

На правах рукописи



РЯБЧИКОВ ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ
ТРАНСПОРТИРОВКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2021

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, профессор
Борычев Сергей Николаевич

Официальные оппоненты: **Ряднов Алексей Иванович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК»

Эвиев Валерий Андреевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова», профессор кафедры агроинженерии, декан инженерно-технологического факультета

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ" (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Защита диссертации состоится «23» марта 2021 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 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 « » _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



Юхин И.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. По данным ряда исследователей потери при хранении поврежденной на внутрихозяйственных перевозках (ВП) продукции могут достигать 50-60% от общей массы. Поэтому снижение повреждений клубней картофеля, в частности при выгрузке является важной народно-хозяйственной задачей.

Цель исследований - снижение повреждений при выгрузке клубней картофеля путем совершенствования кузова транспортного средства (ТС).

Степень разработанности темы. Большой вклад в исследование процессов ВП сельскохозяйственной продукции в кузове ТС, изучение вопросов минимизации повреждений при её выгрузке внесли ученые Н.В. Бышов, С.Н. Борячев, Н.И. Верещагин, М.Н. Ерохин, В.С. Заводнов, В.Н. Зернов, А.Ю. Измайлов, Н.Н. Колчин, К.А. Пшеченков, А.Г. Пономарев, С.Н. Петухов, А.И. Ряднов, И.А. Успенский, Х.А. Хачатрян, В.А. Эвиев, И.А. Юхин и другие.

Работа выполнена по плану НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2016-2020 гг. по теме 3 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве» в рамках раздела 3.3 «Повышение эффективности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники за счет разработки новых конструкций, методов и средств технического обслуживания, ремонта и диагностирования» (подраздел 3.3.5 «Повышение эффективности использования транспортных и технологических машин при внутрихозяйственных перевозках плодоовощной продукции и картофеля в агропромышленном комплексе»).

Объект исследований – технологический процесс выгрузки клубней картофеля из кузова ТС на ВП.

Предмет исследований - теоретические модели и аналитические зависимости процесса выгрузки из кузова ТС.

Научную новизну работы составляют:

- математическая модель выгрузки клубней картофеля из кузова ТС с эластичными перегородками;
- аналитические зависимости, описывающие взаимосвязь выгрузки клубней от угла опрокидывания кузова ТС с эластичными перегородками.

Новизна технических решений подтверждена 1 патентом РФ на полезную модель (191227) и 1 свидетельством о государственной регистрации программы ЭВМ (№2020614320).

Теоретическую и практическую значимость работы представляют:

1. Теоретически и экспериментально обоснованные параметры эластичной перегородки кузова транспортного средства.

2. Конструктивно-технологическая схема кузова транспортного средства, оборудованного эластичными перегородками (патент РФ №191227).

3. Результаты сравнительных полевых испытаний серийного грузового автомобиля МАЗ 5516 и экспериментального грузового автомобиля МАЗ 5516 с эластичными поперечными перегородками в кузове.

4. Результаты оценки технико-экономического эффекта применения автомобиля МАЗ 5516 с эластичными поперечными перегородками.

Методология и методы исследования. Для теоретического исследования движения корнеклубнеплодов в кузове транспортного средства, оборудованном эластичными перегородками, разработана математическая модель выгрузки корнеклубнеплодов. В результате моделирования с учетом условий выполнения операций установлены значения параметров предложенного устройства. При теоретических исследованиях использовались положения гидродинамики, теоретической механики и математики. Для обоснования параметров эластичных перегородок разработана «Программа для моделирования устройства для транспортировки и выгрузки клубней картофеля» (свидетельство на программу для ЭВМ №2020614320).

Положения, выносимые на защиту:

1. Теоретически и экспериментально обоснованные параметры эластичных перегородок кузова ТС.

2. Результаты применения кузова ТС с эластичными перегородками на ВП клубней картофеля.

Степень достоверности результатов проведенных исследований. При проведении экспериментальных исследований применялись сертифицированные приборы. Хозяйственные исследования проводились в соответствии ГОСТ 20915-75, ГОСТ Р 52778-2007 и СТО АИСТ 8.5-2006. Достоверность основных положений работы подтверждена сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований (расхождение не более 5%), и положительными результатами хозяйственных испытаний. Обработка результатов исследований проведена методами математической статистики.

Реализация результатов исследования. Усовершенствованный кузов ТС, с эластичными перегородками прошел опытно-производственную проверку в период массовой уборки картофеля (конец августа – начало октября) 2017-2019 гг. в ОАО «Аграрий» Касимовского района Рязанской области. Общий объем картофеля, перевезенного одним ТС в 2019 г. составил 315 тонн.

Личный вклад автора состоит в обобщении теоретических и экспериментальных результатов исследований, автор участвовал в постановке цели и задач исследований, проведении теоретических, аналитических и экспериментальных исследований, обработке результатов, подготовке статей и выводов.

Апробация результатов. Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на всероссийских и международных научных конференциях Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева (2007...2019 гг.), Московского международного салона изобретений и инновационных технологий «Архимед-2020» (специальный приз – Лучший инновационный проект Салона «Архимед-2020»).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 10 печатных работ, в том числе 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 3 в международной глобальной базе Scopus, получен 1 патент РФ на полезную модель и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объем публикаций составил 6,13 п.л., из них лично соискателю принадлежит 4,3 п.л.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы из 149 наименований и приложений. Работа изложена на 113 страницах текста, содержит 6 таблиц и 44 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель, поставлены задачи работы и раскрыто ее народнохозяйственное значение. Приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе *«Анализ способов и средств для снижения повреждений клубней картофеля при транспортировке и выгрузке»* проведен анализ состояния вопроса, определены цель и задачи исследования.

Транспортные работы являются незаменимой частью технологических процессов по возделыванию сельскохозяйственных культур. Так, например, одной из главных операций технологического процесса уборки картофеля является вывоз выращенного продукта с поля (на его долю приходится 10-12% общих затрат на весь процесс возделывания данной культуры).

