

На правах рукописи



АНТОНЕНКО МАКСИМ ВЛАДИМИРОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЯБЛОК В АПК

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань - 2024

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

Научный руководитель:	доктор технических наук, доцент Лимаренко Николай Владимирович
Официальные оппоненты:	Старовойтова Оксана Анатольевна, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», главный научный сотрудник отдела агротехнологии
	Белю Людмила Петровна, кандидат технических наук, НОЧУ ВО «Московский экономический институт», доцент кафедры экономики и бизнеса
Ведущая организация:	федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Защита диссертации состоится «07» ноября 2024 года в 12.00 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 «___» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Юхин Иван Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Увеличению производства продукции яблок отводится значительное внимание в решениях Правительства Российской Федерации. Согласно оценкам Росстата, а также аналитического агентства «BusinesStat», объем рынка яблок в 2017-2022 г.г. увеличился на 26,9%, что составляет прирост с 1,5 до 2,8 млн. тонн в год. Данный темп соответствует принятой Доктрине продовольственной безопасности РФ, а также «Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы». Увеличение производства продукции требует развития научно-технической деятельности по созданию и внедрению современных технологий производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, обеспечивающих независимость Российской Федерации и конкурентоспособность отечественного агропромышленного комплекса.

Исследования показывают, что в процессе уборки и внутрихозяйственной транспортировки 15-20% яблок получают повреждения. Ежегодные потери сельскохозяйственной продукции из-за повреждений составляют примерно 8 млрд рублей, сокращение которых является важной задачей, а перспективным вариантом её решения является разработка устройства, параметры которого позволяют снизить повреждения урожая.

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

Цель исследований – снижение повреждений яблок при транспортировке в АПК.

Задачи исследований:

1. Провести анализ существующей тары для транспортировки яблок, проведенных исследований в этой области
2. Теоретически исследовать факторы, оказывающие влияние на повреждения яблок при контейнерной транспортировке, провести их математическую формализацию.
3. Теоретически обосновать параметры контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке.

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

5. Оценить экономическую эффективность предложенного решения.

Объект исследования – процесс транспортировки яблок в АПК.

Предмет исследований – параметры контейнера, снижающего повреждение яблок при транспортировке.

Научная новизна – научно обоснованы параметры контейнера с применением демпфирующих материалов, снижающего повреждение яблок при транспортировке. Разработана математическая модель колебаний контейнера с учетом перевозимых яблок. Получены графические зависимости, связывающие повреждение яблок с основными эксплуатационными параметрами транспортировки. Установлены наиболее неблагоприятные сочетания эксплуатационных факторов, приводящие к увеличению вертикальных ускорений, испытываемых яблоками при транспортировке. Разработана методика, позволяющая оценить влияние скоростных, нагрузочных параметров контейнера на повреждение яблок при транспортировке.

Теоретическая значимость работы

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

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

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

Положения, выносимые на защиту:

- результаты теоретического обоснования параметров контейнера,

снижающего повреждения яблок при транспортировке;

- результаты экспериментальных исследований, позволяющие оценить эффективность теоретически обоснованных параметров контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке;

- оценка экономического эффекта предложенного решения.

Достоверность результатов исследований

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

Реализация результатов исследования.

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

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

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

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 17 печатных работ, в том числе, 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Общий объем публикаций соискателя составляет 2,94 усл. п.л., в т. ч. доля соискателя - 2,06 усл. п.л.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа представлена

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы исследования и описана степень ее разработанности, поставлены цель и задачи исследований, раскрыты методология и методы исследований, приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы, основные положения диссертации, выносимые на защиту, отражены сходимость теоретических и экспериментальных исследований и апробация результатов исследования.

