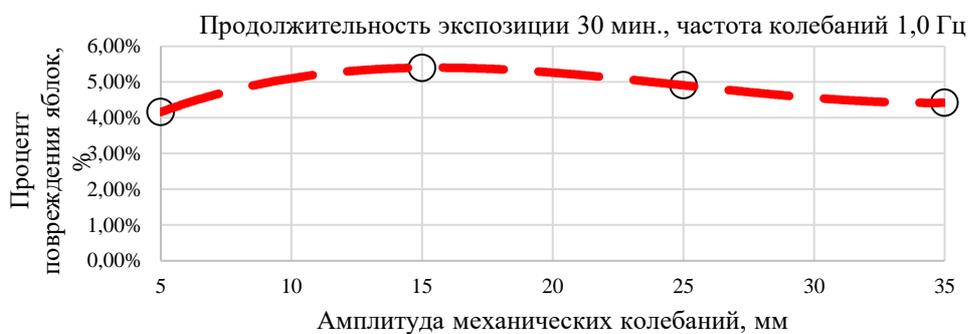
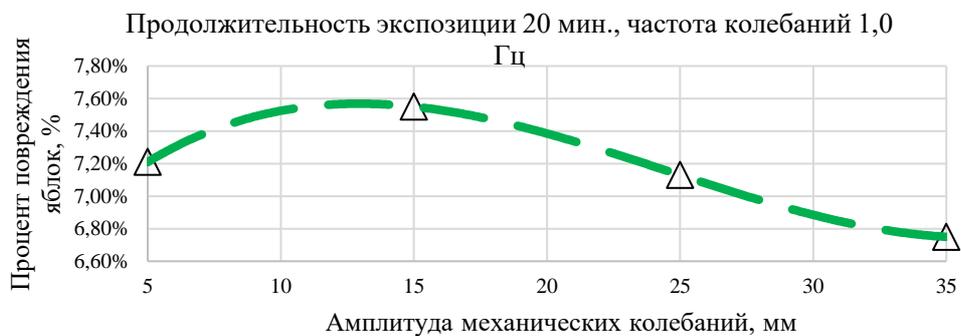


Рисунок Б.1 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре, при частоте колебаний 1,0 Гц

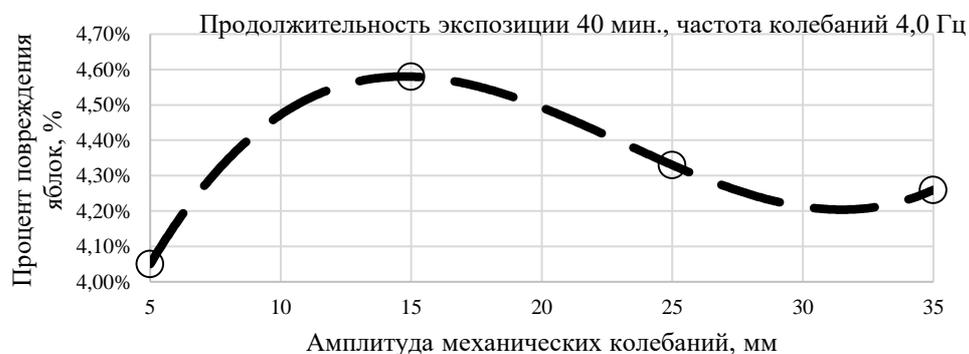
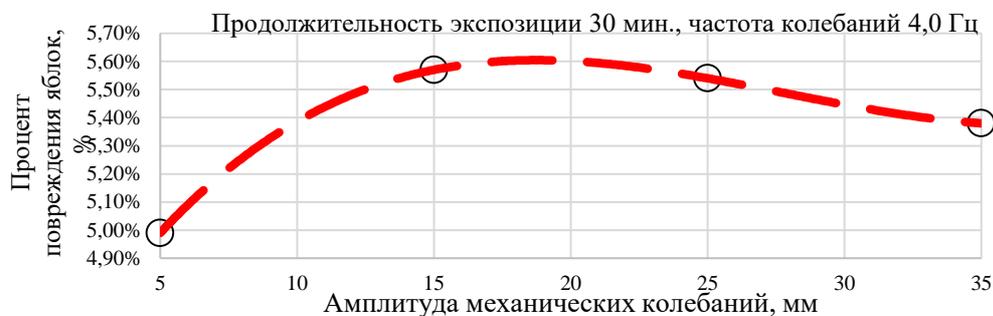
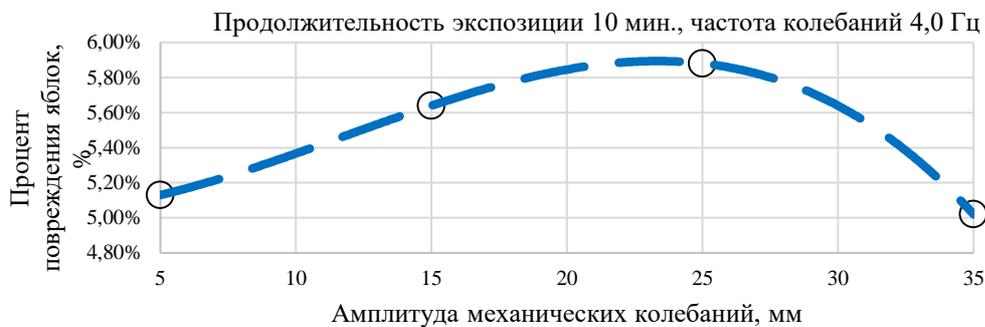


Рисунок Б.2 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре, при частоте колебаний 4,0 Гц

