

*На правах рукописи*



**ПАНОВА АЛЛА АНАТОЛЬЕВНА**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ  
ТРАНСПОРТИРОВКИ ЯБЛОК**

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)

|                                   |                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Научный руководитель:</b>      | доктор технических наук, профессор<br><b>Юхин Иван Александрович</b>                                                                                                    |
| <b>Официальные<br/>оппоненты:</b> | <b>Фомин Сергей Денисович,</b><br>доктор технических наук, доцент,<br>ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный<br>аграрный университет», профессор кафедры<br>«Механика» |
|                                   | <b>Белю Людмила Петровна,</b><br>кандидат технических наук, НОЧУ ВО<br>«Московский экономический институт», доцент<br>кафедры экономики и бизнеса                       |
| <b>Ведущая организация:</b>       | Федеральное государственное бюджетное<br>научное учреждение «Федеральный научный<br>агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ<br>ВИМ)                                       |

Защита диссертации состоится «10» июня 2025 года в 11.00 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](http://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.** Благодаря высокому содержанию витаминов и биологически активных веществ плоды имеют исключительно важное значение в питании человека. Однако потребность в них удовлетворяется в Российской Федерации далеко не полностью.

Валовые сборы фруктов в Российской Федерации на протяжении последнего десятилетия неуклонно растут, но при этом аграрный сектор страны не может в полной мере удовлетворить все потребности населения, особенно в зимне-весенние периоды.

Ситуация осложняется тем, что не более 40% собранного урожая может быть переработано или потреблено в период уборки. Остальная продукция подлежит краткосрочному или длительному хранению, потери должны быть минимизированы.

Эффективность деятельности сельскохозяйственных предприятий, специализирующихся на выращивании яблок, напрямую зависит от сокращения их потерь на всех этапах производства, при оптимальном уровне финансовых и трудовых затрат является актуальным.

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросы транспортировки яблок в различные периоды времени занимались: Аксенов А.Г., Белю Л.П., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Бычков В.В., Дорохов А.С., Заводнов В.С., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Пустовалов В.С., Ряднов А.И., Сибирёв А.В., Симдянкин А.А., Успенский И.А., Цымбал А.А., Четвертаков А.В., Фомин С.Д., Юхин И.А., M. O'Brien, R.P. Singh, L.L., Clay-pool и другие ученые.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 годы, а именно подраздела 1.1.5. Повышение эксплуатационных показателей транспортных и технологических машин при внутрихозяйственных перевозках сельскохозяйственной продукции в агропромышленном комплексе 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» (№ гос.рег. 122020200038-8).

**Цель исследований** – снижение повреждений яблок при контейнерном способе их транспортировки.

### **Задачи исследований:**

1. Обосновать рациональность использования предлагаемой транспортной тары для внутрихозяйственной транспортировки яблок;

2. Обосновать параметры предложенного контейнера для транспортировки яблок;

3. Уточнить экспериментальным путем параметры предложенного контейнера для транспортировки яблок;

4. Оценить экономический эффект применения предложенного контейнера для транспортировки яблок в АПК.

**Объект исследования** – контейнер для транспортировки яблок.

**Предмет исследований** – амплитудно-частотные характеристики колебаний яблок при их транспортировке в таре.

**Научную новизну работы составляют:**

- параметры конструкции контейнера для транспортировки яблок, защищенная патентом РФ на полезную модель № 217289;
- допустимые значения амплитудно-частотных характеристик колебаний яблок в предложенном контейнере при их транспортировке.

**Теоретическую значимость работы составляют:**

- обоснованные параметры предложенного контейнера для транспортировки яблок, позволяющие снизить повреждения яблок при их внутрихозяйственной транспортировке в АПК;
- теоретические зависимости амплитудно-частотных характеристик колебаний яблок от параметров предложенного контейнера.

**Практическую значимость работы составляют:**

- теоретически обоснованные и экспериментально подтвержденные параметры предложенного контейнера для транспортировки яблок;
- результаты технико-экономического обоснования использования предложенного контейнера для транспортировки яблок.

**Методология и методы исследования.** Методология включала в себя: формирование характеристики исследования; выстраивание логической структуры (формулировку объекта, предмета, цели, задач исследования, подбор методов исследований, подготовку результатов и формирование выводов); планирование схемы исследования (этапов, разделов и т.п.).

При написании диссертации были использованы качественные (сбор и анализ знаний из открытых источников информации) и количественные (сбор, измерение и анализ данных) методы исследований.

**Положения, выносимые на защиту:**

- результаты анализа конструкций контейнеров для транспортировки яблок;
- теоретически обоснованные и экспериментально уточненные параметры предложенного контейнера для транспортировки яблок;
- результаты оценки целесообразности применения предложенного

контейнера для транспортировки яблок при внутрихозяйственной транспортировке в АПК.

### **Достоверность результатов исследований**

Результаты лабораторных и полевых испытаний были получены при помощи современного оборудования высокой точности (погрешность измерений менее 1%). Расхождение между результатами, полученными теоретически и экспериментально менее 3%.

Основные положения диссертации не противоречат результатам исследований отечественных и зарубежных ученых, опубликованным на отчетную дату в открытых источниках информации.

### **Реализация результатов исследования.**

Предложенный контейнер для транспортировки яблок проходил испытания в 2023-2024 гг. при вывозе урожая яблок из садов ООО «Авангард» Рязанской области Рязанского района.

**Личный вклад соискателя состоит в:** обосновании параметров предложенного контейнера для транспортировки яблок; постановке и проведении лабораторных и полевых исследований; оценке экономического эффекта от использования предложенного контейнера для транспортировки яблок, написании научных статей и составлении патента РФ на полезную модель.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационного исследования были обсуждены на XXI Международной научно-технической конференции Рязанского института (филиала) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет» (Рязань, 2023), 22 Международной научно-технической конференции Московского политехнического университета (Рязань, 2024), научно-практических конференциях ФГБОУ ВО РГТУ (2020 - 2024 гг.).

**Публикации.** По теме исследования опубликовано 13 печатных работ, в том числе: 2 – в изданиях рекомендованных ВАК РФ. Получен патент РФ на полезную модель. Общий объем публикаций составляет 4,56 печ. л., из которых 3,2 печ. л. принадлежит лично автору.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 105 наименований и приложений. Объем работы составляет 134 страницы и содержит 50 рисунков, 29 таблиц и 8 приложений.

