

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



МАСЛОВА ЛИЛИЯ АЛЕКСАНДРОВНА

**Совершенствование конструкции контейнера для загрузки семенного
картофеля**

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

кандидат технических наук

Колошеин Дмитрий Владимирович

Рязань 2025

АННОТАЦИЯ

Целью диссертационного исследования - снижение повреждений семенного картофеля при загрузке в контейнеры.

Во введении раскрыта значимость рассматриваемой темы, сформулированы цель работы, задачи исследования.

Первая глава посвящена подробному анализу проведённых исследований по данной тематике, а также обзору параметров различных типов контейнеров.

Во второй главе предложены ремни-гасители, снижающие повреждения картофеля, выполнены теоретические исследования зависимости скорости падения клубня от высоты падения, смоделированы ударные воздействия клубней при загрузке в контейнер, рассмотрено распределения семенного материала по демпфирующей поверхности контейнера.

Третья глава включает в себя разработку программы и методики проведения лабораторных исследований с целью получения результатов по уточнению параметров ремней-гасителей, и аналитических зависимостей, описывающих влияние установления особенностей ремней-гасителей на снижение повреждений клубней.

В четвертой главе диссертации представлены результаты экспериментальных исследований, сформулировано заключение по результатам диссертации.

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

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЗАГРУЗКУ КАРТОФЕЛЯ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	11
1.1 Производство семенного картофеля в РФ	11
1.2 Анализ технических средств для подготовки к хранению и транспортирования семенного картофеля	15
1.3 Анализ проведенных исследований	32
1.4 Выводы по первой главе	37
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДЛАГАЕМОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ	39
2.1 Анализ модели ударного взаимодействия клубня с ремнем- гасителем	39
2.2 Моделирование ударных воздействий клубней картофеля при загрузке в контейнер	44
2.3 Выводы по второй главе	53
ГЛАВА 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	54
3.1 Программа и методика проведения лабораторных исследований	54
3.2 Определение динамических характеристик ремней-гасителей при падении картофеля	56
3.3 Оптимизация параметров ремней-гасителей методом градиентного спуска	59
3.4 Методика исследования повреждения клубней при их загрузке в контейнер	64
3.5 Результаты исследования определения повреждений	66
3.6 Обработка результатов лабораторных исследований и	68

	нахождение параметров ремней-гасителей	
3.7	Методика установки ремней-гасителей по высоте контейнера с подбором необходимой прочности	73
3.8	Выводы по третьей главе	79
	ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ	80
4.1	Программа проведения экспериментальных исследований	80
4.2	Объекты и условия экспериментальных исследований	80
4.3	Методика и результаты определения повреждений клубней в контейнерах с ремнями-гасителями и без них	83
4.4	Методика и результаты определения динамики потерь семенного картофеля при хранении	91
4.5	Оценка экономического эффекта хранения семенного картофеля с применением контейнеров, оснащённых ремнями-гасителями для снижения повреждений при загрузке	98
4.6	Выводы по четвертой главе	102
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	106
	ПРИЛОЖЕНИЯ	125

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Картофель представляет собой одну из важнейших сельскохозяйственных культур в России. Согласно данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, в 2023 году в организованном сегменте сельского хозяйства был зафиксирован максимальный за последние три десятилетия урожай: объем собранного картофеля составил 8,6 миллиона тонн, что превышает показатель 2022 года на 15% [69]. Эта культура выращивается как крупными аграрными предприятиями, так и жителями частных хозяйств, что способствует укреплению продовольственной безопасности государства и оказывает существенное влияние на развитие национальной экономики.

По оценкам экспертов, потери картофеля на различных стадиях его уборки, транспортировки и хранения достигают 30–40% [109], что составляет миллионы тонн ежегодно. Такие потери оказывают негативное влияние на рентабельность производства картофеля и препятствуют эффективной реализации задач программы, направленных на развитие отрасли.

Согласно подпрограмме «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации» Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы [91], вопрос снижения потерь при загрузке, транспортировке и хранении картофеля является одним из приоритетных направлений. В рамках обозначенной федеральной программы особо подчеркивается необходимость внедрения новых технологий уборки, загрузки, хранения, транспортировки и переработки, а также совершенствования методов обращения с сельскохозяйственной продукцией. Эти меры позволят минимизировать повреждения, создать благоприятные условия для сохранности картофеля, а также улучшить качество семенного материала, что будет способствовать увеличению урожайности, повышению экономической эффективности

картофелеводства и выполнению долгосрочных задач агропромышленного развития России.

Степень разработанности темы

Вопросами совершенствования загрузки картофеля и другой сельскохозяйственной продукции во время уборки, с учетом снижения повреждений, в разное время занимались С.Н. Борычев, В.В. Бычков, Н.В. Бышов, Г.П. Варламов, Н.И. Верещагин, П.И. Гаджиев, А.С. Дорохов, В.С. Заводнов, А.Ю. Измайлов, Д.В. Колошеин, Н.Н. Колчин, М.Ю. Костенко, А.В. Паршков, Г.Д. Петров, К.А. Пшеченков, А.Г. Пономарев, Г.К. Рембалович, А.А. Сорокин, В.И. Старовойтов, И.А. Успенский, И.А. Юхин, O'Brien M., L.L. Claupool и другие ученые.

При анализе научных исследований, посвящённых сохранности картофеля и особенностям его загрузки в контейнеры во время уборки, можно выделить основные факторы, которые влияют на количество повреждений клубней.

Среди которых основных факторов необходимо отметить: высоту, с которой падает сельскохозяйственная продукция, скорость ее погрузки и транспортировки, полноту заполнения контейнера, особенности контейнера (включая его форму и материал), сортовые особенности картофеля, состояние технических средств, используемых при погрузке, а также показатели температуры и влажности.

Несмотря на значительное внимание, уделенное этой теме, вопросы, связанные с улучшением контейнеров, которые могли бы минимизировать повреждения клубней, особенно семенного картофеля, в процессе их загрузки, остаются актуальными для современных аграрных технологий и требуют дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 годы, а именно подраздела 1.1.4. «Повышение технологической и технической работоспособности картофелеуборочных машин» раздела 1.1. «Повышение эффективности эксплуатации мобильной

техники за счет разработки новых конструкций и совершенствования методов поддержания её технического состояния» темы 1 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий».

Цель исследований - снижение повреждений семенного картофеля при загрузке в контейнеры.

Задачи исследований:

1. Провести анализ существующих контейнеров для загрузки семенного картофеля, известных наполнителей контейнеров, а также проведенных исследований в этой области.

2. Обосновать параметры ремней-гасителей, снижающих повреждения при загрузке семенного материала в контейнеры.

3. Экспериментально уточнить параметры предлагаемых ремней-гасителей, получить аналитические зависимости, описывающие влияние ремней-гасителей на снижение повреждений клубней.

4. Проведение экспериментальных исследований, направленных на оценку повреждений клубней в контейнерах, оборудованных ремнями-гасителями и без них.

5. Оценить экономический эффект предложенного решения.

Объект исследования – процесс загрузки семенного картофеля в контейнеры.

Предмет исследований – параметры ремней-гасителей контейнера, снижающие повреждения клубней при загрузке в контейнеры.

Научная новизна – обоснованные параметры ремней-гасителей, размещаемых на контейнерах, которые позволяют снизить повреждения клубней картофеля при их загрузке. Создана имитационная модель, описывающая движение клубней картофеля через ремни-гасители. Получены аналитические зависимости, связывающие параметры ремней-гасителей (ширина ремня, расстояние между ремнями, количество ремней) со

снижением повреждений клубней картофеля. Разработана методика проведения исследований, позволяющая оценить влияние характеристик ремней-гасителей на снижение повреждений клубней.

Теоретическая значимость работы

В ходе исследований определено, что снижение повреждений картофеля при его загрузке в контейнеры напрямую зависит от параметров проектируемого устройства и от физических особенностей самого процесса загрузки. На основании полученных данных усовершенствована конструкция контейнера, дополненная ремнями-гасителями, которые снижают повреждения клубней во время загрузки. Имитационное моделирование взаимодействия клубней с ремнями-гасителями, позволило определить параметры системы «клубень-ремень». Установлено, что скорость клубня после соударения снижается благодаря демпфирующему эффекту ремня-гасителя, что подтверждается полученными аналитическими зависимостями. Анализ вертикальной составляющей скорости продемонстрировал, что угол наклона ремня и соотношение массы клубня к активной массе ремня-гасителя являются важными факторами при снижении повреждений.

Практическая значимость работы заключается в предложении обоснованных параметров ремней-гасителей, устанавливаемых на контейнере, и снижающих повреждения клубней при загрузке.

Методология и методы исследования. Проведенные теоретические исследования базируются на принципах математики и теоретической механики, а также опираются на известные научные труды, посвященные снижению повреждений клубней при их загрузке в контейнеры. В процессе определения параметров ремней-гасителей применялись программные средства и разработанные методики. Обработка результатов лабораторных и экспериментальных исследований производилась с использованием методов математического моделирования, выполненного на языке программирования «Python».

Положения, выносимые на защиту:

- результаты обоснования параметров ремней-гасителей, обеспечивающих снижение повреждений клубней в процессе их загрузки;
- результаты экспериментальных исследований, подтверждающие достоверность применения параметров ремней-гасителей для снижения повреждений клубней во время загрузки;
- оценка экономического эффекта предложенного решения.

Достоверность результатов исследований

Для проведения экспериментальных исследований использовалось современное сертифицированное оборудование, а обработка полученных данных осуществлялась с применением как общепринятых, и специально разработанных методик. Итоговые выводы сформированы на основе анализа результатов, объединяющего как теоретические, так и экспериментальные исследования. Сходимость теоретических и экспериментальных исследований составляет 95%.

Реализация результатов исследования

Контейнер с ремнями-гасителями, снижающими повреждения при загрузке картофеля, апробирован в ОАО «Аграрий» в Касимовском районе Рязанской области.

Личный вклад соискателя заключался в формулировке цели и задач исследования, выполнении теоретических и экспериментальных работ, анализе и интерпретации полученных данных, обосновании параметров ремней-гасителей снижающих повреждения клубней при их загрузке в контейнеры, а также в подготовке научных публикаций.

Апробация работы.

Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО РГТУ (2019 - 2024 гг.), 11-й Международной молодежной научной конференции, Курск (2024 г).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 13 печатных работ, в том числе, 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Общий объем публикаций соискателя составляет 2,06 усл. п.л., в т. ч. доля соискателя - 1,85 усл. п.л.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа представлена введением, четырьмя главами, заключением, списком литературы из 132 наименований и пяти приложений. Работа изложена на 136 страницах, содержит 8 таблиц и 49 рисунков.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЗАГРУЗКУ КАРТОФЕЛЯ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Производство семенного картофеля в РФ

В 2021 году российские научные организации совместно с сельскохозяйственными предприятиями произвели порядка 20 тысяч тонн элитных семян картофеля, что составляет почти половину от общего объема, необходимого для обеспечения внутреннего рынка страны. Общая посевная площадь под картофель в России превысила 1,1 миллиона гектаров, а суммарный урожай составил более 18,2 миллиона тонн. При сохранении нынешних темпов производства предполагается, что Россия уже к 2025 году сможет полностью удовлетворить внутреннюю потребность в отечественных семенах картофеля высоких репродукций [70, 72].

Такие результаты стали достижимы благодаря комплексу мер, реализуемых научными институтами и агропредприятиями в рамках подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации», входящей в Федеральную научно-техническую программу (ФНТП) развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы. В ходе реализации подпрограммы было зарегистрировано 29 новых сортов картофеля [70] отечественной селекции, включая сорта, предназначенные как для употребления в пищу, так и для переработки. Российские селекционные достижения ничуть не уступают международным аналогам, а по отдельным параметрам, таким как продуктивность и устойчивость к различным заболеваниям, даже превосходят их.

Согласно Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации [35], уровень самообеспеченности картофелем в стране определён на уровне 95%. В свою очередь научно-исследовательские организации аграрного направления, находящиеся в ведении Минобрнауки России, в сотрудничестве с предприятиями реального сектора экономики призваны гарантировать полное обеспечение страны семенами высших репродукций картофеля отечественной селекции. [41, 49].

Так урожай картофеля в РФ в 2022 году по сравнению с 2021 годом вырос на 18 %. По прогнозам Минсельхоза урожай клубней картофеля составил свыше 7 млн т [69], при этом увеличилась и урожайность до 252,4 ц/га.



Рисунок 1.1 - Посевные площади выращивания промышленного картофеля в России за 2000 – 2022 гг.

В Российской Федерации в настоящее время реализуется Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства. Основной целью данной программы является достижение продовольственной независимости страны за счет самообеспечения основными видами сельскохозяйственной продукции.

В 2017 году российские производители картофеля в значительной степени зависели от зарубежных поставок семенного материала – на тот момент доля импорта составляла около 80%. Но к 2019 году этот показатель

сократился до 45,5% [120]. В начале 2020 года объем ввоза семенного картофеля уменьшился до 8,4 тыс. тонн, что на 3% меньше, чем в 2019 году (рис. 1.2). В 2019-2020 годах основными поставщиками семенного картофеля в Россию выступили такие страны, как Беларусь, Германия, Нидерланды, Финляндия и ряд других (рис. 1.3 и рис.1.4).

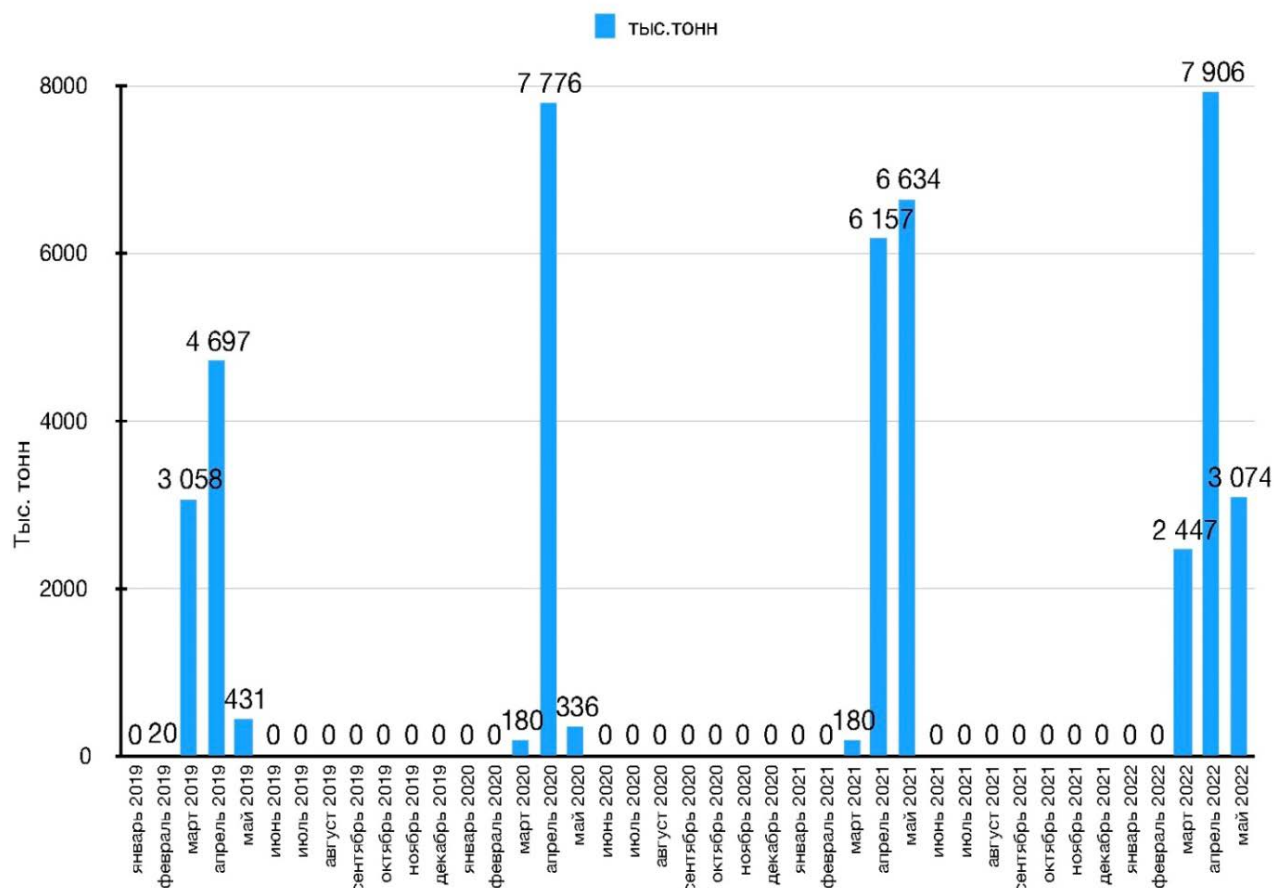


Рисунок 2 - Динамика импорта семенного картофеля в РФ за 2020-2022 гг., тыс. тонн

За последние годы на территории России зарегистрировано 29 новых сортов картофеля отечественной селекции [41, 49]. Эти сорта не только соответствуют иностранным аналогам по своим характеристикам, но в ряде случаев демонстрируют более высокую эффективность, в том числе повышенные показатели урожайности, что было зафиксировано в 2022 году.

Именно благодаря внедрению новых технологий и работе указанных центров в ближайшей перспективе станет возможным наладить выпуск

отечественного семенного картофеля в полном объеме, чтобы удовлетворить внутренние потребности рынка.

Все шире в товарные сети поступают сорта картофеля российского производства, включая такие, как «Смак», «Надежда», «Варяг» и другие [36, 70]. Важнейшей целью исследовательских организаций, специализирующихся на аграрной науке, остается полное обеспечение внутреннего рынка Российской Федерации семенным материалом высоких репродукций. Для достижения этой задачи за последние годы были созданы 14 современных лабораторий, занимающихся селекцией, семеноводством и молекулярно-генетическими исследованиями [70, 72]. Также функционируют шесть специализированных центров, посвященных селекции и семеноводству в области картофелеводства [70, 72].

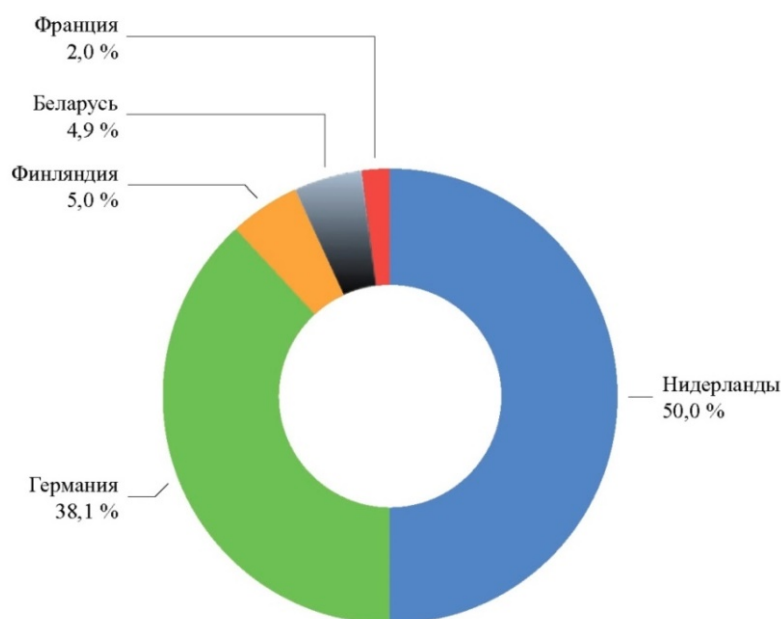


Рисунок 1.3 - Импорт семенного картофеля в Россию по странам происхождения в 2019 году, %

Важно подчеркнуть, что помимо семенного материала, значительным фактором для обеспечения высоких сборов картофеля выступают современные методы его выращивания, а также инновационные подходы к процессам уборки и хранения урожая.

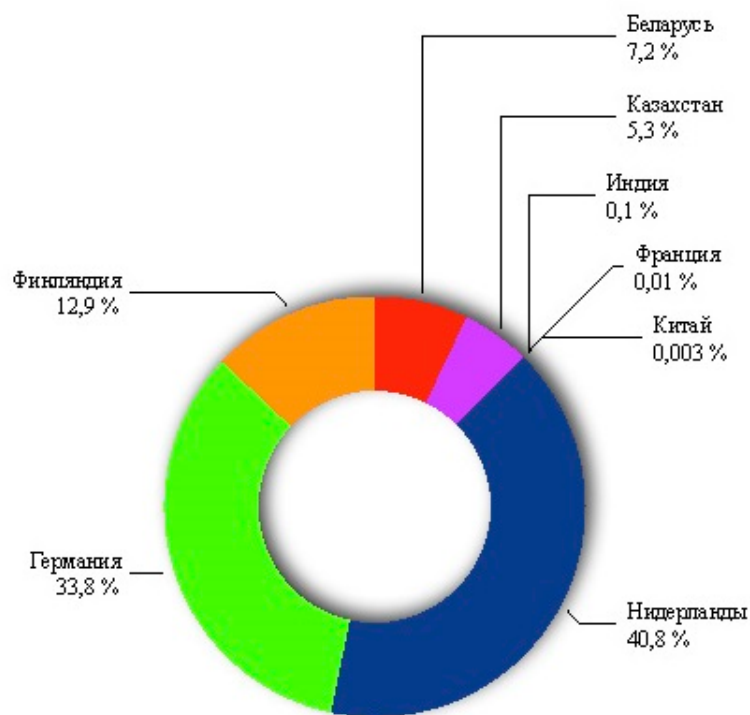


Рисунок 1.4 - Импорт семенного картофеля в Россию по странам происхождения за январь-апрель 2020

года, %

■ Млн, USD

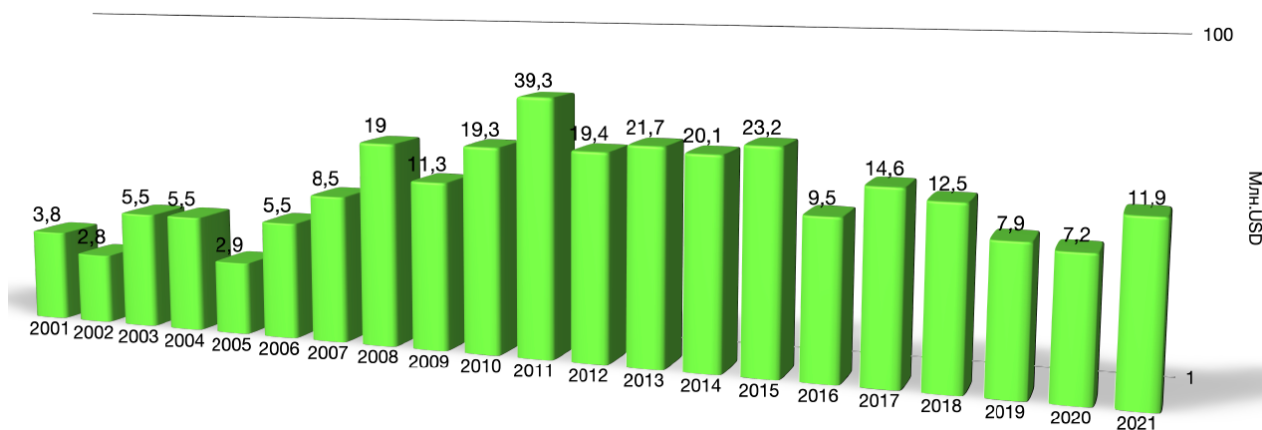


Рисунок 1.5 - Стоимость импорта семян картофеля, млн USD

1.2 Анализ технических средств для подготовки к хранению и транспортирования семенного картофеля

Одним из ключевых этапов в процессе семеноводства картофеля является размножение новых сортов картофеля. Это преимущественно связано с использованием оригинального и репродукционного семенного

материала, что регламентируется различными нормативными стандартами, такими как ГОСТы (рис. 1.6) [3, 78]. Органы Министерства сельского хозяйства Российской Федерации совместно с региональными структурами управления агропромышленным комплексом определяют объемы необходимого семенного материала и координируют все указанные этапы его создания (рис. 1.6) [3].

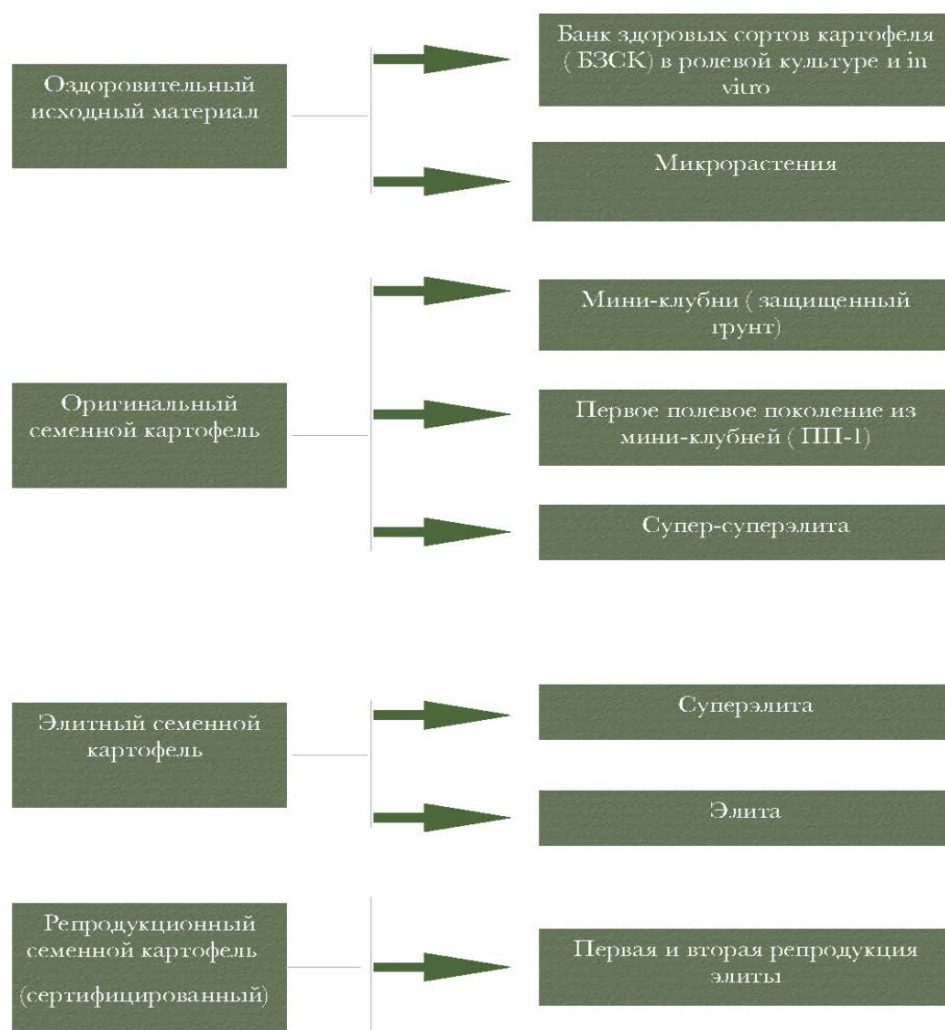


Рисунок 1.6 – Классификация семенного картофеля в России

Основной задачей семеноводства считается не только поддержание стабильной продуктивности семенного материала, но и сохранение его сортовых характеристик. В этой связи особое значение придается строгому соблюдению всех технологических и методических рекомендаций,

касающихся воспроизводства семенного материала, а также выполнению агротехнических требований для его выращивания [36, 38, 49, 52, 120].

Для повышения уровня урожайности картофеля, сельхозпроизводителям рекомендуется уделять особое внимание не только правильному выбору сорта [113], а также мерам по контролю за сорными растениями и вредоносными организмами, но и всем процессам, связанным с уборкой и дальнейшим хранением полученной продукции.

Согласно существующим стандартам, семенной картофель классифицируется по двум основным критериям [41, 102, 103]:

- раннеспелые сорта;
- позднеспелые сорта.

При этом набор сельскохозяйственной техники, применяемый в процессе производства посадочного картофеля [36, 113], практически идентичен использованию оборудования, которое применяется для выращивания клубней с продовольственным назначением (см. рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Комплекс машин для производства семенного картофеля

Уборка картофеля является одной из самых трудоёмких и сложных операций и включает в себя удаление ботвы, выкапывание клубней [15-21, 71, 79-82, 123], транспортировку сельскохозяйственной продукции, сортировку и загрузку картофеля в картофелехранилище [7, 38, 40].

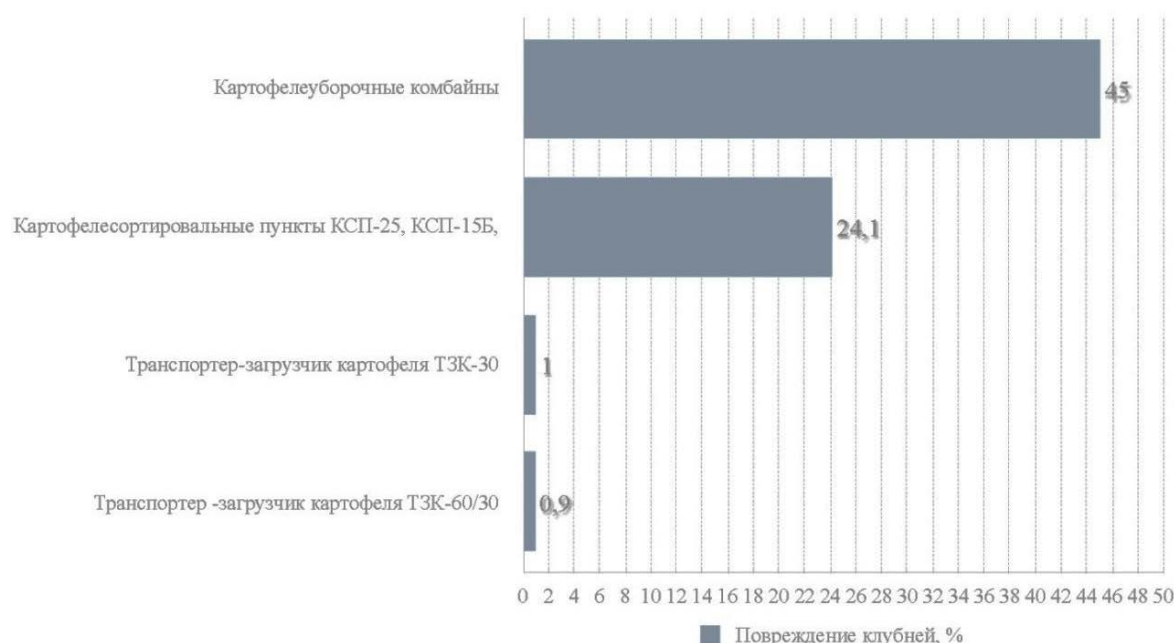


Рисунок 1.8- Повреждения клубней картофеля различными машинами

Уборка, как правило, начинается с удаления ботвы, что в свою очередь зависит [71, 79, 114-116] от погодных условий, сорта картофеля и степени развития самой ботвы. Основным требованием при уборке является снижение повреждений картофеля, при соблюдении высокой производительности. Так современная картофелеуборочная техника снабжена всеми необходимыми функциями для соблюдения выше представленных показателей.