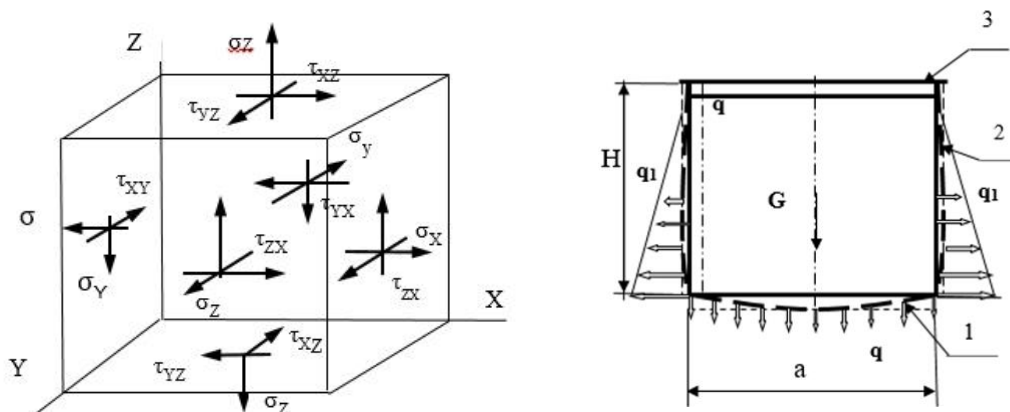
В первой главе «Анализ факторов, влияющих на транспортировку яблок, цель и задачи исследования» рассмотрены основные причины повреждения яблок при транспортировке, проведен анализ технологических схем уборки и транспортировки яблок с использованием различной тары. В главе рассмотрены технические средства для уборки, погрузки и транспортировки плодов. Проведен анализ зависимости повреждений яблок от их физико-механических характеристик и условий внутрихозяйственных перевозок.

Во второй главе «Теоретические исследования факторов, способных оказывать влияние на повреждения яблок при контейнерной транспортировке» рассмотрены теоретические предпосылки к обоснованию транспортировки яблок в контейнерах. По результатам экспериментальных исследований было выявлено, что даже при плотной укладке плодов в таре нельзя гарантировать их сохранность при наличии колебательных нагрузок, особенно при относительно невысоких значениях ускорения. Кроме того, товарный вид плодов теряется уже на третий-четвертый день после воздействия вибрации, что негативно сказывается на их хранении. Эти выводы накладывают значительные ограничения на перевозку плодов в таре по дорогам с неудовлетворительным состоянием дорожного покрытия. Следовательно, для таких дорог необходимо использовать тару, которая стабилизирует переменные нагрузки и предотвращает столкновение плодов друг с другом и со стенками тары.

Проведено исследование напряженного состояния яблок, находящихся в разработанном контейнере, снижающим повреждения яблок при транспортировке с демпфирующим устройством (далее - экспериментальный контейнер). Дерево стойко к концентрации напряжений ввиду наличия внутренних поверхностей раздела между волокнами. Приняв во внимание эти факторы, конструкцию экспериментального контейнера приняли из древесины.

Напряженное состояние перевозимых яблок находится в зависимости от

характера заполнения экспериментального контейнера, коэффициента трения между его стенками и яблоками, а также трения между контактными поверхностями плодов, амплитуды вынужденных колебаний и жесткости демпфера. Каждое напряжение с учетом действующих поверхностных сил материала представлено на рисунке 1.



а - компоненты, действующих напряжений на элементарных площадках, $\sigma_z, \sigma_x, \sigma_y$ - нормальные напряжения; $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{zy}$ - касательные напряжения; б - расчетная схема экспериментального контейнера, наполненного яблоками, q, q_1 – горизонтальная и, соответственно, боковая распределенная реакция от веса яблок; G – вес яблок; 1 – днище экспериментального контейнера; 2, 3 – стенки и, соответственно, крышка экспериментального контейнера

Рисунок 1 – Расчетные схемы экспериментального контейнера

Получили выражение для определения напряженного состояния перевозимых яблок на поверхности экспериментального контейнера (верх слоя яблок):

$$T_H^{\text{верх}} = k_{\text{зап}} \frac{c \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right)}{S} \begin{vmatrix} A_B \operatorname{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f A_B \operatorname{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f A_B \\ f A_B \operatorname{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & A_B \operatorname{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f A_B \\ f A_B \operatorname{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & f A_B \operatorname{tg}\left(\sqrt{\frac{c}{m}} t\right) & A_B \end{vmatrix} \quad (1)$$

Напряженное состояние перевозимых яблок - на дне экспериментального контейнера (нижний слой яблок):

$$T_H^{\text{НИЗ}} = k_{\text{зап}} \frac{c \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}}t\right)}{s} \begin{vmatrix} A_B t g\left(\sqrt{\frac{c}{m}}t\right) & f A_B t g\left(\sqrt{\frac{c}{m}}t\right) & f \left(A_B - \frac{mg}{c \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}}t\right)} \right) \\ f A_B t g\left(\sqrt{\frac{c}{m}}t\right) & A_B t g\left(\sqrt{\frac{c}{m}}t\right) & f \left(A_B - \frac{mg}{c \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}}t\right)} \right) \\ f A_B t g\left(\sqrt{\frac{c}{m}}t\right) & f A_B t g\left(\sqrt{\frac{c}{m}}t\right) & A_B - \frac{mg}{c \cos\left(\sqrt{\frac{c}{m}}t\right)} \end{vmatrix} \quad (2)$$