## **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 вопроса»** рассмотрено современное состояние промышленного садоводства в России и перспективы его развития, проведен анализ требований, предъявляемых к качеству производимой продукции в АПК, в частности к яблокам, рассмотрена тара для внутрихозяйственной транспортировки яблок и изучены причины возникновения механических повреждений яблок и возможные пути их снижения.

**Во второй главе «Теоретическое обоснование параметров предложенного контейнера для транспортировки яблок»** рассмотрены причины повреждения яблок, перевозимых контейнерным способом.

Воспользовавшись допустимым значением кинетической энергии соударения яблок  $T$ , была определена безопасная высота падения плода:

$$h \leq \frac{T_{\text{доп}}}{m_i \cdot g} \quad (1)$$

где:  $T_{\text{доп}}$  – допустимое значение кинетической энергии при соударении яблок, Дж;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ;  $m_i$  – масса яблока некоторого сорта, кг.

Для примера построен график зависимости допустимой высоты падения яблок  $h$  от массы  $m$  сорта «Кандиль Орловский» (рис. 1).

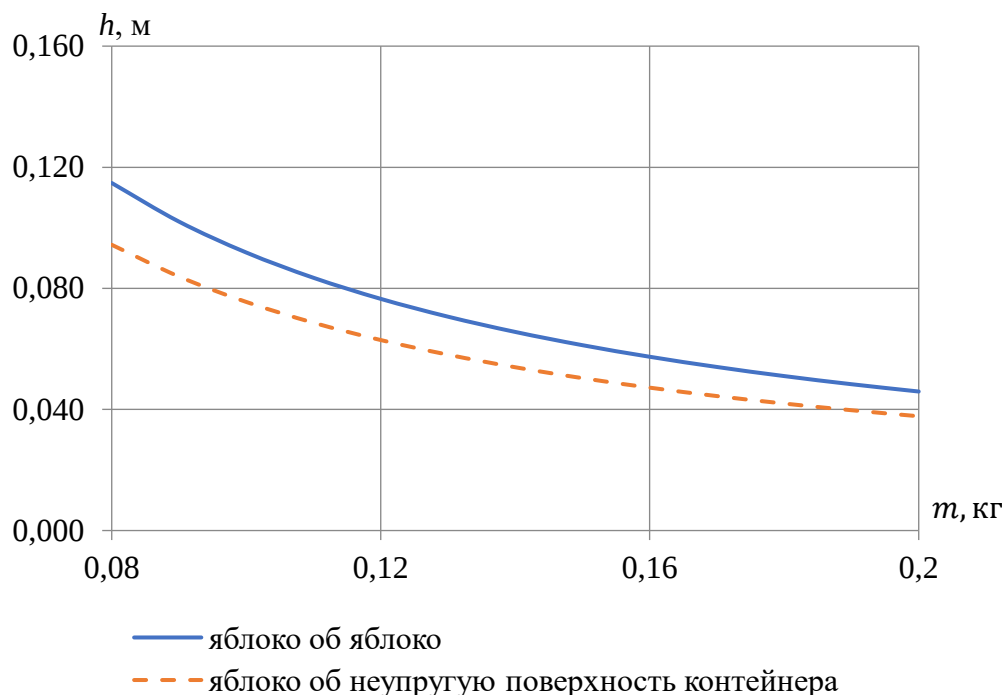


Рисунок 1 – Зависимость допустимой высоты падения яблок  $h$  от их массы  $m$  при соударении для яблок сорта «Кандиль Орловский»

Полученные величины допустимых высот падения указаны для единичных плодов. При транспортировке урожая в контейнере яблоки уложены, следовательно, на самый нижний плод будет оказывать давление масса всего столба. Продемонстрируем соответствующие расчеты на графике (рис. 2).

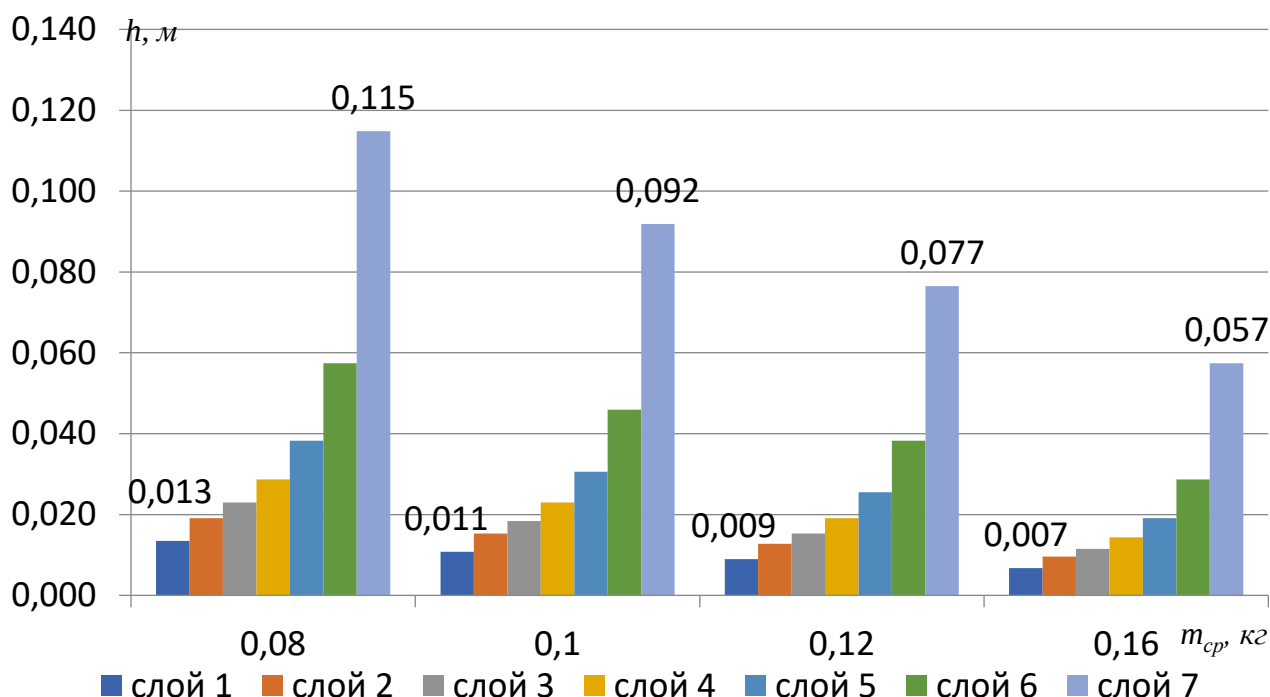


Рисунок 2 – Зависимость допустимой высоты подскока столба яблок  $h_{ст}$  от средней массы  $m_{ср}$  яблок сорта «Кандиль Орловский» (в различных слоях)

Из данных графика (рис. 2) следует, что минимальная высота подскока соответствует нижнему слою плодов в контейнере и варьируется в диапазоне от 7 до 14 мм. Для верхнего (в данном случае 7 слоя) данный показатель равен от 59 до 117 мм.