Повреждения клубней во время уборки зависит от многих факторов, так одним из них является температура во время уборочных работ (рис. 1.9) [24, 39, 107].

Это объясняется, тем, что почва и клубень картофеля прогреваются медленнее, чем окружающий воздух. В связи с этим рекомендуется начинать уборку картофеля при температуре не ниже +10 °C (рис. 1.9). Если же осенью наблюдаются холодные ночи, работы следует начинать не ранее 10 часов утра (рис. 1.9). При проведении уборочных работ необходимо принимать во внимание не только уровень спелости картофельных клубней, но и особенности работы используемой сельскохозяйственной техники, а также тип и состояние почвы [24].

При загрузке в контейнеры семенного материала (рис.1.9), повреждения клубней достигают 14%, а уровень максимальных повреждений сельскохозяйственной продукции от уборочных машин в отдельных случаях достигает 45% [38, 39, 40, 107].

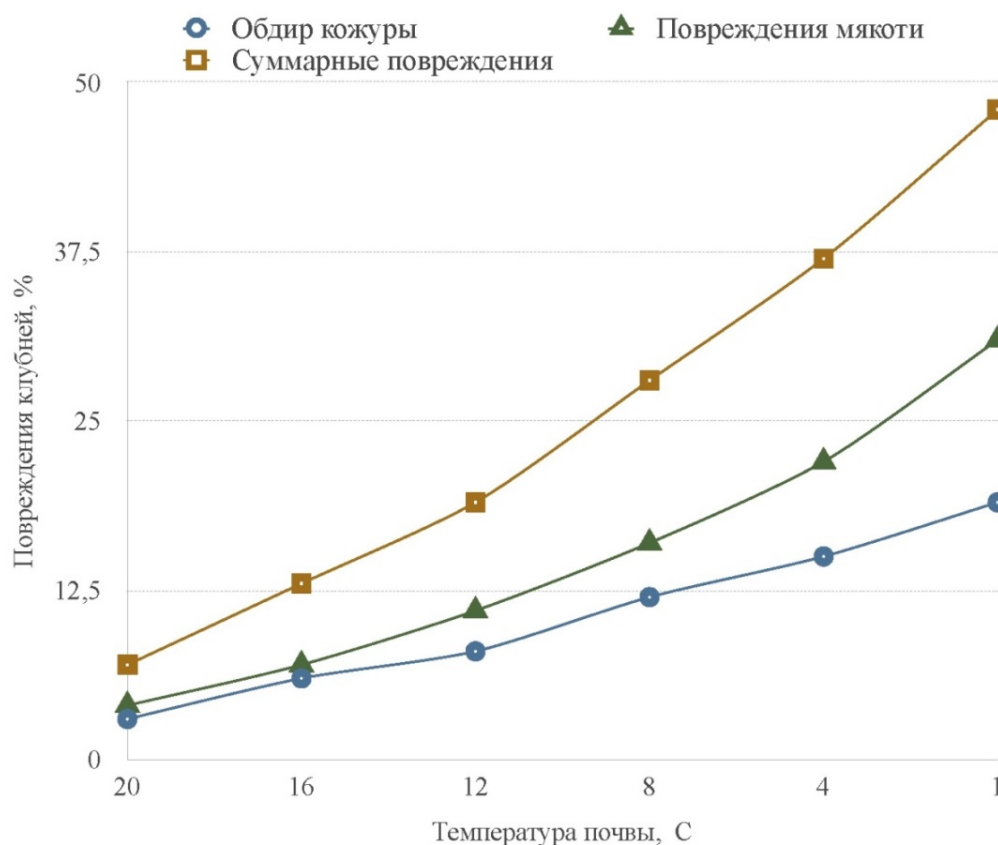


Рисунок 1.9 - Зависимость повреждений клубней картофеля от температуры почвы (уборка комбайном)

Для снижения вероятности повреждений картофельных клубней во время выполнения погрузочно-разгрузочных операций [15–21, 80–82, 123] необходимо в первую очередь минимизировать перепады высот между рабочими элементами сельскохозяйственных машин. Допустимая высота падения клубней составляет от 0,2 м до 0,3 м. Помимо этого, важно учитывать скорость перемещения лент транспортировочных конвейеров [21], которая не должна превышать 0,8-1 м/с. Однако на практике в ряде случаев она находится в пределах 0,6-0,7 м/с [38, 40], что также является приемлемым значением.

Снижение повреждений при уборке [15, 52, 17, 80-82, 123] и погрузочно-разгрузочных операциях имеет комплексный характер, и решение, прежде всего, возможно путем реализации агрономических и других мер.

При перевозке картофеля маленькими партиями, клубни упаковывают в сетчатые или тканевые мешки, общей вместимостью до 50 кг. Ранний картофель, как правило, перевозят и хранят в ящиках вместимостью до 30 кг, при этом микроклиматические особенности хранения определяются особенностями сорта и периодом жизнедеятельности клубней.

Для перевозки семенного материала сразу после уборки в поле используют различные типы контейнеров, общей вместимостью до 1500 кг (рис.1.10).



Рисунок 1.10 - Загрузка семенного материала в контейнеры во время уборки картофе́леуборочным комбайном

Следует отметить, что для транспортировки семенного картофеля применяются разные методы. Во время уборки, осуществляемой с использованием картофелекопателей, продукция помещается либо в мешки, либо в специальные контейнеры. Мешки загружаются вручную, тогда как для перемещения контейнеров используются специализированные

погрузочные устройства. После этого продукцию перевозят с помощью грузовых автомобилей или тракторных прицепов [53, 54] к местам хранения.

В случае уборки семенного картофеля картофелеуборочным комбайном сельскохозяйственная продукция загружается также в контейнеры (рис. 1.10) с последующей перевозкой тракторными самосвальными прицепами или автомашинами в картофелехранилище.

При этом транспортировка семенного картофеля соответствует правилам перевозки скоропортящихся грузов. Следует заметить, что во время транспортировки транспортные средства должны быть чистыми и сухими. Не допускается при транспортировании в одном транспортном средстве возможности смешивания семенного материала [108] из нескольких партий. Кроме этого необходимо соблюдать продолжительность транспортировки клубней «in vitro» (не более 24 часов) [59, 112].

В свою очередь на основе практического опыта необходимо тесно связывать уборочный процесс с послеуборочным этапом машинного производства семенного картофеля. Соблюдение взаимосвязанных технологических операций, как правило, сводит к минимуму потери клубней и обеспечивает последующую рентабельность сельскохозяйственного производства.

Оборудование, используемое для выполнения первоначальных операций с семенным материалом, представлено на рисунке 1.11 [38, 13].

При проведении погрузочно-разгрузочных работ высота падения семенных клубней не должна превышать 30 см.

Минимальное количество почвенных примесей в семенном материале должно быть не более 30%, при влажности до 25% [38, 106, 111]. Так при послеуборочной доработке к отходам относят клубни размером не более 28-30 мм [38, 106].

Сортировочный стол (рис. 1.12) [38, 40, 106] устанавливается после почво-отделителя, что в совокупности является дополнительной

возможностью проверить качество семенного материала и очистить клубни от камней и комков [52].



1 - пункт приемно-сортировочный ППС 20-60; 2 - конвейер наклонный КН-650; 3 - устройство наполнения универсальное УНБ - 2; 4 - скутер-подборщик картофеля (крот) СКП-40; 5 - загрузчик телескопический ЗТ-40; 6 - конвейер телескопический КТ-40 [52].

Рисунок 1.11 - Модульный комплекс для первичной очистки клубней картофеля [52]



Рисунок 1.12 – Работа двухручьего роликового стола с сеткодержателями

Стоит отметить, что переборочные столы включают в себя, как правило, ленточные транспортёры. С обеих сторон переборочного стола присутствует место для рабочих, которые занимаются осмотром потока

семенного материала с целью отбора в ручную испорченных клубней, камней и комков земли. При этом все технологические операции с семенным картофелем проводят при температуре окружающей среды не ниже 7°C [40].

При этом стоит заметить, что во время применения передвижных картофелесортировальных пунктов происходит доочистка семенных клубней от различных примесей, а также сортировка сельскохозяйственной продукции на три фракции. Только потом происходит загрузка клубней в контейнеры, картофелехранилище или транспортные средства.

Помимо базовых вариантов переработки клубней, существуют и узкоспециализированные. К ним можно отнести, например мойку клубней. В этом случае клубни отделенные от камней и земли моют в специальных моечных машинах.

В настоящее время в РФ имеется большой практический опыт по разработкам систем технического зрения при производстве картофеля [38]. Так в ФГБНУ ВНИИКХ создана машина для сортировки картофеля на основе спектрального анализа [38, 106]. Структурная схема управления сортированием семенного материала представляет собой конвейер, работающий так, чтобы обеспечивался непрерывный поток семян, и не нарушались установленные требования ГОСТов. [38].

Хранение семенного картофеля [40] включает в себя много факторов зависящих друг от друга. Так на первом этапе закладки на хранение клубней картофеля, картофелехранилище очищается от почвы и дезинфицируется. По полученным данным клубневого анализа партии семенного материала картофеля относят по соответствующим категориям.

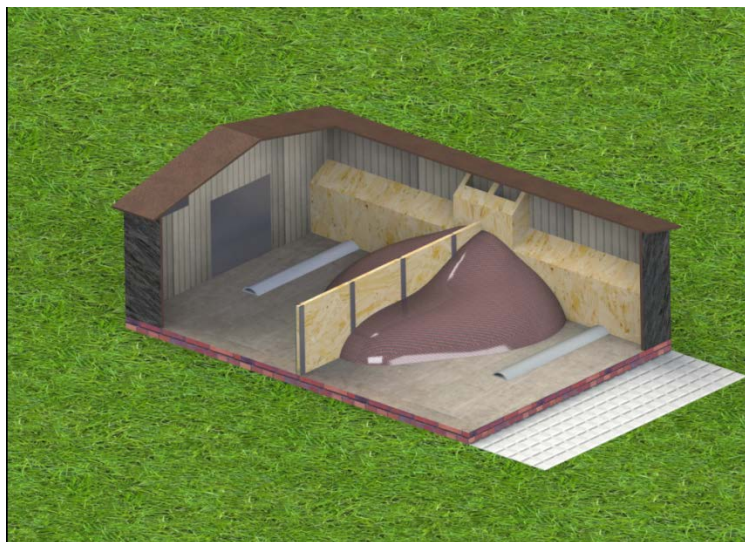
Для обнаружения внутренних повреждений, болезней картофеля, проводится специализированный анализ с разрезанием в продольном направлении 100 клубней в образце [106, 111]. По результату анализа составляется акт с указанием количества и процента больных клубней.

В целях снижения потерь при хранении семенного картофеля от фитофтороза и других болезней следует перед закладкой проводить обеззараживание, используя при этом специализированные препараты.

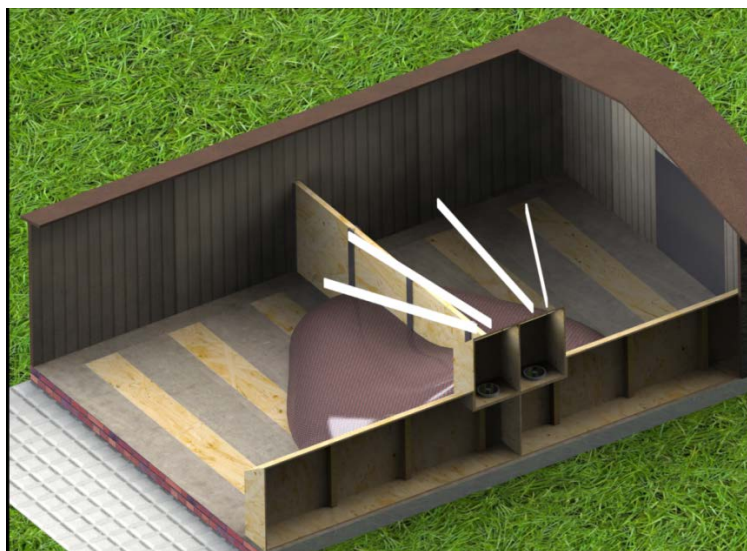
Семенной картофель категории ОС (рис.1.6), как правило, хранится в контейнерах, а РС и ЭС (рис.1.6) насыпью (рис.1.13) или в контейнерах (рис.1.18).

При хранении насыпью используют надпольную и подпольную систему вентиляции (рис.1.13) [12, 40, 105].

Данный способ хранения предусматривает недопущение смешивания разных партий и сортов семенных клубней картофеля [100]. Каждую партию семенного картофеля складывают отдельно. К основным преимуществам навалного способа хранения является размещение сплошным слоем картофеля высотой до 4,5 м, по всему периметру секции/закрома, что дает загруженность помещения картофелехранилища до 80% [11, 12, 17, 90, 93, 100]. Как правило, вместимость одной секции варьируется от 200 до 700 тонн [11, 12]. При секционном хранении вентиляция каждой секции происходит автономно.



А- Навальное хранение с надпольными каналами



Б - Навальное хранение с подпольными каналами

Рисунок 1.13 - Навальный способ хранения семенного картофеля, с использованием закромов/секций

Однако навалый способ хранения имеет недостатки, к которым в первую очередь относят невысокое качество семенного материала хранимого в нижних слоях насыпи и сложность предупреждения прорастания клубней семенного картофеля во время хранения, особенно на последнем этапе [10, 11, 12, 66, 94, 117]. Еще одним недостатком является сложность размещения клубней по сортам, что существенно усложняет задачи по недопущению смешивания клубней.

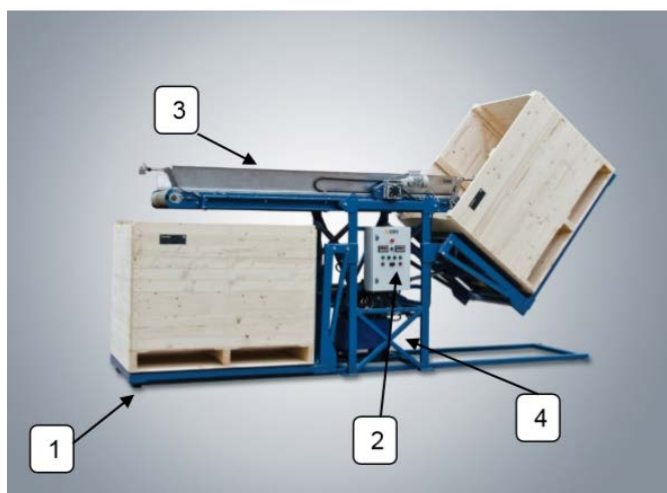
Одним из основных способов хранения семенного картофеля является контейнерный [94-99]. Для создания штабеля из контейнеров в картофелехранилище используют погрузочно-разгрузочные средства. При этом способе хранения качество клубней должно соответствовать всем необходимым требованиям, поэтому эффективность сохранности в первую очередь зависит от исходного качества картофеля.

К положительным сторонам контейнерного способа хранения [6, 66] относят в первую очередь способность хранить различные сорта семенного картофеля, быструю доставку и маневренность, а также деление семенного материала по фракциям. При контейнерном способе хранения сохраняется высокая степень механизации работ.

По конструкции контейнеры делят на жесткие, сплошные и складные. Загрузка в картофелехранилище происходит с использованием специальной техники (рис. 1.14 - 1.16) [17, 20, 66, 73, 79, 94-99, 104]. Одним из основных аспектов загрузки контейнеров является качественное выполнение технологического процесса. Наполнитель контейнеров семенной продукцией, прежде всего, предназначен для автоматической работы, что в свою очередь повышает эффективность наполнения, повышает экономическую эффективность и снижает трудозатраты.

Автоматический наполнитель контейнеров картофелем снабжен передвижным поперечным конвейером. Наполнитель загружает два контейнера одновременно (рис. 1.14). За счет постепенно выдвигающегося конвейера загрузка картофелем происходит равномерно. Точное заполнение контейнеров обеспечивается за счет выдвигающегося конвейера. После заполнения одного контейнера, наполнитель заполняет второй, при этом момент завершения наполнения определяется оптическим датчиком.

Для снижения повреждений при загрузке в контейнеры могут использоваться передвижные конвейеры, например КТ 95. Эти конвейеры оснащены мягким спуском клубней в контейнеры (рис. 1.14) [17, 104].



1 - Платформа для контейнера, 2 - Электрический блок, 3 - Дозирующий транспортер, 4 - Гидравлический насос

Рисунок 1.14 - Автоматический наполнитель контейнеров



Рисунок 1.15 - Наполнитель контейнеров

Следующим инженерным решением по загрузке картофеля в контейнеры является наполнитель [104] с гасителем падения. При этом гасители выполнены из прочного и скользящего материала, что позволяет клубням опускаться вниз (рис.1.15) [73]. Разработанный наполнитель позволяет заполнять не только контейнеры, но и биг-беги.

Однако, несмотря на применяемые инженерные решения, картофель при загрузке получает повреждения, достигающие 15 %, что существенно влияет на семенные качества и в дальнейшем сказывается на снижении урожая до 30-35% [20] .

При исследовании работы погрузчика, представленного на рисунке 1.16, клубни удаляются о стенки гасителя, теряя скорость, а при высокой производительности машины возникают повреждения клубней [114-116] в результате соударения. Также этот фактор сказывается и при наличии в картофельном ворохе примесей ботвы и камней.

Создание штабеля из контейнеров в картофелехранилище происходит с помощью вилчатого электропогрузчика или погрузчиком (рис.1.17). Высота штабеля, как правило, варьируется от 4 до 7,2 м.



Рисунок 1.16 - Погрузчик с гасителем скорости падения клубней

При этом коэффициент использования объема картофелехранилища варьируется в пределах от 80 % до 90% [12].



Рисунок 1.17 - Создание штабеля из контейнеров в картофелехранилище

При контейнерном способе хранения [48] существует возможность создания отдельных секций, в которых поддерживается определенный микроклимат (в зависимости от сорта или назначения сельскохозяйственной продукции).

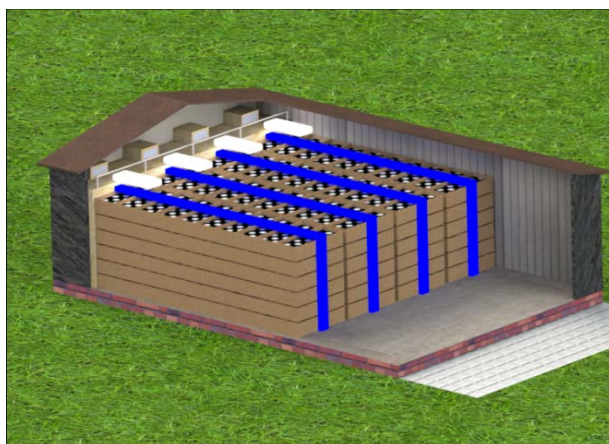
Общая вместимость таких секций варьируется от производительности системы активного вентилирования [48, 76].

Контейнерный способ хранения картофеля включает в себя следующие системы вентиляции [12, 48, 76, 105]:

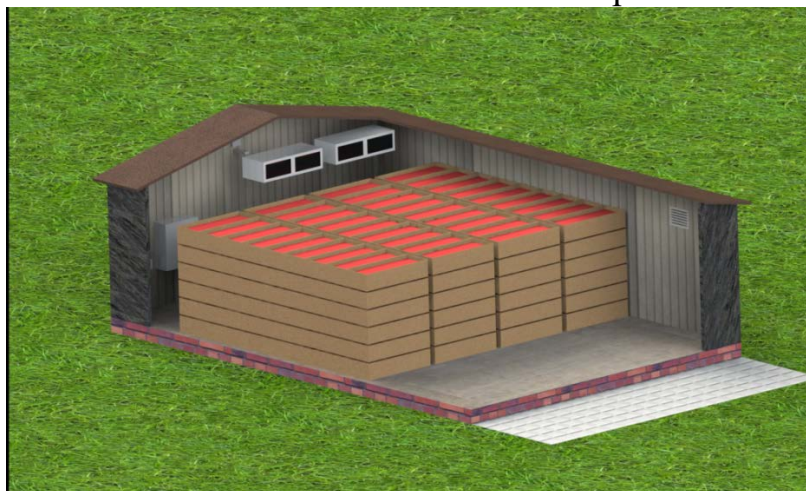
- Объемное вентилирование контейнеров (рис.1.18 позиция «А»);
- Система обратного вентилирования (рис.1.18 позиция «Б»);
- Система удаления CO₂ (рис.1.18 позиция «В»).



А - Объемное вентилирование контейнеров



Б - Система обратного вентилирования



В – Система удаления CO₂

Рисунок 1.18 – Контейнерный способ хранения картофеля

Объемное вентилирование контейнеров является самым распространённым типом среди всех перечисленных, по причине простоты и малой стоимости. Однако при использовании этого типа вентилирования воздушный поток не попадает внутрь самого контейнера. Воздушный поток обдувает только наружную часть контейнера[66, 76] .

Система обратного вентилирования [105] и щелевая стена работают по другому принципу, здесь, наоборот воздушный поток проходит через клубни картофеля. При этом высокая экономическая составляющая изготовления

контейнеров и вентиляционных систем делают эти два типа менее популярными при проектировании картофелехранилища.

Во время хранения картофель выделяет тепло и углекислый газ. В свою очередь углекислый газ сдерживает активность микроорганизмов и дозревание сельскохозяйственной продукции, но при высокой концентрации в помещении хранения, происходит потеря естественного иммунитета у клубней, что в последующем приводит к увеличению потерь. Поэтому для отвода CO_2 устанавливается автоматическая система удара углекислого газа.

Температурно–влажностные режимы хранения семенного картофеля впервые 20 – 25 дней должны варьироваться в пределах от 14 - 16°C при относительной влажности воздуха 90-95% (таблица 1.1). Указанный микроклимат способствует заживлению повреждений на клубнях. По истечению лечебного периода температуру в картофелехранилище в течение следующих 26 – 30 дней необходимо постепенно снижать [66, 94-99]. В среднем снижение температуры в сутки происходит в диапазоне от 0,5 - 1°C.

Температурный фон основного периода варьируется в пределах от 2 - 4 °C. Колебания по температуре и влажности происходят в зависимости от биологических особенностей семенного материала. При этом вентилируемый воздух, поступающий в помещение хранения сельскохозяйственной продукции должен быть положительным по температуре, но ниже, чем температура внутри контейнера или насыпи на 2-5°C [94-99].

Таблица 1.1 - Технологические режимы хранения семенного картофеля
[17, 52, 66, 94-99, 106]

Режим	Температура массы продукции		Относительная влажность, %	Скорость снижения	Продолжительность, час
	Начало режима	Окончание режима			
Осушение	12...18	12...18	90...95	-	72
Лечебный	12...18	12...18	95	-	288
Охлаждение и	12...18	2	90...95	0,5	-

хранение					
Предреализационный	3	8	-	0,5	10

Время работы систем вентиляции картофелехранилища в основной период составляет по 30 минут 2 -3 раза в неделю. При этом переборка в основной период семенного картофеля нежелательна, так как она способствует росту заболеваемости среди хранимой продукции и как следствие ведет к увеличению потерь.

Для того чтобы сохранить семенной картофель в весеннее время необходимо создать запас холода в помещении хранения, путем работы систем вентиляции в ночное время. Общую температуру в картофелехранилище снижают до 1,5°C. Перед выгрузкой и посадкой во избежание повреждений семенной материал прогревается до температуры 8°C и выше.

При хранении семенного картофеля в контейнере расчетную температуру точки росы для стен и потолков следует принимать на 0,3°C ниже значений, приведенных в таблице 1.1.

Стоит отметить, что на окончательный выбор типа хранилища и технологического оборудования для хранения семенного картофеля оказывают следующие факторы:

- качество семенного картофеля после загрузки в контейнеры на хранение;
- срок хранения сельскохозяйственной продукции;
- рынок сбыта;
- сорта сельскохозяйственной продукции;
- объемы хранения сельскохозяйственной продукции.

Исходя из вышеописанного, следует, что на решение технической задачи хранения семенного картофеля влияет один из основных факторов - это качество семенного картофеля после загрузки в контейнеры. Поэтому на

этапе необходим тщательный и своевременный контроль качества семенного материала.

1.3 Анализ проведенных исследований

Анализ исследований, посвященных процессу загрузки картофеля в контейнеры, носит комплексный характер и охватывает широкий спектр аспектов, связанных с технологическими, и агротехническими характеристиками. При этом особое внимание уделяется взаимодействию различных факторов, которые оказывают влияние на качество продукции, целостность клубней, производительность процесса, а также экономическую эффективность.

Рассмотрим более подробно операции и факторы, влияющие на качество и эффективность загрузки картофеля в контейнеры (рис.1.19).

Так, по мнению С.Н. Борычева [5] на повреждения оказывают влияние такие внешние факторы, как:

- структура и уровень влажности почвы;
- природно-климатические условия;
- технология выполнения уборочных работ [62];
- характеристики оборудования, применяемого для уборки картофеля;
- параметры поля (геометрические размеры) и его удаленность от мест временного или постоянного хранения картофеля.

Н.И. Верещагин в своих исследованиях отмечает, что доля поврежденных клубней может варьироваться в значительных пределах и превышать 60 % от общего объема собранного урожая. Это во многом зависит от характеристик используемых уборочных машин и технологии их применения, таких как поточные, прямоточные или перевалочные схемы уборки. Основной объем повреждений картофеля приходится на этапы работы картофелеуборочной техники, оборудования для послеуборочной обработки и транспортировку [9, 39].

Кроме того, температурный режим также играет ключевую роль в снижении повреждаемости клубней. Оптимальная температура для уборки

картофеля, согласно исследованиям, составляет от 10 до 16 °С [9, 39, 92, 99] (рисунки 1.8 и 1.9). Если температура опускается ниже нижнего предела (то есть ниже 10 °С), то на каждый градус происходит увеличение количества поврежденных клубней на 10 % [9, 39]. Данный вывод был сделан Н.И. Верещагиным [9].

Как уже отмечено, повреждения клубней [114-116] существенно влияют на лежкость и ухудшают качество продукта в процессе его хранения. Различные виды повреждений имеют разное влияние, и их негативный эффект многократно усиливается при большем количестве повреждений на одном клубне.

Согласно исследованиям, выполненным Н.И. Верещагиным [9], можно заметить, что различные типы повреждений оказывают разный эффект на сохранность клубней. В частности, повреждения способны значительно повлиять на потери при продолжительном хранении, достигая значительных значений [9, 39, 65, 92, 99]:

- 11,2% для клубней со сдиром кожуры до ½ поверхности;
- 17,4% до 82 % для клубней со сдиром кожуры более ½ поверхности;
- 58% - 73,4% для раздавленных клубней, с трещинами и вырывами мякоти более 5 мм [9, 39, 62, 65, 92, 99].

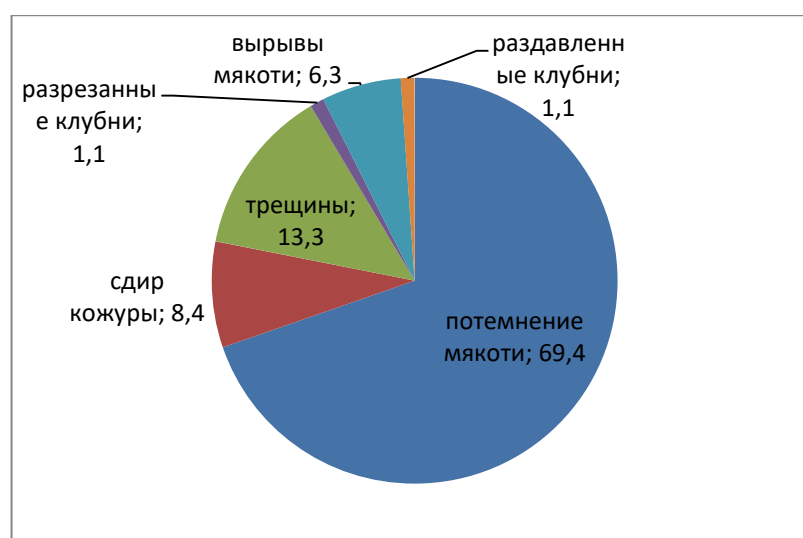


Рисунок 1.19 - Распределение повреждений клубней картофеля по видам

Для клубней имеющих один вид повреждений потери при хранении составляют 34,9%, два - 48% и три - 71,3% [8].

Исследования Заводнова С.В. [39] показали, что повреждения клубней картофеля различаются по частоте появления. Среди всех видов повреждений преобладающим является потемнение мякоти. Этот вид повреждений связан напрямую с механическими воздействиями. Вторыми по частоте являются трещины, на третьем месте находятся повреждения в виде сдиров кожуры.

В дальнейшем каждый из указанных этапов будет рассмотрен подробнее с позиции влияния на сохранность семенного картофеля. На первом этапе возможны повреждения клубней [114–117, 124], которые возникают в следующих случаях:

- при извлечении клубней из почвы;
- в процессе отделения земли и растительных остатков;
- на этапе погрузки клубней в транспортные средства.

На этапе транспортировки семенного картофеля большую роль играет надежность и плавность доставки как внутри хозяйства (от поля до склада), так и между хозяйственными объектами. Повреждения происходят по следующим причинам [62, 65, 114-116, 124]:

- тряска и вибрация транспорта;
- пересыпание при маневрах (соударение между клубнями) [9, 66, 79, 124];
- неравномерная загрузка и весовые перегрузки в контейнерах.

Проводимые исследования в этой области подчеркивает важность минимизации повреждений на всех этапах доставки и переработки. Так Рябчиков Д.С [101] в своей работе особое внимание уделяет устройствам для транспортировки клубнеплодов. В частности, улучшения конструкции, описанные в предлагаемой полезной модели (приложение Г), позволяют значительно травмируемость клубней в процессе выгрузки из транспортной тары. Это достигается за счет использования поперечной перегородки,

выполненной из полых трубок из упругого материала. Эти трубки вращаются вокруг оси, что позволяет изменять угол наклона при выгрузке и дозировать процесс перемещения вороха корнеклубнеплодов. Особенностью конструкции является возможность регулировать зазор между трубками и основанием, что снижает сопротивление движению и снижают повреждения [101].

На этапе транспортировки корнеклубнеплодов основной акцент делается на надежность и плавность доставки продукции. К основным причинам повреждений на данном этапе относятся тряска и вибрация транспорта, пересыпание клубней внутри контейнеров при маневрах, а также неравномерное распределение нагрузки в таре. Современные устройства с улучшенными конструктивными решениями минимизируют указанные факторы и увеличивают сохранность продукции.

На этом этапе семенной картофель проходит сортировку, предварительную очистку от почвы и растительных остатков [65] (если не выполнено ранее), калибровку, обработку необходимыми препаратами (например, средствами для предотвращения болезней), а также непосредственно закладку на хранение. Повреждения наиболее часто возникают по следующим причинам:

- сортировка и очистка;
- калибровка;
- закладка на хранение.

Так при загрузке и последующем хранении семенного картофеля применяются различные виды контейнеров. Рассмотрим основные типы контейнеров [124]:

- деревянные контейнеры;
- пластиковые контейнеры;
- металлические контейнеры (решетчатые);
- мягкие контейнеры (Биг-бэги);
- контейнеры с вентиляцией и системой охлаждения.