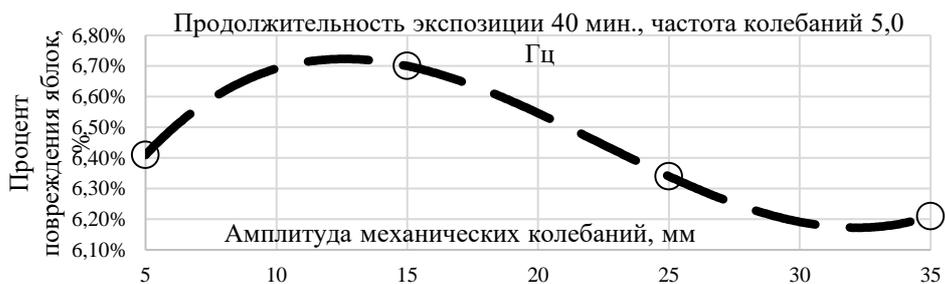
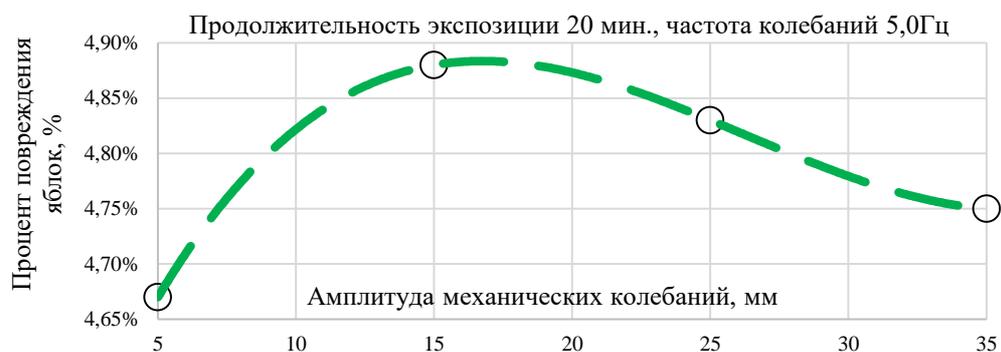
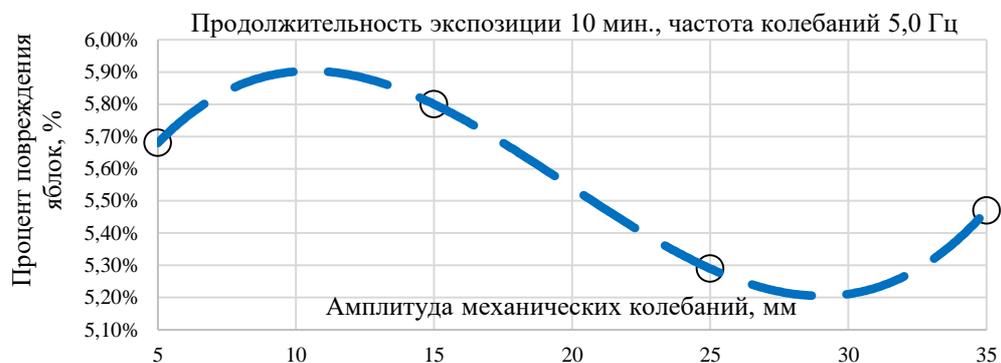


Рисунок Б.3 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре, при частоте колебаний 5,0 Гц

Приложение В Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере при частоте колебаний при частоте колебаний 1,0; 4,0; 5,0 Гц

Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере при частоте колебаний при частоте колебаний 1,0; 4,0; 5,0 Гц представлены в таблицах В.1, В.2, В.3, в графических зависимостях на рисунках В.1, В.2, В.3.

Таблица В.1 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере при частоте колебаний 1,0 Гц

Частота колебаний 1,0 Гц					
Амплитуда, мм	Повреждения яблок, %				
5	2,83	2,61	2,76	3,15	3,73
15	1,49	3,34	2,76	2,09	1,93
25	4,38	1,95	3,88	1,93	1,59
35	2,46	1,69	4,24	1,84	1,58

Таблица В.2 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере при частоте колебаний 4,0 Гц

Частота колебаний 4,0 Гц					
Амплитуда, мм	Повреждения яблок, %				
5	1,74	1,83	1,59	2,48	1,46
15	2,17	2,08	1,72	2,71	1,12
25	2,01	1,09	1,29	2,10	1,36
35	1,12	1,19	1,06	1,92	1,48

Таблица В.3 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в экспериментальном контейнере при частоте колебаний 5,0 Гц

Частота колебаний 5,0 Гц					
Амплитуда, мм	Повреждения яблок, %				
5	1,95	1,38	1,94	1,81	1,13
15	2,36	1,76	2,21	1,97	1,23
25	2,20	1,32	2,47	1,70	1,32
35	1,76	1,24	2,33	1,52	1,39

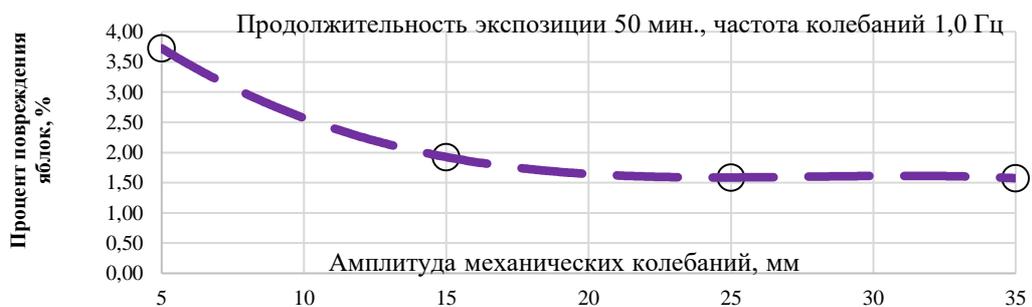
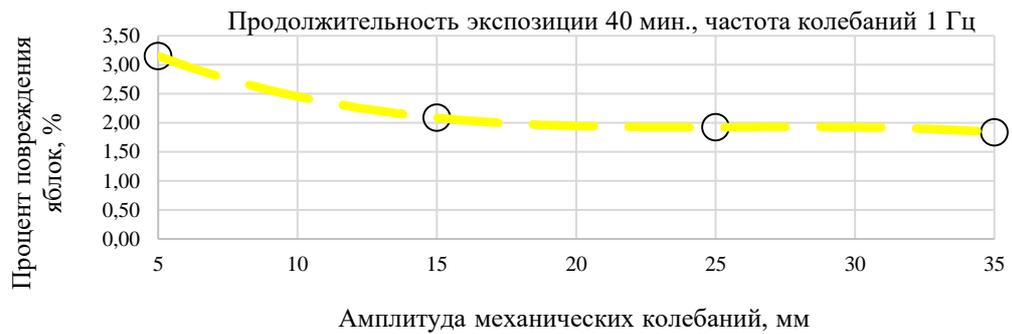
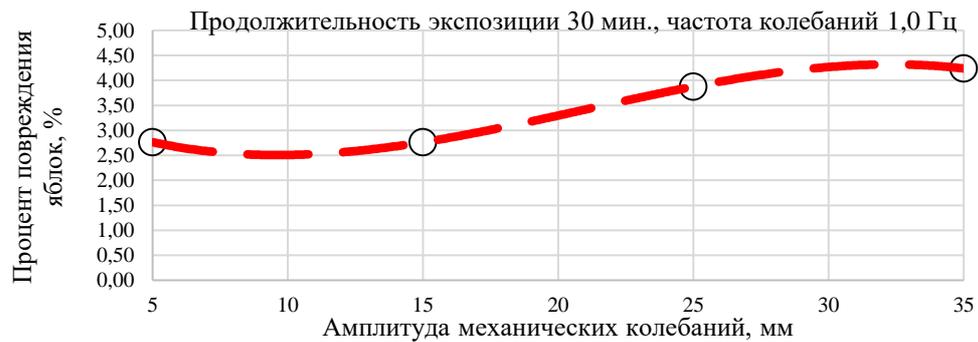
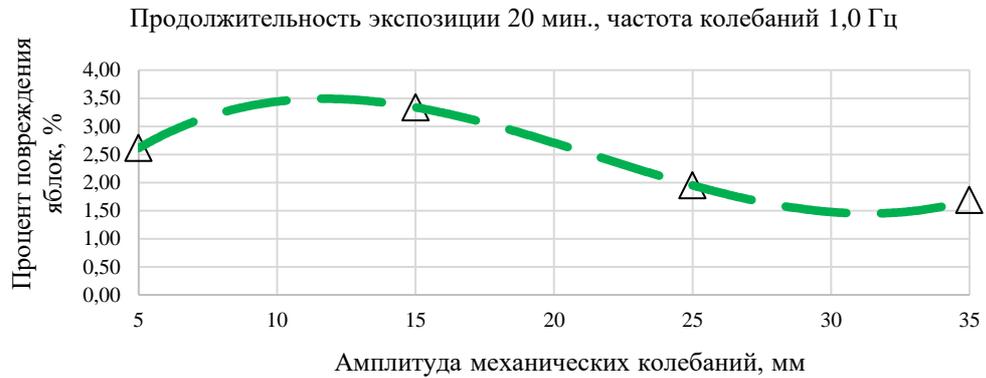
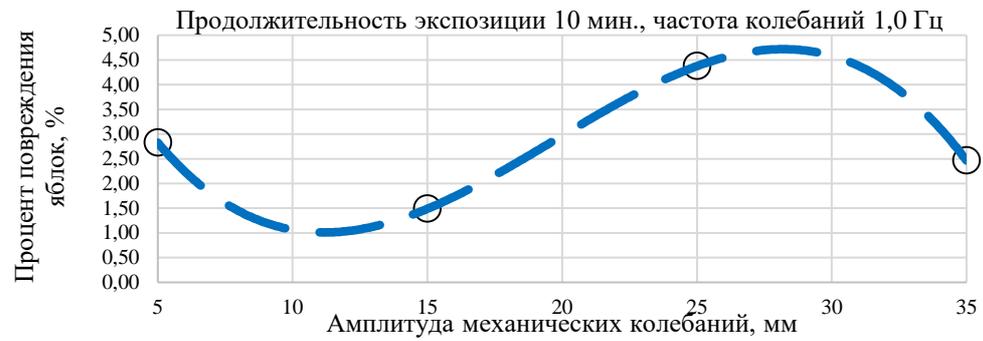