С одной стороны, допустимая величина подскока яблок верхнего слоя в разы больше, чем нижнего, но и для наступления данного события требуются менее серьезные причины (внешняя сила, приложенная к одному яблоку и к столбу яблок, будет существенно различаться)

Возникающие в процессе уплотнения нагрузки могут привести к образованию на плоде повреждения, снижающего его товарный сорт. Величина повреждения будет находиться в допустимых пределах при соблюдении условия:

$$N_{в} \leq N_{доп} \quad (2)$$

где:  $N_{в}$  - динамическая реакция в нижнем слое плодов в контейнере,  $H$ ;  $N_{доп}$  – допустимое значение динамической реакции, на нижний слой плодов в контейнере  $H$ .

Размер повреждения плодов будет находиться в допустимых пределах,

если величина кинетической энергии их соударений не превышает допустимое значение  $T_{\text{доп}}$ , Дж  $\left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2}\right)$ .

$$(1 - k_1^2) \cdot \frac{2m_{\text{ср}} \cdot M}{m_{\text{ср}} + M} \cdot A_b^2 \cdot \omega^2 \leq T_{\text{доп}} \quad (3)$$

где:  $m_{\text{ср}}$  – средневзвешенное значение массы яблока  $i$  – го сорта, кг;  $k_1$  – коэффициент восстановления, характеризующий упругие свойства плодов при соударении друг с другом;  $M$  – масса плодов и контейнера, кг;  $A_b$  – амплитуда вынужденных колебаний, м;  $T_{\text{доп}}$  – допустимая кинетическая энергия соударения плодов, Дж;  $\omega$  – угловая частота возмущающей силы,  $\text{с}^{-1}$ .

Ускорение плодов при допустимых параметрах колебаний для яблок сорта «Кандиль Орловский» расположенных в верхнем слое контейнера можно представить следующим образом (рис. 3):

$$A_b \cdot (2\pi \cdot f)^2 \leq 14,6 \text{ g} \quad (4)$$

где:  $A_b$  – амплитуда вынужденных колебаний, м;  $g$  – гравитационная постоянная,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $\pi$  – математическая константа.  $\pi = 3,14$ ;  $f$  – частота вертикальных колебаний верхнего слоя плодов в контейнере,  $\text{с}^{-1}$ .

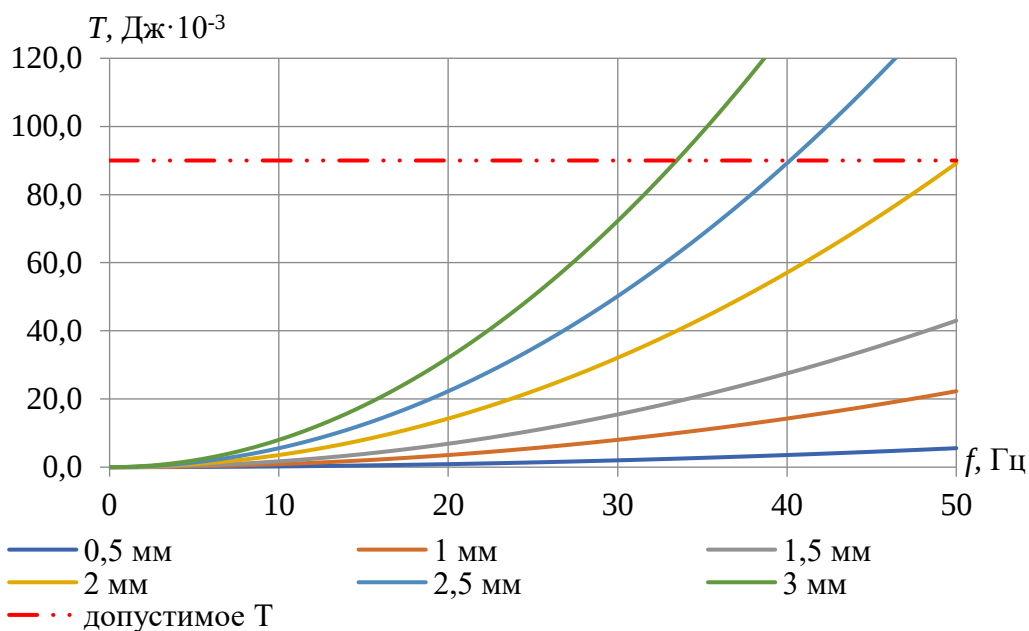


Рисунок 3 – График зависимости кинетической энергии  $T$  от частоты вертикальных колебаний верхнего слоя плодов в контейнере  $f$  яблок сорта «Кандиль Орловский»

Допустимое значение частоты вертикальных колебаний плодов, расположенных в верхнем слое контейнера для сорта «Кандиль Орловский» найдем как:

$$f_{\text{доп}} \leq \kappa_{\text{доп}} \sqrt{\frac{1}{A_b}} \approx 1,9 \sqrt{\frac{1}{A_b}} \quad (5)$$

где:  $A_b$  - амплитуда вынужденных колебаний, м;  $K_{\text{доп}}$  – коэффициент,  $\frac{\sqrt{m}}{c}$ .

Исходя из полученных выше результатов расчета видно, что при одинаковых значениях  $A_b$  допустимая частота колебаний выше для плодов, расположенных в верхнем слое контейнера, чем в нижнем.

Для определения допустимых параметров горизонтальных колебаний плодов  $N_r$  произведем следующие расчеты (для нижнего слоя плодов в контейнере):

$$N_r = \sqrt{(g \cdot \sum m_i)^2 + (\sum m_j \cdot A_b \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t - \alpha_1))^2} \quad (6)$$

где:  $\sum m_j$  - масса слоя плодов, который совершает горизонтальные колебания, кг;  $\sum m_i$  – масса столба плодов, кг;  $\alpha_1$  - угол сдвига фаз между внешней силой и вынужденными колебаниями, рад;  $A_b$  - амплитуда вынужденных колебаний, м;  $\omega$  - угловая частота возмущающей силы,  $c^{-1}$ ;  $g$  - ускорение свободного падения,  $\frac{m}{c^2}$ ;  $\sum m_j \cdot A_b \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t - \alpha_1)$  - сила инерции слоя плодов, который совершает горизонтальные колебания, Н;  $g \cdot \sum m_i$  - вес столба плодов, расположенного над нижним слоем яблок в контейнере, Н.