Выбор контейнера напрямую влияет на сохранность семенного картофеля [92, 119, 126]. Деревянные контейнеры обеспечивают хорошую вентиляцию и подвержены минимальному перегреву, но требуют регулярной дезинфекции. Пластиковые контейнеры более долговечны, легче в уходе и менее подвержены воздействию влаги, что снижает риск гниения. Решетчатые металлические конструкции подходят для больших объемов, обеспечивая надлежащую циркуляцию воздуха, но могут быть более жесткими, что при не правильной загрузке может приводить к повреждению клубней. Мягкие контейнеры удобны для транспортировки, но менее эффективны для длительного хранения. Контейнеры с системой вентиляции и охлаждения создают оптимальные условия для длительного хранения, что особенно важно для предотвращения прорастания и распространения болезней, но их стоимость значительно выше, как и требования к поддержанию работы оборудования [2, 6, 25] .

Важную роль играют конструкции контейнеров и уровень их технологической адаптивности. Так разработанный контейнер (приложение В) включает амортизирующие элементы, регулируемые перфорированные полки с наклоном, а также съемные полки, размещенные одна над другой с небольшими зазорами и расположенные под наклоном вниз относительно горизонтальной оси. Однако такой контейнер отличается сложной конструкцией, хоть и позволяет эффективно регулировать условия хранения связанных с подачей теплого или холодного воздуха, который циркулирует через сельскохозяйственную продукцию.

Повреждения на всех этапах уборки и хранения семенного картофеля часто имеют кумулятивный характер. Незначительные удары или микротрещины, полученные при выкапывании и загрузке в контейнеры, становятся причиной ухудшения качества клубней на следующих этапах. Например, микротрещины могут служить дальнейшим развитием для инфекций во время хранения, что сказывается на лежкости картофеля и его пригодности как семенного материала.

Таким образом, минимизация повреждений семенного картофеля возможно путем оптимизации работы оборудования [65], сокращения числа перегрузок, строгого контроля условий загрузки клубней в контейнеры и последующем их транспортировки до мест хранения. Особое внимание следует уделять настройке всей цепочки уборки и хранения под специфику семенного картофеля, который гораздо более подвержен ухудшению качества вследствие повреждений.

1.4 Выводы по первой главе

Анализ производственных и технологических аспектов производства семенного картофеля в Российской Федерации показал положительные тенденции в обеспечении внутреннего рынка высококачественным отечественным семенным материалом. Однако повышение урожайности и качества семенного картофеля невозможно без совершенствования современных технологий выращивания, уборки, сортировки и хранения. Особое внимание необходимо уделить предотвращению повреждений клубней, которые играют ключевую роль в их сохранности на всех этапах технологической цепочки – от уборки до закладки на хранение. Повреждения могут существенно снижать лежкость картофеля и увеличивать потери до 30–35%, что требует внедрения новых решений. Хранение семенного картофеля контейнерным способом зарекомендовало себя как наиболее перспективное направление, которое обеспечит сохранность семенного материала, удобство транспортировки и возможность разделения партий по сортам и качеству. Однако навалыные способы хранения всё ещё широко применяются, особенно в условиях крупных сельскохозяйственных предприятий, где стоимость специализированного оборудования может быть высокой.

Таким образом, дальнейшее развитие отрасли семеноводства картофеля в России должно быть направлено на совершенствование технологий уборки, обработки и хранения, усиление научных исследований в области селекции и создания устойчивых к заболеваниям сортов, а также на внедрение

современных инженерных решений, минимизирующих потерю качества семенного материала.

В свою очередь на основании полученных выводов сформулированы цель и задачи исследований, а также определены объект и предмет будущего исследования.

Цель исследований - снижение повреждений семенного картофеля при загрузке в контейнеры.

Задачи исследований:

1. Провести анализ существующих контейнеров для загрузки семенного картофеля, известных наполнителей контейнеров, а также проведенных исследований в этой области.
2. Обосновать параметры ремней-гасителей, снижающих повреждения при загрузке семенного материала в контейнеры.
3. Экспериментально уточнить параметры предлагаемых ремней-гасителей, получить аналитические зависимости, описывающие влияние ремней-гасителей на снижение повреждений клубней.
4. Проведение экспериментальных исследований, направленных на оценку повреждений клубней в контейнерах, оборудованных ремнями-гасителями и без них.
5. Оценить экономический эффект предложенного решения.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДЛАГАЕМОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ

2.1 Анализ модели ударного взаимодействия клубня с ремнем-гасителем

При падении клубня на ремень-гаситель в ударном взаимодействии участвует только часть ремня M_i . Скорость клубня массой m зависит от высоты падения и определяется выражением:

$$v_0 = \sqrt{2gh}, \quad (2.1)$$

где, h – высота падения, м;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

При рассмотрении ударного взаимодействия в системе «клубень-ремень гаситель» введем следующие допущения:

- При соударении во время взаимодействия угол ремня - гасителя не меняется;
- Удар клубня о ремень абсолютно упругий;
- Силы трения при взаимодействии не учитываем.
- Рассеивание энергии системы не учитываем (энергия системы до удара и после удара одинакова). В этом случае кинетическая энергия клубня перед соударением равна кинетической энергии клубня и ремня гасителя после соударения.

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{M_i Mu^2}{2}, \quad (2.2)$$

где, v_0 – начальная скорость клубня, м/с ;

v – скорость клубня после удара, м/с ;

u – скорость ремня гасителя после удара, м/с .

Рассмотрим ударный импульс системы клубень + ремень – гаситель:

В результате удара о ремень гаситель клубень отскочит под углом $90^\circ - \alpha$ от нормали (рисунок 2.2 позиции а и б) [51].

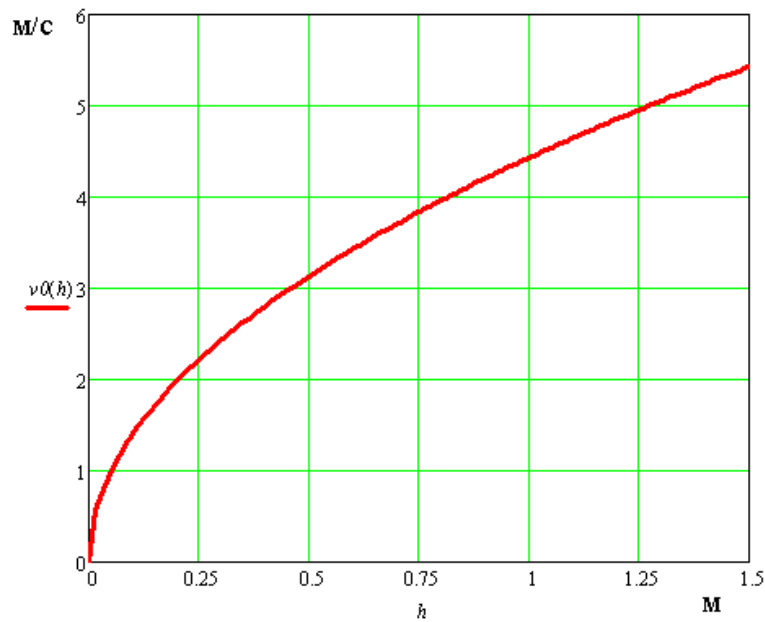


Рисунок 2.1 – Зависимость скорости падения клубня от высоты падения

Тогда уравнение ударного импульса можно записать в виде:

$$\frac{mv_{y0}^2}{2} = \frac{m(v_x^2 + v_y^2)}{2} + \frac{M_i u^2}{2}, \quad (2.3)$$

где, v_{y0} – начальная скорость клубня при вертикальном падении, м/с;

v_x – горизонтальная скорость после удара, м/с;

v_y – вертикальная скорость клубня после удара о ремень-гаситель, м/с;

u – вертикальная скорость ремня - гасителя после соударения с клубнем, м/с.

Для расчета вертикальной составляющей клубня после удара воспользуемся выражением 2.4:

$$\begin{cases} v_y = v \sin(90^\circ - 2\alpha) = v \cos(2\alpha) \\ v_x = v \cos(90^\circ - 2\alpha) = -v \sin(2\alpha) \end{cases} \quad (2.4)$$

Анализируя уравнение 2.4 можно заметить, что вертикальная составляющая скорости после удара определяется углом наклона ремня.

Спроецируем уравнение 2.3 на ось Y., получим формулу:

$$\frac{mv_{y0}^2}{2} = \frac{M_i u^2}{2}, \quad (2.5)$$

По аналогии с кинетической энергией будет определяться импульс системы клубень + ремень-гаситель, вертикальная составляющая количества

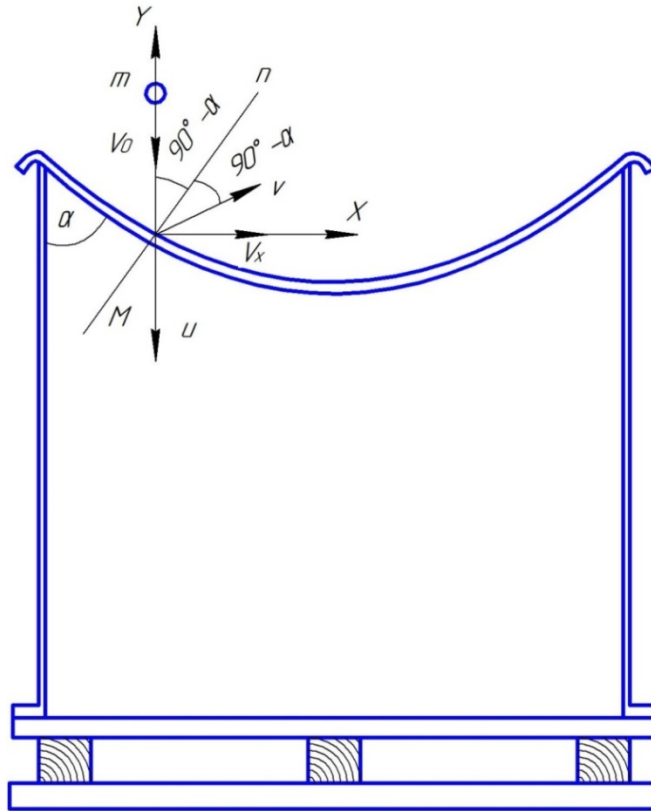


Рисунок 2.2 – Расчетная схема к определению параметров ударного взаимодействия клубня с ремнем – гасителем [51, 64]

Движение клубня будет соответствовать вертикальной составляющей ремня - гасителя. Таким образом, запишем, формулу 2.6:

$$mv_{y_0} = M_i u, \quad (2.6)$$

Решим совместно уравнения 2.5 и 2.6, определим величины, скоростей после соударения клубня и ремня - гасителя.

$$\begin{cases} \frac{mv_{y_0}^2}{2} = \frac{M_i u^2}{2} + \frac{mv_y^2}{2}, \\ mv_{y_0} = M_i u \end{cases}, \quad (2.7)$$

Преобразовав выражение 2.7, получим 2.8:

$$\begin{cases} mv_{0y}^2 = M_i u^2 + mv_y^2, \\ u = \frac{m}{M_i} v_{y_0} \end{cases}, \quad (2.8)$$

Подставив значения скорости ремня-гасителя после удара в первое выражение системы 2.8 получим [51]:

$$mv_{0y}^2 = M_i \left(\frac{m}{M_i} v_{y_0} \right)^2 + mv_y^2, \quad (2.9)$$

$$mv_y^2 = mv_{0y}^2 - \frac{m^2}{M_i} v_{0y}^2, \quad (2.10)$$

Сократим общие множители и преобразуем выражение 2.9, тогда квадрат скорости клубня запишется в виде [51, 64]:

$$v_y^2 = \left(1 - \frac{m}{M_i}\right) v_{0y}^2, \quad (2.11)$$

Окончательно выражение для вертикальной составляющей скорости клубня после соударения с ремнем-гасителем определится выражением:

$$v_y = v_{0y}^2 \sqrt{\frac{M_i - m}{M_i}}, \quad (2.12)$$

Полное значение скорости клубня после удара определяется по формуле 2.13.

$$v = \frac{v_y}{\cos(2\alpha)} = \frac{v_{0y}^2}{\cos(2\alpha)} \sqrt{\frac{M_i - m}{M_i}}, \quad (2.13)$$

Зависимость от угла α показывает, что увеличение угла взаимодействия приводит к нелинейному росту скорости клубня.

угол между направлением падения клубня и ремнем гасителем: 1 - $\alpha = 15^\circ$; 2 - $\alpha = 30^\circ$; 3- $\alpha = 35^\circ$; 4 - $\alpha = 40^\circ$. На рисунке 2.3 показана зависимость скорости клубня $v(M)$ от его массы M при различных начальных условиях скорости и угла наклона ремня-гасителя α .

$$v(M) = (v_0)^2 \cdot \sqrt{\frac{M-m}{M}}, \quad (2.14)$$

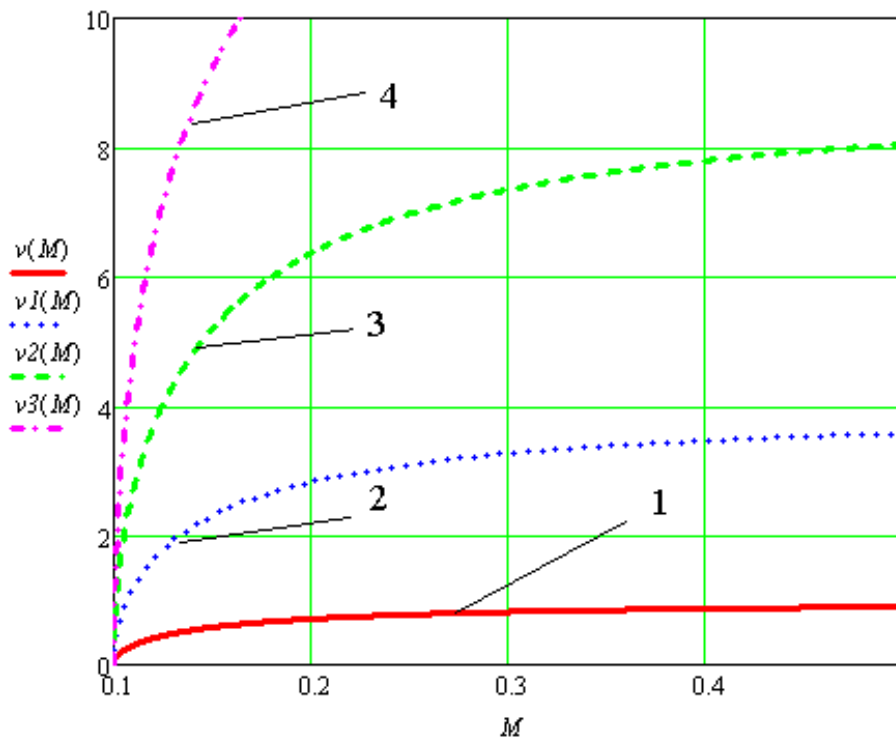
$$v_1(M) = (v_{01})^2 \cdot \sqrt{\frac{M-m}{M}}, \quad (2.15)$$

$$v_2(M) = (v_{02})^2 \cdot \sqrt{\frac{M-m}{M}}, \quad (2.16)$$

$$v_3(M) = (v_{03})^2 \cdot \sqrt{\frac{M-m}{M}}, \quad (2.17)$$

Приведение выражений $v(M)$ (2.13) для начальных скоростей [64] ($v_1(M)$, $v_2(M)$, $v_3(M)$) (2.14 - 2.17) позволяет моделировать значения

скоростей клубня (v) при заданных параметрах массы (клубня и ремня-гасителя), начальной кинетической энергии и угла наклона ремня [110].



1- при угле $\alpha = 15^\circ$, начальная скорость $v_0 = 1$; 2- при угле $\alpha = 30^\circ$, начальная скорость $v_{01} = 2$; 3- при угле $\alpha = 35^\circ$, начальная скорость $v_{02} = 3$; 4- при угле $\alpha = 40^\circ$, начальная скорость $v_{03} = 4$.

Рисунок 2.3 - Зависимость скорости падения клубня от высоты падения и угла падения [51, 64]

Разработанная модель уравнений полностью описывает основные параметры движения системы «клубень-ремень гаситель», что позволяет сделать следующие выводы:

- Вертикальная составляющая скорости после удара (v_y) определяется как массой, так и начальной скоростью.
- скорость клубня и траектория его полета после удара зависят как от начальных условий (высоты падения h), так и от угла ремня α .

Таким образом, разработанная модель ударного взаимодействия системы «клубень-ремень гаситель» и выведенные зависимости позволяют проводить расчеты параметров движения для заданных начальных условий.

2.2 Моделирование ударных воздействий клубней картофеля при загрузке в контейнер

В настоящее время с целью снижения повреждений картофеля при загрузке в контейнеры используют различные типы гасителей скорости. Однако, на основе произведенного анализа в первой главе, эта проблема остается важной и актуальной, последующее решение которой позволит снизить повреждения клубней при загрузке.

Смоделируем загрузку клубней картофеля в контейнер. На первом этапе построения модели зададимся постоянной величиной массы клубня картофеля и его размерами [102]. Примем высоту падения клубня картофеля, как постоянную величину, тогда:

$$h = \frac{1}{2}gt, \quad (2.18)$$

где, h – высота падения, м;

t – время падения, с;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Найдем кинематическую энергию перед ударом клубня об поверхность контейнера по формуле:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2, \quad (2.19)$$

где, m – масса клубня, кг;

v – скорость клубня в момент удара об поверхность контейнера, м/с , может быть вычислена, как $v = \sqrt{2gh}$.

На основании этого с помощью программы Python создадим упрощенную графическую визуализацию соударения клубней картофеля между собой, без учета их повторного соударения друг о друга и о поверхность и стенки контейнера (рисунок 1).

На рисунке 2.4 оси X , Y и Z соответствует размерам типового контейнера. Исходные заданные параметры для построения в Python:

`num_kartofel = 300` # количество клубней, шт:

`height = 1.1` # высота падения, метры, м:

dimensions = (1,6, 1.2, 1.2) # размеры контейнера: ширина, длина, высота, м.

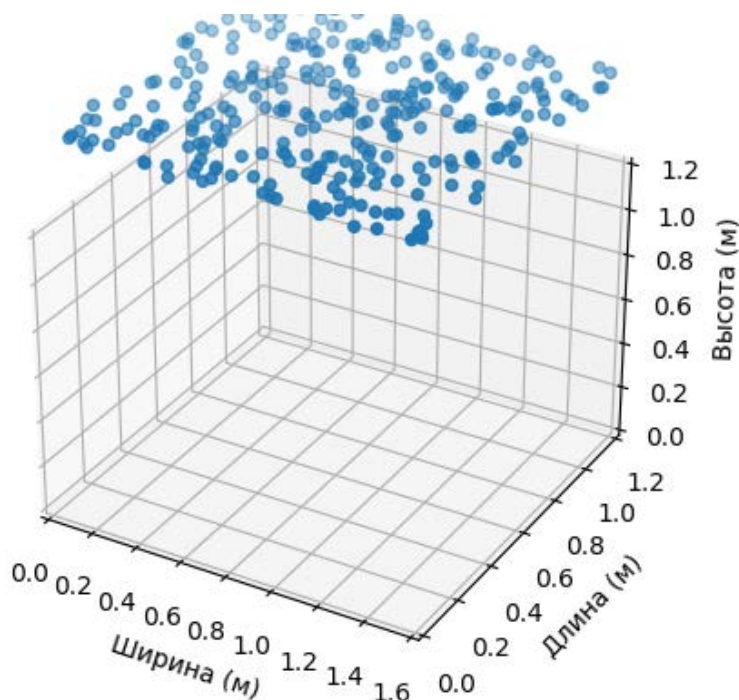


Рисунок 2.4 – Соударение клубней картофеля при падении

Введем в имитационную модель массу клубней картофеля. Для этого добавим массив значений масс клубней [102] (таблица 2.1) и визуализируем их. При этом разные массы клубней картофеля обозначим цветовыми маркерами.

Таблица 2.1 - Средний вес клубней по фракциям

Фракция, мм	Вес клубня, г	
	удлиненный	округлый
28-35	35	30
35-55	77	67
28-40	42	37
40-55	90	72
30-55	75	64
30-45	50	45
45-55	100	82
55-60	120	100

Массив значений массы клубней картофеля составляется на основе нормального распределения с заданным средним ($mass_mean$) и стандартным отклонением ($mass_std$). Цвет маркеров варьируется в зависимости от массы клубней, а размер маркеров также масштабируется с некоторым множителем ($mass*300$), чтобы визуализировать относительные размеры.

На основе этого в модель (рисунок 2.4) добавляем значения:

- средняя и стандартная величина массы клубня в килограммах
- $mass_mean = 0,073$ средняя масса картофеля, кг:
- $mass_std = 0.05$ - стандартное отклонение распределения массы, определяющее разброс массы клубня.

Полученная модель характеризует нахождение клубней картофеля в начальной отметке по высоте. Дальнейшее моделирование произведем по формуле (2.19) в следующих точках по высоте равной одному метру (рисунок 2.6):

$$s^{\rightarrow} = s_0 + v \times \Delta t + \frac{1}{2} \times (\Delta t)^2, \quad (2.20)$$

где t – время, с;

s_0 - начальная высота, м.;

$s^{\rightarrow}$ - расстояние пройденное клубнем за определенное время, м.

В дальнейшем смоделируем повреждения клубней. Модель учитывает массу клубней (таблица 2.1), то есть размер точек пропорционален массе. Далее введем в модель значение скорости падения клубней картофеля. Скорость падения клубней картофеля в контейнер зависит от нескольких факторов, таких как высота, с которой картофель упадет, угол наклона транспортера.

При этом процесс выгрузки картофелеуборочного комбайна производится с целью минимизации повреждений клубней при падении, то есть снижении кинетической энергии клубней при ударе. Поэтому примем, что средняя высота падения клубня с учетом конструкции контейнера составит 160 см. Добавим эти значения в модель.

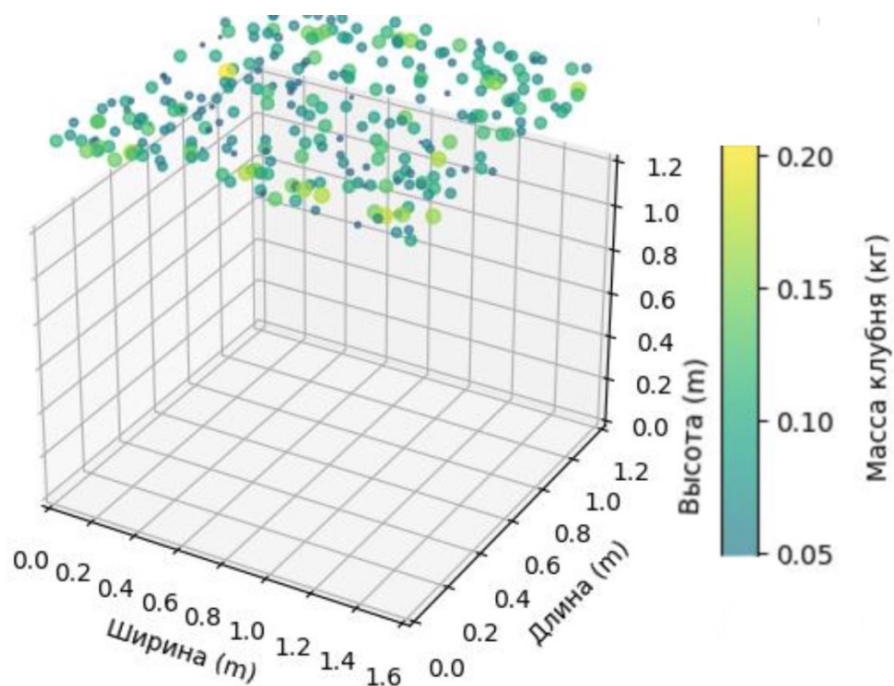


Рисунок 2.5 - Соударение клубней картофеля при падении, с учетом средней величины массы клубня и начальной высоты 1.6 м

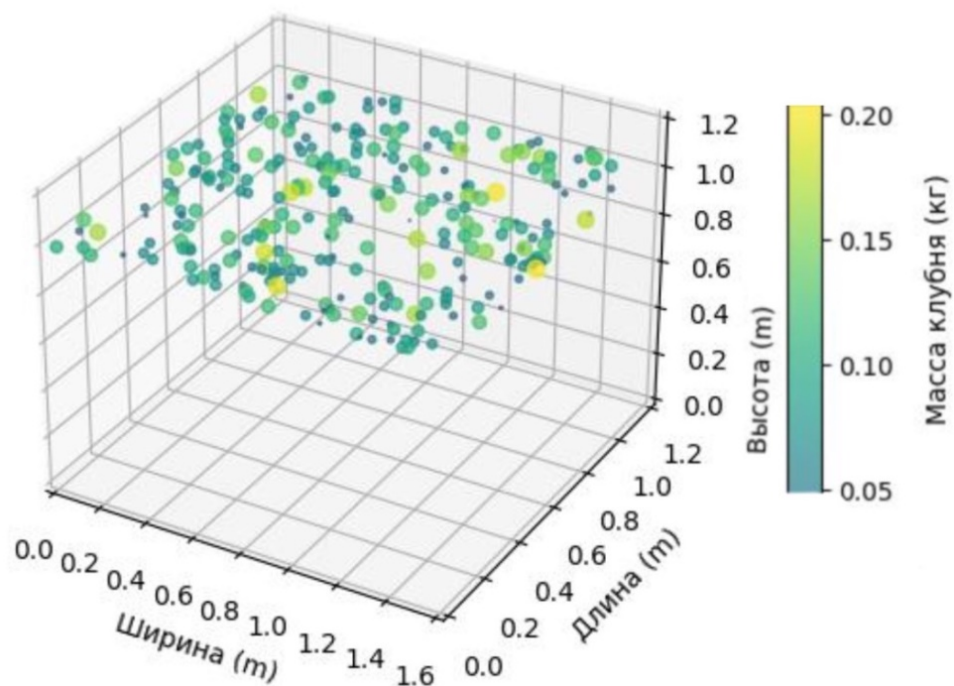


Рисунок 2.6 - Соударение клубней картофеля при падении с высоты один метр, с учетом средней величины массы клубня

При этом цветовая шкала (рисунок 2.7) продолжает показывать уровень повреждений, в то время как размеры маркеров остаются пропорциональными массе клубня.

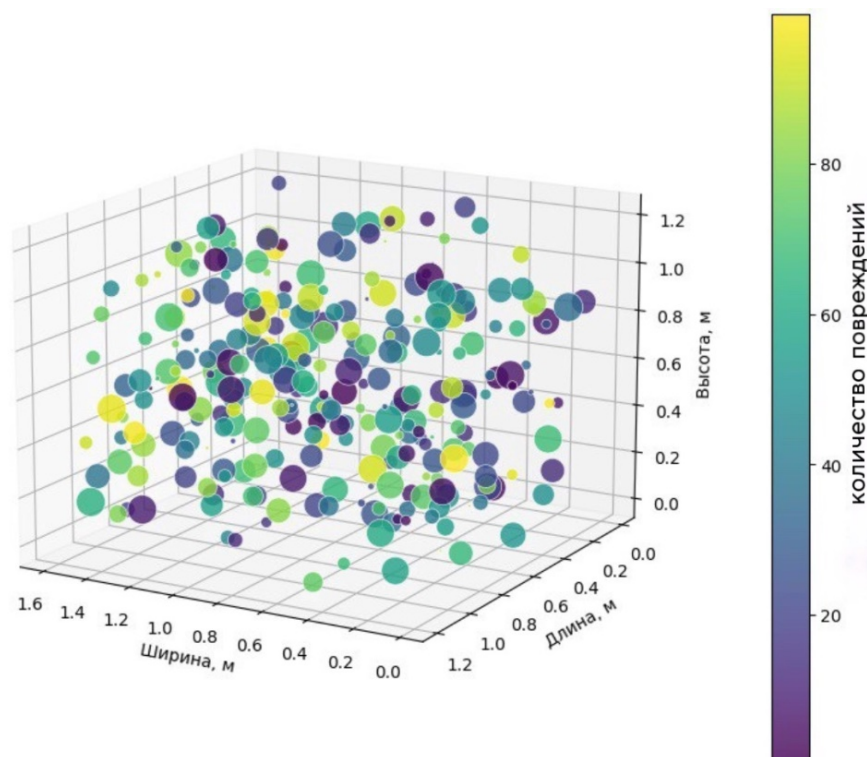


Рисунок 2.7 - Повреждения клубней с учетом скорости падения сельскохозяйственной продукции

Полученная модель дает визуальное представление о состоянии клубней картофеля после выгрузки [42, 43]. На рисунке 2.7 цветové маркеры отображают потенциальное повреждение клубней картофеля.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что наибольшее количество повреждений клубней картофеля приходится по центру контейнера, за счет соударения клубней друг с другом.

Смоделируем установку ремней гасителей на стороны контейнера.

Размер точки (клубня) в модели s вычислим как пропорцию массы:

$$s = k \cdot m, \quad (2.21)$$

где k - коэффициент пропорциональности;

m – масса клубня, кг

На рисунке 2.8 показана имитационная модель движения клубней картофеля по поверхности ремней гасителей [42, 43].