Рисунок В.1 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре, при частоте колебаний 1,0 Гц

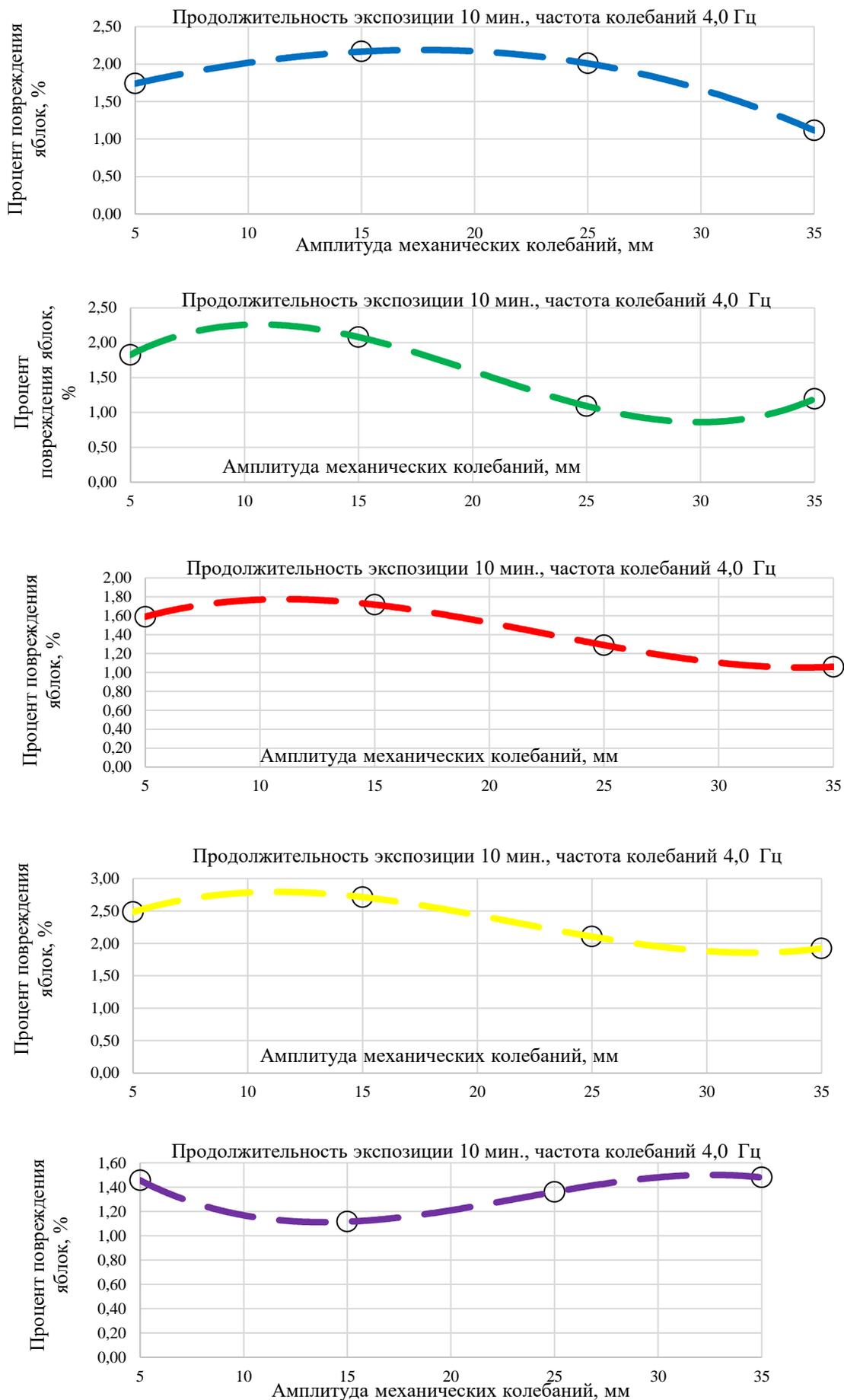


Рисунок В.2 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре, при частоте колебаний 4,0 Гц