Анализ работ по исследованию процессов ВП картофеля в кузове ТС показал, что одним из факторов, в значительной мере влияющих на уровень повреждений перевозимой продукции, является уменьшение расстояния раскатывания клубней картофеля в процессе разгрузки кузова. Для уменьшения повреждений перевозимой продукции в кузове транспортного средства необходимо устанавливать поперечные перегородки из упругого материала.

Поставлены следующие **задачи исследования:**

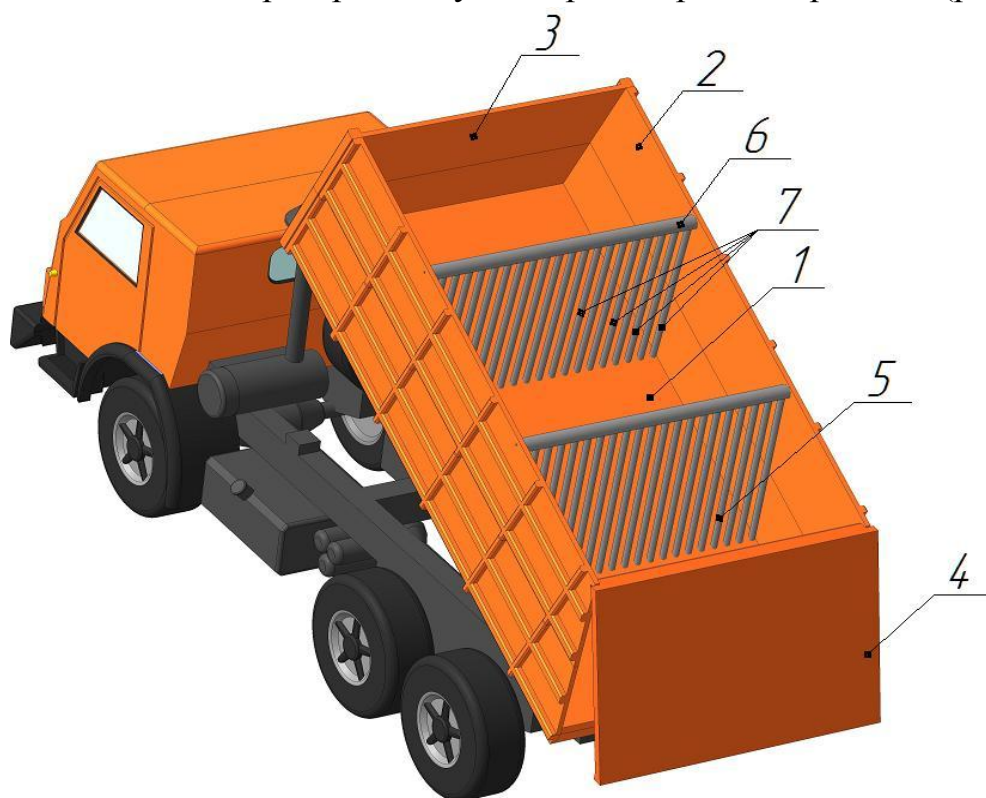
1. Обобщить результаты исследований технологии выгрузки картофеля и выявить перспективные направления по совершенствованию кузова транспортного средства;
2. Теоретически и экспериментально обосновать параметры разрабатываемых эластичных перегородок, влияющих на снижение

повреждений клубней картофеля при выгрузке из кузова транспортного средства;

3. Провести хозяйственные исследования транспортного средства, оборудованного разработанными эластичными перегородками;

4. Оценить технико-экономический эффект применения кузова транспортного средства, оборудованного эластичными перегородками.

Во второй главе «Теоретическое обоснование параметров эластичных перегородок кузова ТС» по результатам анализа применяемых в настоящее время механизированных погрузочно-разгрузочных работ нами предлагаются эластичные перегородки кузова транспортного средства (рис. 1).



1 - основание; 2 – торцевые стенки; 3 – боковина; 4 – откидной борт; 5 – поперечная перегородка; 6 – ось; 7 – эластичная трубка.

Рисунок 1. Конструктивно-технологическая схема разработанных эластичных перегородок кузова ТС при разгрузке (патент РФ №191227).

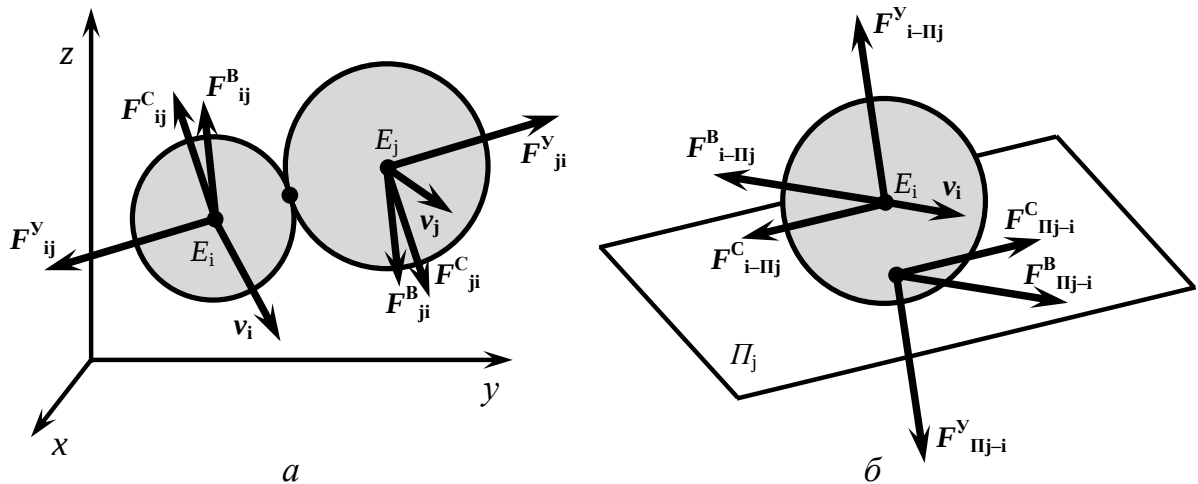
Для теоретического исследования устройства выгрузки клубней картофеля ТС разработана его имитационная модель, позволяющая проводить компьютерные эксперименты. На основе серий компьютерных экспериментов, в которых изменяется тот или иной параметр рядов эластичных трубок, устанавливается характер влияния параметра, и даются рекомендации по выбору оптимальных значений параметра.