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

Жёсткость днища деревянного контейнера определена по формуле:

$$D = \frac{Eh^4}{12(1-\mu^2)}, \quad (3)$$

где E – модуль упругости, находящийся в пределах от 11000 до 14000 МПа; h – толщина днища экспериментального контейнера, мм; μ – коэффициент Пуассона для древесины при усилении, направленном вдоль волокон, $\mu = 0,5$.

После выполнения необходимых расчетов и преобразований, получили:

- выражение для прогиба днища экспериментального контейнера:

$$W(x) = W_1(x) + W_2(x) \quad (4)$$

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

$W_2(x)$ – прогиб от веса яблок;

$$W_1(x) = \frac{q}{12D} + \left(\frac{a^2 x^2}{2} - ax^3 + \frac{x^4}{2} \right); \quad (5)$$

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

С учетом прогиба от реакции сжатия яблок и прогиба от веса яблок, получим зависимость определяющие толщину для днища контейнера:

$$h \geq \sqrt[8]{\frac{k \left[\frac{qa}{2} + V\gamma g \right] \cdot \left[\frac{qa}{3} + V\gamma g \right] (1-\mu^2) \sqrt{(1+\mu^2-\mu)} \cdot \gamma_m}{R_B \gamma_c}} \quad (7)$$

Достоверность выполненного теоретический расчета составила 95%, которая была доказана проведением дополнительного расчета напряженно-деформированного состояния днища экспериментального

контейнера от статических и динамических воздействий с использованием программного комплекса, работа которого основана на методе конечных элементов «Structure CAD».

На рисунке 2 представлены результаты выполненного расчета: суммарные деформации (мм) днища экспериментального контейнера, поля напряжений МХ (Тм/м), поля напряжений МУ (Тм/м).

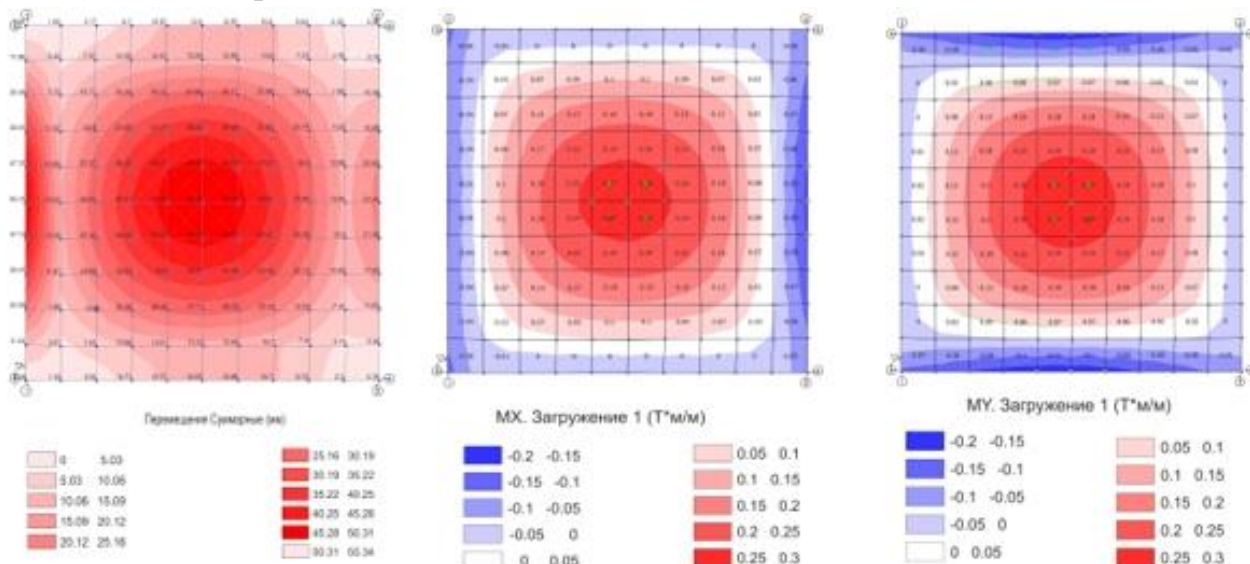
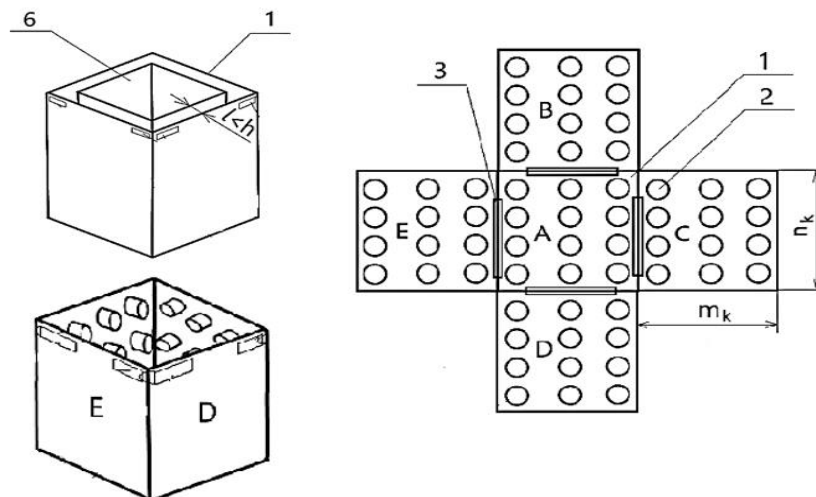