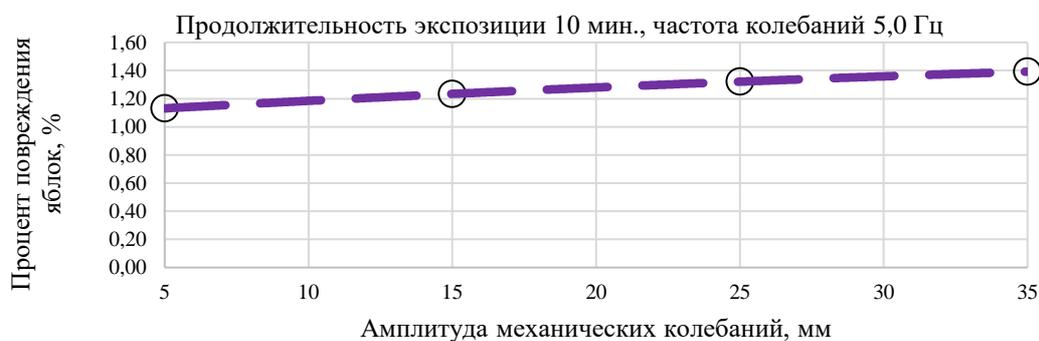
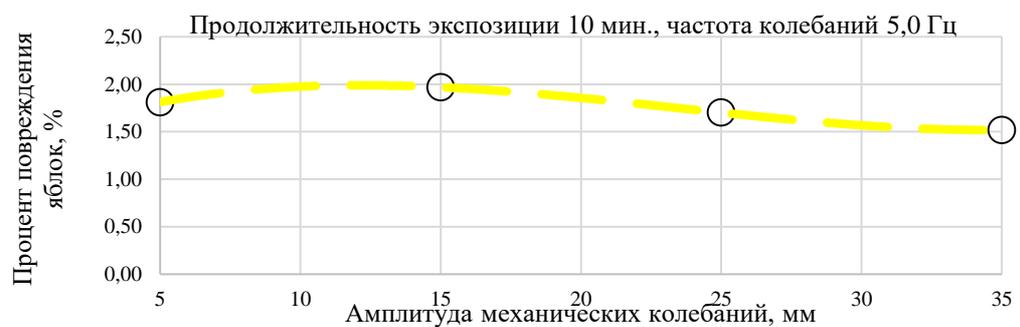
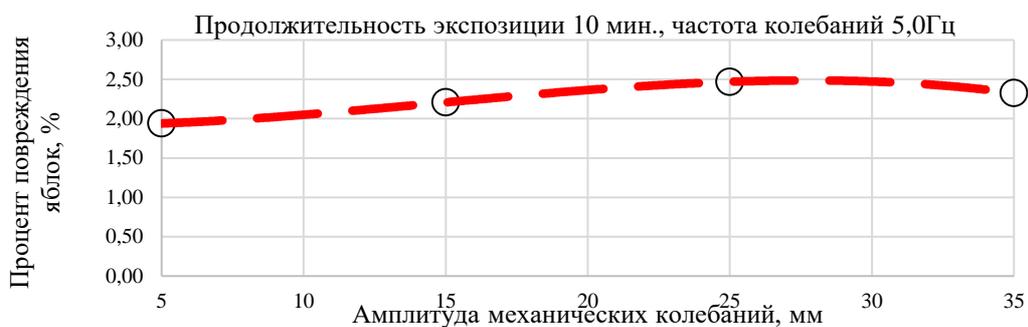
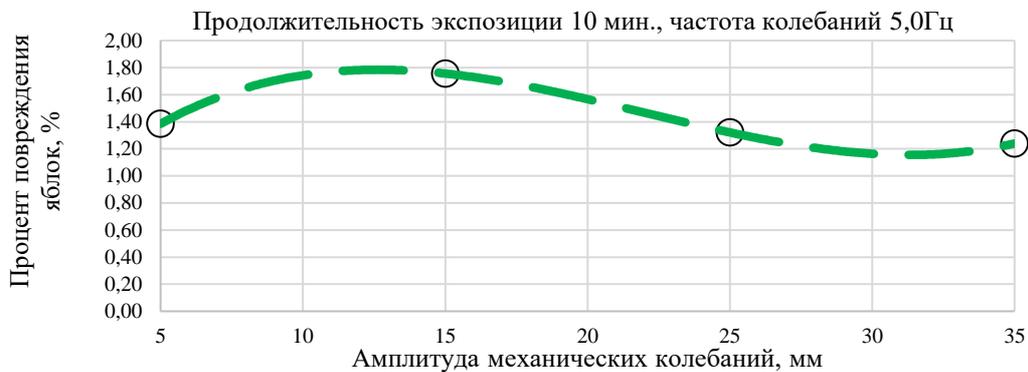
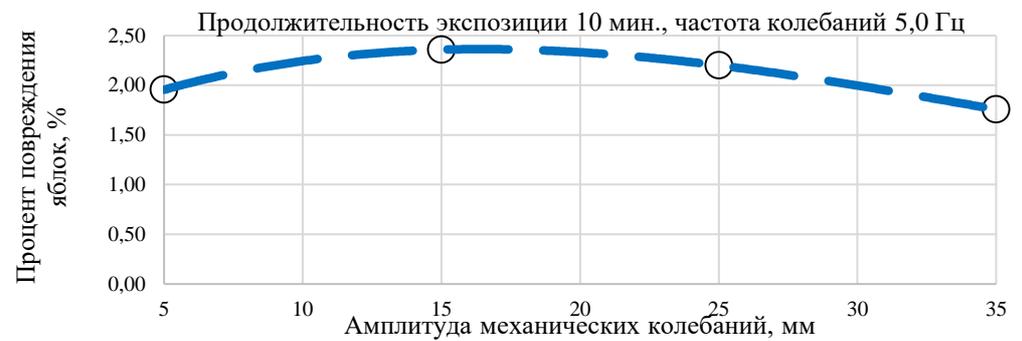


Рисунок В.3 - Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре, при частоте колебаний 5,0 Гц

Приложение Г Результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре и в экспериментальном контейнере от частоты вращения двигателя 1,0, 4,0, 5,0 Гц

В таблицах приложения Г.1, Г.2, Г.3 представлены результаты исследований зависимости повреждения яблок, %, транспортируемых в стандартной таре и в экспериментальном контейнере от частоты вращения двигателя 1,0, 4,0, 5,0 Гц, амплитуды колебаний, 5,0 – 35,0мм, времени проведения эксперимента, мин.

Таблица Г.1 - Зависимость повреждения яблок, %, от частоты вращения двигателя 1,0 ГЦ, амплитуды колебаний, мм, частоты колебаний, Гц, времени проведения эксперимента при имитационном моделировании, мин

Прод. стендовой экспозиции, мин (для гистограммы)	Частота, Гц	Прод. стендовой экспозиции, мин	Амплитуда колебания, мм	Повреждения яблок, %	
				Стандартная тара (СТ)	Экспериментальный контейнер
10,00	1,00	10,00	5,00	7,58	2,19
	1,00	10,00	15,00	8,18	2,97
	1,00	10,00	25,00	8,53	2,68
	1,00	10,00	35,00	7,28	2,04
20,00	1,00	20,00	5,00	8,64	2,35
	1,00	20,00	15,00	9,60	2,81
	1,00	20,00	25,00	8,32	2,00
	1,00	20,00	35,00	7,70	3,19
30,00	1,00	30,00	5,00	7,24	2,91
	1,00	30,00	15,00	8,08	3,15
	1,00	30,00	25,00	7,12	2,36
	1,00	30,00	35,00	5,53	1,94
40,00	1,00	40,00	5,00	5,87	2,55
	1,00	40,00	15,00	6,64	2,97
	1,00	40,00	25,00	5,99	2,86
	1,00	40,00	35,00	6,47	3,52
50,00	1,00	50,00	5,00	6,93	2,67
	1,00	50,00	15,00	7,83	2,04
	1,00	50,00	25,00	6,31	2,49
	1,00	50,00	35,00	6,60	2,71

Дальнейшие расчеты выполнены с использованием использования табличного процессора «MS Excel», интегрированного в пакете «MS Office».