Величина повреждения плодов будет находиться в допустимых пределах при соблюдении условия:

$$N_r \leq N_{\text{доп}} \quad (7)$$

где:  $N_r$  - динамическая реакция в нижнем слое плодов в контейнере, Н;  $N_{\text{доп}}$  – допустимое значение динамической реакции в нижнем слое плодов в контейнере Н.

Для яблок сорта «Кандиль Орловский», расположенных в нижнем слое контейнера, характерна следующая зависимость (рис. 4):

$$A_b \cdot (2\pi \cdot f)^2 \leq 3,8g \quad (8)$$

где:  $g$  - ускорение свободного падения,  $\frac{m}{c^2}$ ;  $A_b$  - амплитуда вынужденных колебаний, м;  $\pi$  - математическая константа.  $\pi = 3,14$ ;  $f$  - частота вертикальных колебаний нижнего слоя плодов в контейнере,  $c^{-1}$ .

Допустимое значение частоты вертикальных колебаний плодов, расположенных в нижнем слое контейнера для яблок сорта «Кандиль Орловский» найдем как:

$$f_{\text{доп}} \leq \frac{\sqrt{3,8 \cdot g}}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{A_b}} \approx 0,97 \sqrt{\frac{1}{A_b}} \quad (9)$$

где:  $g$  - ускорение свободного падения,  $\frac{m}{c^2}$ ;  $A_b$  - амплитуда вынужденных колебаний, м;  $\pi$  - математическая константа.  $\pi = 3,14$ .

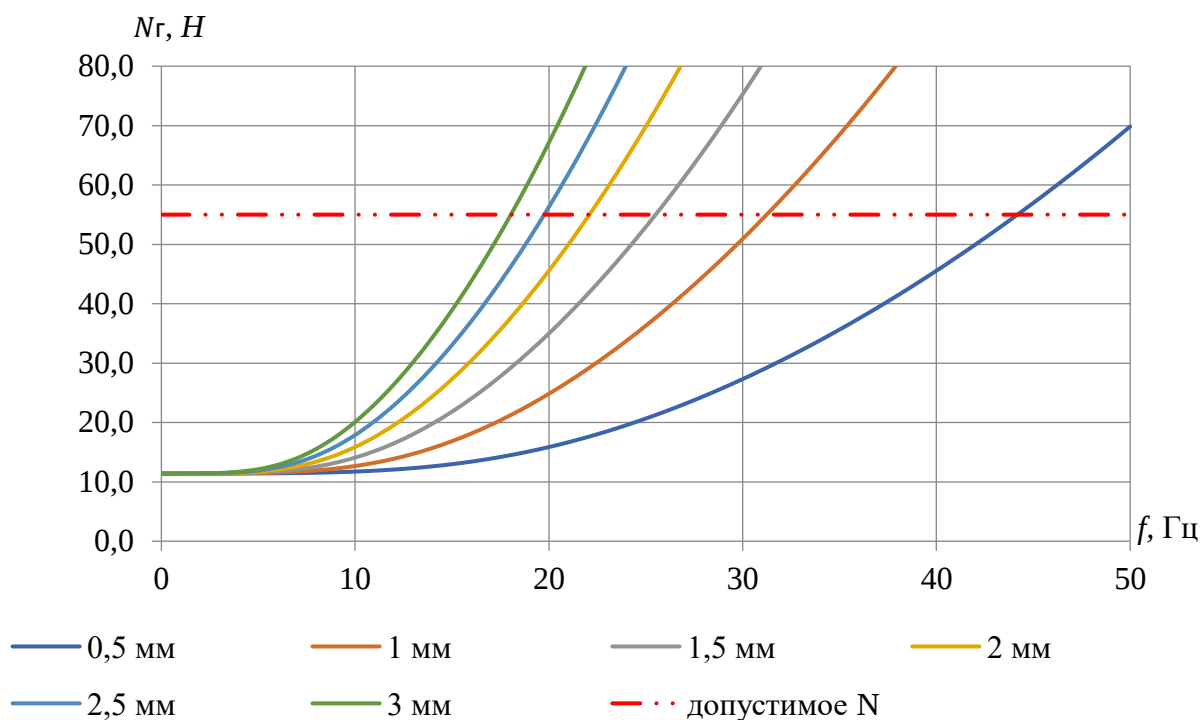
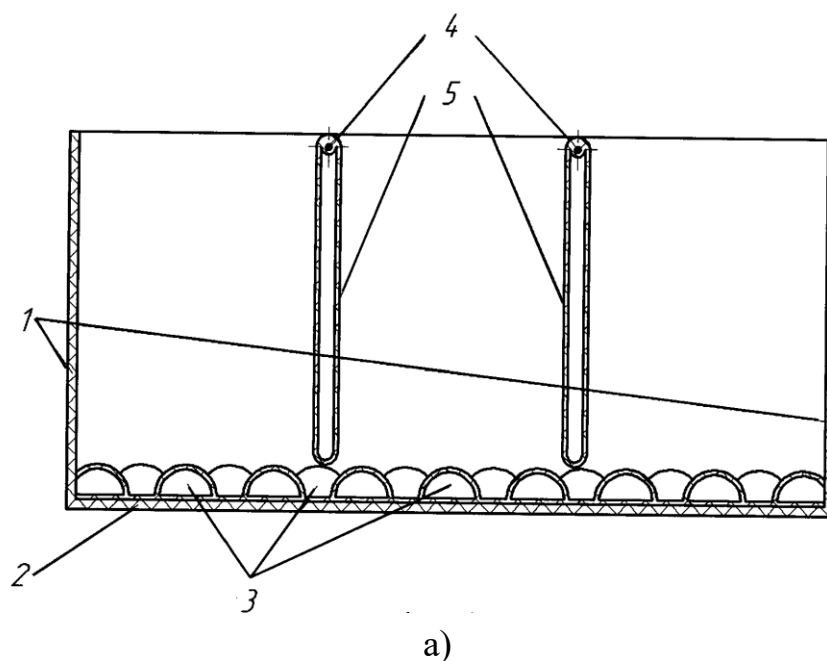
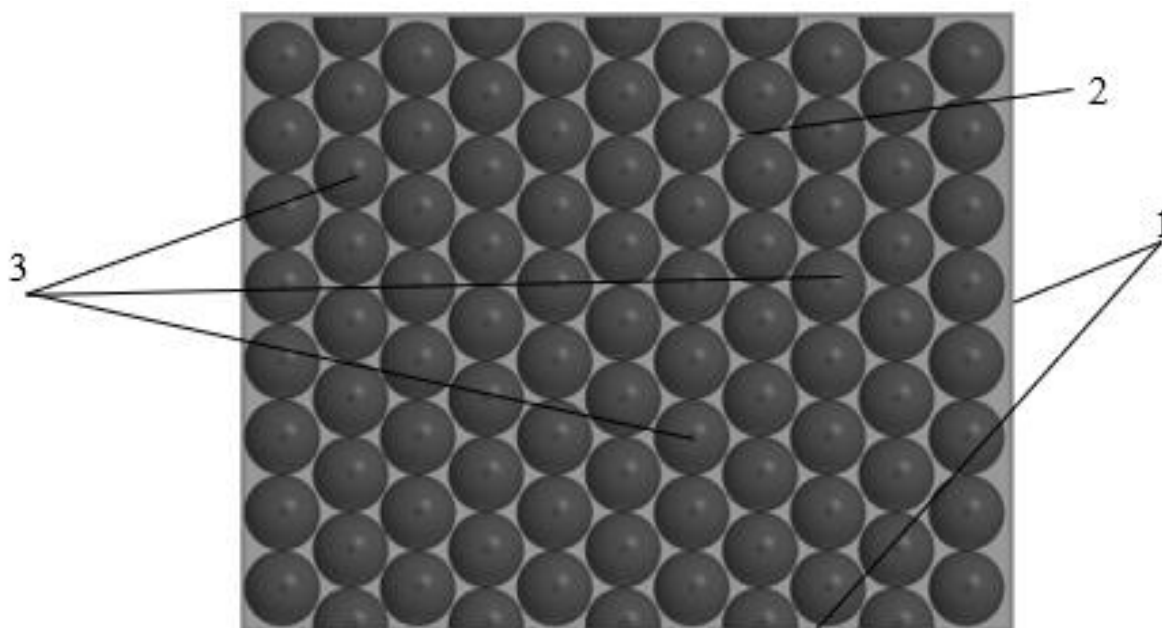