Моделирование производится в трехмерном декартовом пространстве (x , y , z) (рис. 2). Состояние каждого элемента E_i задается шестью переменными: координатами его центра (x_i , y_i , z_i) и компонентами скорости (vx_i , vy_i , vz_i).

Уравнения движения элементов составлены на основе второго закона Ньютона (1).

Сила упругости выступает в качестве силы нормальной реакции между элементами-клубнями картофеля, приводящей к отталкиванию элементов, если они вступают в контакт – если расстояние между элементами r_{ij} будет менее $(d_i + d_j)/2$. Расстояние r_{ij} между центрами элементов рассчитывается через координаты центров по теореме Пифагора:

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}.$$



F^Y – упругие силы, F^C и F^B – силы сухого и вязкого трения, векторные величины обозначены жирным шрифтом

Рисунок 2. Силы, возникающие при контакте двух клубней картофеля (а) и между корнеклубнеплодом и поверхностью контейнера (б)

Решением данной системы дифференциальных уравнений второго порядка являются функции $x_i(t)$, $y_i(t)$, $z_i(t)$, определяющие траектории движения клубней картофеля и позволяющие оценить эффективность процесса выгрузки.

Для реализации расчета по представленным выше формулам и удобства проведения компьютерных экспериментов разработана компьютерная программа «Программа для моделирования устройства для транспортировки и выгрузки клубней картофеля» на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7. Программа зарегистрирована в Роспатенте (свидетельство №2020614320).

Программа предназначена для моделирования методом динамики частиц движения системы клубней картофеля при транспортировке с вибрацией в кузове и при выгрузке из кузова ТС, оснащенного двумя рядами гибких трубчатых элементов.

Перед началом компьютерного эксперимента программа позволяет задать геометрические характеристики кузова, а также характеристики клубней

картофеля в окнах интерфейсной формы.

В процессе работы программа регулярно выводит на экран три проекции кузова и клубней картофеля, значения остатка клубней картофеля в кузове и расстояния раскатывания клубней картофеля. Программа применима для различных видов и сортов клубней картофеля.

Основные технические характеристики программы:

- количество клубней картофеля от 1000 до 100000;
- диаметр клубней картофеля от 0,04 до 0,2 м;
- длительность компьютерного эксперимента по разгрузке контейнера около 10 минут (при тактовой частоте процессора 3 ГГц).