Рисунок 2 - Суммарные деформации (мм) днища экспериментального контейнера, поля напряжений МХ (Тм/м), поля напряжений МУ (Тм/м)

Разработана схема экспериментального контейнера, снижающего повреждение яблок при транспортировке (рисунок 3).

Экспериментальный контейнер для транспортировки яблок (1) включает в себя: боковые стенки (В, С, D, E); усовершенствованные полиэтиленовыми амортизаторами с жесткостными полиуретановыми структурами (демпферы); днище (А), состоящее из двух элементов, расположенных на некотором расстоянии друг от друга и способных перемещаться в вертикальном направлении, при самостоятельном восстановлении формы. Днище (А), состоящее из двух элементов, необходимо для обеспечения пространственной жесткости амортизатора (2). Боковые стены усовершенствованы нанесением на них двухслойного вспенено-полиэтиленового покрытия с пенопропиленовыми амортизаторами (2). Также для крепления стенок и днища друг к другу используют регулируемые крепления и фиксаторы. В результате того, что двойное дно контейнера выступает в роли амортизирующей платформы внутри контейнера, поглощая внешние колебания, а усовершенствованные стенки и крышка сокращают поверхностные повреждения за счет своей мягко-эластичной амортизируемой структуры, мы получили положительный эффект от разработанного контейнера, который заключается в снижении

повреждений яблок.



1 – сборный экспериментальный контейнер (А – днище; В, С, D, Е – боковые стенки);
2 – упругие элементы; 3 – петли; 6 – ящик.

Рисунок 3 –Схема экспериментального контейнера

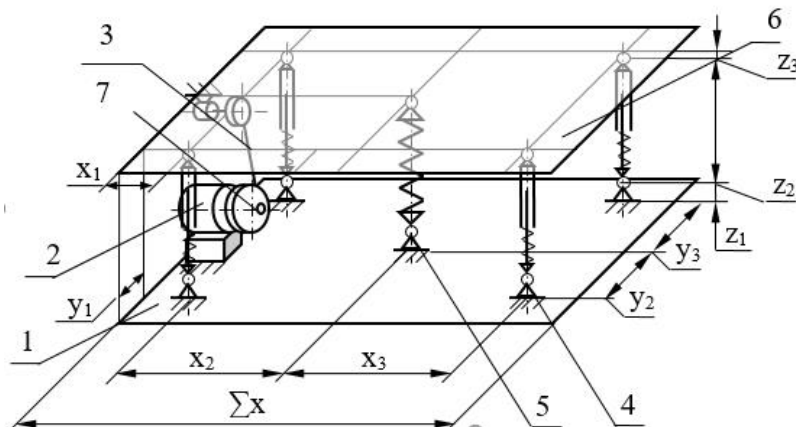
Теоретически обосновано, что использование экспериментального контейнера позволяет транспортировать яблоки с уменьшением % их повреждения, что подтверждается результатами лабораторных исследований и производственного эксперимента.