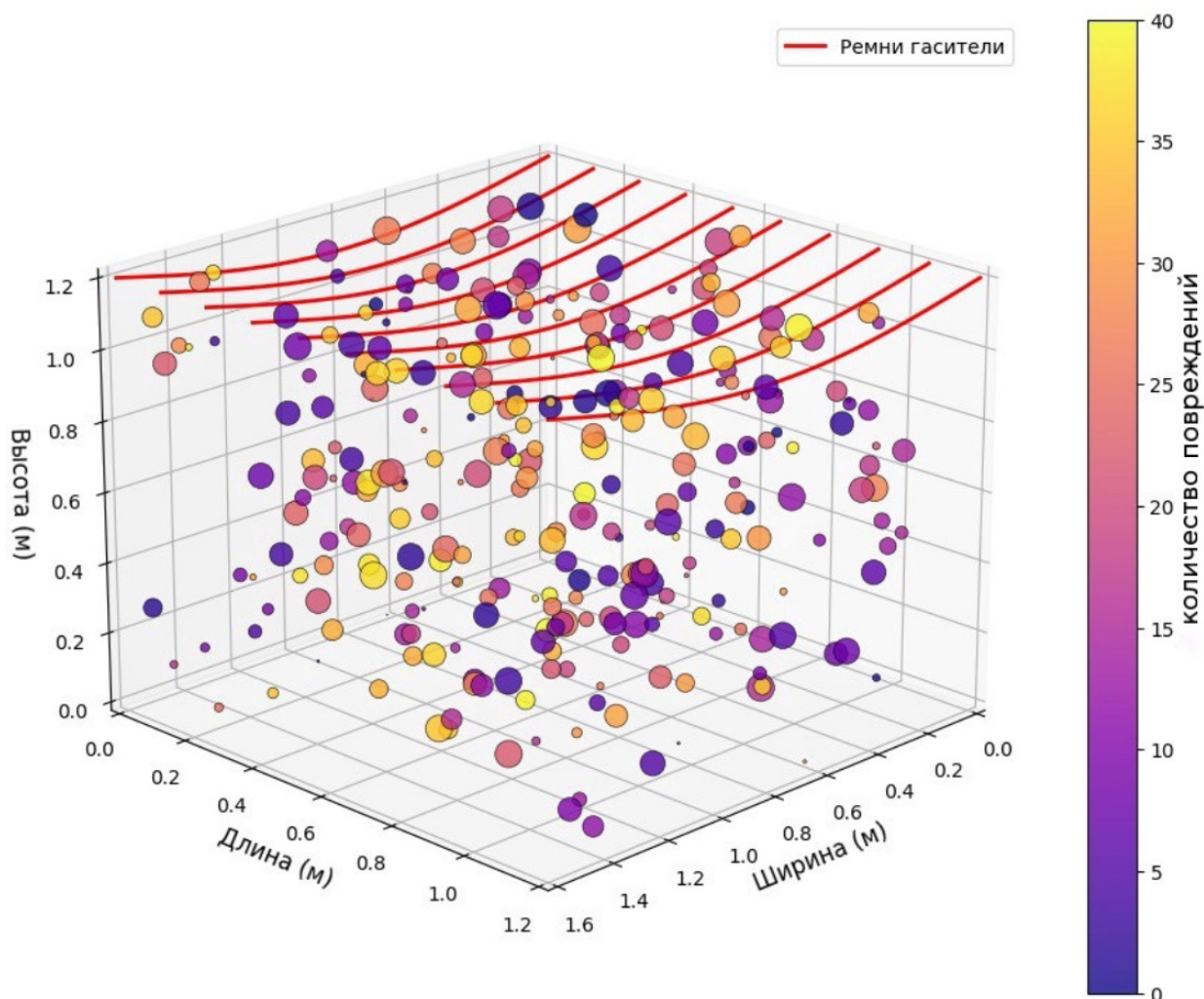


Рисунок 2.8 – Влияние ремней гасителей на повреждения клубней картофеля

Построение модели (рисунок 2.9) создавалось как два отдельных набора точек для отображения случаев без ремней гасителей и с ними. Имитационная модель учитывает параметры в перечисленных формулах (2.18 - 2.21). Полученный результат показывает разницу в повреждениях, где каждая категория данных отображается своим цветом (без ремней гасителей и с ремнями гасителями) (рисунок 2.9). Цветовое кодирование помогает визуально оценить эффективность использования ремней гасителей в снижении повреждений. Анализ имитационной модели показал, что установка ремней гасителей на контейнер снижает повреждения клубней картофеля до 20 %, что подтверждается на рисунках 2.8-2.10 [42, 43] .

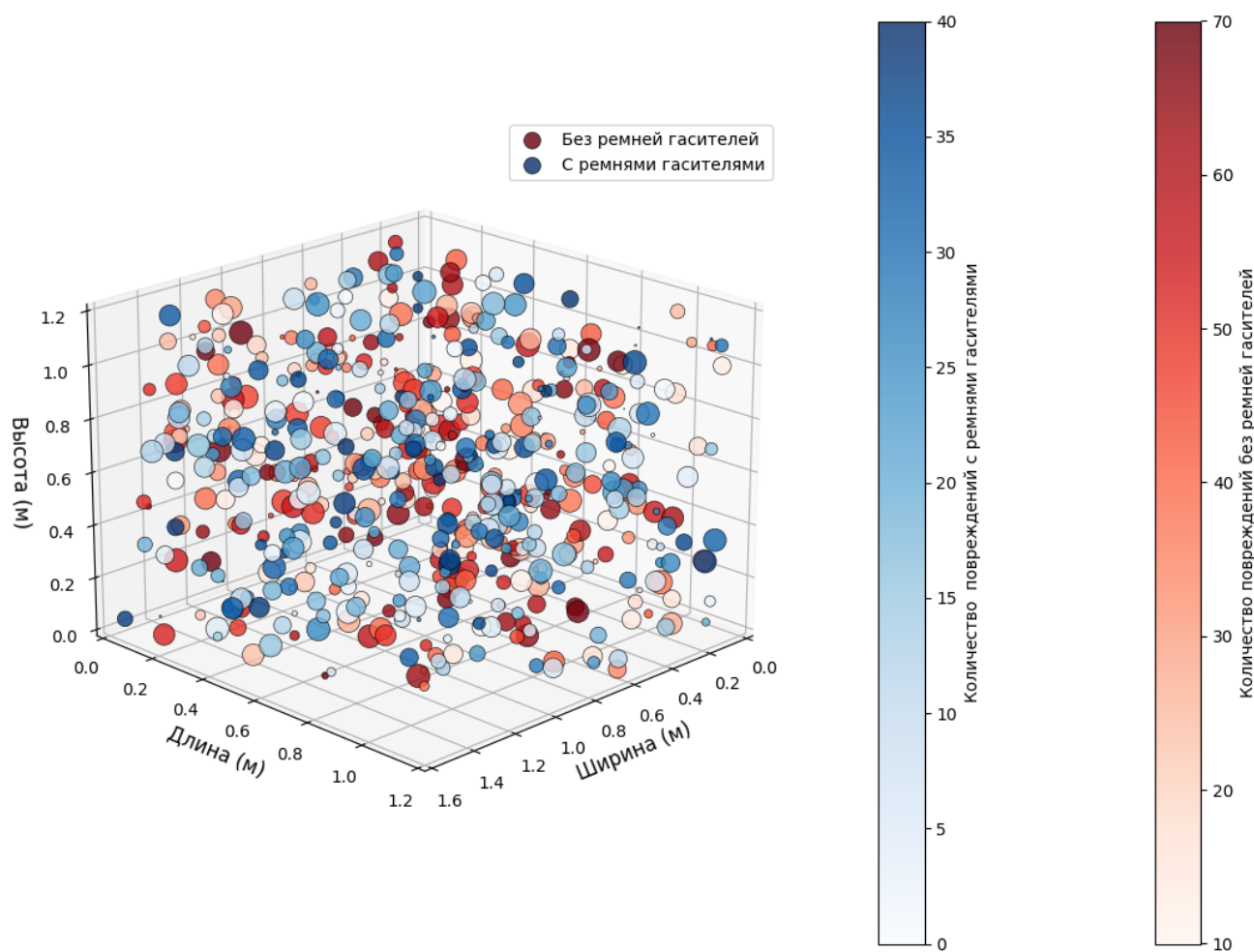


Рисунок 2.9 – Сравнительный анализ повреждений клубней картофеля без учета ремня гасителя и с ремнем гасителем

Проведенные исследования позволили создать две трехмерные поверхности, показывающие повреждения клубней с ремнями гасителями и без них. Поверхности отличаются в цветовой гамме и прозрачности, что подчеркивает различия в повреждениях клубней.

Установлено, что контейнер оборудованный ремнем гасителем имеет значительно меньшие нагрузки. Анализ результатов имитационного моделирования позволил определить экстремальные значения повреждений клубней картофеля за счет их отскока от ремня гасителя. При загрузке картофеля в контейнер без ремня гасителя значение уровня повреждений превышает допустимые значения в 2 раза.

В результате отскока клубень перемещается на противоположную

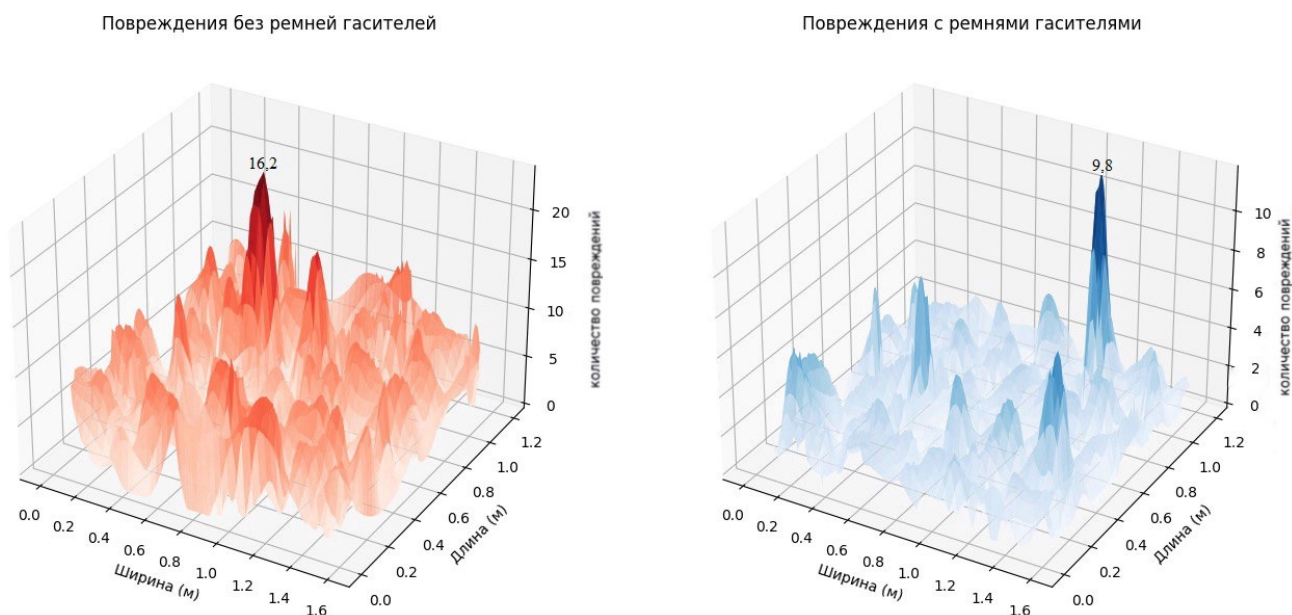


Рисунок 2.10 – Сравнительные трехмерные поверхности влияния на повреждения клубней картофеля ремней гасителей

сторону контейнера и его повреждения зависят от нескольких факторов, таких как:

- скорость падения клубня в контейнер;
- материал и конструкция ремня;
- форма и размер клубней;
- угол падения.

Согласно известным результатам исследования [25, 55, 66, 101] в этой области визуализируем распределение клубней картофеля после отскоков от ремней гасителей. Для этого введем осредненные исходные параметры в имитационную модель:

- ширина контейнера, м;
- длина контейнера, м;
- количество клубней, шт
- ширина ремней гасителей; м;
- расстояние между ремнями гасителями; м;
- масса клубня, грамм;
- диаметр клубня, см.

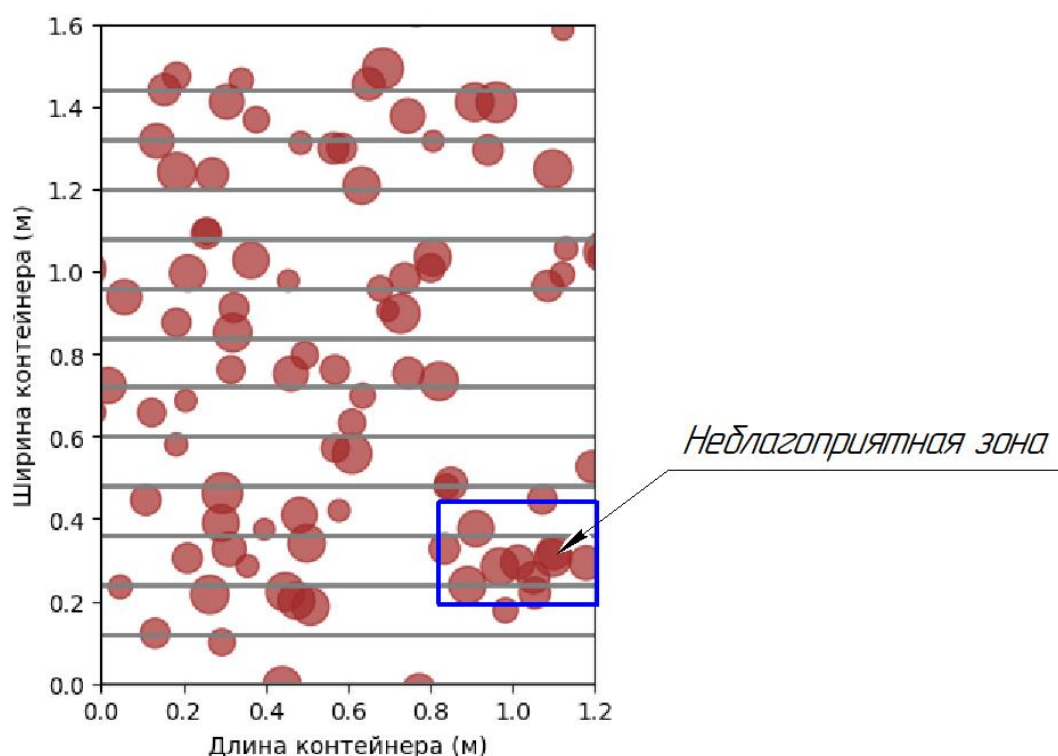


Рисунок 2.11 – Визуализационное поле распределения клубней картофеля по демпфирующей поверхности контейнера за счет использования ремней гасителей

При использовании ремней гасителей возможно возникновение неблагоприятных зон в которых повреждения клубней будут максимальными [42, 43]. Так полученное визуализационное поле распределения клубней по демпфирующей поверхности контейнера за счет использования ремней гасителей позволило определить неблагоприятную зону (обозначенную на рисунке 2.11) распределения повреждений клубней, которая зависит от расстояния между ремнями гасителями и от их материала. В тоже время повреждения клубней в результате соударения в 2 раза меньше, чем при отсутствии ремней.

Имитационная модель показала [42, 43], что установка ремней гасителей уменьшает силу удара клубней картофеля о поверхность контейнера, действуя как демпфирующий слой, что в свою очередь ведет к снижению уровня повреждений, что особенно актуально для семенного картофеля. При этом снижение повреждений клубней картофеля улучшает качество хранимой сельскохозяйственной продукции, что в случае с

семенным картофелем ведет к улучшению качества посадочного материала. Для этого необходимо уточнить параметры конструкции контейнера, используя различные методы теоретического, численного и экспериментального исследования.

2.3 Выводы по второй главе

В результате теоретических исследований и моделирования параметров ремней-гасителей для снижения повреждений клубней картофеля установлено, что использование разрабатываемого устройства позволяет существенно снизить повреждений сельскохозяйственной продукции. Проведённый анализ ударного взаимодействия системы «клубень-ремень-гаситель» показал, что параметры движения клубня после удара об ремень зависят от массы клубня, угла наклона ремня и высоты падения. Расчёты подтвердили сохранение энергии в системе, что позволило определить оптимальные значения вертикальной скорости клубня после удара и выявить влияние параметров ремня-гасителя.

Имитационное моделирование процессов загрузки клубней картофеля в контейнер подтвердило эффективность использования ремней-гасителей, при этом процент повреждений клубней снижается до 20% по сравнению с контейнером без демпфирующих элементов. Особое внимание уделено параметрам материала ремней, их наклону и расстояниям между ними. Установлено, что наибольший уровень повреждений клубней приходится на центральные зоны контейнера из-за скопления клубней и их взаимных соударений.

ГЛАВА 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Программа и методика проведения лабораторных исследований

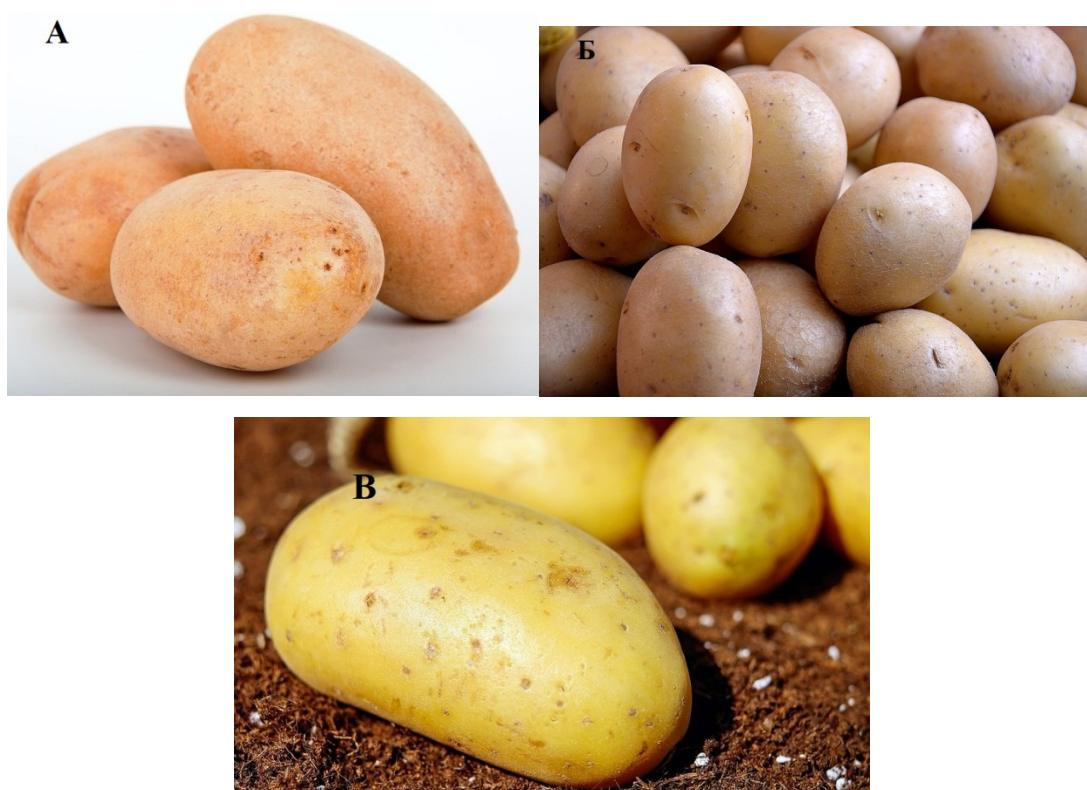
Основной целью, поставленной в рамках проведения лабораторных исследований, являлась проверка корректности выводов, полученных в результате теоретического анализа, а также изучение влияния различных параметров ремней-гасителей на повреждения при загрузке картофеля в контейнер. Для сравнения использовался типовой контейнер и экспериментальная конструкция контейнера с установленными ремнями-гасителями.

В дальнейшем произведем проверку теоретических исследований, на основе которых будет разработана программа и методика лабораторных экспериментов, направленных на оценку эффективности модели ремней-гасителей, снижающих повреждения клубней картофеля в процессе их загрузки.

Программа лабораторных исследований, включающая в себя моделирование параметров ремней-гасителей и, состоящая из следующих этапов, включает в себя:

1. Определение динамических характеристик ремней-гасителей при падении картофеля.
2. Исследование метода градиентного спуска на предмет уточнения параметров ремней-гасителей.
3. Проведение лабораторных исследований по определению процента повреждений картофеля при загрузке клубней в исследуемый контейнер с установленными ремнями-гасителями;
4. Обработка результатов лабораторных исследований и уточнение параметров ремней-гасителей;
5. Методика установки ремней-гасителей по высоте контейнера с подбором необходимой прочности.

Исследования были реализованы на материально-технической базе ФГБОУ ВО РГАТУ с использованием имеющегося научного оборудования.



А - картофель сорта «Удача», Б - картофель сорта «Импала», В - картофель сорта «Королева Анна»

Рисунок 3.1 – Картофель, выращенный в Рязанском регионе

Для обоснования параметров экспериментального контейнера с ремнями гасителями, были уточнены характеристики нескольких сортов картофеля, выращенных в Рязанском регионе (рисунок 3.1):

- картофель сорта «Удача» - раннеспелый сорт. Клубни имеют округлую форму и кремово-бежевый оттенок, весят от 100 до 150 граммов. Сорт хорошо переносит избыточную влажность почвы и обладает средней устойчивостью к фитофторозу. Лежкость сохраняется на высоком уровне. [60].

- картофель сорта «Импала» - один из популярных раннеспелых видов, идеально подходящий для возделывания в средней полосе России. Клубни имеют овальную, слегка удлиненную форму, массой от 90 до 150 граммов. Сорт невосприимчив к нематоды, нескольким видам вирусов, а также парше,

что облегчает его выращивание в различных климатических условиях. Обладает хорошими показателями хранения. [60].

- картофель сорта «Королева Анна» - один из наиболее продуктивных сортов картофеля, идеально подходящий для выращивания в условиях средней полосы РФ. Клубни имеют продолговатую форму с гладкой кожицей золотисто-желтого оттенка. Средний вес составляет от 85 до 140 граммов. Лежкость высокая [60].

Поскольку перечисленные сорта картофеля в основном являются раннеспелыми и характеризуются высокой сохранностью, было принято решение [25] использовать для проведения лабораторных исследований только один сорт, что обеспечит получение более достоверных и точных результатов. В итоге выбран сорт «Удача», который отличается средней устойчивостью к фитофторозу и хорошо переносит избыточную влажность почвы.

3.2 Определение динамических характеристик ремней-гасителей при падении картофеля

Исследование разработанной модели ремней-гасителей для амортизации падающего картофеля в контейнер, позволяют снизить повреждения [38].

Рассмотрим параметры типового контейнера и ремней-гасителей:

- Контейнер имеет ширину 160 см и длину 120 см, что определяет горизонтальную длину ремня $L = 160$ см

- Прочность ремня - гасителя на разрыв составит 200/2 кН/м, а прочность слоя на разрыв 100 кН/м, при этом сам ремень-гаситель состоит из 2-х слоев.

Параметры семенного картофеля и его сила удара об ремень-гаситель;

Масса одного клубня 0.05 кг (усреднённое значение) [44];

- общее количество клубней картофеля при первом исследовании составило - 500 штук, при втором исследовании - 800 штук, при третьем исследовании – 1000 штук;

- Общая суммарная масса семенного картофеля составила 30, 48 и 60 кг соответственно;

- Картофель падает с высоты 1,1 м.

Прогиб ремня-гасителя описывается как цепная линия определяющая форму свободно подвешенного ремня-гасителя (горизонтально натянутого).

Нагрузка от удара картофеля приводит к дополнительному прогибу ремней-гасителей под воздействием силы.

Графическое представление модели характеризуется исходным прогибом (без нагрузки) и описывается уравнением цепной линии. Изменённая линия под нагрузкой учитывает дополнительный прогиб ремней-гасителей.

Проведем расчет основных параметров модели, а именно найдем потенциальную энергию при падении одного клубня с высоты h [4, 34, 44]:

$$E_p = m \cdot g \cdot h, \quad (3.1)$$

где, m - масса клубня;

g - ускорение свободного падения - 9.8 м/с^2 ;

h - высота падения.

Подставим свои данные в уравнение 3.1:

$$E_p = 0,539 \text{ Дж}$$

Таким образом, клубень семенного картофеля перед ударом об ремень-гаситель обладает потенциальной энергией равной 0,539 Дж.

Кинетическая энергия зависит от массы и скорости, при этом скорость падения клубня определяется по формуле 3.2 [51]:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (3.2)$$

где, v - скорость клубня при падении, м/с

Поставив свои значения, получим, что скорость составит 4,643 м/с

Тогда кинетическая энергия одного клубня при ударе ремень-гаситель составит:

$$E_k = 0,538 \text{ Дж}$$

Тогда общая энергия при падении большого количества клубней картофеля составит:

- для 30 кг – 324,4 Дж;
- для 48 кг – 517,44 Дж;
- для 60 кг – 646,8 Дж.

Среднюю силу удара клубня о ремень-гаситель найдем, учитывая изменение импульса тела, и предполагая время взаимодействия клубня (0,1 секунда) с поверхностью ремня по формуле:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m \cdot v}{\Delta t}, \quad (3.3)$$

тогда, $F \approx 2,3215$ Н.

Учитывая коэффициент упругости ремня-гасителя, найдем абсолютную деформацию через закон Гука, тогда:

$$\Delta x \approx 0,00078 \text{ см или } 7,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

То есть каждый клубень картофеля вызывает незначительную локальную деформацию одного ремня-гасителя.

```

1 import math
2
3 # Начальные параметры
4 g = 9.8 # ускорение свободного падения, м/с^2
5 h = 1.1 # высота падения картофеля, м
6 m_clubnya = 0.05 # масса одного клубня, кг
7 time_contact = 0.1 # время взаимодействия клубня с ремнем, с
8 E_k = [] # Кинетическая энергия для всех масс картофеля
9 mass_potato = [30, 48, 60] # общая масса картофеля, кг
10
11 # Подсчет потенциальной энергии одного клубня
12 E_p = m_clubnya * g * h
13 print(f"Потенциальная энергия (E_p) одного клубня: {E_p:.3f} Дж")
14
15 # Скорость клубня при падении
16 v = math.sqrt(2 * g * h)
17 print(f"Скорость свободного падения (v): {v:.3f} м/с")
18
19 # Подсчет кинетической энергии одного клубня
20 E_k_one = 0.5 * m_clubnya * v ** 2
21 print(f"Кинетическая энергия (E_k) одного клубня: {E_k_one:.3f} Дж")
22
23 # Расчет полной кинетической энергии для всех масс картофеля
24 for mass in mass_potato:
25     E_k_total = E_k_one * (mass / m_clubnya) # кол-во клубней = общая масса / масса одного
26     E_k.append(E_k_total)
27     print(f"Общая кинетическая энергия для {mass} кг картофеля: {E_k_total:.2f} Дж")
28
29 # Сила удара одного клубня об ремень
30 force = (m_clubnya * v) / time_contact
31 print(f"Сила удара одного клубня (F): {force:.3f} Н")
32
33 # Параметры ремня
34 k_remnya = 300 * 10**3 # Коэффициент жесткости ремня, Н/м (преобразуем кгс/см^2 в Н/м)
35 deformation = force / k_remnya # Закон Гука: F = k * Δx -> Δx = F / k
    
```

Потенциальная энергия (E_p) одного клубня: 0.539 Дж
 Скорость свободного падения (v): 4.643 м/с
 Кинетическая энергия (E_k) одного клубня: 0.539 Дж
 Общая кинетическая энергия для 30 кг картофеля: 323.40 Дж
 Общая кинетическая энергия для 48 кг картофеля: 517.44 Дж
 Общая кинетическая энергия для 60 кг картофеля: 646.80 Дж
 Сила удара одного клубня (F): 2.322 Н
 Абсолютная деформация ремня (Δx): 0.000008 м или 0.000774 см

Рисунок 3.2 - Проверка расчетов

Для дальнейшей оценки эффективности разработанной модели ремней-гасителей перейдем к вычислительному моделированию. С помощью Python (рисунок 3.2) проверим приведенные расчеты и проведем анализ параметров. Далее уточним основные задачи, которые предполагается решить при помощи моделирования:

- проверка параметров энергии (потенциальной, кинетической) и скорости при падении картофеля;
- оценка силы взаимодействия клубня с ремнем в зависимости от различных параметров;
- моделирование деформации ремня на основе закона Гука и параметров его прочности;
- подбор прочности ремня для уменьшения повреждений при сохранении структурной целостности семенного материала.

3.3 Оптимизация параметров ремней-гасителей методом градиентного спуска

Градиентный спуск - это численный метод оптимизации, основанный на итеративном улучшении решения. Градиентный спуск работает путем итеративной корректировки параметров модели в направлении отрицательного градиента функции потерь (которая представляет ошибку). Это помогает уменьшить ошибку и найти параметры. Алгоритм продолжает этот процесс до тех пор, пока не достигнет минимума или не будет выполнен заранее определённый критерий останова [33, 34].

В дальнейшем, с целью уточнения параметров ремней-гасителей и решения проблемы высокого процента повреждений клубней при загрузке в контейнер, создадим программный код на языке Python, который будет включать в себя метод градиентного спуска [1, 22, 57, 121]

Разберем, более детально, почему выбраны конкретные параметры для ремней-гасителей:

Ширина ремня-гасителя влияет на площадь соприкосновения картофеля с ремнем. Чем больше ширина, тем больше площадь контакта и тем равномернее распределяется энергия удара, снижая давление на клубень. Диапазон ширины ($3 \leq \rho_1 \leq 4$ см) выбран на основе стандартных размеров ремней-гасителей, часто используемых в сельскохозяйственной технике.

Расстояние между ремнями определяет, под какую часть клубня приходится нагрузка, и влияет на момент, когда клубень полностью ударится

о ремень. Диапазон расстояния ($4,5 \leq \rho_2 \leq 5,5$ см) также выбран исходя из размеров семенного картофеля.

Количество ремней-гасителей определяет, как распределяется нагрузка. Чем больше количество ремней на единицу длины, тем лучше амортизируются удары клубней. Диапазон ($17 \leq \rho_3 \leq 20$) обусловлен техническими ограничениями длины и конструкции контейнера.

Параметр прочности ($k = 200/2$ кН/м) выбран исходя из соотношения прочности слоя на разрыв и прочности ленты на разрыв. Высокая прочность снижает деформацию и защищает ремень от износа. Однако слишком прочные ремни передают больше энергии картофелю (вызывая повреждения), поэтому баланс играет ключевую роль.

Если клубень взаимодействует с несколькими ремнями-гасителями, то нагрузка делится между этими ремнями. Например, если картофель касается двух ремней, то общая прочность составит:

$$k_{\text{общ}} = k_1 + k_2, \quad (3.4)$$

где k_1 и k_2 прочность отдельных ремней-гасителей.

В свою очередь из представленных уравнений в разделе 3.2 видно, что характеристики ремней-гасителей (ширина, расстояние между ними, количество) напрямую влияют на время контакта клубня с ремнем-гасителем, а значит, и на снижение повреждений картофеля.

Зададимся целевой функцией. Так целевая функция $C(\rho_1, \rho_2, \rho_3)$ представляет собой суммарную силу удара для всех клубней семенного картофеля, которая может быть выражена в виде [6, 7, 22, 57, 61, 62]:

$$C(\rho_1, \rho_2, \rho_3) = \sum_{i=1}^N F_i \quad (3.5)$$

где F_i - обозначает силу удара, действующую на i -й клубень;

N - представляет общее количество клубней семенного картофеля, участвующих в процессе загрузке контейнера.

Указанная функция позволяет анализировать распределение нагрузок, действующих на семенные клубни, и, следовательно, может быть использована для совершенствования загрузки контейнера.

Применение метода в Python начинается с начального приближения, то есть:

- ширина ремня - 3.5 см;
- расстояние между ремнями - 5.0 см;
- количество ремней - 18.

Вычисление градиента целевой функции $\nabla C(\rho_1, \rho_2, \rho_3)$ является вектором частных производных [1, 22, 56, 57, 61, 62, 121]:

$$\nabla C = \left[\frac{\partial C}{\partial \rho_1}, \frac{\partial C}{\partial \rho_2}, \frac{\partial C}{\partial \rho_3} \right], \quad (3.6)$$

В дальнейшем алгоритм автоматически оценивает градиенты численными методами внутри оптимизационного метода.

На каждой итерации параметры обновляются по следующему правилу [13, 14]:

$$\rho_{new} = \rho_{old} - \alpha \cdot \nabla C, \quad (3.7)$$

где α - шаг обучения (в градиентных методах он регулируется автоматически через алгоритм L-BFGS-B);

ρ_{new} - новые значения параметров после обновления;

ρ_{old} - текущие значения параметров перед обновлением.