$$\begin{aligned}
 m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = & \sum_{j=1, j \neq i}^{N_3} \left\{ c_{ij} \left(\frac{d_i + d_j}{2} - r_{ij} \right) \frac{(x_i - x_j)}{r_{ij}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{xi} - v_{xj}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_j|} + k_{ij}^B (v_{xi} - v_{xj}) \right) \left(r_{ij} - \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2} \right), r_{ij} < \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2}; \right. \\
 & \left. 0, r_{ij} \geq \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2}; \right\} + \\
 & + \sum_{j=1}^{N_{II}} \left\{ c_{i-IIj} \left(\frac{d_i}{2} - r_{i-IIj} \right) \frac{(x_i - x_{i-IIj})}{r_{i-IIj}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{xi} - v_{xIIj}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_{IIj}|} + k_{ij}^B (v_{xi} - v_{xIIj}) \right) \left(r_{i-IIj} - \alpha_n \frac{d_i}{2} \right), r_{i-IIj} < \alpha_n \frac{d_i}{2}; \right. \\
 & \left. 0, r_{i-IIj} \geq \alpha_n \frac{d_i}{2}; \right\} + \\
 & + \sum_{j=1}^{N_{\text{ЭТ}}} \left\{ c_{i-\text{ЭТ}j} \left(\frac{d_i + d_{\text{ЭТ}}}{2} - r_{i-\text{ЭТ}j} \right) \frac{(x_i - x_{\text{ЭТ}j})}{r_{i-\text{ЭТ}j}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{xi} - v_{x\text{ЭТ}j}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_{\text{ЭТ}j}|} + k_{ij}^B (v_{xi} - v_{x\text{ЭТ}j}) \right) \left(r_{i-\text{ЭТ}j} - \alpha_n \frac{d_i + d_{\text{ЭТ}}}{2} \right), r_{i-\text{ЭТ}j} < \alpha_n \frac{d_i + d_{\text{ЭТ}}}{2}; \right. \\
 & \left. 0, r_{i-\text{ЭТ}j} \geq \alpha_n \frac{d_i + d_{\text{ЭТ}}}{2}; \right\}; \\
 m_i \frac{d^2 y_i}{dt^2} = & \sum_{j=1, j \neq i}^{N_3} \left\{ c_{ij} \left(\frac{d_i + d_j}{2} - r_{ij} \right) \frac{(y_i - y_j)}{r_{ij}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{yi} - v_{yj}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_j|} + k_{ij}^B (v_{yi} - v_{yj}) \right) \left(r_{ij} - \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2} \right), r_{ij} < \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2}; \right. \\
 & \left. 0, r_{ij} \geq \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2}; \right\} + \\
 & + \sum_{j=1}^{N_{II}} \left\{ c_{i-IIj} \left(\frac{d_i}{2} - r_{i-IIj} \right) \frac{(y_i - y_{i-IIj})}{r_{i-IIj}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{yi} - v_{yIIj}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_{IIj}|} + k_{ij}^B (v_{yi} - v_{yIIj}) \right) \left(r_{i-IIj} - \alpha_n \frac{d_i}{2} \right), r_{i-IIj} < \alpha_n \frac{d_i}{2}; \right. \\
 & \left. 0, r_{i-IIj} \geq \alpha_n \frac{d_i}{2}; \right\} + \\
 & + \sum_{j=1}^{N_{\text{ЭТ}}} \left\{ c_{i-\text{ЭТ}j} \left(\frac{d_i + d_{\text{ЭТ}}}{2} - r_{i-\text{ЭТ}j} \right) \frac{(y_i - y_{\text{ЭТ}j})}{r_{i-\text{ЭТ}j}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{yi} - v_{y\text{ЭТ}j}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_{\text{ЭТ}j}|} + k_{ij}^B (v_{yi} - v_{y\text{ЭТ}j}) \right) \left(r_{i-\text{ЭТ}j} - \alpha_n \frac{d_i + d_{\text{ЭТ}}}{2} \right), r_{i-\text{ЭТ}j} < \alpha_n \frac{d_i + d_{\text{ЭТ}}}{2}; \right. \\
 & \left. 0, r_{i-\text{ЭТ}j} \geq \alpha_n \frac{d_i + d_{\text{ЭТ}}}{2}; \right\}; \\
 m_i \frac{d^2 z_i}{dt^2} = & \sum_{j=1, j \neq i}^{N_3} \left\{ c_{ij} \left(\frac{d_i + d_j}{2} - r_{ij} \right) \frac{(z_i - z_j)}{r_{ij}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{zi} - v_{zj}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_j|} + k_{ij}^B (v_{zi} - v_{zj}) \right) \left(r_{ij} - \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2} \right), r_{ij} < \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2}; \right. \\
 & \left. 0, r_{ij} \geq \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2}; \right\} + \\
 & + \sum_{j=1}^{N_{II}} \left\{ c_{i-IIj} \left(\frac{d_i}{2} - r_{i-IIj} \right) \frac{(z_i - z_{i-IIj})}{r_{i-IIj}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{zi} - v_{zIIj}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_{IIj}|} + k_{ij}^B (v_{zi} - v_{zIIj}) \right) \left(r_{i-IIj} - \alpha_n \frac{d_i}{2} \right), r_{i-IIj} < \alpha_n \frac{d_i}{2}; \right. \\
 & \left. 0, r_{i-IIj} \geq \alpha_n \frac{d_i}{2}; \right\} + \\
 & + \sum_{j=1}^{N_{\text{ЭТ}}} \left\{ c_{i-\text{ЭТ}j} \left(\frac{d_i + d_{\text{ЭТ}}}{2} - r_{i-\text{ЭТ}j} \right) \frac{(z_i - z_{\text{ЭТ}j})}{r_{i-\text{ЭТ}j}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{zi} - v_{z\text{ЭТ}j}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_{\text{ЭТ}j}|} + k_{ij}^B (v_{zi} - v_{z\text{ЭТ}j}) \right) \left(r_{i-\text{ЭТ}j} - \alpha_n \frac{d_i + d_{\text{ЭТ}}}{2} \right), r_{i-\text{ЭТ}j} < \alpha_n \frac{d_i + d_{\text{ЭТ}}}{2}; \right. \\
 & \left. 0, r_{i-\text{ЭТ}j} \geq \alpha_n \frac{d_i + d_{\text{ЭТ}}}{2}; \right\} - m_i g,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где i – номер элемента; N_3 – количество элементов; m_i – масса элемента; t

– время; j – номер элемента, возможно контактирующего с i -м элементом; c_{ij} – коэффициент жесткости взаимодействия элементов i и j (рассчитывается через модули упругости) k_{ij}^C и k_{ij}^B – коэффициенты сухого трения элементов i и j друг о друга; d_i – диаметр i -го элемента; r_{ij} – расстояние между центрами элементов i и j ; α_0 – коэффициент ограничения взаимодействия между элементами (выбирается из диапазона 1,0...1,1 и позволяет задавать "липкость" клубней картофеля); N_{Π} – количество элементарных поверхностей контейнера; $c_{i-\Pi j}$, $k_{i-\Pi j}^C$ и $k_{i-\Pi j}^B$ – коэффициенты жесткости, сухого и вязкого трения при взаимодействии элемента i с поверхностью j ; $r_{i-\Pi j}$ – расстояние от центра i -го элемента до j -й поверхности; $x_{i-\Pi j}$, $y_{i-\Pi j}$, $z_{i-\Pi j}$ – декартовы координаты точки-проекции центра элемента i на поверхность j ; $v_{x\Pi j}$, $v_{y\Pi j}$, $v_{z\Pi j}$ – компоненты скорости центра j -й элементарной поверхности; $|\dots|$ – модуль вектора; $N_{ЭГ}$ – количество шарообразных элементов трубок; $c_{i-ЭГ j}$, $k_{i-ЭГ j}^C$ и $k_{i-ЭГ j}^B$ – коэффициенты жесткости, сухого и вязкого трения при взаимодействии элемента i с элементами эластичной трубки j ; $r_{i-ЭГ j}$ – расстояние от центра i -го элемента до центра j -го элемента эластичной трубки; $x_{ЭГ j}$, $y_{ЭГ j}$, $z_{ЭГ j}$ – декартовы координаты центра элемента i эластичной трубки; $v_{xЭГ j}$, $v_{yЭГ j}$, $v_{zЭГ j}$ – компоненты скорости центра j -го элемента эластичной трубки; g – ускорение свободного падения.

Таким образом, разработана компьютерная программа, позволяющая на основе компьютерных экспериментов с моделью изучать работу устройства для транспортировки и выгрузки клубней картофеля.

Дальнейшее теоретическое исследование основано на многократном проведении компьютерных экспериментов по выгрузке клубней картофеля из предлагаемого устройства.