В рамках данного исследования используем имитационное моделирование для исследования параметров, определяющих плавность хода транспортного средства при транспортировке яблок, с целью определения % их повреждения.

В третьей главе «Методики экспериментальных исследований экспериментального контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке» определено влияние различных режимов вибрации на повреждения плодов при транспортировке в стандартной таре и в экспериментальном контейнере. В главе описаны методики исследования величины повреждения яблок при транспортировке, рассмотрены при имитационном моделировании в лабораторных условиях положения, полученные при теоретическом анализе, разработана программа и методики экспериментальных исследований. Для выполнения экспериментальных исследований было принято лабораторное оборудование, в том числе регистрирующее, а также средства механизации их проведения.

Дорожные испытания не только имеют высокую стоимость, но и не позволяют с необходимой степенью точности воспроизводить режимы нагружения и движения автотранспортного средства. Исследование частотных характеристик яблок может проводиться, как в дорожных условиях, так и при воспроизведении этих условий на специализированном оборудовании

(вибростенде). Для проведения исследований была создана экспериментальная установка, представленная на рисунке 4, состоящая из вибрационного стенда, имитирующего вертикальные и горизонтальные колебания транспортного средства с грузом во время движения по пересеченной местности и комплекса контрольно-измерительной аппаратуры.



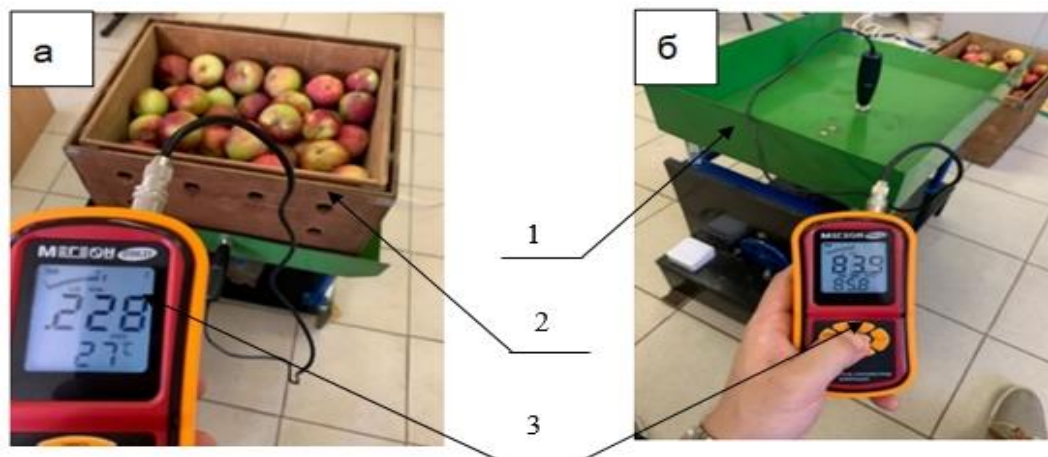
1 – основание вибростенда; 2 – электродвигатель; 3 – шток; 4 – направляющие пружины; 5 – сферическая возвратная пружина; 6 – виброплощадка; 7 - эксцентрик с регулятором амплитуды движения штока.

Рисунок 4 – Принципиальная схема вибрационного стенда для динамического испытания экспериментального контейнера

Экспериментальная установка предназначена для проведения испытаний изделий на прочность и устойчивость к вибрациям, и позволяет проводить испытания изделий в условиях воздействия широкополосной случайной и синусоидальной вибрации. Экспериментальная установка позволяет реализовывать диапазон транспортной вибрации (частоты колебаний от 0 до 50,0 Гц, амплитуды колебаний от 0,3 до 10,0 мм); обеспечивает плавное изменение частоты и амплитуды колебаний и при необходимости выдержку на заданном режиме колебаний. Для определения мощности электродвигателя вибростенда использовался амперметр и вольтметр.