Алгоритм L-BFGS-B используется с помощью аппроксимации Гессiana (матрицы вторых производных). Для того, чтобы приблизить проблему в окрестности текущей точки к квадратичной и в последующем найти направление эффективного движения к минимуму [13, 14]. Алгоритм L-BFGS-B является стандартным методом ограниченного градиентного спуска. Он позволяет учитывать границы параметров:

$$3 \leq \rho_1 \leq 4;$$

$$4,5 \leq \rho_2 \leq 5,5;$$

$$17 \leq \rho_3 \leq 20.$$

В последующем происходит вычисление градиента целевой функции по каждому параметру и пошаговое обновление параметров для снижения значения целевой функции.

После нескольких итераций алгоритм находит значение параметров $\rho=[\rho_1, \rho_2, \rho_3]$, при которых целевая функция (сила удара) минимальна (рисунок 3.3).

Построение изолиний, представленных на рисунке 3.3, демонстрирует зависимость силы удара от различных значений параметров ρ_1, ρ_2, ρ_3 . Полученная точка, соответствующая минимальной силе удара, отмечена на графике красным цветом.

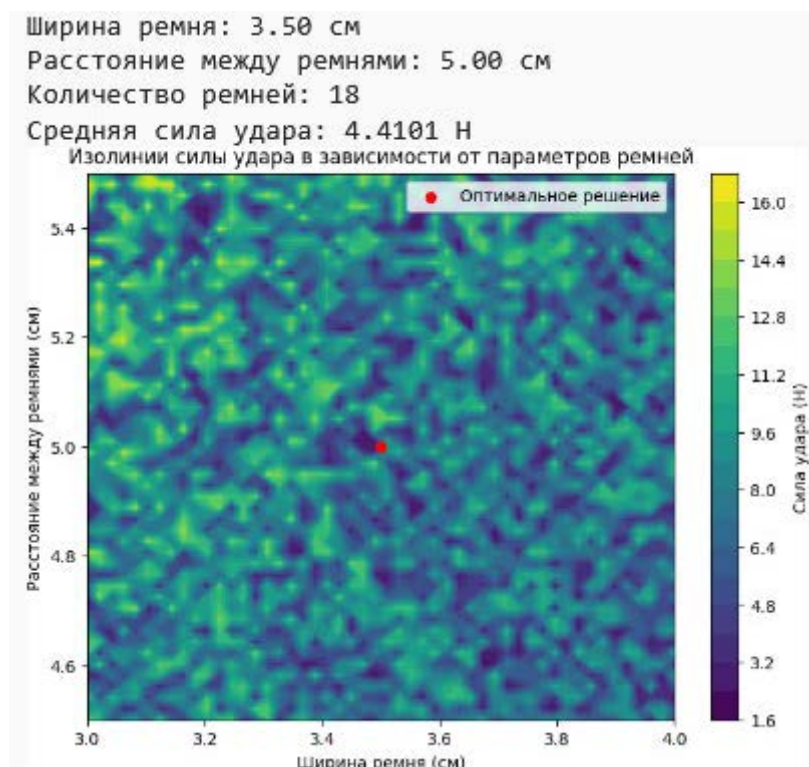


Рисунок 3.3 – Определение параметров ремней-гасителей

Полученные результаты обусловлены, в первую очередь, тем, что увеличение площади контакта клубня с ремнём-гасителем способствует снижению силы удара, что связано с более эффективным рассеиванием энергии падения за счёт деформации ремня. Кроме того, расстояние между ремнями-гасителями (ρ_2) оказывает значительное влияние на площадь контакта: при увеличении данного параметра площадь взаимодействия

клубня с ремнём-гасителем уменьшается, что приводит к увеличению силы удара. Таким образом, полученные параметры позволяют существенно снизить воздействие на клубни.

Градиентный спуск использован для комбинации параметров ремней (ρ_1, ρ_2, ρ_3), чтобы минимизировать силу удара. Этот процесс можно рассматривать как итеративное улучшение параметров ρ_1, ρ_2, ρ_3 с учетом физических ограничений.

Для дальнейшей оценки эффективности разработанной модели ремней-гасителей и их параметров, перейдем к моделированию. С помощью Python проверим приведенные расчеты и проверим анализ параметров. Так для продолжения расчетов и визуализации добавим массу картофеля: 30 кг, 48 кг и 60 кг, при общем количестве клубней – 500, 800 и 1000 соответственно. Это в свою очередь поможет учесть влияние веса картофеля и нагрузки на ремни гасителей (рисунок 3.4).

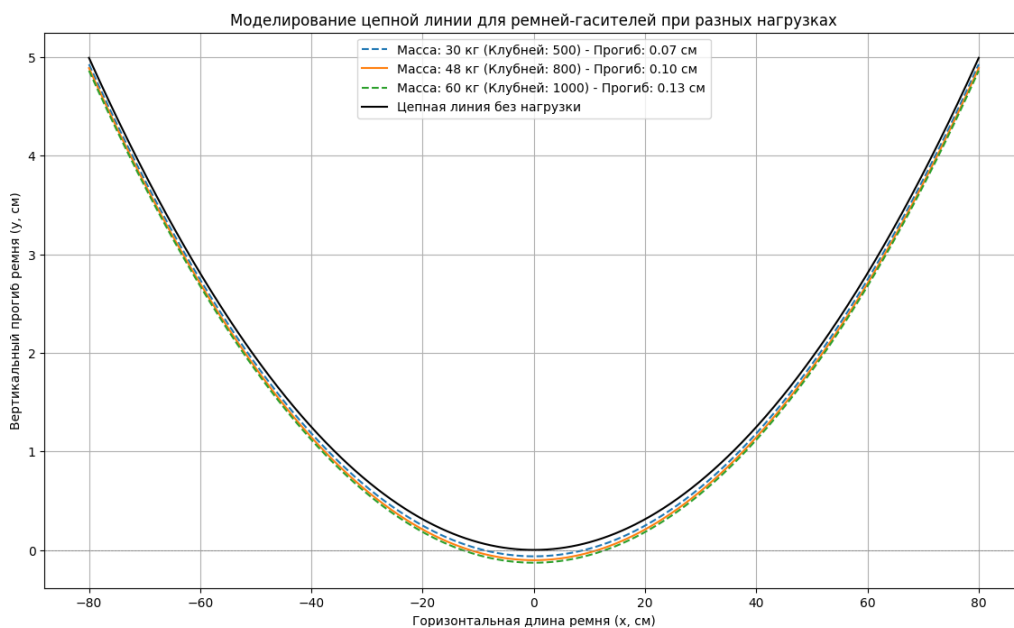


Рисунок 3.4 – Моделирование применения параметров ремней-гасителей при разных нагрузках

В дальнейшем проанализируем влияние ремней-гасителей с предлагаемыми параметрами. Для этого определим силу удара загружаемого картофеля в контейнер массой от 30 до 60 кг и в последующем вычислим прогиб ремней-гасителей под силовым воздействием. На рисунке 3.4

показана цепная линия в зависимости от различных масс. Видно, как сила удара увеличивает прогиб ремня. Например, больший вес картофеля (60 кг) приводит к наибольшему прогибу, а вес (30 кг) оказывают меньшее воздействие. Результаты на графике дают представление о нагрузках, с которыми сталкивается каждый ремень-гаситель, включая распределение этой нагрузки между всеми ремнями в контейнере. Прогиб ремней находится в пределах максимального заданного значения (15 см), что свидетельствует об обосновании распределении нагрузки на ремни.

3.4 Методика исследования повреждения клубней при их загрузке в контейнер

Исследования проведены в соответствии с требованиями ГОСТ 28713-2018 «Машины для уборки картофеля. Методы испытаний», ГОСТ 33996-2016 «Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества») [27, 28]. На этом этапе учитывалась оценка повреждений клубней семенного картофеля сорта «Удача» при их загрузке в контейнеры во время уборки. Для проведения исследования использовались два идентичных деревянных контейнера. Один контейнер был оснащён ремнями-гасителями, второй контейнер не был оснащён ремнями-гасителями, что позволило провести сравнительный анализ повреждений при аналогичных условиях загрузки.

В качестве исследуемых образцов отобран семенной картофель фракцией 45–55 мм (согласно стандартам подготовки семенного материала).

Перед экспериментом клубни картофеля осматривались на отсутствие видимых повреждений. Повреждённые клубни исключались из партии. Общая масса каждой загружаемой партии картофеля составляла 50 кг.

Загрузка картофеля в контейнеры [83-86] осуществлялась с высоты 1,1 метра, что имитирует загрузку клубней с картофелеуборочного комбайна в полевых условиях.

Исследование проводилось в лабораторных условиях на базе ФГБОУ ВО РГАТУ. Каждый контейнер загружался поочерёдно одинаковыми

партиями картофеля (50 кг), после чего партия выгружалась для визуального и инструментального анализа повреждений.

После загрузки и выгрузки картофеля из каждого контейнера проводился [83-86] анализ на наличие внешних повреждений. При этом внешние повреждения клубней поделены на три категории:

- лёгкие (царапины, потёртости);
- средние (вмятины шириной до 5 мм)
- серьёзные (глубокие повреждения, трещины).



*Расстояние между
ремнями-гасителями*

Ремни-гасители



Рисунок 3.5 – Контейнер с ремнями-гасителями

Повреждённые клубни отделялись и взвешивались, после чего рассчитывалось процентное соотношение повреждённого картофеля относительно массы всей партии. Особое внимание уделялось анализу

механизма повреждений, связанных с наличием ремней-гасителей в одном контейнере.

В рамках проводимых исследований параметры самого контейнера оставались неизменными, чтобы исключить влияние геометрии или конструкции контейнера на результаты эксперимента. Вместо этого варьировались параметры самих ремней-гасителей, непосредственно влияющих на повреждений клубней. Изменение параметров ремней-гасителей происходило в следующих диапазонах:

- Ширина ремня-гасителя (ρ_1): $3 \leq \rho_1 \leq 4$;
- Расстояние между ремнями-гасителями (ρ_2): $4,5 \leq \rho_2 \leq 5,5$;
- Количество ремней-гасителей (ρ_3): $17 \leq \rho_3 \leq 20$.

В рамках исследований подсчет процентного количества поврежденных клубней определялся по формуле [115]:

$$H = \frac{X}{C} \cdot 100\%, \quad (3.8)$$

где X - количество поврежденных клубней, шт. (кг);

C - общее количество клубней, шт. (кг).

3.5 Результаты исследования определения повреждений

В рамках исследования получены результаты о процентах повреждений клубней при разных комбинациях параметров ремней и проведено сравнение полученных значений с базовым уровнем повреждений картофеля без применения ремней (таблица 3.1, рисунок 3.6).

В таблице 3.1 представлены параметры: ширина ремня, расстояние между ремнями, а также результаты анализа в виде процентов повреждений (с ремнями-гасителями).

Таблица 3.1 - Результаты исследования повреждения клубней при их загрузке в контейнер (с ремнями гасителями)

№ п/п	Ширина ремня, см	Расстояние между ремнями-гасителями (см)	Процент повреждений клубней (%)
1	2	3	4

1	3.0	4.52	8.7
2	3.2	4.5	7.8
3	3.5	4.5	6.2
4	3.8	4.5	6.8
5	4.0	4.5	7.3
6	3.0	5.0	7.5
7	3.2	5.0	6.9
8	3.5	5.0	5.1
9	3.8	5.0	5.8
10	4.0	5.0	6.4
11	3.0	5.5	8.2
12	3.2	5.5	7.1
13	3.5	5.5	5.5
14	3.8	5.5	6.0
15	4.0	5.5	6.7

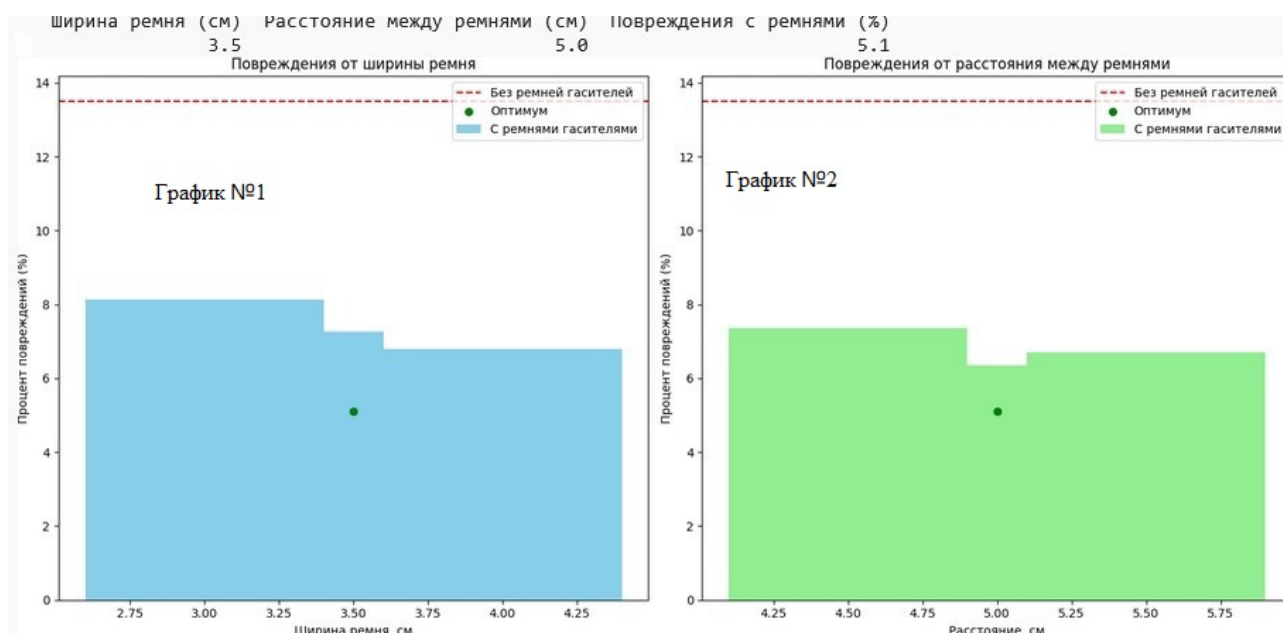


Рисунок 3.6 – Результаты исследования повреждения клубней при их загрузке в контейнер

По данным таблицы 3.1 построена диаграмма средней зависимости повреждений от ширины ремня-гасителя (рисунок 3.6). Также указывается точка оптимума ширины ремня-гасителя. Второй график представляет расстояние между ремнями и точку оптимума расстояния между ремнями гасителями.

Проведенные исследования и их анализ результатов подтверждают, что система ремней-гасителей эффективно снижает повреждения картофеля по сравнению с отсутствием демпфирования.

Параметрами являются:

- Ширина ремня: 3.5 см,
- Расстояние между ремнями: 5.0 см,
- Количество ремней: 18.

Эти параметры снижают повреждения картофеля до 5.1%, что в 2.6 раза меньше повреждений без ремней-гасителей.

3.6 Обработка результатов лабораторных исследований и нахождение параметров ремней-гасителей

В рамках дальнейших исследований проведем регрессионный анализ с целью установления функциональной зависимости между переменной (y) и независимыми переменными (x_1, x_2, x_3). Задача состоит в нахождении уравнения, которое с наибольшей точностью описывает взаимосвязь между этими переменными в линейной форме [17, 18]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon, \quad (3.9)$$

где $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ - коэффициенты регрессии;

ε - случайная ошибка модели;

x_1 - ширина ремня-гасителя;

x_2 - расстояние между ремнями-гасителями;

x_3 - количество ремней-гасителей;

y - предсказываемая зависимая переменная.

На следующем этапе собраны результаты по зависимой переменной y и независимым переменным x_1, x_2, x_3 . Полученные данные используются для построения регрессионной модели.

Далее оценим параметры регрессионной модели $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$, для этого оценим коэффициенты модели методом наименьших квадратов. Суть этого метода заключается в том, чтобы минимизировать сумму квадратов

отклонений наблюдаемых значений y_i от предсказанных моделью значений (то есть минимизировать ошибку):

$$\min \sum_{i=1}^n (y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i}))^2, \quad (3.10)$$

В свою очередь эту задачу можно решить математически, а коэффициенты $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ найдем по следующим формулам (в матричном виде) [67, 68, 89, 118]:

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (3.11)$$

где X - матрица признаков (включая единичный столбец для свободного члена β_0).

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & X_{n3} \end{pmatrix}, \quad (3.12)$$

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, \quad (3.13)$$

где Y - вектор зависимой переменной [13]

После вычислений по представленным формулам найдем значения оценок коэффициентов методом наименьших квадратов:

$$\beta_0 = 13,5;$$

$$\beta_1 = -0,63;$$

$$\beta_2 = 0,2;$$

$$\beta_3 = -0,4.$$

В дальнейшем опишем полученные коэффициенты:

$\beta_0 = 13,5 \%$ - это процент повреждений клубней, при загрузке в контейнеры [7, 23, 39]

$\beta_1 = -0,63$, в свою очередь это означает, что при увеличении ширины ремня-гасителя на 1 см процент повреждений уменьшается в среднем на 0,63

%. Это значительный отрицательный эффект, что подчеркивает важность ширины ремней в уменьшении процента повреждений картофеля.

$\beta_2 = 0,2$, в этом случае при увеличении расстояния между ремнями на 1 см, процент повреждений возрастает в среднем на 0,2%. Это объясняется тем, что увеличение расстояния между ремнями ухудшает их взаимодействие, что приводит к большему воздействию ударов на картофель.

$\beta_3 = -0,4$, при увеличении количества ремней-гасителей в системе на 1, процент повреждений клубней уменьшается в среднем на 0,4%. Однако этот эффект менее выражен, он все же указывает на то, что повышение жёсткости ремней-гасителей позволяет дополнительно снизить повреждения за счет более равномерного распределения нагрузки и улучшенной защиты картофеля при загрузке в контейнер.

Тогда уравнение 3.9 примет вид:

$$y = 13,5 - 0,63x_1 + 0,2x_2 - 0,4x_3, \quad (3.14)$$

В дальнейшем найдем коэффициент детерминации по формуле 3.15 [58, 67, 68, 118]:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}}, \quad (3.15)$$

где $SS_{res} = \sum_i^n 1 (y_i - y_i^{\wedge})^2$ – сумма квадратов остаточной ошибки;

$SS_{tot} = \sum_i^n 1 (y_i - y_i^{-})^2$ – общая сумма квадратов;

y_i - реальные значения зависимой переменной;

$y_i^{\wedge}$ - предсказанные моделью значения зависимой переменной;

y_i^{-} - среднее значение y_i .

В дальнейшем воспользуемся исходными данными (y_i, x_1, x_2, x_3) и соответствующими прогнозами $y_i^{\wedge}$ для каждого из факторов x_1, x_2, x_3 .

Найдем, y_i^{-} , SS_{res} , SS_{tot} , а затем рассчитаем R^2 . Для корректной регрессии R^2 должен находиться в диапазоне от 0 до 1, что означает, что фактическая ошибка регрессии и дисперсия зависимой переменной y должны быть согласованными.

Значения y_i^{-} , SS_{res} , SS_{tot} находятся по формулам [58, 67, 68, 89, 118]:

$$y_i^- = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (3.16)$$

$$SS_{res} = \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^{\wedge})^2, \quad (3.17)$$

$$SS_{tot} = \sum_{i=1}^n (y_i - y^-)^2, \quad (3.18)$$

Подставим значения коэффициентов в формулы 3.16-3.18 получим:

$$SS_{res} = 0,0054$$

$$SS_{tot} = 0,246267$$

Далее найдем R^2 по формуле 3.15:

$$R^2 = 0,978$$

Полученный результат указывает, на то, что модель объясняет 97.8% вариации зависимой переменной y с использованием независимой переменной, добавленной в модель. То есть отклонения y от среднего значения (центра распределения) объясняются уравнением модели почти полностью и лишь 2.2% связаны с ошибками или факторами, не учтенными моделью, что указывает на то, что регрессионная модель хорошо подходит для объяснения данных.

Составим аналитическую зависимость (рисунок 3.7). Полученные лабораторные результаты соответствуют теоретическим предположениям, демонстрируя влияние ширины ремня-гасителя на повреждения клубней картофеля. Установлено, что при малых значениях ширины ремня наблюдается увеличение процента повреждений клубней, что может быть обусловлено избыточным локальным давлением на поверхность картофеля. Такое давление приводит к возникновению микроповреждений кожуры и тканей клубней, ухудшая их качество. С другой стороны, чрезмерное увеличение ширины ремня-гасителя также негативно сказывается на состоянии клубней. Это может объясняться уменьшением равномерности распределения контактных усилий между ремнем и картофелем, что приводит к более жесткому взаимодействию и, следовательно, увеличению повреждений.

Кроме того, расстояние между ремнями-гасителями играет критическую роль в защите сельскохозяйственной продукции от повреждений. Увеличение расстояния способствует возрастанию вероятности проскока клубней между ремнями, что увеличивает повреждения. Согласно лабораторным исследованиям расстояние между ремнями составляет 5,0 см, что снижает повреждения за счет достижения баланса между предотвращением проскока, равномерным распределением нагрузки и фракционной составляющей картофеля.

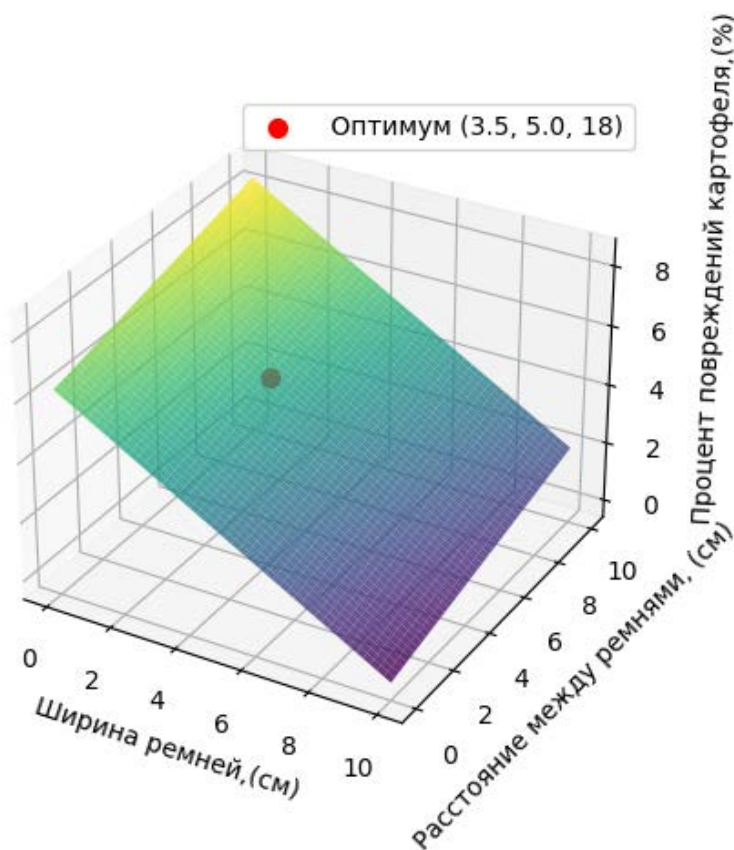


Рисунок 3.7 – Аналитическая зависимость

При недостаточном количестве ремней нагрузка на отдельный ремень увеличивается, что ведет к повышению повреждений. Слишком большое количество ремней может привести к наложению точек соприкосновения с клубнями, из-за чего возможно увеличение повреждений вследствие не удачной загрузки контейнера. Лабораторные и теоретические исследования показывают, что количество ремней-гасителей составляет 18. Данный

параметр также учитывает согласованность с другими переменными, такими как x_1 , x_2 которые влияют на точность работы всей системы.

3.7 Методика установки ремней-гасителей по высоте контейнера с подбором необходимой прочности

Проведённые исследования позволили выявить параметры ремней-гасителей. Однако для достижения максимально эффективной защиты клубней картофеля от повреждений при уборке необходимо не только учитывать их геометрические характеристики, но и выбрать правильное положение установки по высоте контейнера, а также обеспечить соответствующую жёсткость ремней для минимизации амплитуды колебаний.

Установка ремней-гасителей по высоте контейнера представляет собой критический этап, определяющий показатель их работы. Достоверное размещение позволяет распределить воздействие вибрационных нагрузок, снизить резонансные колебания и уменьшить повреждения клубней.

В дальнейшем проведены исследования, направленные на выбор высоты размещения ремней-гасителей, а также подбор необходимой жёсткости материала, из которого они изготовлены. Эти исследования позволяют уточнить взаимосвязь между высотой установки и динамическими характеристиками, оценить степень влияния вариаций их жёсткости на вибрационное гашение и разработать рекомендации по установке.

Так в ходе исследований рассматривались три варианта установки ремней-гасителей на контейнер (рисунок 3.8).

В первом контейнере ремни-гасители размещены на высоте 120 см с прогибом 15 см (рисунок 3.8). Такой способ обеспечивает наибольший прогиб, создавая условия плавного замедления падения клубней. При этом большая высота может увеличить ударную энергию, если клубень падает с большого расстояния до ремня. Ремни-гасители изготовлены из ленты. Прочность ленты на разрыв 315/3, прочность слоя на разрыв 100 кН/м [30].

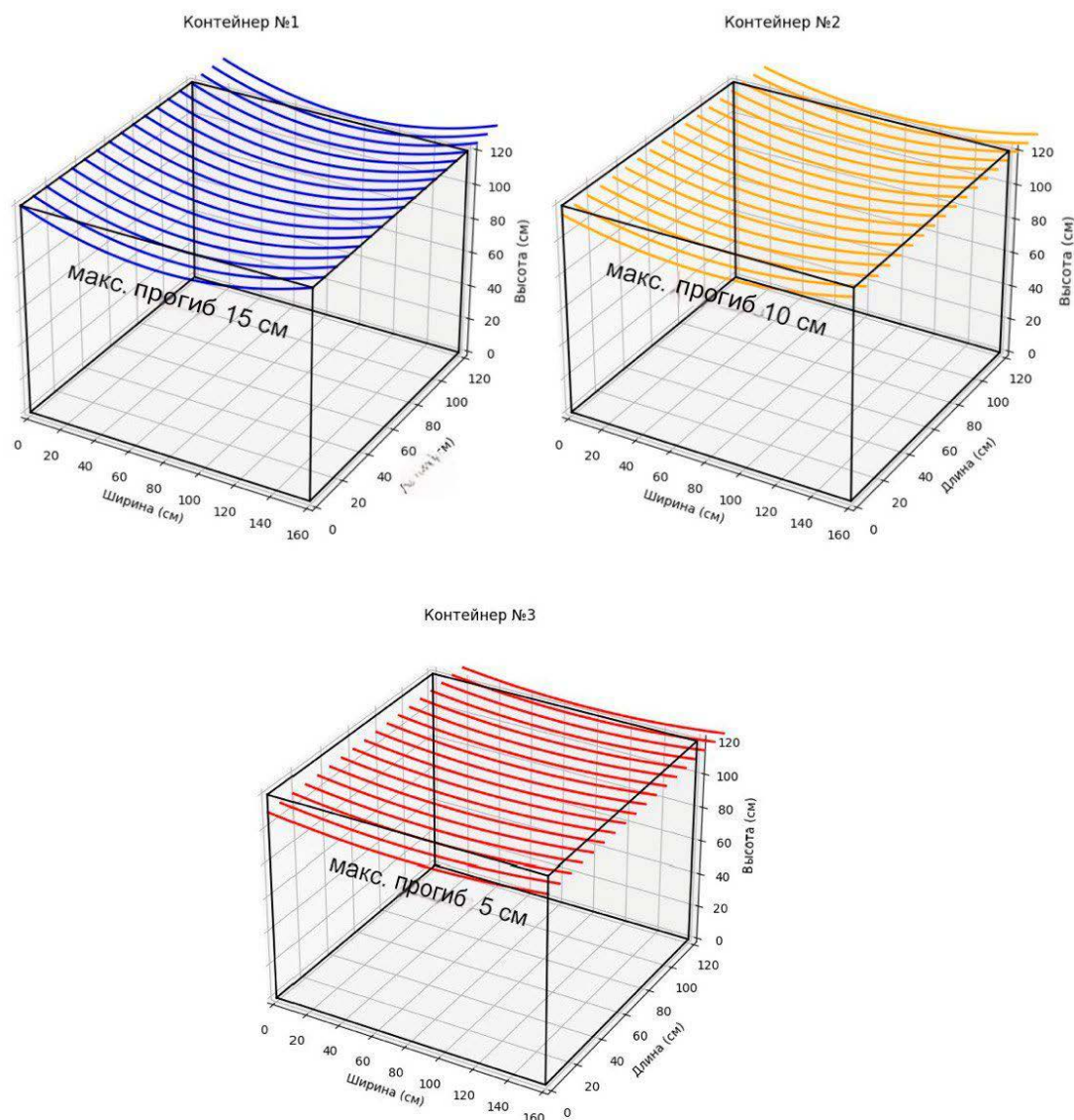


Рисунок 3.8 - Установка ремней-гасителей по высоте контейнера

Во втором контейнере установка ремней осуществлялась на высоте 115 см, с прогибом 10 см (рисунок 3.8). Ремни-гасители изготовлены из ленты. Прочность ленты на разрыв 200/2, прочность слоя на разрыв 100 кН/м [30]. Понижение высоты уменьшает начальную скорость удара клубня, однако уменьшенный прогиб ремня снижает эффективность амортизационных свойств системы, что может увеличить повреждения.

В третьем контейнере ремни-гасители располагались на высоте 110 см с минимальным прогибом в 5 см (рисунок 3.8). Такое размещение уменьшает дистанцию падения клубней, что приводит к резкому контакту с

поверхностью ремня, что может стать причиной увеличения локального динамического давления на кожуру клубня. Ремни-гасители изготовлены из ленты. Прочность ленты на разрыв 315/2, прочность слоя на разрыв 100 кН/м [30].

Прогиб ремней-гасителей определялся при помощи оптического нивелира Vega L24 (поверка на момент проведения исследований проведена 11.09.2025) и нивелирной рейки (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Использование оптико-механического нивелира VEGA L24 в рамках лабораторных исследований

Точное измерение прогиба ремня осуществлялось следующим образом: нивелир устанавливался в фиксированной позиции относительно контейнера на ровной горизонтальной поверхности, после чего с помощью нивелирной рейки замерялись высотные отметки нижней поверхности ремней. Для измерения прогиба рейка устанавливалась сначала в центральной части ремня, где наблюдается наибольшее отклонение от линии высоты установки, затем - на краях, к которым крепится ремень. Разность высот между

минимальной точкой прогиба и точкой крепления ремня на заданной высоте контейнера позволяла точно определить величину прогиба

Загрузка картофеля в контейнеры и анализ повреждений проводились в соответствии с ГОСТ 28713-2018 «Машины для уборки картофеля. Методы испытаний», ГОСТ 33996-2016 «Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества») [27, 28].

В качестве исследуемых образцов был отобран семенной картофель сорта «Удача». Клубни осматривались перед экспериментом, повреждённые клубни исключались. Общий вес каждой партии составлял 50 кг.

Картофель загружался в контейнеры с высоты 1,1 метра, что моделировало условия полевой загрузки клубней с картофелеуборочного комбайна. Каждая партия картофеля после загрузки и выгрузки подвергалась анализу, согласно представленной методике в разделе 3.4 (рисунок 3.10).

