

На правах рукописи



МАСЛОВА ЛИЛИЯ АЛЕКСАНДРОВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ
ЗАГРУЗКИ СЕМЕННОГО КАРТОФЕЛЯ**

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

Научный руководитель: кандидат технических наук

Колошеин Дмитрий Владимирович

Официальные

оппоненты:

Гаджиев Парвиз Имранович,

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО Министерства сельского хозяйства
Российской Федерации «Российский
государственный университет народного
хозяйства имени В.И. Вернадского», профессор
кафедры технологического развития систем
жизнеобеспечения сельских территорий

Старовойтова Оксана Анатольевна,

доктор сельскохозяйственных наук,
ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр картофеля имени А.Г. Лорха», главный
научный сотрудник отдела агротехнологии

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ
ВИМ)

Защита диссертации состоится «9» июля 2025 года в 13.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.031.01 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Юхин Иван Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Картофель является одной из ключевых сельскохозяйственных культур в России. В 2023 году в организованном секторе был зафиксирован максимальный за последние три десятилетия урожай: объем собранного картофеля составил 8,6 миллиона тонн, что превышает показатель 2022 года на 15%.

Ежегодные потери картофеля на этапах уборки, транспортировки и хранения составляют 30–40%. Особый ущерб наносится семенному картофелю, что отрицательно влияет на качество урожая и рентабельность сектора.

Согласно федеральной программе «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации» (2017–2030 годы), одной из первоочередных задач является снижение повреждений на всех этапах возделывания картофеля. 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 создать благоприятные условия для снижения повреждений картофеля, что будет способствовать увеличению урожайности, повышению экономической эффективности картофелеводства и выполнению долгосрочных задач агропромышленного развития России.

Степень разработанности темы исследования. Вопросы совершенствования технологий загрузки картофеля и другой сельскохозяйственной продукции во время уборки, занимались многие исследователи. Среди них: С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, Н.И. Верещагин, П.И. Гаджиев, А.С. Дорохов, В.С. Заводнов, А.Ю. Измайлов, Д.В. Колошеин, Н.Н. Колчин, М.Ю. Костенко, Г.Д. Петров, К.А. Пшеченков, А.Г. Пономарев, Г.К. Рембалович, А.А. Сорокин, В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, А.В. Сибирёв, И.А. Успенский, И.А. Юхин, O'Brien M., L.L. Claupool и другие ученые.

Анализ исследований по снижению повреждений картофеля показывает, что на повреждения клубней при загрузке влияют высота падения, скорость погрузки, степень заполнения конструкции контейнера, сортовые особенности картофеля, состояние техники. Вопросы совершенствования конструкции контейнеров для снижения повреждений, особенно семенного картофеля, остаются актуальными 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 РГАТУ (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 135 страницах, содержит 8 таблиц и 49 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследований. Отражены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Анализ факторов, влияющих на загрузку картофеля, цель и задачи исследования» представлены данные об уборке и хранении семенного картофеля.

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. В настоящее время в РФ реализуется Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства. Основной целью данной программы является достижение

продовольственной независимости страны за счет самообеспечения основными видами сельскохозяйственной продукции. Важно подчеркнуть, что помимо семенного материала, значительным фактором для снижения повреждений картофеля выступают современные методы его выращивания, а также инновационные подходы к процессам уборки урожая. Однако в процессе уборки и, особенно на этапе загрузки семенного картофеля имеются серьезные проблемы, связанные с повреждениями клубней. Эти повреждения оказывают влияние как на способность картофеля к длительному хранению, так и на последующее качество семенного материала.

Поэтому перспективным направлением развития является совершенствование контейнеров с ремнями-гасителями для загрузки семенного картофеля.

Во второй главе «Теоретические исследования параметров предлагаемого устройства для снижения повреждений» рассмотрены теоретические исследования и моделирование параметров ремней-гасителей, предназначенных для уменьшения повреждений клубней картофеля. Падение клубня начинается с высоты h , а его начальная скорость v_0 находится по следующей формуле:

$$v_0 = \sqrt{2gh}, \quad (1)$$

где: h – высота падения, м; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Обозначим массу клубня как m , массу задействованной части ремня как M_i , начальную скорость клубня как v_0 , а скорости после удара клубня и ремня – как v и u , соответственно (рис. 1).