В начале компьютерного эксперимента необходимо было разместить корнеклубнеплоды в контейнере аналогично реальному размещению. Для этого в момент модельного времени $t = 0$ с заданное количество клубней картофеля распределялось равномерно по объему контейнера (рисунок 3, а). В течение 0,7 с корнеклубнеплоды оседали под действием сил тяжести и формировали случайную плотную упаковку в нижней части контейнера (рисунок 3, б).

В промежуток времени 0,7 ... 3,5 с откидной борт поворачивался вокруг оси с постоянной угловой скоростью (рисунок 3, в). Клубни картофеля, находящиеся между откидным бортом и первым рядом эластичных трубок, начинали высыпаться из контейнера.

В момент времени 3,0 с начинался наклон всего контейнера, который продолжался с постоянной угловой скоростью до момента времени 8,0 с (рисунок 3). После освобождения от клубней картофеля первой трети контейнера эластичные трубки первого ряда поднимались и пропускали массу клубней картофеля, расположенных между первым и вторым рядами эластичных трубок. После освобождения второй трети контейнера поднимались

эластичные трубки второго ряда и начиналась выгрузка оставшейся трети клубней картофеля. Необходимо отметить, что разработанное устройство с двумя шторками из эластичных трубок обеспечивает практически постоянную скорость разгрузки, о чем свидетельствует практически линейный характер в интервале 2,0 ... 9,0 с.

После остановки наклона контейнера оставшийся слой клубней картофеля продолжал высыпаться еще в течение около 6 с и к моменту времени $t = 14$ с контейнер полностью освобождался (рисунок 3, е).

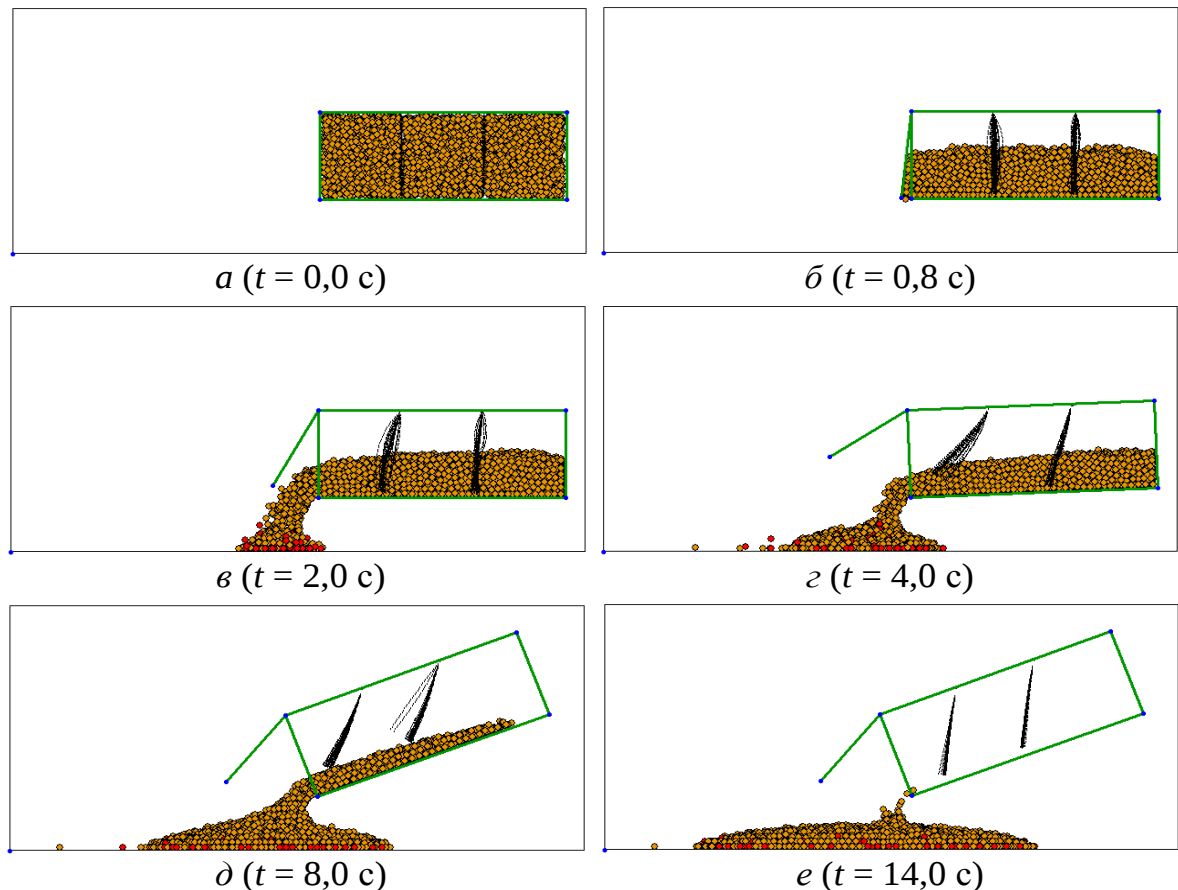


Рисунок 3. Изменение состояния клубней картофеля в компьютерном эксперименте по выгрузке клубней картофеля из контейнера

Среднее расстояние раскатывания L_p быстро увеличивалось с 0 до 0,8 м после откидывания борта (в интервале 0,0...2,5 с). После этого расстояние раскатывания увеличивалось медленно и практически линейно на протяжении оставшегося времени выгрузки и к моменту освобождения контейнера не превышало 1,5 м.

По расположению оптимальной области в факторном пространстве (рисунок 4, г) можно сделать следующий вывод. Оптимальная длина эластичной трубки составляет 1,58 м (при высоте бункера 1,60 м, то есть просвет между трубкой и дном контейнера должен составлять 2 см), оптимальный коэффициент жесткости трубки на изгиб составляет 0,9 кН/м². При этом время выгрузки составит менее 11,5 с, расстояние раскатывания

клубней картофеля составит менее 1,50 м, доля поврежденных клубней картофеля составит менее 4,0 %. Для получения оптимальных параметров проведен отдельный компьютерный эксперимент.