На рисунке Г.1 – Г. представлена графическая зависимость повреждения яблок, %, при продолжительности исследования, мин, частоте вращения двигателя 1,0

Гц.

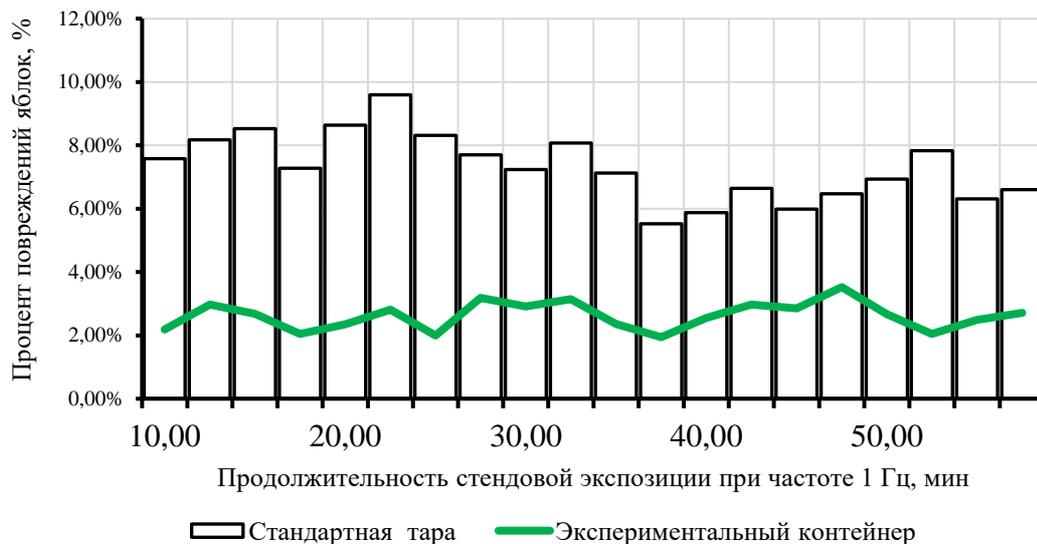


Рисунок Г.1 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте вращения двигателя 1,0 Гц

Таблица Г.2 - Результаты дисперсионного анализа

Продолжительность	Повреждения яблок в СПТ, %	Повреждения яблок в таре с
10,00	7,89	2,47
20,00	8,57	2,59
30,00	6,99	2,59
40,00	6,24	2,98
50,00	6,92	2,48

Повреждения яблок при колебаниях на частоте 1 Гц с амплитудами от 5 до 35 мм

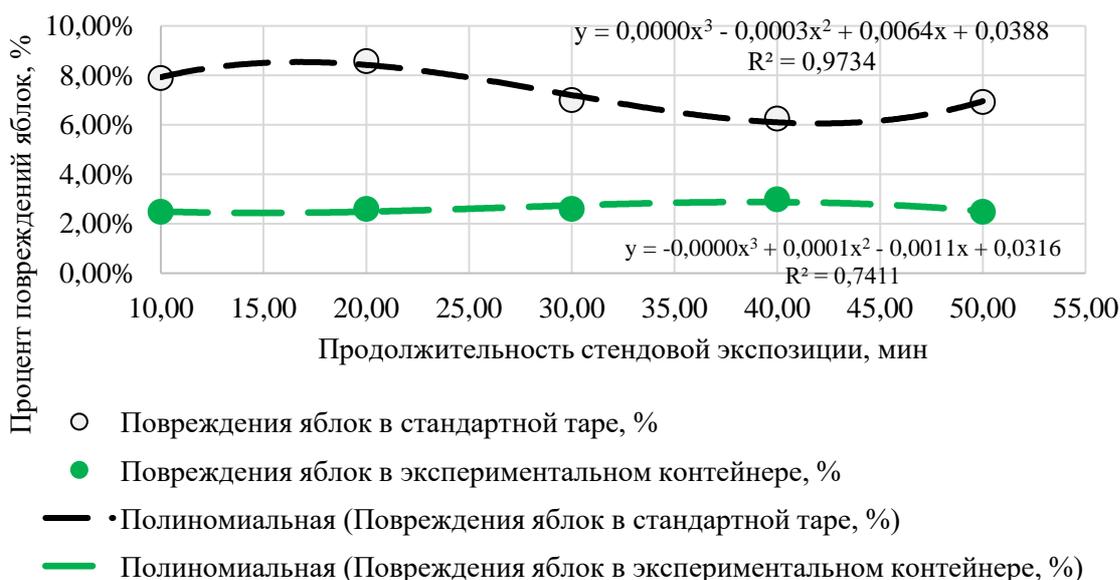


Рисунок Г.2 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте 1,0 Гц с амплитудами от 5,0

– 35,0Гц

Таблица Г.3 - Зависимость повреждения яблок, %, от частоты вращения двигателя 4,0 Гц, амплитуды колебаний, мм, частоты колебаний, Гц, времени проведения эксперимента при имитационном моделировании, мин

Прод. стендовой экспозиции, мин (для гистограммы)	Частота, Гц	Прод. стендовой экспозиции, мин	Амплитуда колебания, мм	Повреждения яблок, %	
				Стандартная тара	Экспериментальный контейнер
10,00	4,00	10,00	5,00	3,79	1,46
	4,00	10,00	15,00	4,09	1,68
	4,00	10,00	25,00	4,26	2,79
	4,00	10,00	35,00	3,64	2,36
20,00	4,00	20,00	5,00	4,32	2,57
	4,00	20,00	15,00	4,80	2,88
	4,00	20,00	25,00	4,16	2,33
	4,00	20,00	35,00	3,85	2,13
30,00	4,00	30,00	5,00	3,62	1,94
	4,00	30,00	15,00	4,04	1,80
	4,00	30,00	25,00	3,56	1,58
	4,00	30,00	35,00	2,76	1,30
40,00	4,00	40,00	5,00	2,94	1,70
	4,00	40,00	15,00	3,32	1,98
	4,00	40,00	25,00	2,99	1,90
	4,00	40,00	35,00	3,23	1,35
50,00	4,00	50,00	5,00	3,47	1,78
	4,00	50,00	15,00	3,92	1,36
	4,00	50,00	25,00	3,15	1,66
	4,00	50,00	35,00	3,30	1,81

На рисунке Г.3 представлена графическая зависимость повреждения яблок, %, при продолжительности исследования, мин, частоте вращения двигателя 4,0 Гц.