Последовательность работы на экспериментальном вибростенде следующая. Загружаем в установку, имитирующую ТС, экспериментальный контейнер с яблоками. Приводим в движение вибростенд, запустив электродвигатель (2); регулятором оборотов устанавливаем определенную скорость вращения электродвигателя, имитируя скорость автомобиля, а также частоту вращения эксцентрика (7). При изменении параметров крутящего момента электродвигателя (2) можно имитировать: увеличение и уменьшение скорости движения транспортного средства по ровной дороге, по грунтовой дороге. Таким образом появляется возможность получить значения вертикальных и горизонтальных колебаний экспериментального контейнера с

грузом в зависимости от различных факторов. Общий вид вибрационного стенда (1) при проведении динамического испытания экспериментального контейнера (2) представлен на рисунке 5. Частоту вращения эксцентрика, амплитуду и частоту колебаний виброплощадки, виброскорость и виброускорение определяем с помощью портативного виброметра «МЕГЕОН 09631» (3).



а – экспериментальная установка вибростенда при выполнении испытания; б - общий вид экспериментальной установки вибростенда; 1 – вибрационный стенд, 2 - экспериментальный контейнер, 3 - портативный виброметр

Рисунок 5 – Общий вид вибрационного стенда для динамического испытания контейнерной тары, снижающей повреждения яблок при транспортировке

Исследование проводили с изменением амплитуды колебаний от 5,0мм до 35,0мм с шагом 10,0мм, а также с изменением частоты работы двигателя от 1,5 до 5,0 Гц.

В результате исследований:

- проведена оценка технических характеристик разработанной установки вибрационного стенда, имитирующего реальные процессы движения ТС, перевозящего груз;

- определено, что виброустановка позволяет реализовывать весь диапазон транспортной вибрации (частоты колебаний от 0 до 50,0 Гц и амплитуды колебаний от 0,3 до 10,0 мм); обеспечивать плавное изменение частоты и амплитуды колебаний и, при необходимости, выдержку на заданном режиме колебаний;

- проведено органолептическое исследование используемых для исследования яблок с целью определения показателей их качества в соответствии с действующими нормативными документами;

- разработана методика исследования повреждения яблок от зависимости от частоты вращения двигателя, амплитуды колебаний и времени проведения эксперимента. Выполнены лабораторные исследования возможных

повреждений яблок при перевозке в экспериментальном контейнере и в стандартной таре при воздействии параметров вибрации;

- изучено влияния условий микрорельефа местности и воздействие вибрации на повреждения яблок при движении ТС. Разработана методика определения влияния микрорельефа местности на параметры колебаний кузова при транспортировке в стандартной таре и в экспериментальных контейнерах.

Производственные исследования проводились в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области.

В четвертой главе «Анализ результатов исследований контейнера, снижающего повреждения яблок при транспортировке и их математическая формализация» представлены результаты проведенных исследований с использованием вибростенда, имитирующего движение ТС при перевозке груза в стандартной таре и в экспериментальном контейнере. На рисунке 5 представлены окончательные результаты зависимости повреждения яблок, %, при частоте вращения двигателя 2,8 Гц.

По результатам эксперимента, проведенного при частоте вращения двигателя 2,8 Гц для стандартной тары и экспериментального контейнера, из графической зависимости, представленной на рисунке 6, определено, что процент повреждения яблок, перевозимых в экспериментальном контейнере значительно ниже, чем в стандартном. Для того, чтобы проверить, существует ли зависимость между факторами, построим точечную диаграмму (поле корреляции) рассеивания.

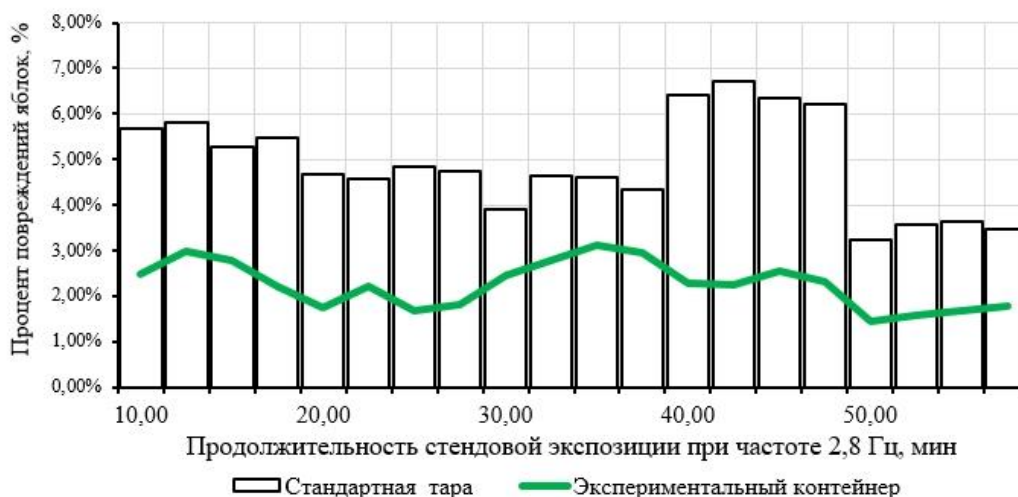


Рисунок 6 – Графическая зависимость повреждений яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте 2,8 Гц

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

модели, ее адекватности, чем он ближе к единичному значению, тем лучше (при прочих равных условиях) оценено уравнение регрессии.