Аналогичный компьютерный эксперимент был проведен для выгрузки из обычного контейнера без рядов эластичных трубок тех же габаритных размеров, с теми же кинетическими параметрами процесса выгрузки. Сравнение показало, что расхождение результатов не более 5% при увеличении времени выгрузки с 9,7 до 11,0с.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований кузова ТС с эластичными перегородками» представлены программа и методики экспериментальных исследований применения эластичных перегородок в кузове ТС.

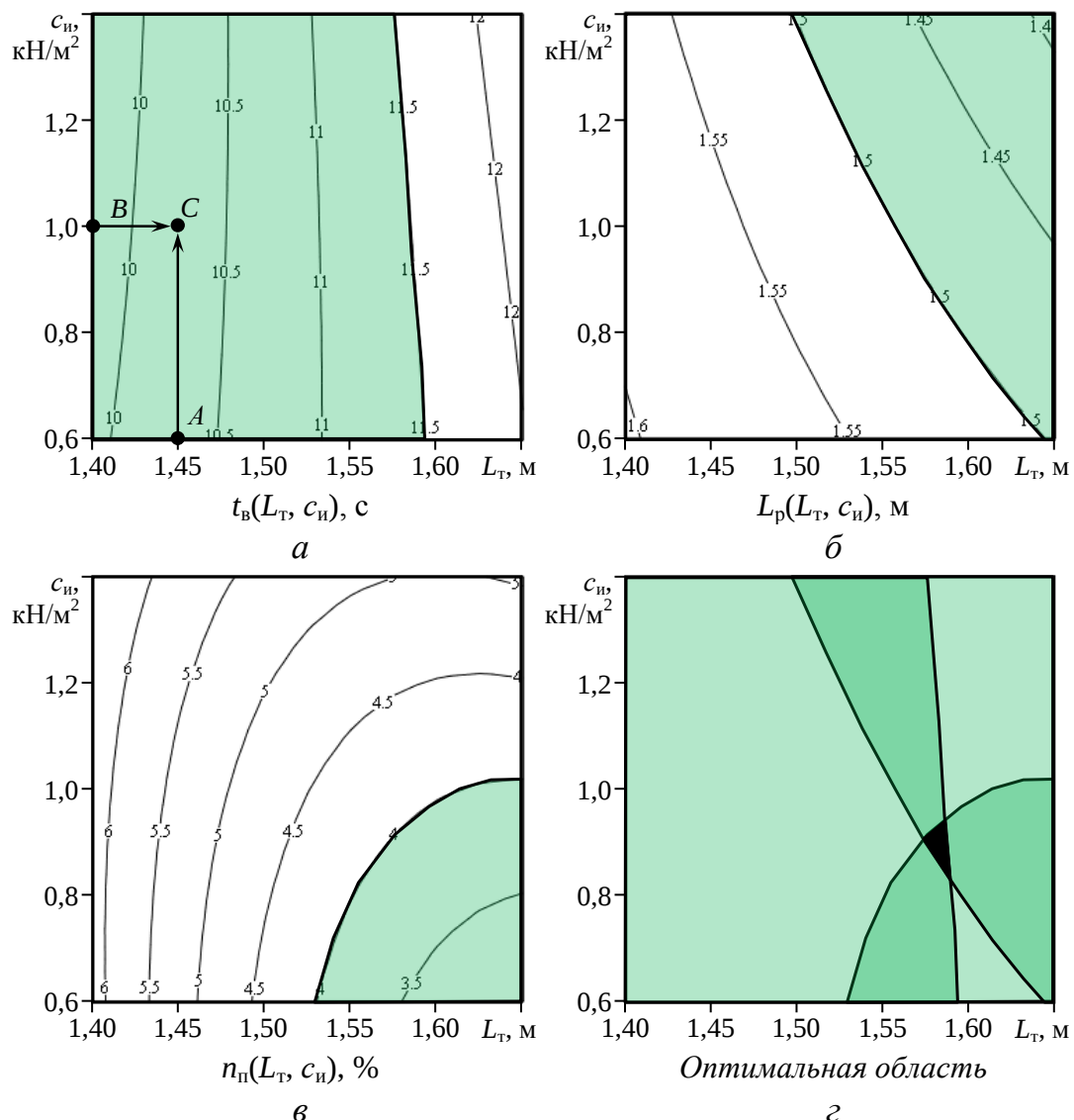


Рисунок 4. Картограммы оптимизации параметров эластичных трубок. (Затемнены благоприятные области факторного пространства. Черным выделена общая оптимальная область)

Была принята следующая программа исследований, включающая:

1. Экспериментальные исследования размерно-массовых характеристик клубней картофеля сорта «Сантэ»
2. Лабораторные исследования выгрузки клубней картофеля из кузова ТС, оборудованного эластичными перегородками
3. Экспериментальные исследования длины и зазора между эластичными трубками на характер выгрузки.
4. Полевые исследования ТС с кузовом оборудованном эластичными перегородками.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований кузова ТС с эластичными перегородками» представлены результаты экспериментальных исследований применения эластичных перегородок в кузове транспортного средства.

Исследование размерно-массовых характеристик показали, что выборка клубней картофеля распределена по нормальному закону по длине, толщине и ширине. В зависимости от соотношения параметров клубни картофеля имеют разную форму. Установлено, что средний геометрический размер клубней картофеля сорта «Латона» составляет 46,2мм.

Хозяйственные испытания проводились в ООО «Аграрий» Касимовского района Рязанской области в период уборки картофеля в 2017-2019г.г. Общий объем картофеля, перевезенного одним экспериментальным автомобилем в 2019 г. составил 315 тонн.