Рисунок 4 – График зависимости динамической реакции  $N_r$  от частоты вертикальных колебаний нижнего слоя плодов в контейнере  $f$  яблок сорта «Кандиль Орловский»

Из результатов расчета значений допустимых частот колебаний плодов в контейнере (вертикальных для самого нижнего и самого верхнего и горизонтальных для самого нижнего), следует, что наибольший интерес представляют амплитудно-частотные характеристики нижнего слоя.

Разработана схема экспериментального контейнера для транспортировки яблок, снижающего их повреждения при транспортировке по сравнению с аналогичной серийной тарой (рисунок 5).





б)

а – вид сбоку; б – вид дна сверху.

1 – стенки контейнера; 2- дно контейнера; 3 – полые выступы, заполненные газом; 4 – оси; 5 – поперечные перегородки.

Рисунок 5 – Схема предложенного экспериментального контейнера

Контейнер для транспортировки яблок содержит стенки и дно, на котором имеются расположенные в шахматном порядке выступы, образующие с плоскостью дна ячейки, причем выступы имеют форму полусферы и выполнены полыми из демпфирующего материала и заполнены газом, а внутри контейнера на осях, которые закреплены на торцевых стенках, установлены поперечные перегородки, причем поперечные перегородки по форме соответствуют поперечному сечению контейнера и выполнены из эластичного материала. Перегородки внутри полые и заполнены газом.

Предложенная конструкция контейнера для транспортировки яблок способствует снижению повреждений плодов в процессе их внутрихозяйственной транспортировки двумя путями:

- во-первых – за счет компенсации вертикальных колебаний плодов в контейнере;
- во-вторых – за счет компенсации горизонтальных колебаний плодов в контейнере.

С учетом поперечных перегородок формула для величины динамической реакции  $N_r$  в нижнем слое плодов примет вид:

$$N_r = \sqrt{(g \cdot \sum m_i)^2 + (\sum m_j \cdot A_b \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t - \alpha_1) - n \cdot F_{\text{упр.пер}})^2} \quad (10)$$

где:  $\sum m_j$  - масса слоя плодов, который совершает горизонтальные колебания, кг;  $\sum m_i$  - масса столба плодов, кг;  $\alpha_1$  - угол сдвига фаз между

внешней силой и вынужденными колебаниями, рад ;  $A_b$  - амплитуда вынужденных колебаний, м;  $\omega$  - угловая частота возмущающей силы,  $\text{с}^{-1}$ ;  $g$  - ускорение свободного падения,  $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ;  $\sum m_j \cdot A_b \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t - \alpha_1)$  - сила инерции слоя плодов, который совершает горизонтальные колебания, Н;  $g \cdot \sum m_i$  - вес столба плодов, расположенного над нижним слоем яблок в контейнере, Н;  $n$  - количество поперечных перегородок, ед;  $F_{\text{упр.пер}}$  - сила упругости поперечных перегородок, Н.

Силу упругости поперечных перегородок  $F_{\text{упр.пер}}$ , Н определим из следующего выражения:

$$F_{\text{упр.пер}} = k \cdot \left( t_{\text{пер}} - \frac{\left( d_{\text{пер}} \cdot h_{\text{пер}} \cdot t_{\text{пер}} - n_{\text{кл}} \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot \left( \frac{d_{\text{ср}}}{2} \right)^3 \right)}{d_{\text{пер}} \cdot h_{\text{пер}}} \right) \quad (11)$$

где:  $k$  - показатель жесткости поперечной перегородки,  $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$ ;  $d_{\text{пер}}$  - длина перегородки, м;  $h_{\text{пер}}$  - ширина перегородки, м;  $t_{\text{пер}}$  - толщина перегородки, м;  $n_{\text{кл}}$  - количество плодов, воздействующих на поперечную перегородку, ед;  $d_{\text{ср}}$  - средневзвешенное значение диаметра плода, м.