На графической зависимости, приведенной на рисунке 7, можно отметить, что частоте колебаний 2,8 Гц и амплитуде колебаний от 5 – 35 мм при времени проведения стендовой экспозиции 37 мин % повреждения яблок, находящихся в стандартной таре, составил 6%, в экспериментальном контейнере – 2,8 %.

Повреждения яблок при колебаниях на частоте 2,8 Гц с амплитудами от 5,0 до 35,0 мм



Рисунок 7 – Графическая зависимость повреждения яблок, %, от продолжительности исследования, мин, при частоте 2,8 Гц с амплитудами от 5,0 – 35,0 Гц

Для нахождения коэффициентов уравнения регрессии, решим систему уравнений методом наименьших квадратов (МНК), определив средние значения переменных. После исключения статистически незначимых для принятого уровня $\alpha = 0,05$ членов, уравнение регрессии, описывающее зависимость процента повреждения яблок от продолжительности стендовой экспозиции на частоте 2,8 Гц, приняло вид:

- при использовании стандартной тары:

$$y = -0,0000x^3 + 0,0004x^2 - 0,0103x + 0,1245, \quad (8)$$

- при использовании экспериментального контейнера:

$$y = -0,0000x^3 + 0,0001x^2 - 0,0034x + 0,0474. \quad (9)$$

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

В результате того, что двойное дно контейнера выступает в роли амортизирующей платформы для ящика, оно поглощает внешние колебания, а усовершенствованные стенки и крышка сокращают поверхностные повреждения за счет своей мягко-эластичной амортизируемой структуры,

получаем положительный эффект от разработанного устройства, который заключается в снижении повреждений плодов, и, в конечном результате, в уменьшении потерь продукции.

Из графиков видно, что вибрационное воздействие оказывает различное влияние на плоды. При равенстве параметров вибрации несколько меньше повреждений наносится плодам при горизонтальных колебаниях. Это объясняется тем, что динамические нагрузки от силы инерции плодов при этом типе колебаний меньше суммарного действия веса и силы инерции столба плодов при вертикальных и круговых колебаниях. Как показала математическая обработка, при увеличении длины неровности и скорости движения частота колебаний кузова транспортного средства увеличивается, что оказывает негативное влияние на перевозимый груз яблок. Исследования влияния микрорельефа местности на сохранность груза при транспортировке в контейнерах проводили с использованием возможностей экспериментальной установки и измерительных инструментов.

В пятой главе «Оценка экономической эффективности использования контейнера, снижающего повреждения яблок при перевозке» был рассчитан экономический эффект от применения разработанного контейнера. Использование экспериментального контейнера с внутренней демпфирующей поверхностью при обоснованных параметрах обеспечивает следующий экономический эффект: от снижения величины повреждений продукции 28 235руб. на одну тонну перевозимой продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

3. Теоретически обоснованы параметры контейнера с внутренней демпфирующей поверхностью, снижающего повреждения яблок при транспортировке. Обоснованными параметрами следует считать следующие: при нагружении контейнера, имеющего размеры 0,47x0,28x0,25(h), яблоками общим весом 18,0кг параметр жесткости составит $k=0,1 \cdot 10^{11}$ (м⁶/Н),

обоснована толщина днища - 0,0049м, эти параметры дают возможность снизить получаемые повреждения яблок в процессе транспортировки.

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

5. Использование экспериментального контейнера с внутренней демпфирующей поверхностью при обоснованных параметрах обеспечивает экономический эффект от снижения величины повреждений продукции 28 235 руб./т.

Рекомендации производству.

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

Перспективы дальнейшей разработки темы.

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

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

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

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

10.36508/RSATU.2023.25.94.020.

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

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

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1617 подписано в печать 06.09.2024 г.
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*