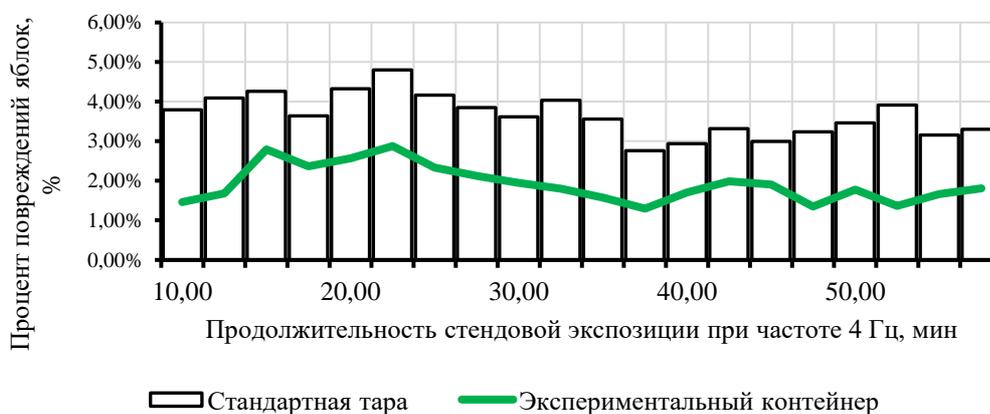


Рисунок Г.3 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от

продолжительности исследования, мин, при частоте вращения двигателя 4,0 Гц

Таблица Г.4 - Результаты дисперсионного анализа

Продолжительность стендовой экспозиции, мин	Повреждения яблок в СПТ, %	Повреждения яблок в таре с ВДП, %
10,00	3,95	2,07
20,00	4,28	2,48
30,00	3,50	1,65
40,00	3,12	1,73
50,00	3,46	1,65

Повреждения яблок при колебаниях на частоте 4 Гц с амплитудами от 5 до 35 мм

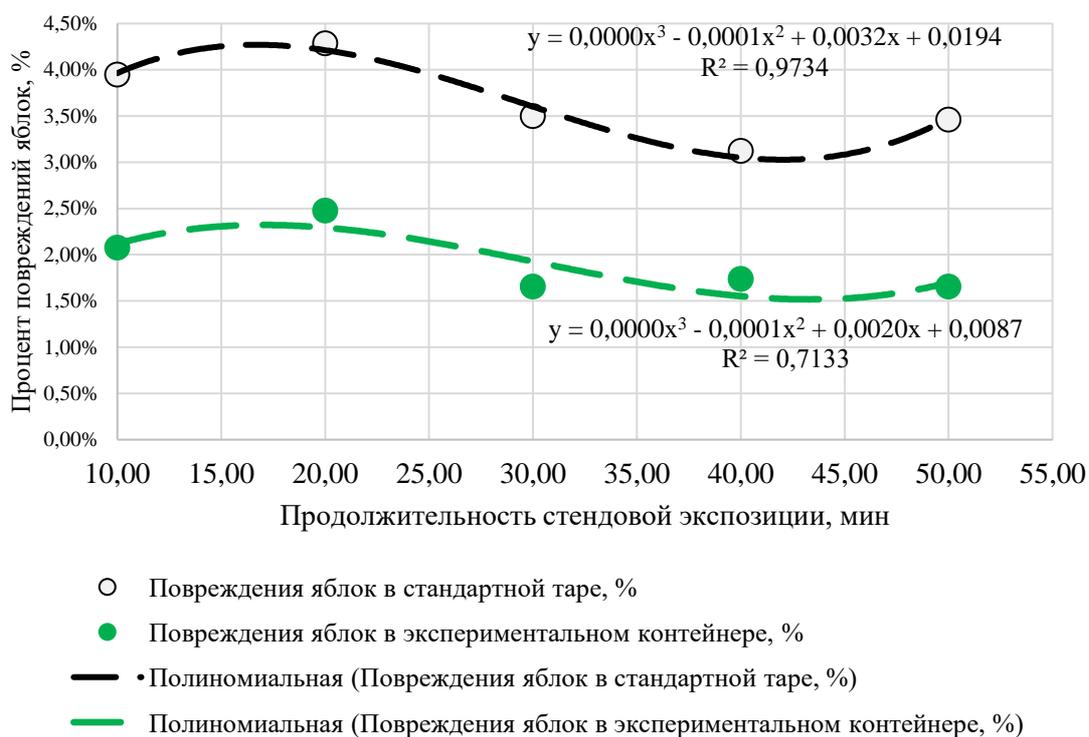


Рисунок Г.4 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте 4,0 Гц с амплитудами от 5,0 – 35,0 Гц

Таблица Г.5 - Зависимость повреждения яблок, %, от частоты вращения двигателя 5.0 ГЦ, амплитуды колебаний, мм, частоты колебаний, Гц, времени проведения эксперимента при имитационном моделировании, мин

Прод. стендовой экспозиции, мин (для гистограммы)	Частота, Гц	Прод. стендовой экспозиции, мин	Амплитуда колебания, мм	Повреждения яблок, %	
				Стандартная тара (СПТ)	Экспериментальный контейнер
10,00	5,00	10,00	5,00	3,46	1,13
	5,00	10,00	15,00	3,76	1,35
	5,00	10,00	25,00	3,93	2,46

	5,00	10,00	35,00	3,31	2,03
20,00	5,00	20,00	5,00	3,99	2,24
	5,00	20,00	15,00	3,47	2,55
	5,00	20,00	25,00	3,83	2,00
	5,00	20,00	35,00	3,52	1,80
30,00	5,00	30,00	5,00	3,29	2,61
	5,00	30,00	15,00	3,71	1,47
	5,00	30,00	25,00	3,23	1,25
	5,00	30,00	35,00	2,43	0,97
40,00	5,00	40,00	5,00	2,61	1,37
	5,00	40,00	15,00	1,99	1,65
	5,00	40,00	25,00	2,66	1,57
	5,00	40,00	35,00	2,90	1,02
50,00	5,00	50,00	5,00	2,14	1,45
	5,00	50,00	15,00	3,59	1,03
	5,00	50,00	25,00	2,82	1,33
	5,00	50,00	35,00	2,97	1,48

На рисунке Г.5 представлена графическая зависимость повреждения яблок, %, при продолжительности исследования, мин, частоте вращения двигателя 5.0 Гц.