Тогда уравнение ударного импульса примет вид:

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

С учетом сохранения импульса системы «клубень – ремень-гаситель» связи между начальными и конечными скоростями описываются вышеуказанным выражением. При ударе направление движения клубня меняется, что учитывается через углы взаимодействия.

Проекции скоростей на оси x и y определяются соотношениями:

$$\begin{cases} v_y = v \sin(90^\circ - 2\alpha) = v \cos(2\alpha) \\ v_x = v \cos(90^\circ - 2\alpha) = -v \sin(2\alpha) \end{cases} \quad (3)$$

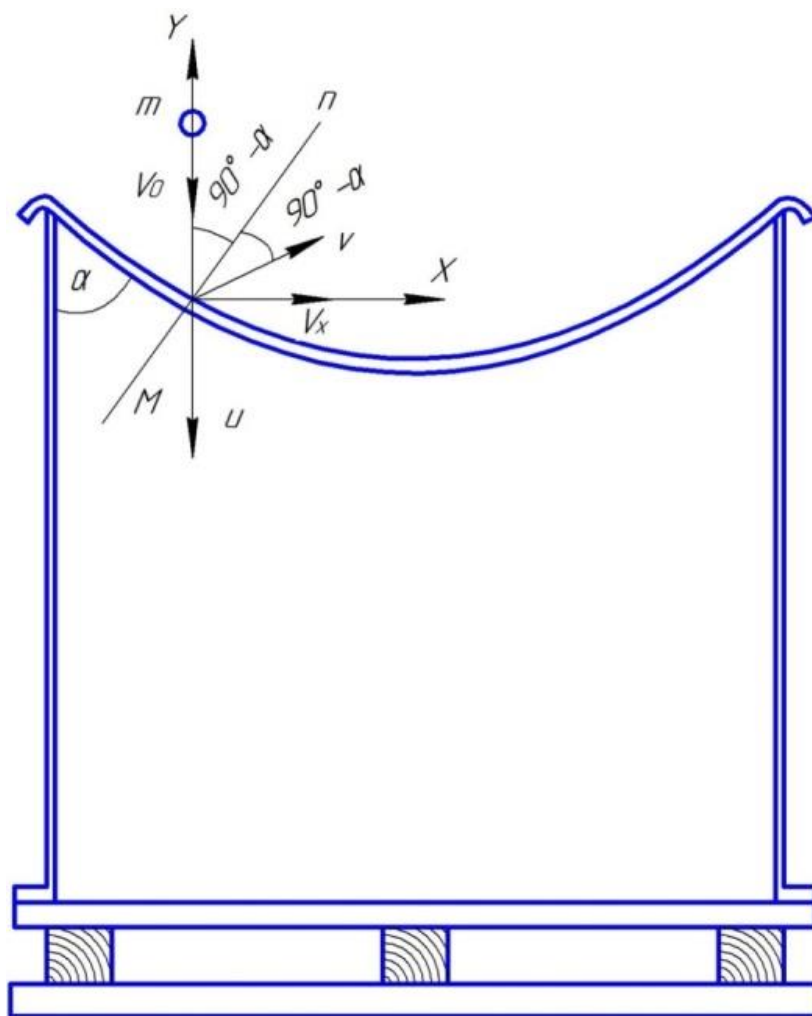


Рисунок 1 – Расчетная схема к определению параметров ударного взаимодействия клубня с ремнем – гасителем

После преобразования окончательное выражение будет иметь вид:

$$v_y = v_{0y}^2 \sqrt{\frac{M_i - m}{M_i}}, \quad (4)$$

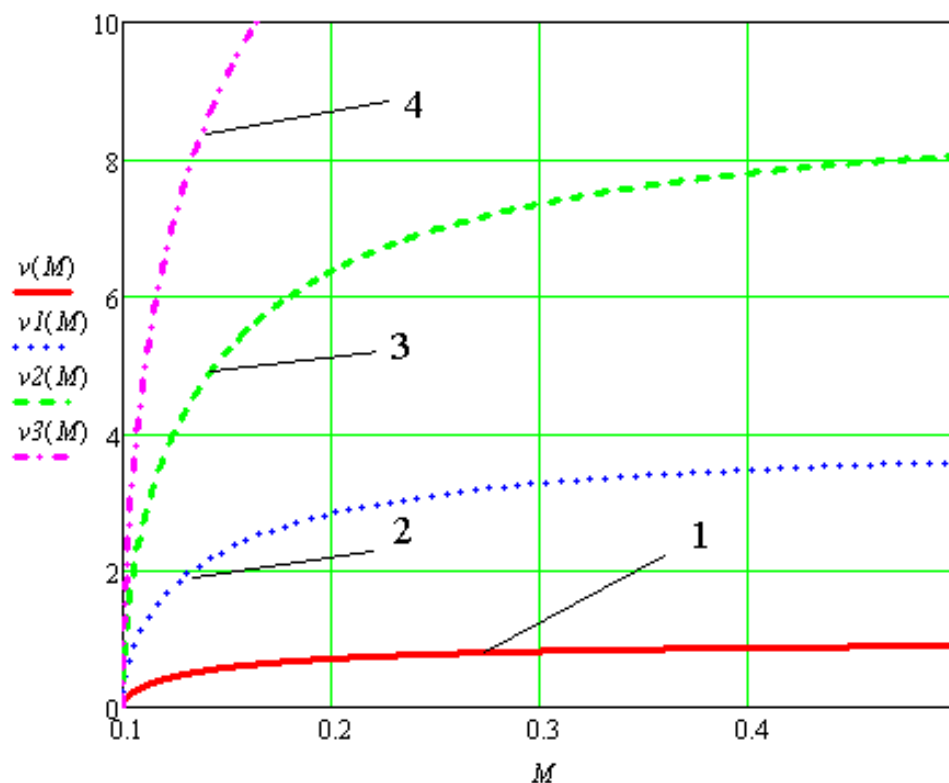
где: v_y зависит от соотношения массы клубня m и ремня-гасителя M_i .

Тогда, полная скорость клубня после удара определяется формулой:

$$v = \frac{v_y}{\cos(2\alpha)} = \frac{v_{0y}^2}{\cos(2\alpha)} \sqrt{\frac{M_i - m}{M_i}}, \quad (5)$$

Исследование показало, что увеличение угла взаимодействия α приводит к росту скорости v , что демонстрирует зависимость скорости клубня от начальной скорости падения, его массы и угла наклона ремня-гасителя. Полученные зависимости скорости (рисунок 2) от этих параметров подтверждают, что ремень-гаситель снижает ударные нагрузки на клубни.

В дальнейшем смоделируем процесс падения картофеля с заданной высоты с учётом массы клубней (рис. 3).



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 – Зависимость скорости падения клубня от высоты падения и угла падения

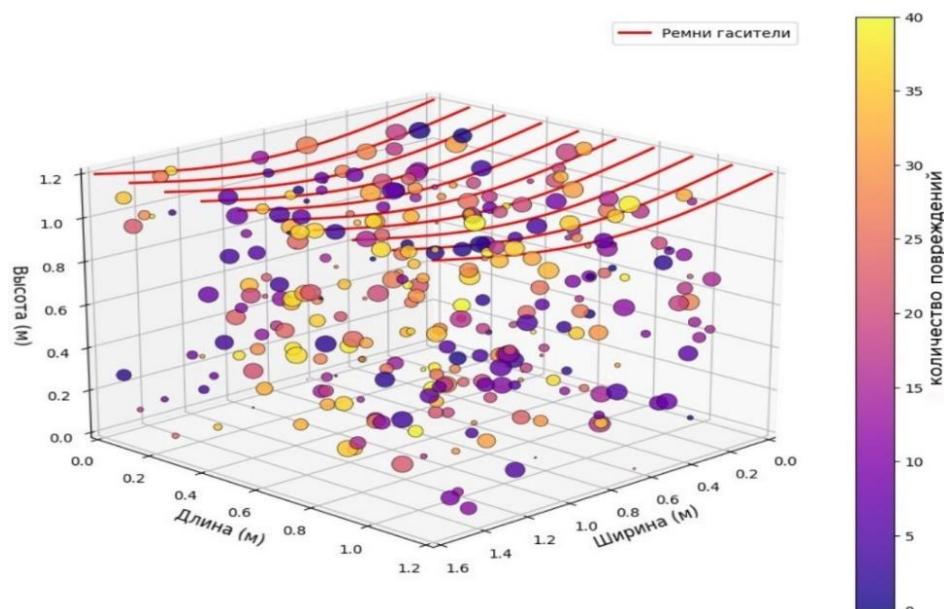


Рисунок 3 – Влияние ремней гасителей на снижение повреждений клубней картофеля

Расчёты проводились с использованием уравнений кинематики и создания графической модели в Python, визуализирующей движение и соударение клубней.