Поперечные эластичные перегородки устанавливались на кузовах транспортных средств, в частности автомобилях МАЗ 5516 (рис. 5). Это обусловлено тем, что несмотря на высокую производительность транспортных работ, данный автомобиль при транспортировке и выгрузке травмирует перевозимые клубни картофеля. Так как объем кузова автомобиля МАЗ 5516 составляет $12,5 \text{ м}^3$, то при выгрузке наблюдается одновременный сход клубней картофеля, что вызывает избыточное давление на нижние слои клубней, которые выгружались в первую очередь.

В результате сравнительных полевых испытаний серийного кузова грузового автомобиля МАЗ 5516 и экспериментального кузова грузового автомобиля МАЗ 5516 с установленными поперечными перегородками определено, что применение разработанных эластичных поперечных перегородок позволяет снизить повреждения клубней картофеля с 5,3 % до 2,9 %.

При выгрузке клубней картофеля из кузова транспортного средства, оборудованного эластичными перегородками, разгрузка происходит постепенно, сначала выгружается картофель в непосредственной близости от откидного борта. Затем происходит выгрузка картофеля, находящегося в средней части, а затем дальней части кузова (рис. 6-7)



Рисунок 5. Общий вид кузова автомобиля МАЗ 5516, оборудованного поперечными эластичными перегородками

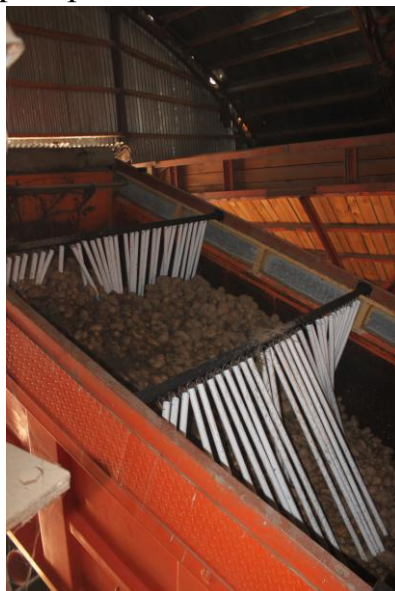


Рисунок 6. Начало выгрузки клубней картофеля из кузова автомобиля, оборудованного поперечными эластичными перегородками.

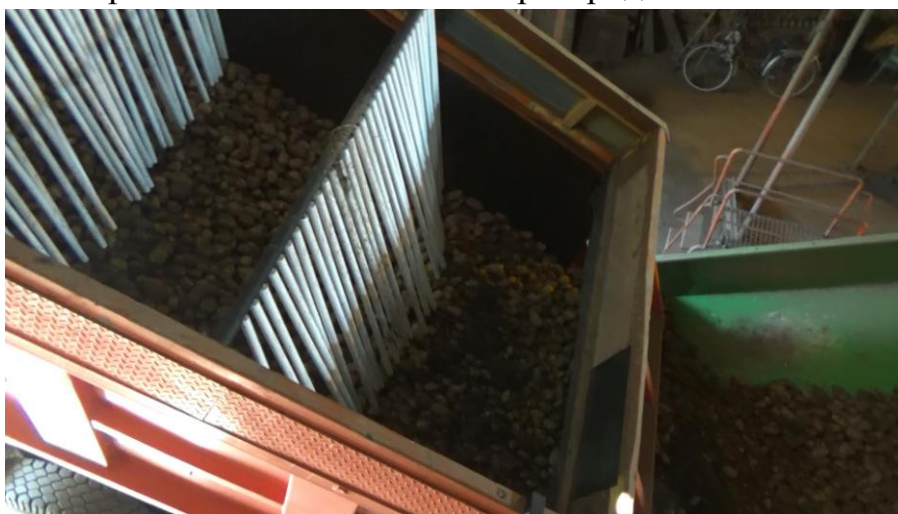


Рисунок 7. Окончание выгрузки клубней картофеля из кузова автомобиля, оборудованного поперечными эластичными перегородками

В пятой главе «Результаты внедрения и технико-экономический эффект применения кузова ТС с эластичными перегородками для транспортировки корнеклубнеплодов» изложена методика и результаты определения технико-экономического эффекта применения кузова ТС с эластичными перегородками на ВП.

Таблица 1 – Исходные данные для технико-экономического расчёта эффекта применения ТС с кузовом, оборудованным поперечными эластичными перегородками для перевозки и выгрузки картофеля.

№	Наименование показателей	Единицы измерения	Грузовой автомобиль МАЗ 5516	
			Базовый вариант	Новый вариант
1	2	3	4	5
1	Марка транспортного средства		МАЗ 5516	МАЗ 5516
2	Цена транспортного средства	руб.	3700000	3711000
3	Годовая загрузка транспортного средства	ч	136	136
4	Средняя техническая скорость	км/ч	25,2	25,2
5	Количество персонала, обслуживающего транспортное средство	чел.	1	1
6	Ёмкость платформы с основными бортами	м ³	15	15
7	Номинальная грузоподъемность ТС	т	12,75	12,75
8	Время, затрачиваемое на погрузку и разгрузку транспортного средства	ч	0,58	0,70

Экономический эффект от внедрения ТС с кузовом, оборудованным поперечными эластичными перегородками, определяли, сопоставляя приведенные затраты базового и нового вариантов (в расчете на одно ТС). В качестве базового варианта взят грузовой автомобиль МАЗ 5516, а новый вариант включал в свою конструкцию установленные в кузов ТС поперечные эластичные перегородки.

Проанализировав зависимости установили, что экономический эффект составил 796 тыс. рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ работ по исследованию процессов внутрихозяйственных перевозок картофеля в кузове транспортных средств показал, что одним из факторов, в значительной мере влияющих на уровень повреждений перевозимой продукции, является скорость разгрузки кузова. Для уменьшения скорости разгрузки и повреждений перевозимой продукции в кузове

транспортного средства необходимо устанавливать поперечные перегородки, из упругого материала.