Заменим  $N_2$  на  $N_{\text{доп}}$  преобразуем выражение (10) в неравенство:

$$N_{\text{доп}} \geq \sqrt{(g \cdot \sum m_i)^2 + \left( \sum m_j \cdot A_b \cdot \omega^2 - n \cdot \left( k \cdot \left( t_{\text{пер}} - \frac{\left( d_{\text{пер}} \cdot h_{\text{пер}} \cdot t_{\text{пер}} - n_{\text{кл}} \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot \left( \frac{d_{\text{ср}}}{2} \right)^3 \right)}{d_{\text{пер}} \cdot h_{\text{пер}}} \right) \right) \right)^2} \quad (12)$$

Производя соответствующие преобразования и используя исходные данные ( $N_{\text{доп}} = 55 \text{ Н}$ ;  $\sum m_i \approx 1,134 \text{ кг}$ ;  $\sum m_j \approx 1,4 \text{ кг}$ ;  $d_{\text{ср}} = 65 \text{ мм}$ ; внутренние размеры контейнера  $0,57 \times 0,38 \times 0,266$  и т.д.) получили следующую зависимость:  $A_b \cdot \omega^2 = A_b \cdot (2\pi \cdot f)^2 \leq 6,9g$  (при использовании одной поперечной перегородки  $A_b \cdot \omega^2 \leq 4,7g$ ). Для контейнера в серийном исполнении (без поперечных перегородок) данное неравенство имело вид  $A_b \cdot (2\pi \cdot f)^2 \leq 3,8g$ .

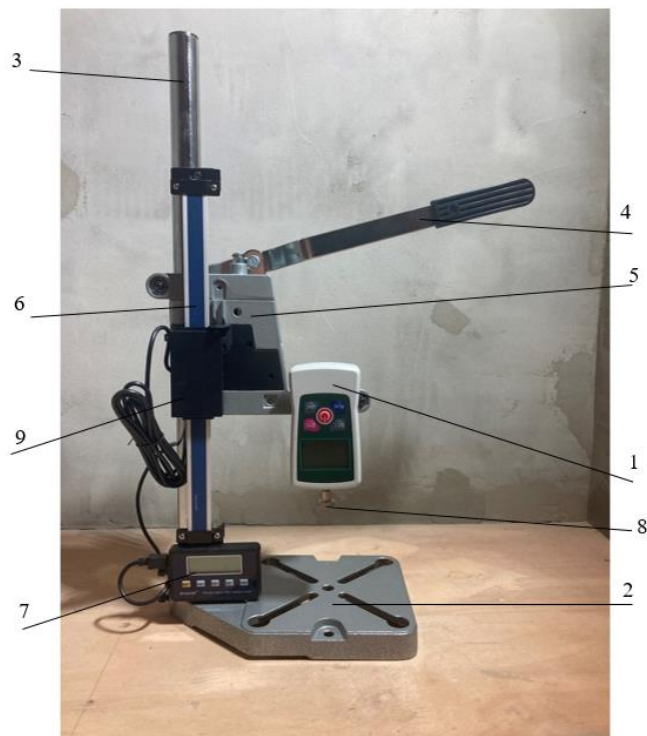
**В третьей главе «Лабораторные исследования»** представлены программа и методики лабораторных исследований, а также отражены их результаты.

Программа лабораторных исследований включала следующие этапы: определение упругих характеристик выступов контейнера для транспортировки яблок; определение геометрических параметров контейнера для транспортировки яблок; определение характеристик поперечной перегородки контейнера для транспортировки яблок; определение характеристик вибрационных воздействий на перевозимые в контейнере яблоки.

Лабораторные исследования были проведены при использовании

материально-технической базы ФГБОУ ВО РГАТУ. Характеристики вибрационных воздействий на перевозимые яблоки определяли в соответствии с ГОСТ 33063-2014.

Для определения параметров упругих характеристик выступов контейнера для транспортировки яблок (сдавливающего усилия и характерного для него глубины проникновения в деформированном состоянии) была разработана экспериментальная установка (рис. 6).



1 – динамометр сжатия-растяжения (электронный); 2 - основание; 3 – стойка; 4 - рычаг; 5 - механизм привода динамометра; 6 - электронная измерительная линейка; 7 – выносной дисплей; 8 – зонд; 9 – датчик электронной измерительной линейки.

Рисунок 6 – Общий вид экспериментальной установки

Измерение массы плодов проводили при помощи электронных весов SF-400 с погрешностью  $\pm 1$  г в соответствии с ГОСТ Р 53228-2008.

Замеры диаметров упругих выступов контейнера и геометрических параметров поперечной перегородки осуществляли при помощи штангенциркуля ШЦЦ-I-150 0,01 в соответствии с ГОСТом 166-89 и металлической рулетки 2м x13мм.

Для контроля нагнетаемого давления в поперечной перегородке применялся манометр PG-03, а замеры производились в соответствии с ГОСТ Р 8.905-2015.

Для регистрации характеристик вибрационных воздействий на перевозимый груз применялся программно-аппаратный комплекс «Анализ вибрации».

Регистрирующее устройство размещалось в толще вороха плодов каждого контейнера. Данные замеров заносились на запоминающее устройство с возможностью последующего экспорта на персональный компьютер. Устройство для отображения результатов в режиме реального времени имеет вид (рис. 7).

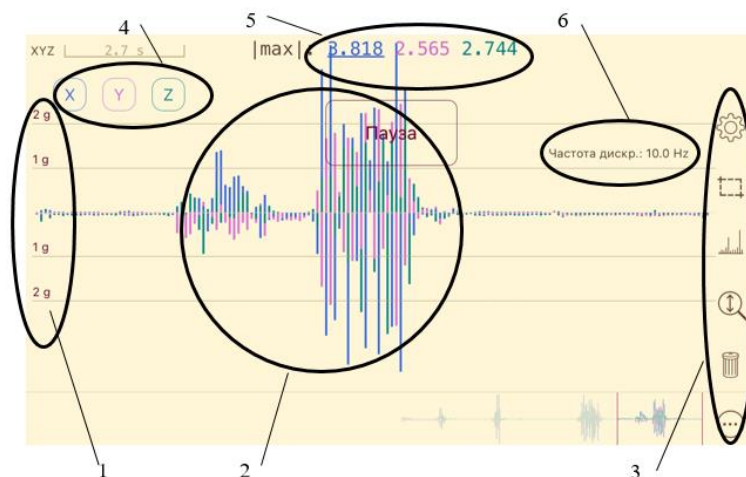
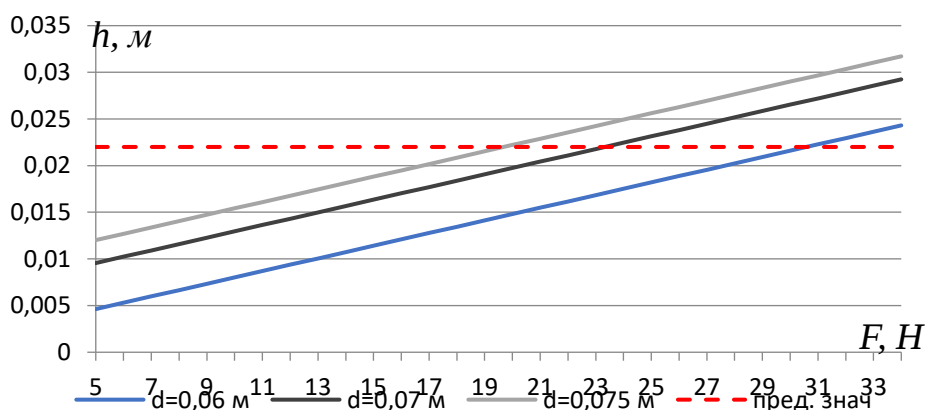