В модели учтены параметры контейнера и масса клубней картофеля, что позволило анализировать повреждения как функцию высоты падения и характера взаимодействий (рис. 4).

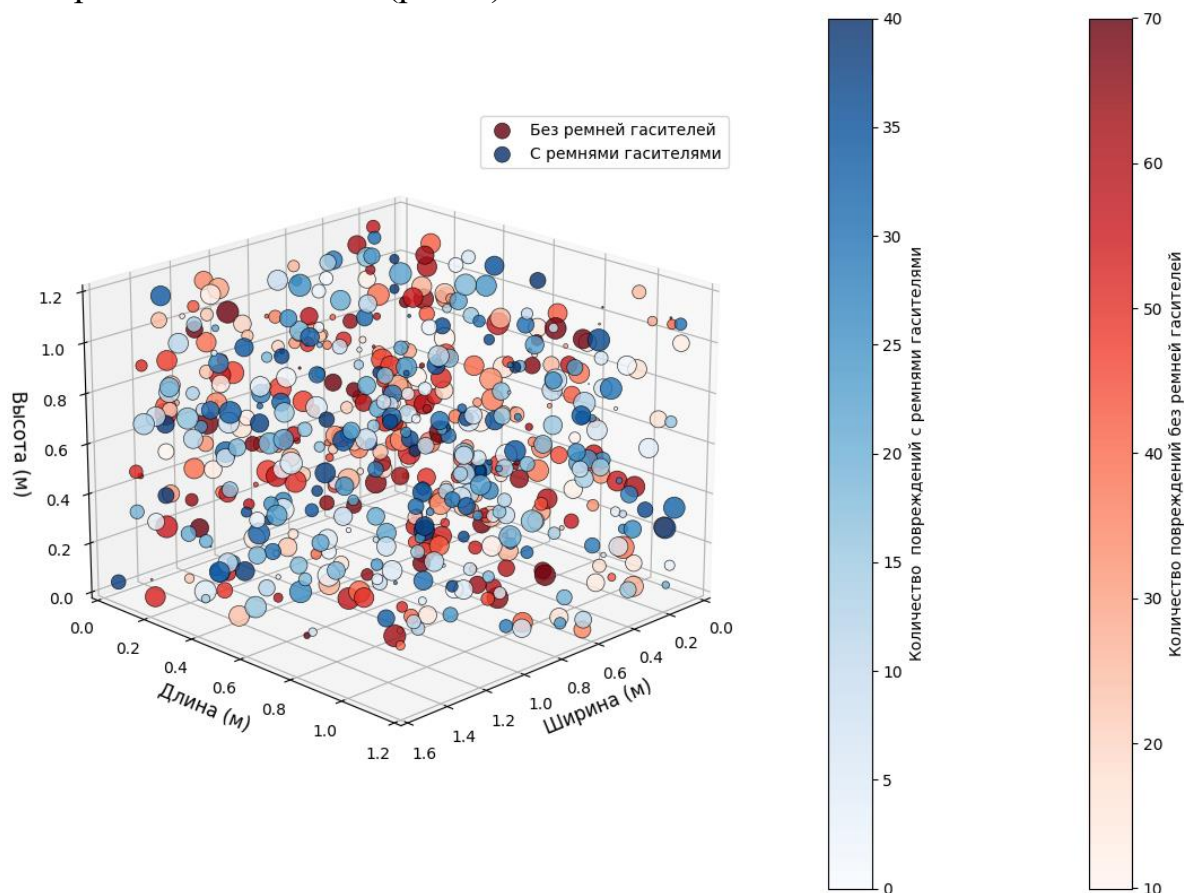
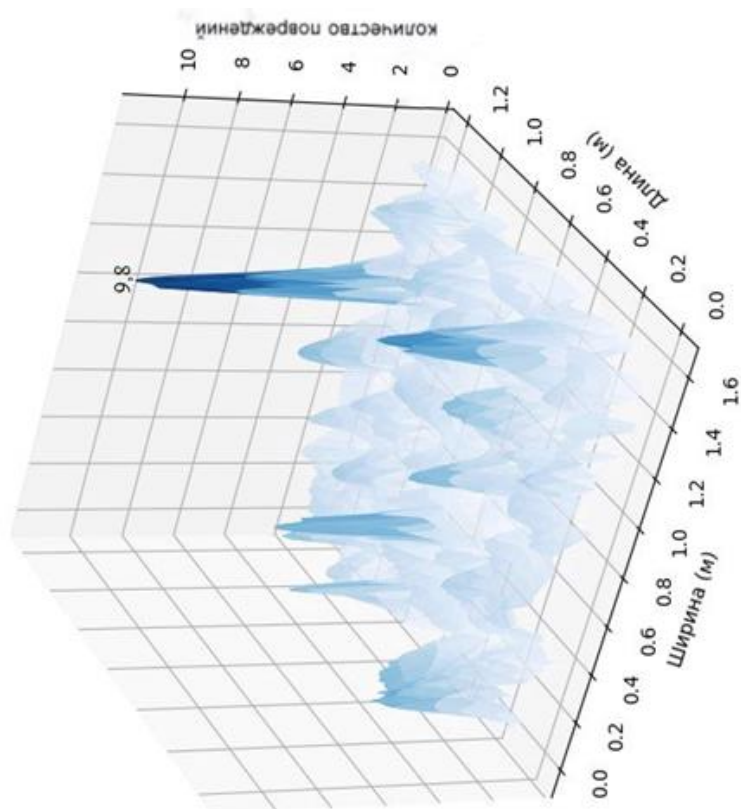