На основе проведённых исследований была составлена таблица (таблица 3.2), отражающая процент повреждений клубней картофеля в зависимости от параметров установки ремней-гасителей в контейнерах (рисунок 3.8).

Выявлено, что установка ремней-гасителей на высоте 115 см (контейнер №2) уменьшает высоту падения картофеля по сравнению с высотой установки ремней в контейнере №1, что в свою очередь позволяет снизить начальную скорость удара клубня о ремень-гаситель, уменьшая воздействие ударных нагрузок на кожуру.

Таблица 3.2 - Таблица результатов исследований повреждений клубней картофеля

№ п/п	№ контейнера	Высота установки ремней (см)	Прогиб ремня (см)	Процент повреждений (%)
1	1	120	15	6,47
1	2	115	10	5,21
2	3	110	5	6,35



Рисунок 3.10 – Исследование повреждений

Прогиб в 10 см (контейнер №2) позволяет достаточно эффективно снизить энергию падения клубней, в отличие от контейнера №3 с установленными ремнями гасителями на высоте 110 см.

Результаты испытаний показали, что комбинация высоты установки (115 см), прогиба (10 см) и материала ремней позволяет достигнуть минимального процента повреждений – 5,21 % (таблица 3.2). Это наилучший показатель по сравнению с другими контейнерами.

В дальнейшем на основе таблицы 3.2 получена аналитическая зависимость между геометрическими параметрами ремней-гасителей и процентом повреждения клубней. Используя аналитический подход и программные инструменты, такие как Python, проведено построение трёхмерной зависимости, что позволило наглядно представить влияние высоты установки, прогиба ремня и технических характеристик материала на процент повреждённых клубней.

На построенном графике (рисунок 3.11) отображена поверхность, где переменными являются высота установки ремня, прогиб, процент повреждений клубней. Наилучший результат (минимальное количество повреждений) достигается при установке ремня на высоте 115 см с прогибом

10 см, что подтверждает значение в 5,21 % повреждённых клубней из таблицы 3.2.

Влияние высоты и прогиба ремня на повреждения

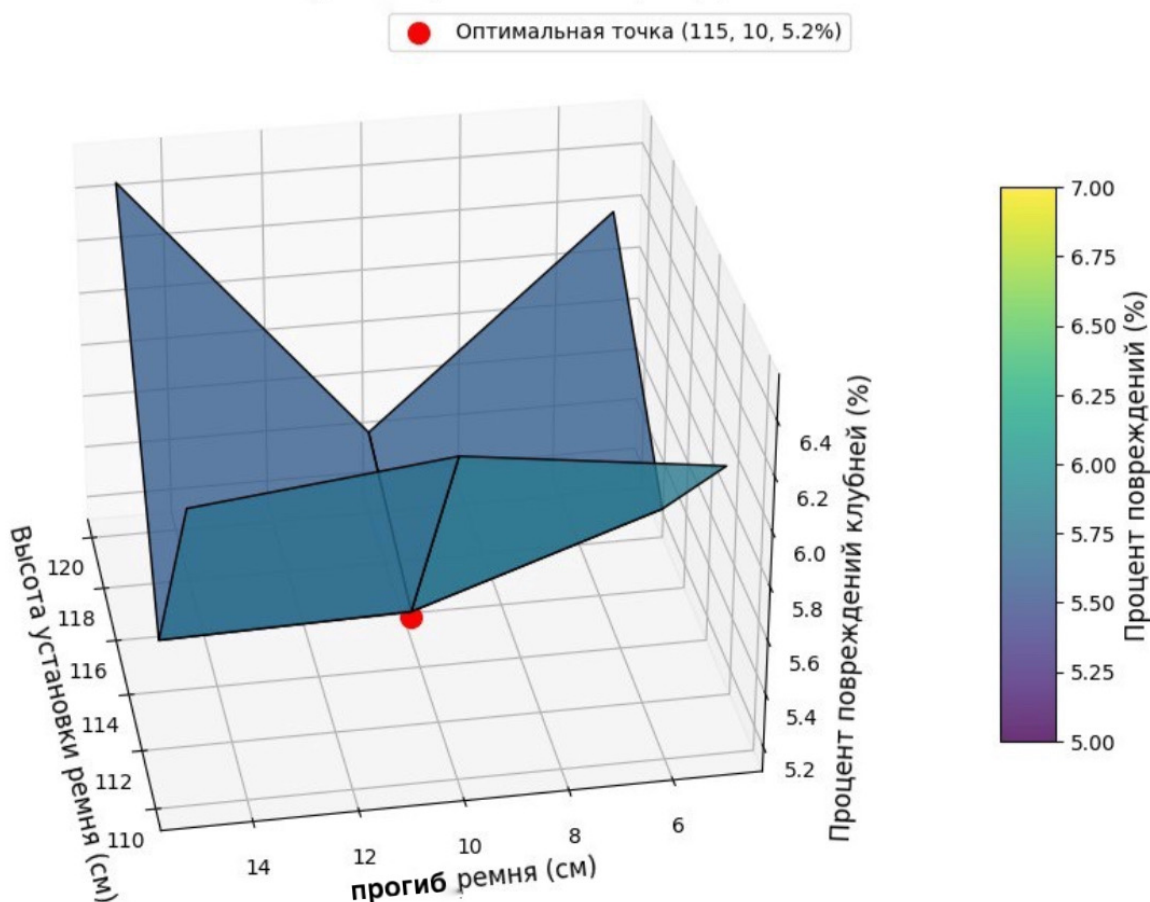


Рисунок 3.11 – Графическая зависимость исследования повреждений

Такой результат обусловлен характеристиками материала ремней-гасителей и эффективным распределением энергии удара, что соответствует минимальному динамическому воздействию на кожуру клубня. Визуализация, выполненная с использованием языка Python, дает возможность не только оценить исследуемые параметры, но и выделить зоны комбинирования высоты установки и прогиб ремня-гасителя для минимального процента повреждений. График подтверждает, что между высотой установки, прогибом и повреждением существует нелинейная взаимосвязь, которая может быть математически описана, уточнена и использована в дальнейшем для рекомендации конфигурации ремней в реальных условиях эксплуатации.

3.8 Выводы по третьей главе

В третьей главе разработаны и реализованы методики, обеспечивающие проведение лабораторных исследований с целью оценки теоретически обоснованной конструкции экспериментального контейнера, оснащённого ремнями-гасителями. Так проведенное исследование динамических характеристик ремней-гасителей подтвердило ценность разработанной модели для снижения повреждений картофеля.

Анализ и обработка полученных данных, выполненных с использованием языка программирования Python, позволили установить аналитические зависимости, описывающие влияние конструктивных особенностей и параметров ремней-гасителей на снижение повреждений клубней. Полученные зависимости позволяют найти параметры наиболее подходящие с точки зрения минимизации силы удара и повреждений картофеля: ширина ремня $\rho_1=3,5$ см, расстояние между ремнями $\rho_2=5,0$ см, количество ремней $\rho_3=18$. Найденные параметры ремней-гасителей в рамках лабораторных исследований позволили достичь снижения повреждений до 5,1%, что более чем в 2,6 раза ниже базового значения повреждений (13,3%), полученного при аналогичных условиях без использования ремней-гасителей.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1 Программа проведения экспериментальных исследований

Целью экспериментальных исследований являлось изучение эффективности применения контейнеров [83-86] с ремнями-гасителями при уборке картофеля. Повреждения при загрузке картофеля являются ключевым фактором, провоцирующим развитие гнилей, грибковых инфекций и потерь влаги [48].

В дальнейшем представим в главе программу и методику экспериментальных исследований, направленных на снижение повреждений и оценку их влияния на хранение семенного картофеля в картофелехранилище:

1. Оценка повреждений клубней в контейнерах с ремнями-гасителями и без них.
2. Анализ динамики потерь семенного картофеля при хранении.
3. Определить экономические показатели [2].

Все этапы экспериментальных исследований были проведены на базе ОАО «Аграрий» в Касимовском районе Рязанской области.

4.2 Объекты и условия экспериментальных исследований

Испытания проходили в период с 2023 по 2025 гг., в рамках которых использовался сорт картофеля «Удача» на первом году, и начиная с 2024 года добавлялся сорт «Королева Анна». Сорт «Удача» известен своей устойчивостью к неблагоприятным внешним условиям и высокой урожайностью. Сорт «Королева Анна» зарекомендовал себя как высокоурожайный и неприхотливый для выращивания во многих регионах РФ. Что касается устойчивости к заболеваниям, этот сорт показывает приличную сопротивляемость таким болезням, как фитофтороз ботвы и клубней. Сорт хорошо хранится, период лежкости [94-99] оценивается как высокий

Объекты исследования:

1. Сорт картофеля: «Удача», «Королева Анна»;
2. Использовались типовые контейнеры размером 120x160x120.

Ремни-гасители изготовлены из ленты. Прочность ленты на разрыв 200/2, прочность слоя на разрыв 100 кН/м. Ширина одного ремня 3,5 см, расстояние между ремнями 5,0 см, количество ремней 18, прогиб ремней-гасителей составляет 10 см. Загрузка клубней в контейнер производилась с использованием картофелеуборочного комбайна.

Контейнер «Б» — контрольный, загрузка проводилась по стандартной технологии также с использованием картофелеуборочного комбайна, но без применения ремней-гасителей.

3. Место проведения: ОАО «Аграрий» (Касимовский район, Рязанская область).

4. Сроки проведения испытаний поделены на два года с 2023–2025 гг.

Первый год включал в себя следующие этапы испытаний:

- загрузка клубней в контейнеры сентябрь 2023 г;
- мониторинг хранения семенного картофеля с октября 2023 г. по май 2024 г.).

Второй год испытаний представлен следующими этапами:

- загрузка клубней в контейнеры сентябрь 2024 г.;
- мониторинг хранения картофеля с октября 2024 г. по апрель 2025 г.

Уборка картофеля производилась с помощью картофелеуборочного комбайна [15, 17, 21, 80-82], при этом загрузка в контейнеры производилась непосредственно в поле.

В последующем загруженные контейнеры [83-86] транспортировались к месту хранения в картофелехранилище.

Метеорологические наблюдения в период уборки картофеля в 2023 году зафиксировали среднесуточные температурные показатели +20,0°C в дневное время, но при ночном снижении до +9,0°C [87, 88]. В 2024 году зафиксирован рост средних величин, так дневные температуры достигли +22,8°C, ночные +12,9°C [87, 88]. Анализ экстремальных значений за

сентябрь 2024 г. показал максимальную дневную температуру $+28,0^{\circ}\text{C}$ при минимальном ночном показателе $+4,0^{\circ}\text{C}$, что свидетельствует о повышенной амплитуде суточных колебаний ($24,0^{\circ}\text{C}$) по сравнению с предыдущим периодом наблюдений [87, 88].



Рисунок 4.1 – Уборка картофеля

Соблюдение температурно-влажностных параметров хранения является важным фактором для снижения потерь семенного картофеля и сохранения его потребительских качеств [10]. В рамках проводимых экспериментальных исследований особое внимание уделялось контролю и поддержанию заданных параметров микроклимата в картофелехранилище хозяйства ОАО «Аграрий» в течение всего периода наблюдений (с октября по май в 2023-2024 гг. и с октября по апрель в 2024-2025 гг.).

Для хранения рекомендованный диапазон температуры составляет от $+2^{\circ}\text{C}$ до $+4^{\circ}\text{C}$ при относительной влажности воздуха 85-90% [66, 94-99]. Поддержание температуры в указанном диапазоне ингибирует процессы прорастания клубней, снижает интенсивность дыхания и, как следствие, минимизирует потери массы. Высокая относительная влажность воздуха предотвращает увядание клубней, что важно для семенного картофеля.

В картофелехранилище контроль температуры и влажности осуществлялся с помощью автоматизированной [94-99] системы контроля. Данные регистрировались ежедневно в течение всего периода хранения

(приложение Б). Для обеспечения равномерного распределения температуры и влажности по объему хранилища использовалась система принудительной вентиляции. Регулярно проводился мониторинг содержания CO₂ и предотвращалось образование конденсата на поверхности клубней.

4.3 Методика и результаты определения повреждений клубней в контейнерах с ремнями-гасителями и без них

Целью проведения экспериментальных исследований в рамках этой методики являлось определение влияния ремней-гасителей на снижение повреждений клубней при загрузке семенного картофеля в контейнеры. В дальнейшем проводилась оценка результатов с применением стандартного метода отбора и анализа проб, регламентированного ГОСТ 33996-2016 и ГОСТ 28713-2018 [27, 28].

В рамках экспериментальных исследований использовались одинаковые контейнеры («А» - с установленными ремнями-гасителями, «Б» - без ремней-гасителей).

В контейнер «Б» картофель загружается обычным способом, без применения ремней, с помощью картофелеуборочного комбайна (высота падения клубней составила 1,1 м).

В контейнере «А» при аналогичных условиях загрузки используются ремни-гасители.

Контейнеры устанавливаются в картофелехранилище, где и проводится отбор проб. Пробы отбираются из разных слоев контейнера [47]:

Верхнего слоя (10–15 см от поверхности);

Среднего слоя;

Нижнего слоя (10–15 см от дна).

Это обеспечивает равномерное представление всей массы картофеля.

Отбор проб для анализа проводится в следующие временные точки:

- Немедленно после загрузки картофеля в контейнер (1-я серия отборов);

- После 7 суток хранения в картофелехранилище (2-я серия отборов).

Для анализа из каждого контейнера извлекаются равные партии клубней (по 10 кг).

Из каждого слоя контейнера вручную отбираются пробы картофеля.

Повреждения клубней классифицировались по следующим показателям:

- Категория 1, легкие повреждения (ушибы, не влияющие на лежкость продукта).
- Категория 2, повреждения средней тяжести (поверхностные трещины незначительной глубины);
- Категория 3, серьезные повреждения (глубокие трещины, раздавленные участки).

Каждый клубень из проб осматривался вручную для определения видимых повреждений: трещин, вмятин, порезов, царапин, отрывов кожуры и других признаков, связанных с нарушением целостности.

Анализ и обработка данных рассчитывалась, как доля повреждений для каждой категории (K1, K2, K3) [31, 32]:

$$P_i = \frac{m_i}{m_{\text{пробы}}} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

где P_i - процент повреждений i -й категории, m_i - масса клубней с повреждениями i й категории, $m_{\text{пробы}}$ - общая масса пробы.

Среднее повреждение для каждого контейнера рассчитывается как сумма всех категорий [9, 32]:

Среднее значение повреждений для каждого контейнера рассчитывается как сумма всех категорий K1, K2, K3 [23, 24, 37].

Таблица 4.1 – Определение повреждений картофеля по сорту «Удача»
сентябрь 2023 года

№ п/п	Тип контейнера	Категория повреждений	Процент повреждений
1	С ремнями-	K 1	5.2

	гасителями		
2	С ремнями-гасителями	К 2	5.3
3	С ремнями-гасителями	К 3	5.4
4	Без ремней	К 1	9.5
5	Без ремней	К 2	9.0
6	Без ремней	К 3	9.8

Таблица 4.2 – Определение повреждений картофеля по сорту «Удача»
сентябрь 2024 года

№ п/п	Тип контейнера	Категория повреждений	Процент повреждений
1	С ремнями-гасителями	К 1	5.3
2	С ремнями-гасителями	К 2	5.2
3	С ремнями-гасителями	К 3	5.5
4	Без ремней	К 1	9.7
5	Без ремней	К 2	9.1
6	Без ремней	К 3	9.7

Таблица 4.3 – Определение повреждений картофеля по сорту
«Королева Анна» сентябрь 2024 года

№ п/п	Тип контейнера	Категория повреждений	Процент повреждений
1	С ремнями-	К 1	5.1

	гасителями		
2	С ремнями-гасителями	К 2	5.2
3	С ремнями-гасителями	К 3	5.1
4	Без ремней	К 1	9.0
5	Без ремней	К 2	8.8
6	Без ремней	К 3	9.1

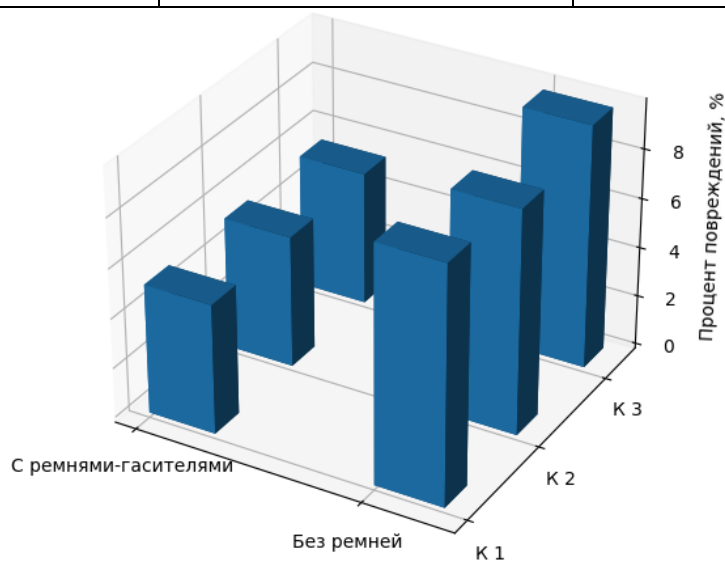


Рисунок 4.2 – Повреждения клубней картофеля, согласно таблице 4.1
(сорт «Удача») сентябрь 2023 г.

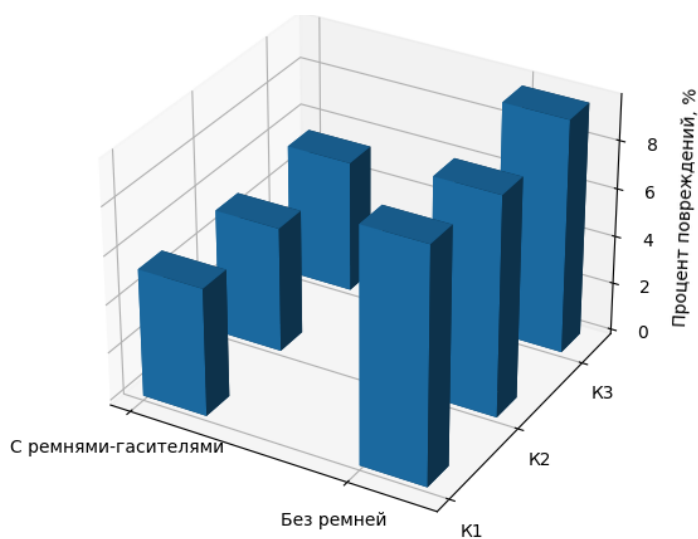


Рисунок 4.3 – Повреждения клубней картофеля, согласно таблице 4.2
(сорт «Удача») сентябрь 2024 г.

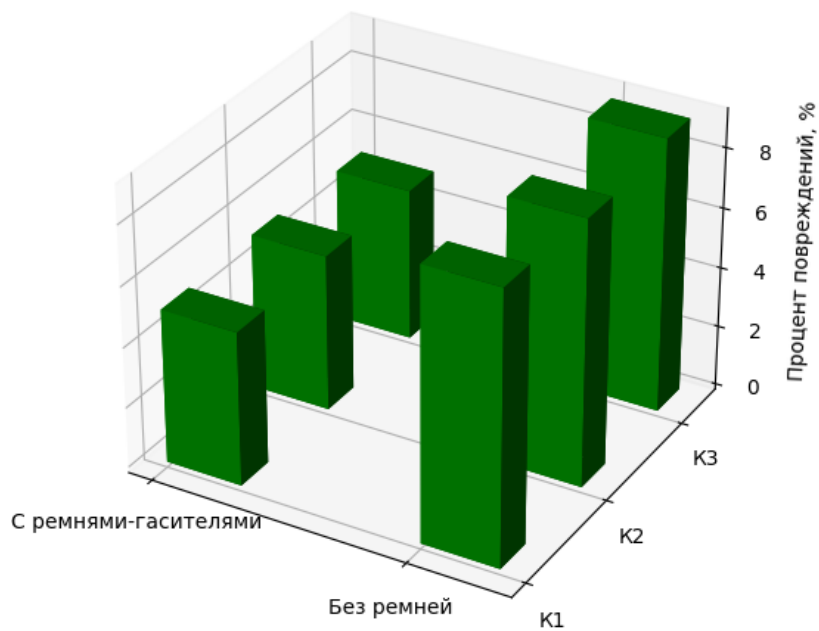


Рисунок 4.4 – Повреждения клубней картофеля, согласно таблице 4.4 (сорт «Королева Анна») сентябрь 2024 г.

В дальнейшем для проверки гипотезы по первому году испытаний применим критерий Стьюдента [23, 37]:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}, \quad (4.2)$$

где $\bar{X}_1, \bar{X}_2$ - средние значения повреждений в группах (контейнеры с ремнями и без);

S_1^2, S_2^2 - дисперсии повреждений в группах;

n_1, n_2 - количество наблюдений в каждой группе (в данном случае число категорий повреждений равно 3 в каждой группе).

Дисперсию найдем по формуле 4.3:

$$S^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}, \quad (4.3)$$

Найдем S_1^2 для контейнеров с ремнями-гасителями:

$$\bar{X}_1 = 5,3 \%, S_1^2 = 0,01.$$

Найдем S_2^2 для контейнеров без ремней-гасителей:

$$\bar{X}_2 = 9,43 \%, S_2^2 = 0,16.$$

В дальнейшем найдем стандартную ошибку разности средних $SE_{\Delta X^-}$ по формуле 4.4:

$$SE_{\Delta X^-} = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}, \quad (4.4)$$

$$SE_{\Delta X^-} = 0,2404$$

Подставим значения в 4.2 и получим:

$$t \approx -17,18$$

Для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и числа степеней свободы

$df = n_1 + n_2 - 2 = 3 + 3 - 2 = 4$, критическое значение t-критерия из таблиц ($t_{кр}$) составляет около 2,776.

Полученный результат показал статистически значимое снижение повреждений клубней семенного картофеля при использовании ремней-гасителей. Результат подтверждается крайне высоким значением t-критерия ($|t| \approx 17,18$), что свидетельствует о достоверности различий. Это позволяет утверждать, что использование ремней-гасителей существенно уменьшает вероятность повреждений картофеля, особенно при падении с высоты 1.1 м.

Для проверки гипотезы по второму году испытаний применим дисперсионный анализ (ANOVA) [23, 37, 46, 74, 125-132], с целью статистически подтвердить значимость различий повреждений картофеля при использовании разных типов контейнеров (с ремнями-гасителями и без них) для двух сортов («Удача» и «Королева Анна»). Так к первому фактору отнесем тип контейнера (с ремнями-гасителями и без них). Ко второму фактору отнесем категории повреждений. Дополнительным фактором является сорт картофеля. Исходными данными для анализа являются таблицы 4.2, 4.3.

Для проведения дисперсионного анализа ANOVA [23, 37, 46, 74, 125-132], процент повреждений картофеля Р будет использоваться как зависимая переменная. В дальнейшем распишем факторы:

- фактор «А», это тип контейнера (2 уровня: «с ремнями-гасителями» и «без ремней»);

- фактор «В», это категория повреждений (3 уровня: K1, K2, K3);
- фактор «С», это сорт картофеля (2 уровня: «Удача» и «Королева Анна»).

Применим двухфакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями для двух сортов семенного картофеля, тогда проверим следующие эффекты:

- влияние типа контейнера на повреждения (F_A).
- влияние категории повреждений (F_B).
- влияние сорта картофеля (F_C).
- взаимодействие факторов (F_A, F_B, F_C).

В дальнейшем рассчитаем средние значения повреждений для каждого фактора (уровня) [23, 37, 46, 74, 125-132].

Для контейнеров с ремнями-гасителями:

$$P_{\text{контейнеры "А"}} = \frac{5,3 + 5,2 + 5,5 + 5,1 + 5,2 + 5,1}{6} = 5,23 \%$$

Для контейнера без ремней-гасителей:

$$P_{\text{контейнеры "Б"}} = \frac{9,7 + 9,1 + 9,7 + 9,0 + 8,8 + 9,1}{6} = 9,23 \%$$

Среднее значение по всем данным:

$$P_{\text{общ}} = 7,23 \%$$

Дисперсионный анализ делит общую дисперсию на:

- Межгрупповую дисперсию ($SS_{\text{межгрупп}}$) - отклонения между группами (с ремнями-гасителями и без ремней);
- Внутригрупповую дисперсию ($SS_{\text{внутригрупп}}$) - отклонения внутри каждой группы.

В свою очередь межгрупповая дисперсия определяется по формулам [23, 37, 46, 74, 125-132]:

$$SS_{\text{межгрупп}} = n \cdot [(P_{\text{контейнеры "А"}} - P_{\text{общ}})^2 + (P_{\text{контейнер "Б"}} - P_{\text{общ}})^2], \quad (4.5)$$

где, n - 6 (количество наблюдений в каждой группе).

$$SS_{\text{межгрупп}} = 48$$

Внутригрупповая дисперсия рассчитывается суммированием квадратов отклонений всех наблюдений внутри групп от их средних значений, тогда для контейнеров с ремнями-гасителями $P_{\text{контейнеры "А"}} = 5,23\%$:

$$SS_{\text{внутригрупп контейнеры "А"}} = 0,046$$

Для группы без ремней гасителей $P_{\text{контейнер "Б"}} = 9,23 \%$

$$SS_{\text{внутригрупп контейнеры "Б"}} = 0,696$$

Общая внутригрупповая дисперсия:

$$SS_{\text{внутригрупп общая}} = 0,046 + 0,696 = 0,742$$

Далее найдем статистический критерий F, он определяется отношением между групповой дисперсии к внутригрупповой (нормированной на степени свободы) [23, 46, 74]:

$$F = \frac{MS_{\text{межгрупп}}}{MS_{\text{внутригрупп}}} = \frac{SS_{\text{межгрупп}}/df_{\text{межгрупп}}}{SS_{\text{внутригрупп}}/df_{\text{внутригрупп}}}, \quad (4.6)$$

где, $df_{\text{межгрупп}} = k - 1$;

$df_{\text{внутригрупп}} = N - k$.

То есть k - это число уровней фактора, а N - общее количество наблюдений, тогда подставим в 4.6:

$$F = \frac{48}{0,0742} \approx 647$$

Полученное значение F-критерия для заданного уровня значимости ($\alpha = 0,05$), что позволяет отвергнуть гипотезу, что ремни-гасители не оказывают влияния на повреждения картофеля (различий между группами «с ремнями» и «без ремней» нет).

Полученный результат подтверждает, что влияние категории повреждений (F_B) имеет значительное влияние.

Взаимодействия между типом контейнера и сортом картофеля (F_{AC}) статистически значимы.

Таким образом, дисперсионный анализ подтверждает целесообразность использования ремней-гасителей для снижения повреждений семенного картофеля при загрузке в контейнер.

4.4 Методика и результаты определения динамики потерь семенного картофеля при хранении

Этот этап экспериментальных исследований [50] направлен на оценку, как ремни-гасители влияют на сохранность картофеля при долгосрочном хранении продукции [45]. Важным моментом является определение процента потерь при хранении [2].

В рамках проведения экспериментальных исследований при хранении семенного картофеля определились следующие виды потерь [26, 29, 75]:

1. Убыль массы (естественные потери): включает физиологические потери при испарении влаги и дыхании клубней.
2. Технический отход: клубни, потерявшие товарный вид (сохнувшие, подмерзшие, измельченные).
3. Абсолютная гниль: потери из-за инфекционных болезней (мокрая, сухая гниль), вызванных нарушением условий хранения.
4. Ростки: потери массы клубней в результате прорастания.

Методы расчёта потерь соответствуют подходу К.А. Пшеченкова [27-50, 75], где определяется процентный и абсолютный вклад каждой категории потерь в общей массе от начального веса партии.

Применим по каждому виду потерь соответствующую методику подсчета. Так для убыли массы применяется формула 4.7:

$$P_{\text{убыль массы}} = m_{\text{заложен.картофеля}} \cdot \frac{\psi_{\text{норма убыли}}}{100}, \quad (4.7)$$

где, $m_{\text{заложен.картофеля}}$ - начальная масса заложенного картофеля на хранение, кг;

$\psi_{\text{норма убыли}}$ - норма убыли картофеля, %.

При этом нормы убыли зависит от срока хранения, температуры и влажности. Так в среднем для 1-3 месяцев она составит от 1,5-3%, для 3-6 месяцев 3-6%, а в случае хранения более 6 месяцев 8-10%.

К техническому отходу относят клубни картофеля, которые повреждены, прорезаны или имеет другие нарушения [45]. Эти отходы определяют путём отбора и взвешивания специальной выборки (или всей партии технического дефекта):

$$P_{\text{тех.отход}} = \frac{m_{\text{непригодг.клубней}}}{m_{\text{заложен.картофеля}}} \cdot 100\%, \quad (4.8)$$

где $m_{\text{непригодг.клубней}}$ – масса непригодных клубней, кг.

Потери из-за абсолютной гнили рассчитываются следующим образом:

$$P_{\text{гниль}} = \frac{m_{\text{гниль}}}{m_{\text{заложен.картофеля}}} \cdot 100\%, \quad (4.9)$$

где, $m_{\text{гниль}}$ – масса гнилого картофеля, кг.

Большой процент потерь клубней в этом случае происходит по причине несоблюдения микроклиматических особенностей в картофелехранилище.



Рисунок 4.5 –Хранение картофеля в рамках проведения экспериментальных исследований

Потери от ростков оцениваются, как масса отломанных (и взвешенных) ростков с учётом части потерянной клубневой массы:

$$P_{\text{рост.}} = \frac{m_{\text{отломанные ростки}}}{m_{\text{заложен.картофеля}}} \cdot 100\%, \quad (4.10)$$

где, $m_{\text{отломанные ростки}}$ - масса отломанных ростков, кг.

Сумма общих потерь по всем категориям в процентах должна соответствовать 100% от общей массы потерь, то есть:

$$P_{\text{общие потери}} = P_{\text{естес.потери}} + P_{\text{тех.отход}} + P_{\text{гниль}} + P_{\text{рост.}}, \quad (4.11)$$

В дальнейшем согласно указанной методике подсчета перейдем к анализу полученных результатов (таблица 4.4). Так проведены исследования в условиях стандартного картофелехранилища за семенным картофелем сортов «Удача» и «Королева Анна» в период с 2023-2025 гг. (рисунок 4.5).

Таблица 4.4 - Определение потерь при хранении картофеля по сортам «Удача» и «Королева Анна» с 2023 по 2025 гг.