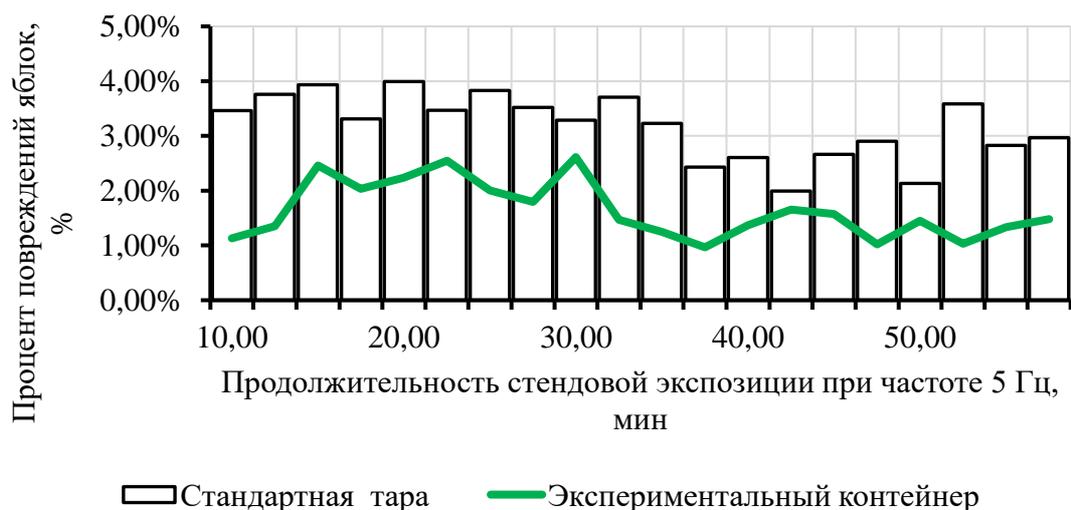


Рисунок Г.5 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте 5,0 Гц с амплитудами от 5,0 – 35,0 Гц

Таблица Г.6 - Результаты дисперсионного анализа

Прод. экспозиции, мин	Повреждения яблок в СПТ, %	Повреждения яблок в таре с ВДП, %
10,00	3,62	1,74
20,00	3,70	2,15
30,00	3,17	1,57
40,00	2,54	1,40
50,00	2,88	1,32

Повреждения яблок при колебаниях на частоте 5 Гц с амплитудами от 5 до 35 мм

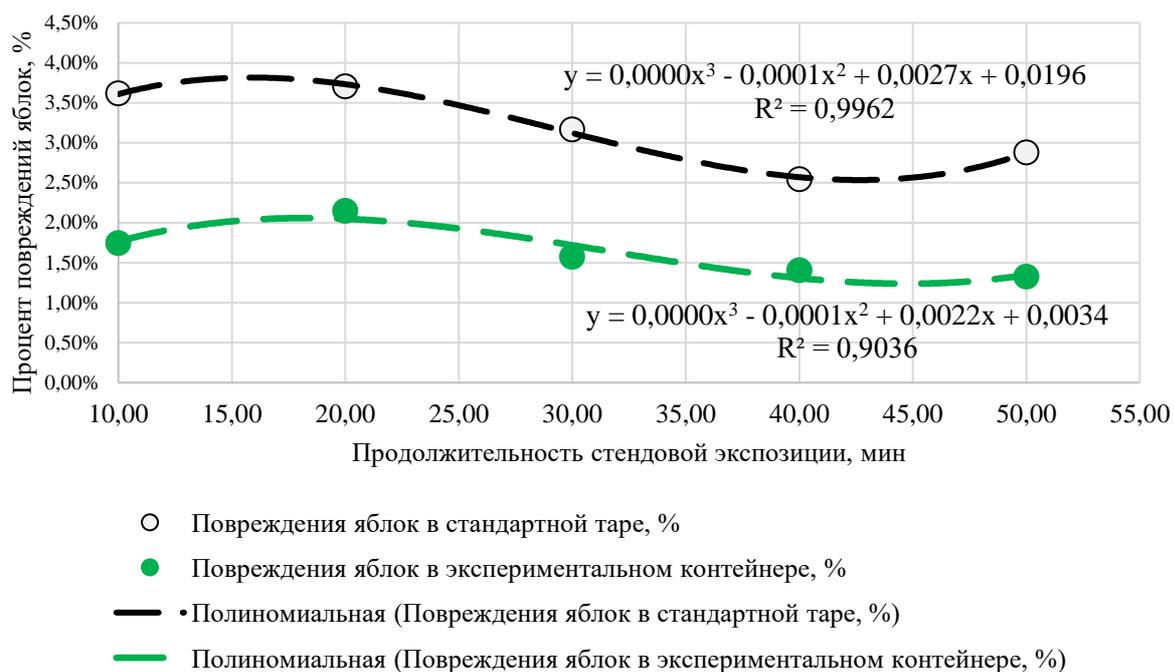
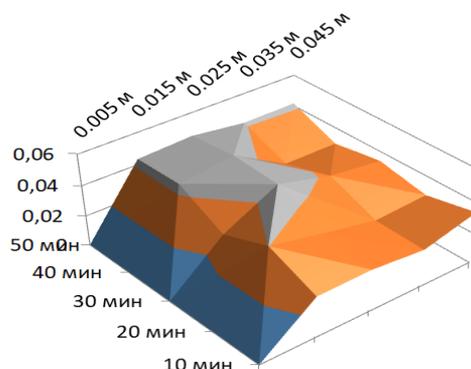


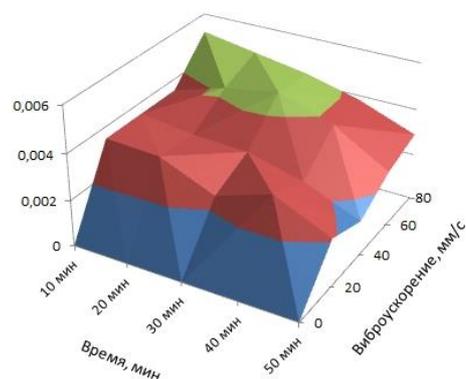
Рисунок Г.6 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте 5,0 Гц с амплитудами от 5,0 – 35,0 Гц

Приложение Д Результаты экспериментального исследования зависимости коэффициента повреждения плодоовощной продукции от виброускорения и от времени проведения эксперимента

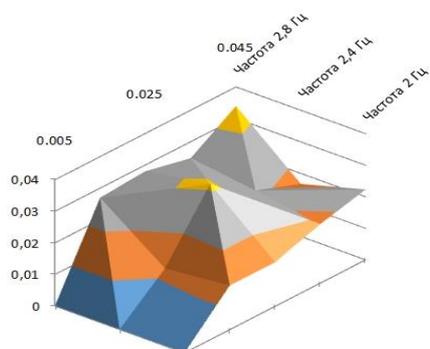
Зависимость коэффициента повреждаемости (%) плодоовощной продукции (г) амплитуды колебаний, времени проведения эксперимента



Результаты экспериментального исследования зависимости коэффициента повреждения плодоовощной продукции от виброускорения и от времени проведения эксперимента



Зависимость коэффициента повреждаемости (%) плодоовощной продукции (г) от амплитуды, мм, и частоты вращения двигателя, Гц



Приложение Е .

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

«УТВЕРЖДАЮ»

Исполнительный директор ООО «Авангард»

Рязанского района Рязанской области

Красников И.Г.