Рисунок 4 – Сравнительный анализ снижения повреждений клубней картофеля без учета ремня гасителя и с ремнем гасителем

Установлено, что увеличение повреждений происходит (рис. 5) в центре контейнера из-за соударений клубней. Для снижения повреждений смоделированы ремни-гасители, влияющие на скорость, траекторию и силу удара. Сравнение процентного соотношения повреждений с ремнями и без них показало, что установка ремней-гасителей снижает повреждения. Трёхмерные поверхности визуализировали разницу в повреждениях, подтверждая уменьшение ударной силы благодаря ремням.

Полученные результаты позволяют совершенствовать контейнеры, что особенно важно для сохранения качества семенного картофеля. При этом использование гасителей способствует снижению повреждений картофеля и повышению его товарного качества.

Повреждения с ремнями гасителями



Повреждения без ремней гасителей

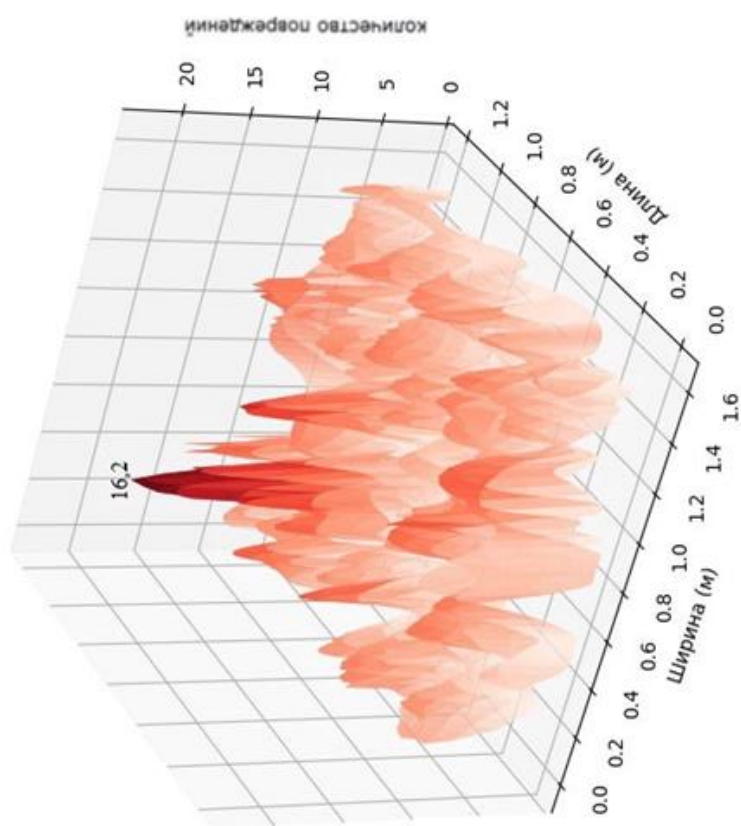


Рисунок 5 – Сравнительные трехмерные поверхности влияния ремней – гасителей на повреждения клубней картофеля

В третьей главе «Лабораторные исследования» представлена методика и результаты лабораторных исследований. Для уточнения параметров ремней-гасителей разработана программа лабораторных исследований, состоящая из следующих этапов:

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 (рис. 6).