Рисунок 7 – Устройство для отображения результатов замеров

После обработки результатов было получено уравнение регрессии (линейное) (рис. 8):



сжимающего усилия  $F$

Проанализировав данные, было установлено, что предельная величина глубины проникновения  $h$  достигается при следующих условиях:

- для упругих выступов контейнера  $d_{\text{выс}} = 60 \text{ мм}$   $F_{60} \approx 30,6 \text{ Н}$ ;
- для упругих выступов контейнера  $d_{\text{выс}} = 70 \text{ мм}$   $F_{70} \approx 23,3 \text{ Н}$ ;
- для упругих выступов контейнера  $d_{\text{выс}} = 75 \text{ мм}$   $F_{75} \approx 19,7 \text{ Н}$ .

Общий вид образца поперечной перегородки контейнера для транспортировки яблок приведен на рис. 9.



Рисунок 9 – Поперечная перегородка контейнера с устройством для нагнетания воздуха

В качестве  $y$  выступал показатель жесткости поперечной перегородки  $k$ , в качестве  $x$  – давление внутри поперечной перегородки. При этом на манометре показания отображались в  $\text{psi}$  (Фунт-сила на квадратный дюйм) и переводились в  $\text{Па}$  ( $1 \text{ psi} \approx 6894,76 \text{ Па}$ ).

После обработки результатов эксперимента было получено уравнение регрессии (степенное):

$$y = 0,882x^{0,526} \quad (14)$$

Воспользовавшись полученным уравнением регрессии, был построен график зависимости  $k$  от  $P_{\text{пер}}$  (рис. 10).

Для обеспечения надежного уплотнения плодов в контейнере и предотвращения их колебаний в горизонтальной плоскости достаточно создать в поперечной перегородке избыточное давление в диапазоне от 1 до 1,5 атм ( $k = 350 - 470 \text{ Н/м}$ ).

При определении характеристик вибрационных воздействий на яблоки в предложенном контейнере был проведен полевой эксперимент на транспортном средстве, которое передвигалось по дорогам без твердого дорожного покрытия со скоростью 30 км/ч. Яблоки, уложенные в контейнеры (один серийный и один предложенный) были загружены в багажник транспортного средства.

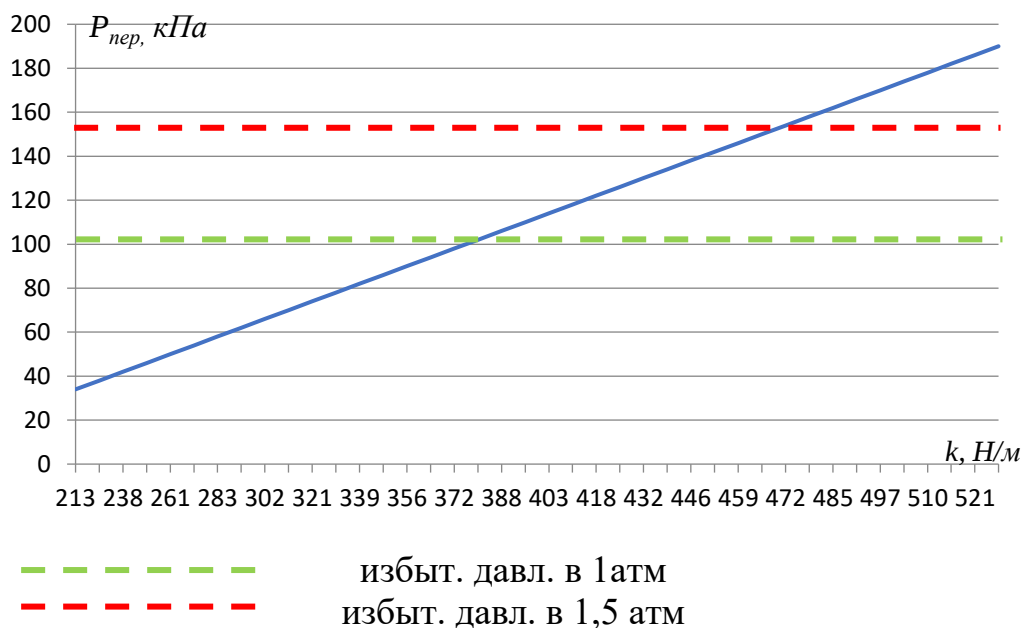


Рисунок 10 – График зависимости жесткости поперечной перегородки  $k$  от давления внутри нее  $P_{пер}$

Участки маршрута были выбраны без существенных изъянов (в случае грунтовой дороги – без ям, глубиной более 7 см; для дорог с твердым покрытием – без выбоин, просадок и проломов длиной 15 см и более, глубиной более 5 см).

Для определения вибрационных воздействий на яблоки применялся программно-аппаратный комплекс (DIGMA Optima 7 E200 с предустановленным программным обеспечением), позволявший регистрировать показания виброускорений в трех направлениях: по оси  $x$  – вертикальные колебания; по оси  $y$  – продольно-угловые колебания; по оси  $z$  – поперечно-угловые колебания.

На основании полученных данных была построена диаграмма, представленная на рис. 11.