№ п/п	Наименование показателей		Потери при хранении, %				
			Всего	В том числе			
				Убыль массы	Технический отход	Абсолютная гниль	Ростки
1	Экспериментальные исследования с октября 2023 г. по май 2024 г., сорт «Удача»	Контейнер «А» с ремнями- гасителями	8,1	4,2	1,8	0,9	1,2
		Контейнер «Б» без ремней- гасителей	14,2	4,8	4,5	3,5	1,4
2	Экспериментальные исследования с октября 2024 г. по апрель 2025 г.	Контейнер «А ₁ » с ремнями- гасителями (сорт «Удача»)	8,0	4,2	1,7	0,9	1,2
		Контейнер «Б ₁ » без ремней- гасителей (сорт «Удача»)	13,6	4,5	4,0	3,6	1,5
		Контейнер «А ₂ » с ремнями-	8,3	4,2	1,7	1,3	1,1

		гасителями (сорт «Королева Анна»)					
		Контейнер «Б ₂ » без ремней- гасителей (сорт «Королева Анна»)	11,9	4,7	3,7	2,3	1,2

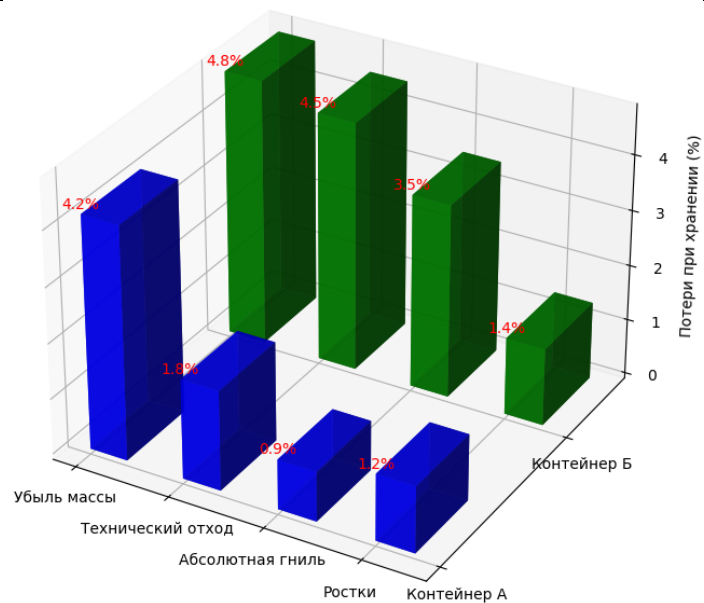


Рисунок 4.6 – Хранение картофеля в рамках проведения исследований с октября 2023 г. по май 2024 г., сорт «Удача»

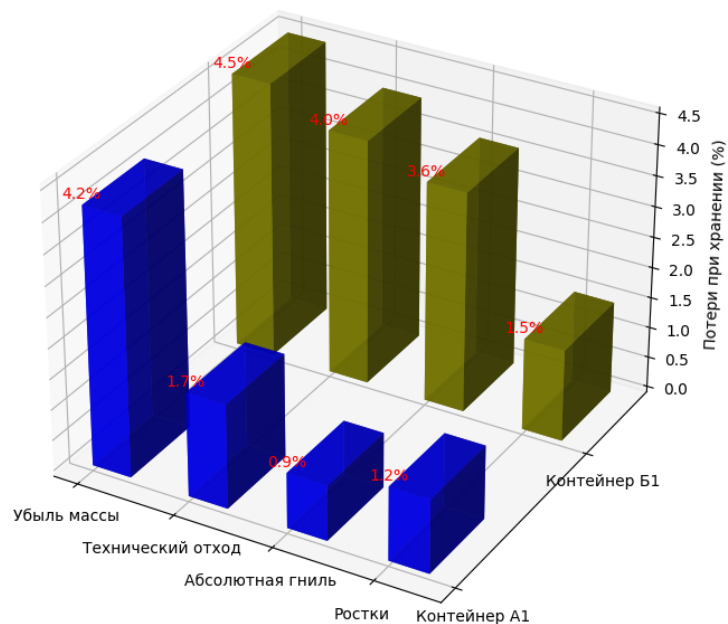


Рисунок 4.7 - Хранение картофеля в рамках проведения исследований с октября 2024 г. по апрель 2025 г., сорт «Удача»

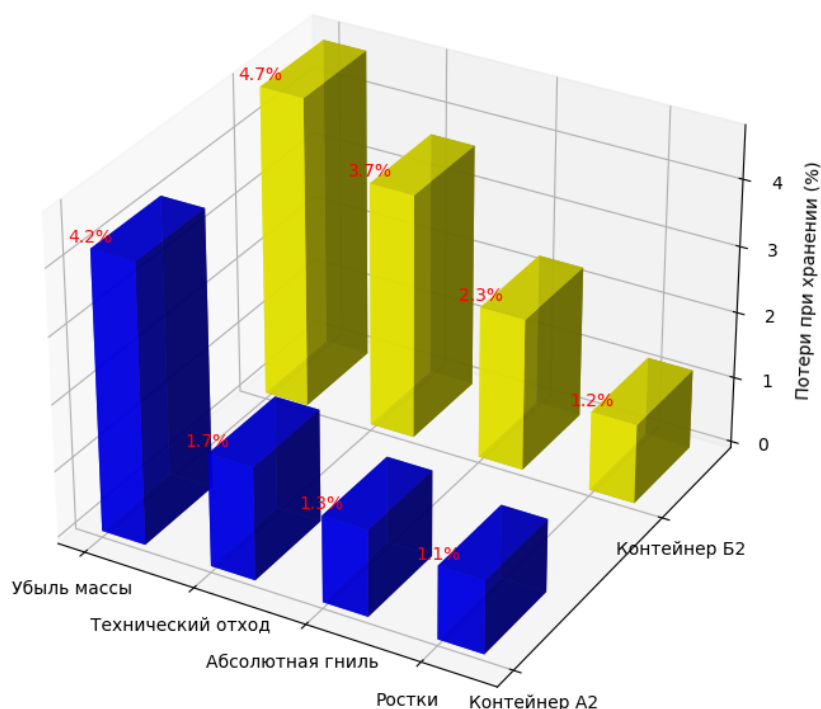


Рисунок 4.8 - Хранение картофеля в рамках проведения исследований с октября 2024 г. по апрель 2025 г., сорт «Королева Анна»

Использование ремней-гасителей при загрузке картофеля в контейнеры [63, 64] снижает общие потери при хранении, как для сорта «Удача», так и для сорта «Королева Анна». Показатели общих потерь колеблются в диапазоне 8,0-8,3% в контейнерах с ремнями-гасителями, в то время как в контейнерах без ремней-гасителей значения составляют от 11,9% до 14,2%.

Значения убыли массы находятся на одинаковом уровне во всех группах (контейнеры «А» и контейнеры «Б») и для обоих сортов - около 4,2-4,8%. Убыль массы обусловлена естественными физиологическими процессами испарения влаги и дыхания картофеля. Данный показатель почти не зависит от использования ремней-гасителей, так как он определяется в большей степени микроклиматическими условиями хранения (температура, влажность, вентиляция).

Использование контейнеров [61, 62] с ремнями-гасителями уменьшает как технический отход, так и абсолютную гниль. Для сорта «Удача» технический отход в группе с ремнями составляет $\approx 1,7-1,8\%$, а в группе без ремней возрастает почти втрое — до 4,0-4,5%. Абсолютная гниль (результат

развития патогенных микроорганизмов) снижается в контейнерах с гасителями до 0,9%, тогда как в контейнерах без них достигает 3,5-3,6%.

Это связано с тем, что повреждения способствуют нарушению кожуры, что открывает путь для инфекции и запускает гнилостные процессы.

Потери из-за прорастания клубней (ростки) остаются достаточно стабильными во всех условиях и для обоих сортов, варьируясь от 1,1% до 1,5%. Это объясняется влиянием температуры и продолжительности хранения, а не влиянием выбранного оборудования (ремни-гасители).

В дальнейшем для оценки влияния ремней-гасителей на сохранность семенного картофеля при хранении проведем дисперсионный анализ (ANOVA) [23, 24, 37, 46, 74, 125 - 132]. Основная гипотеза заключается в том, что применение ремней-гасителей статистически значимо влияет на суммарные потери картофеля. Используем данные из таблицы для сортов «Удача» и «Королева Анна».

Исходными данными для анализа является таблица 4.4.

Этапы анализа:

Нулевая гипотеза (H_0): применение ремней-гасителей не влияет на потери картофеля.

Альтернативная гипотеза (H_1): использование ремней-гасителей снижает потери картофеля при хранении.

Анализа представляют собой уровни потерь в процентах для разных комбинаций:

Контейнеры с ремнями-гасителями (контейнеры А, А₁, А₂).

Контейнеры без ремней-гасителей (контейнеры Б, Б₁, Б₂).

По таблице 4.4 найдем сумму потерь при хранении и разделим на группы «с ремнями-гасителями» и «без ремней-гасителей»:

Группы с ремнями-гасителями: $X_{\text{ремни-гасители}} = \{8,1, 8,0, 8,3\}$.

Группы без ремней-гасителей: $X_{\text{без ремней-гасителей}} = \{14,2, 13,6, 11,9\}$.

В дальнейшем воспользуемся методикой описанной в разделе 4.3, тогда:

$$X_{\text{ремни-гасители}} = 8,13$$

$$X_{\text{без ремней-гасителей}} = 13,23$$

$$X_{\text{общ}} = 10,68$$

Общая сумма квадратов (SST) определяется по формуле 4.12 [23]:

$$SST = \sum_{i=1}^n (X_i - X_{\text{общ}})^2, \quad (4.12)$$

где X_i - средняя арифметическая по отдельной группе.

$$SST = 46,28$$

Межгрупповая сумма квадратов (SSB) определяется по формуле 4.13 [122]:

$$SSB = n_{\text{рем.-гасит.}} (X_{\text{рем.-гасит.}} - X_{\text{общ}})^2 + n_{\text{без ремн.-гасит.}} (X_{\text{без ремн.-гасит.}} - X_{\text{общ}})^2, \quad (4.13)$$

тогда,

$$SSB = 34,62$$

Внутригрупповая сумма квадратов SSE находится по формуле 4.14:

$$SSE = SST - SSB, \quad (4.14)$$

$$SSE = 11,66$$

Степени свободы:

$$\text{где, } df_{\text{общ}} = n - 1 = 6 - 1 = 5$$

$$df_{\text{межгрупп.}} = k - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$df_{\text{внутригрупп}} = df_{\text{общ}} - df_{\text{межгрупп.}} = 5 - 1 = 4 .$$

Найдем средние значения квадратов (MS):

$$MS_{\text{меж}} = \frac{SSB}{df_{\text{межгрупп.}}}, \quad (4.15)$$

$$MS_{\text{внутр}} = \frac{SSE}{df_{\text{внутригрупп}}}, \quad (4.16)$$

$$MS_{\text{меж}} = 34,62$$

$$MS_{\text{внутр}} = 2,915$$

Найдем F – критерий:

$$F = \frac{MS_{\text{меж}}}{MS_{\text{внутр}}}, \quad (4.17)$$

$$F = 11,87$$

Критическое значение $F_{\text{крит}}$ для указанных степеней свободы по таблице критических значений составляет $F_{\text{крит}} = 7,71$, что указывает, на то, что применение ремней-гасителей статистически значимо снижает потери семенного картофеля при хранении. Средние потери в контейнерах с ремнями-гасителями (8,13%) значительно ниже, чем в контейнерах без них (13,23%). Это подтверждает эффективность ремней-гасителей для улучшения сохранности семенного материала.

4.5 Оценка экономического эффекта хранения семенного картофеля с применением контейнеров, оснащённых ремнями-гасителями для снижения повреждений при загрузке

Экономическая оценка хранения [50, 77] семенного картофеля в контейнерах с использованием ремней-гасителей основывается на сравнении потерь урожая при различных условиях хранения. В приведенных данных указаны результаты испытаний с двумя сортами картофеля, «Удача» и «Королева Анна», с использованием двух типов контейнеров - с ремнями-гасителями и без них. Проведем анализ на основе полученных данных, включая расчет снижения потерь, оценку экономического эффекта в ценах 2025 года по последнему году экспериментальных исследований.

Исходными данными для оценки экономического эффекта [77] хранения семенного картофеля с применением контейнеров является:

Размер контейнеров: 120x160x120.

Количество ремней-гасителей на контейнер: 18 штук.

Ширина ремня: 3,5 см.

Материал ремней: лента, с прочностью на разрыв 200/2, прочность слоя на разрыв 100 кН/м [30]. Расстояние между ремнями-гасителями: 5 см.

Стоимость установки ремней-гасителей с учетом крепления их на контейнер из расчета указанных параметров составит 8729,6 рублей.

Потери картофеля при хранении:

Контейнеры «А₁» и «А₂» с ремнями-гасителями: 8,0% и 8,3% для сортов «Удача» и «Королева Анна» соответственно.

Контейнеры «Б₁» и «Б₂» без ремней: 13,6% и 11,9% для сортов «Удача» и «Королева Анна» соответственно.

Снижение потерь при хранении за счет установки ремней-гасителей определяется по формуле:

$$\Delta P = P_{\text{без ремней}} - P_{\text{с ремнями}}, \quad (4.18)$$

где, $P_{\text{без ремней}}$ - потери клубней в контейнерах, без ремней-гасителей;

$P_{\text{с ремнями}}$ - потери клубней в контейнерах, с ремнями-гасителями.

Тогда, по сорту «Удача» снижение потерь составит:

$$\Delta P_{\text{Удача}} = 5,6\%$$

В переводе на массу клубней получим, $\approx 73,97$ кг

Для сорта «Королева Анна» расчеты произведем аналогично:

$$\Delta P_{\text{Королева Анна}} = 3,6\%$$

В переводе на массу клубней получим, $\approx 50,01$ кг

Экономический эффект от снижения потерь картофеля при хранении рассчитывается как произведение разницы в потерях семенного материала и стоимости картофеля:

$$\mathcal{E} = \Delta P \cdot C, \quad (4.19)$$

где, C - стоимость семенного картофеля (в руб./кг).

Тогда, рассчитаем экономический эффект от снижения потерь:

- для сорта «Удача» - 16273,4 руб. за один контейнер;

- для сорта «Королева Анна»: - 12902,58 за один контейнер.

Расчеты произведены для семенного материала указанных сортов в ценах 2025 г. [124].

В дальнейшем, исходя из расчета себестоимости [77] установки ремней-гасителей на один контейнер, найдем амортизационные затраты (формула 4.19). Для этого примем, что службы ремней 5 лет (параметры материала):

$$C_{\text{амортизация}} = \frac{C_{\text{установки}}}{T_{\text{сл.службы}}}, \quad (4.20)$$

$$C_{\text{амортизация}} = 1745,92 \text{ руб./год за контейнер.}$$

В дальнейшем найдем экономический эффект с учётом амортизационных затрат:

$$\mathcal{E}_{\text{амор.}} = \mathcal{E} - C_{\text{амортизация}}, \quad (4.21)$$

Для сорта «Удача» - 14 527,48 руб./контейнер.

Для сорта «Королева Анна»: - 11 156,66 руб./контейнер.

Экономический эффект от использования контейнеров с ремнями-гасителями при стоимости семенного материала за 1 кг в районе 220-259 рублей превышает затраты на доработку и амортизацию контейнера. При этом наибольшая экономическая эффективность наблюдается для высокоурожайного сорта «Удача» ввиду большего снижения потерь.

Для более крупных картофелехранилищ, рассчитанных на хранение значительного объема семенного картофеля, представленные данные можно масштабировать на общий объем производства. Например, из расчета типового хранилища на 200 контейнеров типа 120x160x120, то экономический эффект от использования контейнеров с ремнями-гасителями для сорта «Удача» составит:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = 14\,527,48 \cdot 200 = 2\,905\,496 \text{ руб. в год.}$$

Для сорта «Королева Анна» аналогично:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = 11\,156,66 \cdot 200 = 2\,231\,332 \text{ руб. в год.}$$

При таких масштабах хранения становится очевидным, что внедрение модернизированных контейнеров приведет к значительной экономии средств за счёт снижения потерь при хранении.

Кроме того, необходимо учитывать, что снижение потерь семенного картофеля напрямую влияет на возможный объём посадочного материала для следующих сельскохозяйственных циклов. Так, уменьшение потерь на этапе хранения позволяет использовать больше материала для посадки или реализации на рынке, что дополнительно увеличивает рентабельность хранения. Если рассчитать экономический эффект в пересчёте на полученный урожай, например, при средней урожайности 297 ц/га [100] и учёте дополнительного объёма посадочного материала от 200 контейнеров, снижение потерь приведёт к увеличению площади посадок и, соответственно, общего урожая.

Расширение анализа до масштабов картофелехранилища также требует пересмотра транспортных и логистических затрат. Контейнеры с ремнями-гасителями обладают не только преимуществом в части снижения потерь при загрузке и транспортировке, но и могут влиять на сохранность семенного материала при межрегиональных перевозках. Многие повреждения при транспортировке, такие как вмятины, трещины на клубнях, провоцируют развитие болезней при длительном хранении. Соответственно, использование совершенствованных конструкций контейнеров снижает вероятность таких повреждений, что подтверждается экспериментальными данными.

Экономическая эффективность на уровне картофелехранилища также тесно связана с затратами на капитальные вложения в контейнеры. Так, при строительстве хранилища вместимостью на 200 контейнеров и необходимостью дооснащения каждого из них ремнями-гасителями (затраты на доработку составляют 8729,6 руб. за один контейнер), общая стоимость модернизации составит:

$$З_{\text{мод}} = 8729,6 \cdot 200 = 1\,745\,920 \text{ руб.}$$

Тогда срок окупаемости вложений можно рассчитать через отношение общих вложений к ежегодному экономическому эффекту (4.22):

$$T_{\text{окуп}} = \frac{З_{\text{мод}}}{Э_{\text{общ}}}, \quad (4.22)$$

Для сорта «Удача» он составит:

$$T_{\text{окуп}} \approx 0,6 \text{ года.}$$

Таким образом, вложения окупятся менее чем за год. Для сорта «Королева Анна» срок окупаемости будет немного выше из-за меньшего экономического эффекта, но все равно останется в пределах одного года:

$$T_{\text{окуп}} \approx 0,78 \text{ года.}$$

С учетом того, что срок службы ремней-гасителей составляет 5 лет, совокупный экономический эффект за этот период обеспечит значительный прирост прибыли для хозяйства.

4.6 Выводы по четвертой главе

Экспериментальные исследования показали, что величина повреждений клубней находится в прямой зависимости от использования ремней-гасителей при загрузке картофеля в контейнеры. Установлено, что средний процент повреждений во всех категориях для контейнеров с ремнями-гасителями составил 5,23 %, тогда как для контейнеров без ремней этот показатель достиг 9,23 %. Применение t-критерия Стьюдента для проверки статистической значимости отклонений подтвердило достоверность различий между группами. При этом дополнительно проведенный дисперсионный анализ (ANOVA) с учетом таких факторов, как тип контейнера, категория повреждений и сорт картофеля, также подтвердил значимость различий.

Установлено, что средний уровень общих потерь в контейнерах, оснащённых ремнями-гасителями, составляет 8,13%, тогда как в контейнерах без применения ремней-гасителей данный показатель достигает 13,23%.

Снижение потерь особенно заметно по категориям технического отхода и абсолютной гнили: технический отход в контейнерах с ремнями-гасителями составил 1,7-1,8%, ниже по сравнению с 4,0-4,5% в контейнерах без ремней. Абсолютная гниль снизилась с 3,5-3,6% до 0,9%. Разница в показателях подтверждена дисперсионным анализом, где значение критерия F составило 11,87 при критическом значении 7,71. При этом показатель

убыли массы остается практически неизменным во всех группах и составляет 4,2-4,8%, что объясняется физиологическими процессами и микроклиматическими условиями хранения, не зависящими от конструктивных особенностей контейнеров. Потери массы клубней из-за прорастания (ростки) также находятся на стабильном уровне - 1,1-1,5% - и определяются, главным образом, температурным режимом хранения.

Экономический эффект применения экспериментального контейнера с ремнями-гасителями подтверждается следующими параметрами:

- использование контейнеров с ремнями-гасителями не только снижает повреждения, но и обеспечивает сокращение потерь при хранении.

- определение экономического эффекта выполнено путем сравнения двух типов контейнеров: стандартного и с ремнями-гасителями.

- полученный экономический эффект от применения контейнеров с ремнями-гасителями в ценах 2025 года составил:

 - для сорта «Удача» - 14 527,48 руб./контейнер.

 - для сорта «Королева Анна»: - 11 156,66 руб./контейнер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ существующих контейнеров и типов наполнителей показывает, что в настоящее время применяются различные конструкции и материалы, однако эффект их применения для снижения повреждений семенного картофеля при загрузке не всегда положителен. Проводимые ранее исследования в данной области недостаточно раскрывают вопросы предотвращения повреждений клубней.

2. Теоретически обоснованы параметры ремней-гасителей, позволяющие снизить повреждения семенного картофеля при его загрузке в контейнеры. Проведенное моделирование, установило, что углы установки ремней-гасителей $\alpha = 30^\circ - 35^\circ$ способствуют снижению повреждений клубней. Установка ремней-гасителей с амплитудой прогиба 0,05–0,1 м и расстоянием между ремнями 0,05–0,07 м обеспечивает равномерное распределение нагрузки и уменьшает неблагоприятные зоны проскока картофеля между ремнями-гасителями.

3. Уточнены параметры ремней-гасителей: ширина ремня 0,035 м, расстояние между ремнями 0,05 м, количество ремней 18. Применение данных параметров в экспериментальном контейнере позволило добиться снижения повреждений картофеля до 5,1%.

4. Экспериментальные исследования показали, что процент повреждений в контейнерах с ремнями-гасителями составил 5,23%, в то время как в контейнерах без использования данных устройств выше - 9,23%.

5. Экономический эффект составляет 14 527,48 руб./контейнер для сорта «Удача» и 11 156,66 руб./контейнер для сорта «Королева Анна».

Рекомендации производству.

Процесс загрузки семенного картофеля рекомендуется организовывать с применением контейнеров, оснащённых ремнями-гасителями, что позволит снизить повреждения семенного материала при загрузке.

Перспективы дальнейшей разработки темы.

Продолжением полученных результатов может являться исследование других методов совершенствования конструкции контейнера для загрузки семенного картофеля анализом характеристик других типов ремней-гасителей, а также оценкой их воздействия на различные сорта картофеля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах: Учеб. пособие для студентов эконом. спец. вузов. - М.: Высш. шк., 1986.
2. Аналитическое исследование взаимосвязи условий хранения семенного картофеля в картофелехранилищах с последующей предпосадочной обработкой / Колошеин Д.В., Борычев С.Н., Попов А.С. и др. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2024. Т. 16. № 4. - С. 93-99.
3. Анисимов Б.В., Симаков Е.А., Овэс Е.В., Юрлова С.М., Чугунов В.С., Шатилова О.Н. Эффективность различных схем последовательного технологического процесса оригинального семеноводства картофеля// Современная индустрия картофеля: состояние и перспективы развития: 7матер. VI межрегион. науч.-практ. конф. – Чебоксары, 2014. – С. 97-105.
4. Рымкевич П.А. Курс физики : [для физ.-мат. фак. пед. ин-тов]. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Высш. школа, 1975. — 463 с. : ил. : 22 см.
5. Балашов, В.М. Контейнеры лучше ящиков / В.М. Балашов // Садоводство. – 1970. - №9. - С. 12-13.
6. Борычев С.Н. Машинные технологии уборки картофеля с использованием усовершенствованных копателей, копателей-погрузчиков и комбайнов: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Борычев С.Н. - Рязань, 2008. - 484 с.
7. Борычев, С.Н. Современное картофелеводство России [Текст]/ С.Н. Борычев, Д.В. Колошеин, Л.А. Маслова и [др.] // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России: Материалы Национальной научно-практической конференции - Рязань: РГАТУ, 2019. - С. 84-90.
8. Бузаев К.А. Совершенствование процесса сепарации почвы с разработкой колеблющегося элеватора картофелеуборочной машины: дис....канд. техн. наук. – Рязань, 2008. – 169 с.

9. Верещагин Н.И. Снижение повреждений картофеля и яблок на внутрихозяйственных перевозках стабилизацией транспортных средств: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Верещагин Н.И. - Москва, 1991. - 24 с.

10. Влияние отдельных элементов технологического процесса уборки и хранения картофеля на его сохранность / Лучкова И.В., Колошеин Д.В., Кульков С.Н., Цыганов Н.В. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 169. - С. 110-123.

11. BMT - Агро. Овощехранилища от 1000 тонн под ключ. [сайт]
http://fruktovoagro.ru/?roistat=direct1_context_4407037208_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE+%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%BE%D1%84%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D1%89%D0%B0&roistat_referrer=afisha.mail.ru&roistat_pos=none_0 (дата обращения: 20.09.2024).

12. Войтюк М.М., Мачнева О.П., Стяжкин В.И., Войтюк В.А. Объемно-планировочные и технологические решения проектирования предприятий по хранению и обработке картофеля и плодоовощной продукции: справ. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 220 с.

13. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов Statistica и Excel: - 2-е изд., испр. и доп. – М.: Форум, 2008. – 464 с.

14. Выполнение задачи однофакторного дисперсионного анализа с использованием табличного процессора Excel по дисциплине «Статистика» / А.А. Чалганова. – [Текст: электронный]. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2022. – 52 с.

15. Гаджиев, П.И. Анализ работ в области динамической нагруженности комкоразрушающих барабанов от взаимодействия с почвой / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, Н.Г. Байбобоев и др. // Техника и оборудование для села. - 2025. - № 3 (333). - С. 22-28.

16. Гаджиев, П.И. Влияние технологических приемов на урожайность картофеля / П.И. Гаджиев, А.П. Башкиров, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев, Н.С. Шершнева // Наука в центральной России. - 2022. - № 3 (57). - С. 41-47.

17. Гаджиев, П.И. Обоснование конструктивных параметров малогабаритного картофелекопателя / Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Байбобоев Н.Г., Гайипов У.Г. // Техника и оборудование для села. - 2023. - № 6 (312). - С. 20-23.

18. Гаджиев, П.И. Определение конструктивных параметров интенсификатора и условия выталкивания клубня из зазора между прутками сепарирующих элеваторов / П.И. Гаджиев, И.П. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 17-22. – DOI 10.26897/2687-1149-2023-1-17-22. – EDN BUZQCB.

19. Гаджиев, П.И. Способ возделывания картофеля на тяжелых и каменистых почвах / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев // Техника и оборудование для села. - 2024. - № 2 (320). - С. 16-18.

20. Гаджиев, П.И. Условия работы сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев // Наука в центральной России. – 2022. – № 2(56). – С. 98-106. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-98-106. – EDN DVTPEP.

21. Гаджиев, П.И. Экономическое обоснование использования агрегата уборки картофеля / П.И. Гаджиев, М.М. Махмутов, Г.Г. Рамазанова, Ю.Р. Хисматуллина, А.В. Сидоров // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. - 2023. - № 7 (101). - С. 189-194.

22. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. Пер. с англ. - М.: Мир, 1985.

23. Гланц С. Медико-биологическая статистика / С. Гланц. - М.: Практика, 1998. - 459 с.

24. Выращивание продовольственного картофеля из мини-клубней мелкой фракции, полученных в условиях водно-воздушной культуры / Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А., и др. // Вестник

Воронежского государственного аграрного университета. - 2022. Т. 15, - № 4 (75). - С. 38 51.

25. Голиков, А. А. Совершенствование уборки картофеля: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Голиков Алексей Анатольевич. - Рязань, 2022. - 292 с.

26. ГОСТ 28372-93 (ИСО 2165-74). Межгосударственный стандарт. Картофель свежий продовольственный. Руководство по хранению. Информационные данные: Разработан Госстандартом России (Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 21 октября 1993 г.). – Изд. официальное. - Москва: Стандартинформ, 1995. – 12 с.

27. ГОСТ 33996-2016 «Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества»): Информационные данные: Разработан Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха» (ФГБНУ ВНИИКХ), Союзом участников рынка картофеля и овощей (Картофельный Союз), Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский сельскохозяйственный центр» (ФГБУ «Россельхозцентр» (протокол от 25 октября 2016 г. № 92-П). – Изд. официальное. - Москва : Стандартинформ, 2017. - 35с.

28. ГОСТ 28713-2018 «Машины для уборки картофеля. Методы испытаний»: Информационные данные: Разработан Российской ассоциацией производителей специализированной техники и оборудования (Ассоциация «Росспецмаш»)/ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 августа 2018 г. N 111-П). – Изд. официальное. - Москва : Стандартинформ, 2021. - 43с.

29. ГОСТ 7176-2017- Межгосударственный стандарт «Картофель продовольственный. Технические условия». Информационные данные: Подготовлен Автономной некоммерческой организацией «Научно-

исследовательский центр «Кубаньагростандарт» (АНО «НИЦ «Кубаньагростандарт») на основе русской версии стандарта, указанного в пункте 5 (Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации протокол от 25 сентября 2017 г. № 103-П). – Изд. официальное. - Москва : Стандартиформ, 2018. – 16 с.

30. ГОСТ 23831-79 Ремни плоские приводные резиноканевые. Технические условия: Информационные данные: Разработан министерством нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР / становлением Государственного комитета СССР по стандартам от 07.09.79 N 3375 – Изд. официальное. - Москва: Стандартиформ, Дата введения в действие: 01.07.1980, дата актуализации описания: 01.07.2023 - 19с.

31. ГОСТ Р ИСО 2859 - 1 – 2007 «Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку». Часть 1. Планы выборочного контроля последовательных партий на основе приемлемого уровня качества. Информационные данные: Подготовлен Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ОАО НИЦ КД) и Техническим комитетом по стандартизации Т К 125 «Статистические методы в управлении качеством продукции» на основе собственного аутентичного перевода стандарта, указанного в пункте 4. (Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 марта 2007 г. № 38-с). – Изд. официальное. - Москва : Стандартиформ, 2008. – 104 с.

32. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений». Часть 1. «Основные положения и определения» Разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы* Госстандарта России (ВНИИМС), Всероссийским научно-исследовательским институтом стандартизации (ВНИИСтандарт), Всероссийским научно-исследовательским институтом

классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству (ВНИИКИ) Госстандарта России (Принят и введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 23 апреля 2002 г. N 161-ст). – Изд. официальное. - Москва : Стандартиформ, 2002. – 33с.

33. Градиентный спуск простыми словами: [сайт] <https://habr.com/ru/articles/716380/> (дата обращения: 20.09.2024).

34. Градиентный спуск: что это такое и почему его так любят в ML: [сайт] – <https://habr.com/ru/articles/716380/> (дата обращения: 25.09.2024).

35. Доктрина продовольственной безопасности РФ [сайт] <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/3e5/3e5941f295a77fdcfed2014f82ecf37f.pdf> (дата обращения: 14.03.2023).

36. Дорохов А.С., Колчин Н.Н., Аксенов А.Г. и др. Разработка подходов к усовершенствованию оборудования и машин для селекции и семеноводства картофеля: отчет о НИР / рук. А.С. Дорохов; исполн.: Н.Н. Колчин, А.Г. Аксенов, А.Г. Пономарев [и др.]. – М., ФГБНУ ФНАЦ ВИМ 2017. – 78 с. – № НИОКР: АААА-А18-118011700170-7.

37. Дюкина, Т. О. Дисперсионный анализ: учебник для вузов / Т. О. Дюкина ; ответственный редактор В. В. Ковалев. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 43 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-18392-4. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/568909> (дата обращения: 01.03.2025).