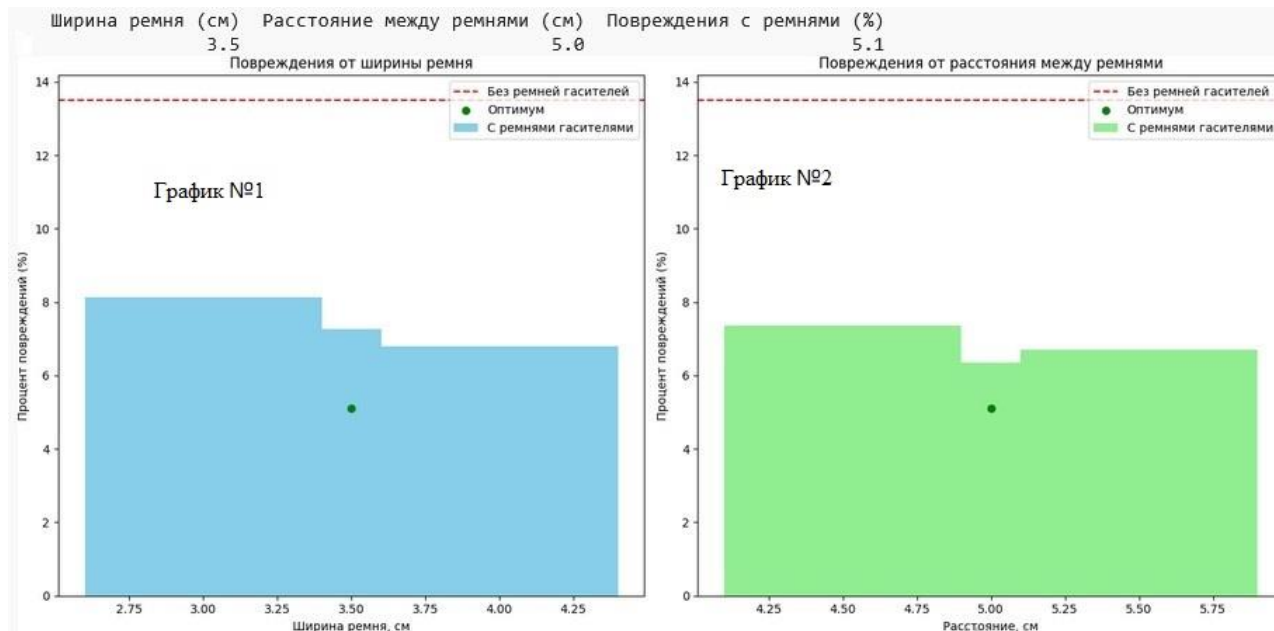


Рисунок 6 – Результаты обработки данных в программном комплексе Python

Контейнеры для исследования имели стандартные геометрические размеры, но различались по конструкции: один был оснащен ремнями-гасителями, второй - типовой. В рамках проводимых исследований параметры самих контейнеров оставались неизменными, чтобы исключить влияние

геометрии или конструкции контейнера на результаты эксперимента. Вместо этого варьировались параметры самих ремней-гасителей, непосредственно влияющих на уменьшение 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): $17 \leq \rho_3 \leq 20$.