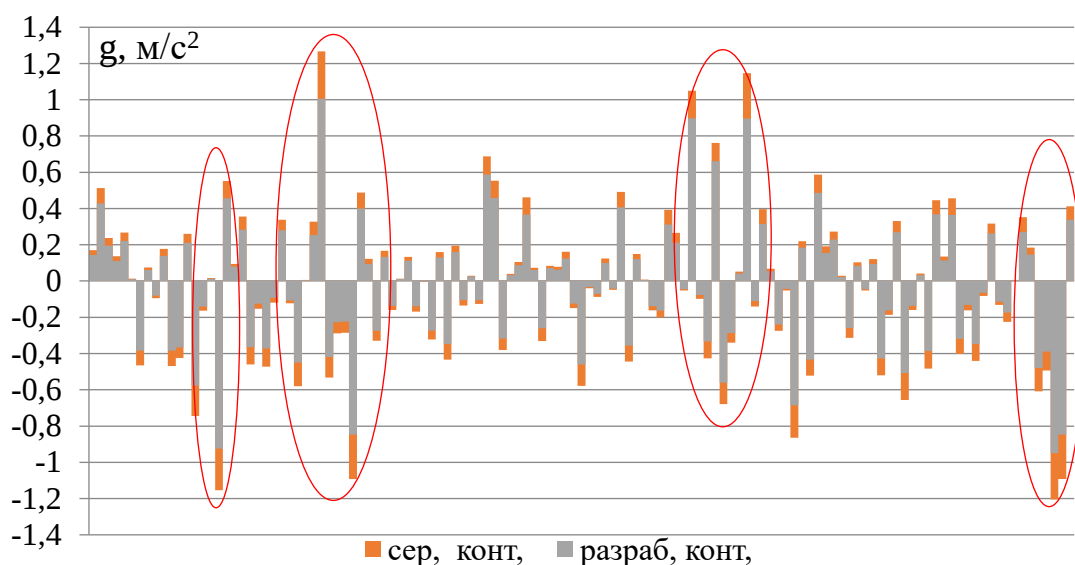


Рисунок 11 – Величина виброускорений колебаний груза при движении транспортного средства по грунтовой дороге при скорости 30 км/ч

Ввиду малых значений показания по осям  $y$  и  $z$  были опущены. Для большей наглядности диаграммы виброускорений колебаний плодов в серийном контейнере и прототипе были вынесены на одну область построения.

В общем виде величина виброускорений имеет сравнительно невысокие значения (рис. 11), за исключением отдельных случаев (выделенных на рисунке эллипсами). Наиболее опасными являются, зоны, где происходит резкая смена направления действий ускорений (амплитуда ускорений будет максимальной и может превышать допустимые пределы). В данных точках маршрута колеса транспортного средства наезжали на неровности на дорогах.

На диаграмме отчетливо видно, что показатели виброускорений в предложенном контейнере ниже, чем у серийной тары: наибольшая разница в местах резких и высокоамплитудных скачков, наименьшая при штатном режиме.

Уменьшение амплитудных значений виброускорений колебаний плодов в предложенном контейнере позволит снизить их повреждения при транспортировке груза в сравнение с серийной тарой при аналогичных условиях.

**В четвертой главе «Обоснование эффективности применения предложенного контейнера для транспортировки яблок»** был рассчитан экономический эффект от применения предложенного контейнера для внутрихозяйственной транспортировке яблок. Установлено, что при использовании в транспортном процессе предлагаемого контейнера величина повреждений яблок сорта «Кандиль Орловский» снизилась на 17,43% по сравнению с аналогичной серийной тарой.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Установлено, что наиболее эффективным, в плане обеспечения снижения повреждений яблок при их производстве в АПК, является тарный способ транспортировки свежесобранного урожая.

2. Теоретически установлено, что плоды яблок, расположенные в нижнем слое контейнера, получают механические повреждения при более низких значениях амплитудно-частотных характеристик вибрации, чем в верхнем. Предельные значения амплитудно-частотных характеристик вибрации плодов в серийной транспортной таре для нижнего слоя плодов в контейнере составляют

$$f_{\text{доп}} \leq 1,05 \sqrt{\frac{1}{A_b}}, \text{ а для предложенного контейнера они составляют } f_{\text{доп}} \leq 1,31 \sqrt{\frac{1}{A_b}}.$$

3. Экспериментально установлено, что: модуль упругости выступов на дне контейнера диаметром 60 мм равен 104211,8 Па; упругих выступов диаметром 70 мм - 75061,22 Па; упругих выступов диаметром 75 мм - 67950,29 Па; при высоте контейнера  $H_k \leq 0,53$  м рекомендуемый диаметр упругих выступов должен составлять  $d_{\text{выс}} = 75$  мм, при  $0,54 \leq H_k \leq 0,63$  м рекомендуемый диаметр упругих выступов должен составлять  $d_{\text{выс}} = 70$  мм и при  $H_k \geq 0,64$  м

рекомендуемый диаметр упругих выступов должен составлять  $d_{\text{выс}} = 60$  мм ; применение предложенного контейнера позволит снизить виброускорения плодов перевозимых в нем на 13% до 44% при использовании различных видов транспортных средств.

4. При использовании предлагаемого контейнера снижение себестоимости выполнения 1 ездки (перевозки 2,16 т груза на автомобиле Ford Transit 470) составило 36,9%, а величина повреждений яблок сорта «Кандиль Орловский» снизилась на 17,43% по сравнению с аналогичной серийной тарой.

#### **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.**

Необходимо продолжить исследования в области совершенствования конструкции транспортной тары для небольших садоводческих хозяйств с целью дальнейшей минимизации транспортных издержек от повреждений перевозимой продукции при её доставке к местам хранения.

#### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Снижение повреждений сельхозпродукции при транспортировке / А. А. Усольцев, А. А. Панова, И. А. Юхин, А. А. Голиков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2021. – Т. 13, № 3. – С. 106-111. – DOI 10.36508/RSATU.2021.50.53.015. – EDN HCRLII.

2. Исследование границ эффективности применения отдельных средств виброзащиты плодоовощной продукции / И. А. Юхин, А. А. Панова, С. В. Стрыгин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 187-192. – DOI 10.36508/RSATU.2023.92.12.026. – EDN SMYOIY.

#### **Патенты РФ**

3. Патент на полезную модель № 217289 U1 Российская Федерация, МПК В65D 81/03, В65D 85/34. контейнер для перевозки плодоовощной продукции : № 2022131488 : заявл. 01.12.2022 : опубл. 24.03.2023 / А. А. Панова, С. В. Стрыгин, И. А. Успенский [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN JAWTSS.

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная*  
*Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №1645 подписано в печать 09.04.2025г.*  
*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*