2024 года



АКТ

Внедрения контейнера с обоснованными параметрами, минимизирующего повреждения яблок при транспортировке в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области.

Комиссия в составе: представителей ООО «Авангард» исполнительного директора Красникова И.Г., главного инженера Липатова Н.В., и представителей ФГБОУ РГАТУ заведующего кафедрой "Техническая эксплуатация транспорта" доктора технических наук, профессора Успенского Ивана Алексеевича, а также аспиранта кафедры Антоненко М.В., составила настоящий акт о том, что контейнер для транспортировки яблок проходил экспериментальное внедрение 10 июня 2023 года в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области.

В результате исследований было выявлено, что экспериментальный контейнер показал 1,7 % повреждения плодов, стандартный ящик 11%. Снижение повреждений яблок позволило сократить потери продукции, увеличить срок хранения и улучшить ее внешний вид, это способствует повышению спроса на данную продукцию. Экономический эффект от снижения повреждений яблок включает в себя увеличение прибыли от реализации продукции, снижение издержек на обработку и утилизацию поврежденных яблок.

Получены следующие результаты:

Ценовая разница продовольственных и повреждённых яблок составила $C_p = 6600$ руб/т. Издержки от повреждения яблок в экспериментальном контейнере при транспортировке яблок составили:

$$ИМ = 460 \times 0,0017 \times 6600 = 5161 \text{руб.}$$

Издержки от повреждения яблок в полимерных контейнерах:

$$ИС = 460 \times 0,011 \times 6600 = 33396 \text{руб.}$$

Экономический эффект от снижения величины повреждений продукции при ВП будет равен:

$$Э_{повр} = 33396 - 5161 = 28\,235 \text{руб.}$$

Подписи:

Исполнительный директор ООО «Авангард»  Красников И.Г.

Главный инженер ООО «Авангард»  Липатов Н.В.

Профессор, д.т.н., заведующий кафедрой "Технической эксплуатации транспорта" ФГБОУ РГАТУ  Успенский И.А.

Аспирант кафедры "Технической эксплуатации транспорта" ФГБОУ РГАТУ  Антоненко М.В.

Приложение Ж Расчет днища экспериментального контейнера с использованием ПК «SCAD» и теоретическим методом

09:01:36 05.08.2024
ПРОТОКОЛ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА
Полный расчет. Версия 21.01.Сборка: Jul 22 2015 файл - "M:\1.
Документы Антоненко М.В\1 ДИССЕРТАЦИЯ\SCAD\Расчеты\Контейнер с разъемной крышкой\
Контейнер. SPR", шифр - "1".
09:01:36 Автоматическое определение числа потоков. Используется: 6
09:01:36 Вычисляются расчетные значения перемещений и усилий
09:01:36 Ввод исходных данных схемы
09:01:37 Подготовка данных многофронтального метода
09:01:37 Автоматический выбор метода оптимизации.
09:01:37 Использование оперативной памяти: 70 процентов
09:01:37 Высокопроизводительный режим факторизации
09:01:37 Упорядочение матрицы многоуровневым методом
09:01:37 Информация о расчетной схеме:
- шифр схемы
- порядок системы уравнений 5137
- ширина ленты 5125
- количество элементов 841
- количество узлов 898
- количество загрузок 2
- плотность матрицы 100%
09:01:37 Необходимая для выполнения расчета дисковая память:
матрица жесткости - 4.443 Mb
динамика - 0.000 Mb
перемещения - 0.086 Mb
усилия - 0.242 Mb
рабочие файлы - 0.174 Mb

всего - 6.074 Mb
09:01:37 На диске свободно 536876.148 Mb
09:01:37 Подготовка данных многофронтального метода
09:01:37 Разложение матрицы жесткости многофронтальным методом.
09:01:38 Геометрически изменяемая система по направлению 3 в узлах: 515
09:01:39 Накопление нагрузок.
Суммарные внешние нагрузки (T, T_M)
09:01:39 X Y Z UX UY UZ
1- -0.0168424 -0.0168424 71.4207 0 0 0
2- -0.00787759 -0.00787759 3.72598 0 0 0
09:01:39 ВНИМАНИЕ: Дана сумма внешних нагрузок
без учета приложенных непосредственно на связи
09:01:39 Вычисление перемещений.
09:01:39 Работа внешних сил (T_M)
09:01:39 1 - 44.9861
09:01:39 2 - 0.0802328
09:01:39 Сортировка перемещений
09:01:39 Вычисление усилий
09:01:39 Сортировка усилий и напряжений
09:01:40 Выбор расчетных сочетаний усилий по СНиП
09:01:40 Число загрузок, указанное в данных для расчетных сочетаний соответствует модифицированной задаче.
09:01:40 В расчетных сочетаниях задана знакопеременность для постоянных нагрузок: 1
09:01:40 В расчетных сочетаниях не учитываются загрузки: 2
09:01:40 Выбор расчетных сочетаний перемещений СНиП 2.01.07-85*
09:01:40 Число загрузок, указанное в данных для расчетных сочетаний, соответствует модифицированной задаче.
09:01:40 В расчетных сочетаниях задана знакопеременность для постоянных нагрузок: 1
09:01:40 Вычисление главных и эквивалентных напряжений

09:01:40 Анализ устойчивости
09:01:40 Учитываются тангенциальные смещения в геометрической матрице жесткости
09:01:40 Подготовка данных многофронтального метода
09:01:40 Использование оперативной памяти: 70 процентов
09:01:40 Высокопроизводительный режим факторизации
09:01:40 Анализ устойчивости системы для загрузки 1.
09:01:47 Коэффициент запаса устойчивости системы 0.335938 (форма 1).
09:01:47 Анализ устойчивости системы для загрузки 2.
09:01:56 Коэффициент запаса устойчивости системы (форма 1) больше верхней границы поиска.
09:01:57 ВЫПОЛНЕН РАСЧЕТ.
Затраченное время: 0:05:21 (5 min)

Исходные данные для расчета элементов конструкции:

- размеры экспериментального контейнера 0,47x0,28x0,25(h)м;
- используемый материал древесина сосны плотность материала $\gamma = 520$ кг/м³;
- предел прочности при сжатии вдоль волокон — 44 МПа, при статическом изгибе — 80 МПа, твердость — 28 МПа (центр европейской России);
- модуль упругости древесины $E = 0,12 \times 10^5$, МПа;
- коэффициент условий работы конструкции $\gamma_c = 0,9$;
- коэффициент Пуассона при усилении, направленном вдоль волокон, $\mu = 0,5$;
- коэффициент надежности по материалу $\gamma_m = 1,1$;

Подставив исходные данные в уравнения (2.29), (2.39), (2.52), (2.62), (2.36), получим следующие параметры:

- параметр жесткости $k = 0,1 \cdot 10^{-11}$ (м⁶/Н);
- толщина днища контейнера: $h = 0,0049$ м.