38. Жевора С.В., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Усков А.И., Варицев Ю.А., Варицева Г.П., Галушка П.А., Ускова Л.Б., Мишуров Н.П., Щеголихина Т.А., Манохина А.А., Осмоловский П.Д. Современное лабораторное оборудование и сельскохозяйственная техника для селекции и семеноводства картофеля: науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 80 с.

39. Заводнов С.В. Исследования взаимодействия клубней картофеля с рабочими органами сельскохозяйственных машин: дис....канд. техн. наук: 05.20.01 / С.В. Заводнов. - М., 2002. – 145 с.

40. 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.

41. 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.

42. Исследование влияния механических повреждений клубней картофеля на хранение / Колошеин Д.В., Маслова Л.А., Попов А.С. и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 204. - С. 360-369.

43. Исследование процесса отскока клубня картофеля от ремня гасителя при загрузке в контейнер / Д.В. Колошеин, С.Н. Борычев, А.С. Попов и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 203. С. 239-249.

44. Касьянов В. А. Физика. 10 кл.: Учебн. для общеобразоват. учеб. заведений. – М.: Дрофа, 2000.

45. К вопросу о повреждениях картофеля при уборке и закладке на хранение / Д.В. Колошеин, Н.В. Цыганов, Л.А. Маслова, С.Н. Кульков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2021. № 1 (49). С. 136-142.

46. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006.

47. 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.

48. Контейнерно-транспортная технология уборки, хранения и реализации селекционного картофеля первой полевой репродукции / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. - 2024. - № 1. - С. 72-76.

49. Колошеин, Д.В. Анализ производства семенного картофеля в РФ / Д.В. Колошеин, И.В. Лучкова, Л.А. Маслова // Материалы Международной молодежной научной конференции. В 5-ти томах. Сборник научных статей 11-й. Курск, 2024. - С. 341-345.

50. Колошеин, Д.В. Снижение потерь картофеля и энергопотребления системы вентиляции картофелехранилища совершенствованием воздуховода дис....канд. техн. наук: 05.20.01 / Д.В. Колошеин. - Рязань., 2017. – 132 с.

51. Колошеин, Д.В. Теоретические исследования определения параметров ударного взаимодействия клубня с ремнем-гасителем при загрузке в контейнер/ Д.В. Колошеин, Л.А. Маслова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. - 2022. - Т. 14. № 4. - 154-160.

52. Конкурентоспособные технологии семеноводства, производства и хранения картофеля: науч. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 236 с.

53. Колчин Н.Н. Особенности конструкций зарубежных машин для уборки и обработки картофеля // Тракторы и с.-х. машины. – 2005. – № 7. –С. 49-54.

54. Костенко М.Ю., Соловкин О.Н., Суздалева Г.Ф. Обоснование конструктивных и кинематических параметров элеватора картофелеуборочной машины // Механизация и электрификация сельского хоз-ва. – 2003. –№ 12. – С. 26-27.

55. Костенко, М.Ю. Технология уборки картофеля в тяжелых полевых условиях с применением инновационных решений в конструкции и обслуживании уборочных машин: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01; 05.20.03 / Костенко М.Ю. - Рязань, 2010. - 464 с.

56. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1970. - С. 575-576.

57. Коршунов Ю.М., Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики. - М.: Энергоатомиздат, 1972.

58. Коэффициент детерминации: [сайт]
https://ru.ruwiki.ru/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82_%D0%B4%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8 (дата обращения: 11.09.2024).

59. Крупномасштабное производство миниклубней в системе оригинального семеноводства картофеля / Хутинаев О.С., Старовойтов О.С., Старовойтова О.А., и др. // АгроЭкоИнженерия. - 2024. - № 2 (119). - С. 43-58.

60. Лучшие сорта картофеля для средней полосы: [сайт]
<https://www.ivd.ru/dacha-i-sad/dacnyj-ucastok/luchshie-sorta-kartofelya-dlya-srednej-polosy-18-nazvanij-s-foto-112842?ysclid=m7ssaaimiz177237002> (дата обращения: 10.09.2024).

61. Максимов Ю.А. Алгоритмы линейного и дискретного программирования. - М.: МИФИ, 1980.

62. Максимов Ю.А., Филипповская Е.А. Алгоритмы решения задач нелинейного программирования. - М.: МИФИ, 1982.

63. Маслова Л.А., Контейнерный способ хранения картофеля / Маслова Л.А., Борычев С.Н., Липин В.Д. // Материалы: Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий. Сборник IV Всероссийской (национальной) научной конференции. 2019. - С. 169-172.

64. Маслова, Л.А. Теоретические предпосылки к обоснованию загрузки контейнера для хранения картофеля / Л.А. Маслова, Д.В. Колошеин, С.Н. Борычев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ, 2020 - № 160(06). С. 39-49. URL: item.asp?Id=43128321.

65. Математическая модель определения показателей качества энерго-ресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. - 2023. - № 2.- С. 78-83.

66. Машинные технологии и техника для производства картофеля / Туболев С. С., Шеломенцев С. И. , Пшеченков К. А., Зейрук В. Н. — М.: Агроспас, 2010. — 316 с.

67. Методы оптимизации: учебник для вузов / В. В. Токарев. — Москва: Издательство Юрайт, 2025. — 440 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04712-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/563479> (дата обращения: 11.01.2025).

68. Методы оптимизации: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности ВПО 010501 "Прикладная математика и информатика" : [в 2 кн.] / Ф. П. Васильев ; Ф. П. Васильев. — Изд. новое, перераб. и доп.. — Москва : Изд-во МЦНМО, 2011. — 24 с. — ISBN 978-5-94057-706-5. — EDN QJXZAV.

69. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Реализация федпроекта позволила получить самый высокий урожай картофеля за 30 лет [сайт] <https://mcx.gov.ru/press-service/news/realizatsiya-fedproekta-pozvolila-poluchit-samyu-vysokiy-urozhay-kartofelya-za-30-let/?ysclid=m8u7zlbfl655302218> (дата обращения: 20.02.2025).

70. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации [сайт] <https://m.minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-podvedomstvennykh-uchrezhdeniy/49009/> (дата обращения: 10.04.2023).

71. Модель искусственной нейронной сети при повышении эффективности уборки картофеля качественной заделкой посадочного материала / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. и др. // Аграрный научный журнал. - 2023. - № 1. - С. 128-135.

72. Названы сроки полного самообеспечения России семенами отечественного картофеля [сайт] <https://lenta.ru/news/2022/04/04/kartofel/> (дата обращения: 15.05.2023).

73. Наполнитель контейнеров картофелем [сайт] <https://polag.ru/news/potato-container-filler-2/> (дата обращения: 15.02.2023).

74. Новиков Д. А. Статистические методы в медико-биологическом эксперименте (типовые случаи) / Д. А. Новиков, В. В. Новочадов. – Волгоград: Изд-во ВГМУ, 2005. –84 с.

75. НОРМЫ Технологического проектирования предприятий по хранению и обработке картофеля и плодоовощной продукции НТП-АПК 1.10.12.001-02. Информационные данные: Разработан Государственным научно-исследовательским и проектным институтом по созданию объектов хранения, переработки плодоовощной продукции, теплиц и сооружений искусственного микроклимата ФГУП «Гипронисельпром» при участии специалистов Всероссийского научно-исследовательского института овощеводства и Всесоюзного научно-исследовательского института картофельного хозяйства (Одобрены НТС Минсельхоза России (протокол от 26.04.02 г. N 7). – Изд. официальное. - Москва: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 2002. – 161 с.

76. Обзор картофелехранилищ контейнерного типа / Д.Н. Михайлов, Л.А. Маслова, Д.В. Колошеин, С.Н. Борычев, А.С. Дмитриев // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации. Материалы Национальной научно-практической

конференция, посвященная памяти д.т.н., профессора Александра Алексеевича Сорокина «Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса Российской Федерации», 2022. - С. 11-17.

77. Обзор экономической ситуации по хранению сельскохозяйственной продукции в РФ /С.Н. Борычев, Д.В. Колошеин, Л.А. Маслова//Сб. Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства: Материалы Международной научно-практической конференции (Международные Бочкаревские чтения), посвященной памяти члена-корреспондента РАСХН и НАН КР, академика МАЭП и РАВН Бочкарева Я.В. -Рязань, 2019. -С.75-78.

78.. Об импорте семенного картофеля в Россию в 2012-2020 гг. [сайт] <https://www.neo-agriservis.ru/news/ob-importe-semennogo-kartofelya-v-rossiyu-v-2012-2020-gg/> (дата обращения: 15.05.2023).

79. Оценка эффективности технологического процесса машинно-тракторного агрегата для уборки овощных культур и картофеля / Сибирёв А.В, Дорохов А.С., Аксенов А.Г. др. // Аграрный научный журнал. - 2023. - № 2. - С. 112-116.

80. Паршков А.В. Влияние размерно-массовых характеристик клубней картофеля на их повреждаемость / А.В. Паршков // Научные приоритеты в АПК: вызовы современности: Материалы 75-й юбилейной Международной научно-практической конференции, Рязань, 25 апреля 2024 года. Часть II. — Рязань: Издательство РГАТУ, 2024. — С. 165-169.

81. Паршков, А.А. Перспективы картофелеводства в РФ / А.А. Паршков, А. А. Голиков // Перспективы инновационного развития в агротехнических и энергетических системах: Материалы Международной научно-практической конференции, Балашиха, 14 ноября 2023 года. — Балашиха: Российский государственный университет народного хозяйства им. В.И. Вернадского, 2023. — С. 53-57. — EDN RLTYLM.

82. Паршков, А.В. Механико-математическое моделирование технологического процесса вторичной сепарации в картофелеуборочных

машинах усовершенствованным рабочим органом / А. В. Паршков // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 1. – С. 194-201. – EDN IIRHIL.

83. Патент № 2764947 С1 Российская Федерация, МПК F26B 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».

84. Патент 2732641 Российская Федерация МПК A01F25/14 (2006.01) A01F25/22 (2006.01) B65D85/34 (2006.01) Контейнер для хранения корнеплодов и картофеля № 2019103119: заявл. 04.02.2019: опубл. 22.09.2020 /С.Н. Борычев, Д.В. Колошеин, Л.А. Маслова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ).

85. Патент № 2775698 С1 Российская Федерация, МПК A01F 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».

86. Патент 191227 Российская Федерация МПК B65D 5/48. Устройство для транспортировки корнеклубнеплодов № 2019116209: заявл. 27.05.2019: опубл. 30.07.2019 /С.Н. Борычев, Д.С. Рябчиков, Д.В. Колошеин,; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ).

87. Погода в Касимове в сентябре 2023 года [сайт] <https://world-weather.ru/pogoda/russia/kasimov/september-2023/?ysclid=m8g0ipok0245760413> (дата обращения: 20.03.2025).

88. Погода в Касимове в сентябре [сайт] <http://russia.pogoda360.ru/248290/september/?ysclid=m8g0itfk1182792413> (дата обращения: 19.03.2025).

89. Подбор коэффициентов линейной регрессии методом наименьших квадратов (Ordinary Least Squares): [сайт] – <https://python-school.ru/blog/osnovy-ml/linearregression-ols/?ysclid=m84qufs01112544349> (дата обращения: 20.09.2024).

90. Пономарев А.Г., Колчин Н.Н., Зернов В.Н., Петухов С.Н. и др. Селекции и семеноводству картофеля необходима механизация // Картофель и овощи. – 2017. – № 3. – С. 22-24.

91. 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.

92. Протасов, В.Т. Механизация погрузочно-транспортных работ при вывозке плодов из сада. / В.Т. Протасов, В.И. Перепелица // – Сборник научных работ НИЗИСНП, М.: 1973, т.6, С. 97-101

93. Прямов С.Б., Пшеченков К.А., Колчин Н.Н. Тип картофелехранилища и способы товарной подготовки // Современная индустрия картофеля: сб. докл. VI Межрегион. науч.-практ. конф. – Чебоксары, 2014. –С. 235-245.

94. Пшеченков К.А., Зейрук В.Н., Еланский С.Н., Мальцев С.В. Технологии хранения картофеля. ... М.: Колос, 2007 - 197 с.

95. Пшеченков К.А., Зейрук В.Н., Еланский С.Н., Мальцев С.В., Прямов С.Б. Хранение картофеля // М.:Агроспас, 2016. — 144 с.

96. Пшеченков К.А., Колчин Н.Н., Мальцев С.А. Технологии и средства механизации для уборки и послеуборочной доработки картофеля // Картофель и овощи . - 2012. - № 5. С. 8 –10.

97. Пшеченков, К. А. Научные основы технологий механизированного возделывания и уборки картофеля. : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Пшеченков Константин Александрович. - М., 1991. - 85 с.

98. Пшеченков К.А. Технология комбайновой уборки картофеля на суглинистых почвах в центральном регионе России / Пшеченков К.А., Мальцев С.В., Смирнов А.В. // Картофель и овощи. - 2018. - № 4. - С. 19-21.

99. Пшеченков, К. А. Хранение картофеля и реконструкция картофелехранилищ / К. А. Пшеченков, О. Н. Давыденкова // Картофель и овощи. - 2005. - № 6. - С. 5–7.

100. Разработка роботизированного буртоукладчика с цифровой системой автоматизированного движения для закладки на хранение картофеля и овощных культур / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Мосяков М.А. и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2025. Т. 26. - № 1. - С. 184-195.

101. Рябчиков, Д.С. Обоснование параметров устройства для транспортировки корнеклубнеплодов дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Рябчиков Д.С. - Рязань, 2021. - 113 с.

102. Сибирёв, А.В. Результаты исследований размерно-массовых характеристик клубней картофеля / А.В. Сибирёв, А.С. Дорохов, М.А. Мосяков, Н.В. Сазонов // Аграрный научный журнал. - 2025. - № 1. - С. 99-104.

103. Сибирёв А.В., Теоретическое обоснование машинной технологии загрузки хранилища в селекции и семеноводстве овощных культур и картофеля / А.В. Сибирёв, А.Г.Пономарев, С.Н. Петухов, М.А. Мосяков, Н.В. Сазонов //Аграрный научный журнал. - 2024. - № 10. - С. 138-142.

104. Теоретическое обоснование транспортера для выгрузки корнеплодов овощных культур и клубней картофеля из хранилища / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. - 2024. Т. 19. - № 1 (73). - С. 48-53.

105. Совершенствование систем вентиляции хранилищ на основе реновации воздуховода / Борычев С.Н., Успенский И.А., Костенко М.Ю. и др. // Аграрный научный журнал. 2018. № 7. - С. 36-39.

106. Современные технологии производства семенного картофеля. Практическое руководство / Анисимов Б.В., Симаков Е.А., Жевора С.В., Овэс Е.В., Зебрин С.Н., Митюшкин А.В., Журавлев А.А., Блинков Е.Г., Юрлова С.М., Усков А.И., Зейрук В.Н., Федотова Л.С.; общ. ред. Б.В. Анисимов – Чебоксары, 2018. – 48 с.

107. Старовойтова, О. А. Влияние средообразующих факторов на урожайность картофеля / В. И. Старовойтов, О. А. Старовойтова, А. А. Манохина и др. // Агроинженерия. - 2022. Т. 24, - № 5. - С. 4-10.

108. Старовойтова О.А., 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.

109. Тарасов Я. А. Конструктивно-технологические параметры установки для уменьшения потерь семенного картофеля при хранении: дис....канд. техн. наук. – Ставрополь, 2022. – 123с.

110. Теоретические предпосылки к обоснованию загрузки контейнера для хранения картофеля / Л.А. Маслова, Д.В. Колошеин, С.Н. Борычев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 160. - С. 39-49.

111. Теоретические подходы к оптимизации уборки топинамбура в условиях неопределенности / Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А., и др. // Техника и оборудование для села. - 2023. - № 7 (313). - С. 22-27.

112. Технологии ускоренного размножения исходного семенного материала из *от vitro* микрорастений на биотехнологическом модуле АГМ-60 / Хутинаев О.С., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А. и др. // Техника и оборудование для села. - 2024. - № 9 (327). - С. 17-22.

113. Усовершенствованная технология, обеспечивающая стрессоустойчивость растений картофеля / Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А. и др. // АгроЭкоИнженерия. - 2024. - № 3 (120). - С. 74-91.

114. 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.

115. Успенский, И.А. Взаимосвязь характеристик повреждаемости клубней с параметрами технического состояния сельскохозяйственной техники в процессе производства картофеля / И.А. Успенский, Рембалович Г.К., Кокорев Г.Д. и др. // Научный журнал КубГАУ, №74(10), 2011 года <http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/53.pdf>.

116. 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.

117. Устройство электрофизического воздействия для улучшения показателей картофеля и овощных культур при хранении /Сазонов Н.В., Сибирёв А.В., Мосяков М.А., и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2025. Т. 19. - № 1. - С. 22-29.

118. Формула линейной регрессии: [сайт] – https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.ac444c4e-67d069d6-2d76a012-74722d776562/https/www.geeksforgeeks.org/linear-regression-formula/ (дата обращения: 11.09.2024).

119. Хачатрян, Х.А. Вопросы механизации уборки и транспортировки плодов / Х.А. Хачатрян – Ереван, Айстан, 1967. – 187 с.
120. Хранение картофеля/ К.А. Пшеченков, В.Н. Зейрук, С.Н. Еланский, С.В. Мальцев, С.Б. Прямов.—М.:Агроспас, 2016. — 144с.
121. Целевая функция, математическое программирование: // Математический энциклопедический словарь. - М.: «Сов. энциклопедия», 1988.
122. Шведов, А. С. Теория вероятностей и математическая статистика: промежуточный уровень / А. С. Шведов; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2016. - (Учебники Высшей школы экономики). - 280 с. - 600 экз. — ISBN 978-5-7598-1301-9 (в пер.).
123. Энергосберегающая технология уборки корнеплодов и картофеля / Сибирёв А.В., Мосяков М.А., Сазонов Н.В. и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. - 2024. - № 4. - С. 107-112.
124. Юхин, И.А. Снижение повреждений картофеля и яблок на внутрихозяйственных перевозках стабилизацией транспортных средств: автореф. дис..докт. техн. наук: 05.20.01. - Рязань, 2016. - 38 с.
125. Agro-market24. Главный магазин садовода [сайт] https://agro-market24.ru/catalog/item/semennoy_kartofel_koroleva_anna_1kg/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=108939218&utm_content=16893127314&utm_term=---autotargeting&yclid=1078485988076421119 (дата обращения: 15.04.2025).
126. Davis C.S. Statistical Methods for the Analysis of Repeated Measurements. New.
127. Chesson J.H., O'Brien M. Analysis of mechanical vibration of fruit during transportation. - ASAE.St.Joseph, Mich., 1971, V.14, №2, p.222-224.
128. Jerry Banks, John S Carson Barry L. Nelson Discrete-Event System Simulation. 2nd ed. Prentice-Hall, 1996. – 548 p.

129. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, United Kingdom.

130. Rank and Permutation Methods with Applications in R. John Wiley & Sons, 2014.

131. Tabachnick B.G., Fidell L.S. Using Multivariate Statistics. Boston: Pearson Education, 2012.

132. Theoretical and economic studies of a floor duct in the form of cylindrical pipes / A.I. Volkov, L.A. Maslova, D.V Koloshein., S.N. Borychev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. 2020. C. 012129. 22. 24.

ПРИЛОЖЕНИЯ

**Приложение А Разработка «Хранилище для повышения
сохранности сельскохозяйственных культур» «Архимед-2022».**



Приложение Б Выписка из журнала по контролю температуры и влажности ОАО «Аграрий». Второй год проведения экспериментальных исследований 2024-2025 гг.

Дата	N сек	t° воздух	Датум провек	Влажность воздуха	t° почвы	Влажность почвы	t° травы	t° дуба	Влажная влажность за день	Влажная влажность за день	Контроль СД	Влажная влажность за день
30.12	1	3,6	0,6	92	4,6	99	4,3	-0,8	0:10	5:00	0:10	544:53
	2	3,8	1,5	90	2,1		4,2		2:02	3:16	0:10	951:45
31.12	1	3,7	0,5	92	5,0	99	4,6		0:10	5:00	0:10	545:03
	2	3,4	1,4	88	4,2		4,8	0,2	11:15	2:55	0:00	964:15
2023 01.01	1	3,6	0,6	92	3,5	99	4,3		0:00	0:00	0:00	551:55
	2	3,4	1,6	90	4,1		5,0	2,5	0:00	0:00	0:00	964:25
02.01	1	3,6	0,7	92	5,0	87	4,4		0:10	5:00	0:10	552:05
	2	3,5	1,7	88	4,4		5,5	0,8	0:10	4:29	0:10	964:35
03.01	1	3,7	0,5	92	4,6	96	4,6		0:10	5:00	0:10	552:15
	2	3,6	1,8	88	4,5		5,2	-2,6	0:08	4:39	0:10	964:14
04.01	1	3,5	0,5	92	2,0	86	4,0		6:11	3:23	0:00	558:27
	2	3,8	1,8	89	2,6		5,0	-2,6	3:43	2:59	0:10	968:24
05.01	1	3,6	0,6	92	4,5	8,6	4,1		0:00	3:50	0:00	558:50
	2	3,5	1,7	87	4,2		4,6	-2,4	11:36	1:31	0:00	981:10
06.01	1	3,6	0,6	92	4,2	78	3,9		0:00	3:43	0:00	559:00
	2	3,3	2,2	87	3,8		4,5	-2,4	0:04	3:35	0:10	981:14
07.01	1	3,7	0,5	92	3,3	77	3,5		0:04	2:36	0:00	559:04
	2	3,3	2,1	88	3,4		4,0	-4,9	0:00	4:34	0:00	981:14

**Приложение В Патент №2732641 Контейнер для хранения
корнеплодов и картофеля**



Приложение Г Патент №191227 Устройство для транспортировки корнеклубнеплодов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

191 227⁽¹³⁾ U1

(51) МПК
B65D 8/14 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B65D 5/48 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2019116209, 27.05.2019
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.05.2019
Дата регистрации:
30.07.2019
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 27.05.2019
(45) Опубликовано: 30.07.2019 Бюл. № 22
Адрес для переписки:
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ ВО
РГАТУ, Безносок Р.В.

(72) Автор(ы):
Борычев Сергей Николаевич (RU),
Рябчиков Дмитрий Сергеевич (RU),
Колошеин Дмитрий Владимирович (RU),
Маслова Лилия Александровна (RU),
Бойко Александр Игоревич (RU),
Голиков Алексей Анатольевич (RU),
Безносок Роман Владимирович (RU)
(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Рязанский государственный
агротехнологический университет имени
П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ) (RU)
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 164257 U1, 20.08.2016. RU 132056
U1, 10.09.2013. RU 2057690 C1, 10.04.1996. RU
92401 U1, 20.03.2010.

RU 191227 U1

RU 191227 U1

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ

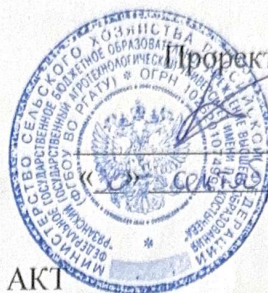
(57) Реферат:

Полезная модель относится к пищевым технологиям и может быть использована при транспортировке плодоовощной продукции в свежем виде.

Устройство содержит основание, пару торцевых стенок, боковину, откидной борт, в верхней своей части шарнирно соединенный с торцевыми стенками, а в нижней части - имеющий возможность фиксации с торцевыми стенками при помощи фиксаторов (на схемах не показаны), закрепленную на торцевых стенках оси

поперечную перегородку, выполненную из полых трубок из упругого материала, обладающих возможностью вращения вокруг оси поперечной перегородки и имеющих разную длину, причем она уменьшается от центра поперечной перегородки к торцевым стенкам симметрично.

Предлагаемое техническое решение по сравнению с базовым, принятым за прототип, позволяет снизить травмируемость корнеклубнеплодов в процессе выгрузки их из транспортной тары.



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО РГАТУ

Г.К. Рембалович

2024г.

АКТ

**о внедрении законченной научно-исследовательской,
опытно-конструкторской и технологической работы**

Мы, нижеподписавшиеся, представитель федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» в лице руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы

к.т.н., доцента кафедры СИСиМ Колошеина Дмитрия Владимировича
и представителя ОАО «Аграрий»

(наименование организации, предприятия)

Касимовского района Рязанской области

в лице генерального директора Минина Сергея Алексеевича
составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы «Совершенствование конструкции контейнера для загрузки семенного картофеля» в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО РГАТУ («ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 годы») по теме подраздела 1.1.4. «Повышение технологической и технической работоспособности картофелеуборочных машин» раздела 1.1. «Повышение эффективности эксплуатации мобильной техники за счет разработки новых конструкций и совершенствования методов поддержания её технического состояния» темы 1 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий» выполненной на: кафедре технической эксплуатации транспорта и строительство инженерных сооружений и механики
ФГБОУ ВО РГАТУ в 2023-2024 гг., внедрены на ОАО «Аграрий»

(организация, предприятие)

Касимовского района Рязанской области

путем сравнительных экспериментальных исследований серийного

(указать, каким образом внедрена работа)

контейнера без ремней-гасителей и контейнера с установленными ремнями-гасителями.

В рамках экспериментальных исследований с ремнями гасителями было задействовано два контейнера. С разными сортами «Королева Анна» и «Удача». Повреждения клубней классифицировались по следующим показателям:

продолжение приложения Д

- Категория 1, легкие повреждения (ушибы, не влияющие на лежкость продукта).

- Категория 2, повреждения средней тяжести (поверхностные трещины незначительной глубины);

- Категория 3, серьезные повреждения (глубокие трещины, раздавленные участки).

Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект:

1. Повреждения картофеля при загрузке серийной и усовершенствованной конструкции контейнера составили:

Таблица 1 – Определение повреждений картофеля по сорту «Удача»
сентябрь 2023 года

№ п/п	Тип контейнера	Категория повреждений	Процент повреждений, %
1	С ремнями-гасителями	К 1	5.2
2	С ремнями-гасителями	К 2	5.3
3	С ремнями-гасителями	К 3	5.4
4	Без ремней	К 1	9.5
5	Без ремней	К 2	9.0
6	Без ремней	К 3	9.8

Таблица 2 – Определение повреждений картофеля по сорту «Удача»
сентябрь 2024 года

№ п/п	Тип контейнера	Категория повреждений	Процент повреждений, %
1	С ремнями-гасителями	К 1	5.3
2	С ремнями-гасителями	К 2	5.2
3	С ремнями-гасителями	К 3	5.5
4	Без ремней	К 1	9.7
5	Без ремней	К 2	9.1
6	Без ремней	К 3	9.7

Таблица 3 – Определение повреждений картофеля по сорту «Королева Анна» сентябрь 2024 года

№ п/п	Тип контейнера	Категория повреждений	Процент повреждений, %
1	С ремнями-гасителями	К 1	5.1
2	С ремнями-гасителями	К 2	5.2
3	С ремнями-гасителями	К 3	5.1
4	Без ремней	К 1	9.0
5	Без ремней	К 2	8.8
6	Без ремней	К 3	9.1

Ремни-гасители, установленные на контейнерах, изготовлены из ленты. Прочность ленты на разрыв 200/2, прочность слоя на разрыв 100 кН/м. Ширина одного ремня 3,5 см, расстояние между ремнями 5,0 см, количество ремней 18.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению:

Признать совершенствование конструкции контейнера путем установки ремней-гасителей целесообразным и экономически обоснованным.

Исполнители:

д.т.н., профессор _____ С.Н. Борычев

соискатель _____ Л.А. Маслова

Представитель
ФГБОУ ВО РГАТУ,
научный руководитель
работы

Д.В. Колошеин

Генеральный директор
ОАО «Аграрий»
Касимовского района
Рязанской области

С.А. Мишин

М.П. _____ 2024г.



М.П. _____ 2024г.





«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО РГАТУ

Г.К. Рембалович

2025г.

**о внедрении законченной научно-исследовательской,
опытно-конструкторской и технологической работы**

Мы, нижеподписавшиеся, представитель федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» в лице руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы

к.т.н., доцента кафедры СИСиМ Колошеина Дмитрия Владимировича
и представителя ОАО «Аграрий»

(наименование организации, предприятия)

Касимовского района Рязанской области

в лице генерального директора Минина Сергея Алексеевича

составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы «Совершенствование конструкции контейнера для загрузки семенного картофеля» в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО РГАТУ («ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 годы») по теме подраздела 1.1.4. «Повышение технологической и технической работоспособности картофелеуборочных машин» раздела 1.1. «Повышение эффективности эксплуатации мобильной техники за счет разработки новых конструкций и совершенствования методов поддержания её технического состояния» темы 1 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий»

выполненной на: кафедре технической эксплуатации транспорта и

строительство инженерных сооружений и механики

ФГБОУ ВО РГАТУ в 2023-2025 гг., внедрены на ОАО «Аграрий»

(организация, предприятие)

Касимовского района Рязанской области

путем оценки влияния ремней-гасителей на сохранность клубней при хранении. Проводились сравнительные экспериментальные исследования серийного контейнера, загрузка в который осуществлялась традиционным способом, без применения ремней-гасителей и контейнеров с установленными ремнями-гасителями при загрузке картофеля в них.

(указать, каким образом внедрена работа)

Методы расчёта потерь при хранении определялись, как процентный и абсолютный вклад каждой категории потерь в общей массе от начального веса партии.

Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект:

1. Потери при хранении составили:

Таблица 1 - Определение потерь при хранении картофеля по сортам «Удача» и «Королева Анна» с 2023 по 2025 гг.

№ п/п	Наименование показателей		Потери при хранении, %				
			Всего	В том числе			
				Убыль массы	Технический отход	Абсолютная гниль	Ростки
1	Экспериментальные исследования с октября 2023 г. по май 2024 г., сорт «Удача»	Контейнер «А» с ремнями-гасителями	8,1	4,2	1,8	0,9	1,2
		Контейнер «Б» без ремней-гасителей	14,2	4,8	4,5	3,5	1,4
2	Экспериментальные исследования с октября 2024 г. по апрель 2025 г.	Контейнер «А ₁ » с ремнями-гасителями (сорт «Удача»)	8,0	4,2	1,7	0,9	1,2
		Контейнер «Б ₁ » без ремней-гасителей (сорт «Удача»)	13,6	4,5	4,0	3,6	1,5
		Контейнер «А ₂ » с ремнями-гасителями (сорт «Королева Анна»)	8,3	4,2	1,7	1,3	1,1
		Контейнер «Б ₂ » без ремней-гасителей (сорт «Королева Анна»)	11,9	4,7	3,7	2,3	1,2

2. При загрузке картофеля в контейнеры использовались ремни-гасители, изготовленные из ленты. Прочность ленты на разрыв 200/2, прочность слоя на разрыв 100 кН/м. Ширина одного ремня 3,5 см, расстояние между ремнями 5,0 см, количество ремней 18.

продолжение приложения Д

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению:
Признать совершенствование конструкции контейнера путем
установки ремней-гасителей целесообразным и экономически обоснованным.

Исполнители:

д.т.н., профессор С.Н. Борычев

соискатель Л.А. Маслова

Представитель
ФГБОУ ВО РГАТУ,
научный руководитель
работы

Д.В. Колошеин



(подпись)

2025г.

Генеральный директор
ОАО «Аграрий»
Касимовского района
Рязанской области

С.А. Минин



(подпись)

» апреля 2025г.