2. Теоретически установлено, что рациональный просвет между эластичной трубкой и дном кузова транспортного средства составляет 2 см, а коэффициент жесткости трубки на изгиб равен $0,9 \text{ кН/м}^2$. При этом время выгрузки составит менее 11,5 с, расстояние раскатывания клубней картофеля составит менее 1,50 м, доля поврежденных клубней картофеля составит менее 4,0 %.

3. Анализ выгрузки клубней картофеля из кузова транспортного средства показал, что установка поперечной перегородки позволяет осуществлять равномерную выгрузку в течение всего цикла опрокидывания. Наибольшее количество клубней из кузова транспортного средства разгружается при угле опрокидывания от 5° до 10° при отсутствии эластичной перегородки. При наличии эластичной перегородки выгрузка клубней осуществляется с задержкой при углах от 10° до 20° , при этом выгрузка клубней картофеля происходит с меньшей скоростью, чем в серийной машине.

4. При наличии эластичной перегородки расстояние раскатывания клубней картофеля из кузова транспортного средства составляет от 0,71м до 1,05м, а при отсутствии эластичной перегородки составляет от 1,05м до 1,64м.

5. В результате сравнительных полевых исследований серийного кузова грузового автомобиля МАЗ 5516 и экспериментального кузова грузового автомобиля МАЗ 5516 с эластичными поперечными перегородками установлено, что их применение позволяет снизить повреждения с 5,3% до 2,9% клубней картофеля.

6. Исследования показателей транспортного процесса с использованием хронометража позволили установить, что увеличение времени разгрузки транспортного средства, оборудованного эластичными перегородками, снижает производительность выгрузки клубней картофеля в 1,6 раза, что в общем цикле технологического процесса ВП (загрузка, транспортировка, взвешивание и выгрузка картофеля, движение к месту загрузки, ожидание загрузки) составляет менее 1%.

7. Анализ использования транспортного средства, оборудованного эластичными перегородками, показал, что экономический эффект получен за счет снижения повреждений. Установлено, что граница экономической эффективности по цене (верхний предел цены – 3700000 руб.) нового варианта в сравнении с базовым для транспортных средств с эластичными перегородками составляет 4 507 тыс. рублей, это превышает фактическую цифру 3 711 тыс. рублей на 21,45 %.

Рекомендации производству

Для снижений повреждений клубней картофеля в процессе выгрузки из кузова транспортного средства рекомендуется использовать поперечные

перегородки, выполненные в виде полых трубок из упругого материала, обладающих возможностью вращения вокруг оси поперечной перегородки. Рациональный просвет между эластичной трубкой и дном контейнера составляет 2 см, а коэффициент жесткости трубки на изгиб составляет 0,9кН/м².

Перспективы дальнейшей разработки темы

Необходимо продолжить работу в направлении модернизации кузовов транспортных средств для снижения повреждений продукции и повышения производительности транспортировки сельскохозяйственной продукции в условиях малых и фермерских хозяйств.

Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России

1. Некоторые аспекты снижения повреждений плодов при уборочно-транспортных работах / С.Н. Бoryчев, И.А. Успенский, Д.С. Рябчиков и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №07(121). С. 592 – 608. – IDA [article ID]: 1211607029. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/29.pdf>, 1,062 у.п.л.

2. Пути дальнейшей модернизации транспортных средств для АПК / С.Н. Бoryчев, И.А. Успенский, Д.С. Рябчиков и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №09(123). С. 142 – 168. – IDA [article ID]: 1231609009. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/09/pdf/09.pdf>, 1,688 у.п.л.

3. Исследование выгрузки картофеля с транспортных средств при уборке [Текст] / Д.С. Рябчиков, С.Н. Бoryчев, Г.К. Рембалович, и др. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 3 (43). – С. 136-141.

Публикация в изданиях из международной глобальной базы Scopus

4. Justification of parameters of vehicles with elastic partitions for transporting potatoes / Beznosyuk, R., Ryabchikov, D., Borychev, S., Rembalovich, G., Kostenko, M. // (2020) E3S Web of Conferences, 222, статья № 3016

5. Theoretical study of unloading the body of vehicles equipped with elastic partitions / Beznosyuk, R., Ryabchikov, D., Borychev, S., Rembalovich, G., Kostenko, M. // (2020) E3S Web of Conferences, 222

6. Development and testing of a conveyor for detecting various types of vehicles when transporting agricultural products from the field / I.A. Uspenskiy, G.K. Rembalovich, I.A. Yukhin, D.S. Ryabchikov, A.S. Stepashkina // (2020) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 832 (1), статья № 012059

Статьи в материалах конференций и других изданиях

7. Инновационная техника для транспортировки продукции растениеводства [Текст] / И. А. Успенский, И. А. Юхин, С. Н. Кулик, Д. С. Рябчиков, и др. // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: Материалы международной научно - практической конференции, посвященной 55 – летию института механики и энергетики. 16 – 19 октября 2012 г., Саранск. – Саранск: Мордовский ГУ, 2012. – С. 223 – 227.

8. Рябчиков, Д.С. Анализ используемых транспортных средств для перевозки сельскохозяйственной продукции [Текст] / Д.С. Рябчиков, М.М. Ляшин, П.В. Ефимов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2020. – № 1 (10). – С. 212-214.

Патент

9. Пат. 191227 Российская Федерация, МПК В65D5/48. Устройство для транспортировки корнеклубнеплодов / Бoryчев С.Н., Рябчиков Д.С., Колошеин Д.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ). - № 2019116209; заявл. 27.05.2019; опубл. 30.07.19., Бюл. №22 : ил

Свидетельство

10. Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ №2020614320 Российская Федерация. Программа для транспортировки и выгрузки корнеклубнеплодов / Рябчиков Д.С., Безносюк Р.В., Бышов Н.В. [и др.]; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ). - № 2019665200; заявл. 25.11.2019 ; опубл. 31.03.20.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная

Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № 1474 подписано в печать 21.01.2021 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