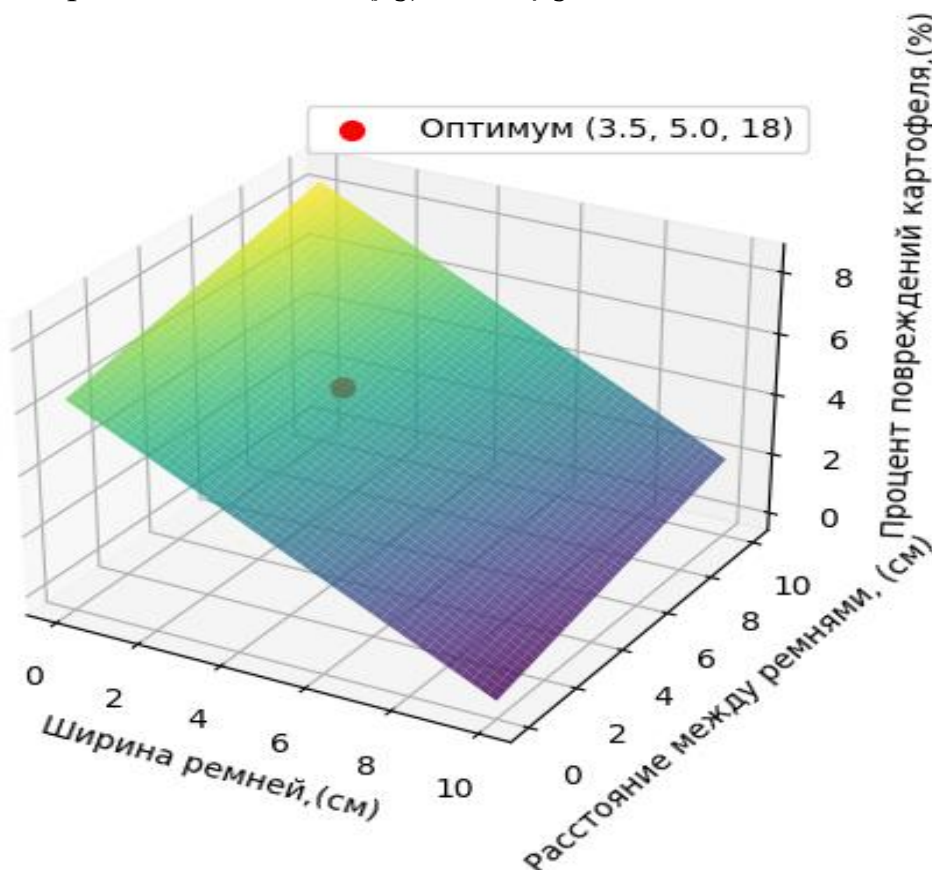


Рисунок 7 – Аналитическая зависимость

Анализ проведенных исследований подтверждает, что ремни-гасители снижают повреждения картофеля по сравнению с их отсутствием. Уточненными параметрами являются: ширина ремня: 3,5 см, расстояние между ремнями: 5,0 см, количество ремней: 18.

Проведен регрессионный анализ, с целью установления функциональной зависимости между переменной (y) и независимыми переменными (x_1, x_2, x_3).

$$y = 13,5 - 0,63x_1 + 0,2x_2 - 0,4x_3, \quad (6)$$

где, x_1 - ширина ремня-гасителя; x_2 - расстояние между ремнями-гасителями; x_3 - количество ремней-гасителей, y - процент повреждений картофеля, %.

Последующее решение уравнения 6 и обработка полученных данных, выполненных с использованием языка программирования Python, позволили установить аналитические зависимости, описывающие влияние параметров ремней-гасителей на снижение повреждений клубней. Полученные зависимости позволяют найти параметры как наиболее подходящие с точки зрения снижения силы удара и повреждений картофеля: ширина ремня $\rho_1=3,5$ м, расстояние между ремнями $\rho_2=5,0$ см, количество ремней $\rho_3=18$.

Определена прочность ремней-гасителей. Проанализированы три варианта установки ремней. Результаты тестов показали, что установка ремней – гасителей на высоте 115 см с прогибом 10 см обеспечивает минимальный процент повреждений (5,21 %).

В четвертой главе «Экспериментальные исследования и анализ их результатов» представлена методика и результаты исследований. Целью экспериментальных исследований являлась оценка применения контейнеров с ремнями-гасителями при уборке и последующем хранении семенного картофеля. Исследования проводились в ОАО «Аграрий» в Касимовском районе Рязанской области. Исследования 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». Оценивались два типа контейнеров: «А» (оснащённые ремнями-гасителями) и «Б» (стандартные контейнеры без ремней).

Первый этап испытаний включал в себя определение повреждений клубней, которые находятся в зависимости от использования ремней-гасителей при загрузке картофеля в контейнеры. Установлено, что средний процент повреждений 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 полученных данных 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.

Второй этап испытаний включал в себя анализ динамики потерь семенного картофеля при хранении. В дальнейшем 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%. Разница в показателях подтверждена дисперсионным анализом.

Оценка экономического эффекта произведена в ценах 2025 года по последнему году экспериментальных исследований:

- 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 см, расстояние между ремнями 0,05 см, 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.

Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России

1. 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.

2. 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.

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

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная

Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1649 подписано в печать 07.05.2025г.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования*

*«Рязанский государственный агротехнологический университет имени
П.А. Костычева»*

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1

*Отпечатано в издательстве учебной литературы и учебно-методических пособий
ФГБОУ ВО РГАТУ*

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1