

На правах рукописи



ГОЛИКОВ АЛЕКСЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского
хозяйства
(по техническим наукам)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Рязань – 2022

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

Научный консультант: доктор технических наук, профессор

Юхин Иван Александрович

Официальные оппоненты: **Аксенов Александр Геннадьевич**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), заведующий отделом технологий и машин для овощеводства.

Гаджиев Парвиз Имранович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет», профессор кафедры эксплуатации и технического сервиса машин.

Ряднов Алексей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», профессор кафедры эксплуатации и технический сервис машин в АПК.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха» (ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»)

Защита диссертации состоится «21» сентября 2022 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 « » _____ 2022 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

доктор технических наук, профессор



Юхин И.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одним из приоритетных направлений развития сельского хозяйства в Российской Федерации является увеличение объемов производства, повышение качества и уменьшение себестоимости возделывания картофеля.

Производство картофеля в Российской Федерации характеризуется высокими ресурсными затратами. Самой трудо- и энергоемкой частью (свыше 60 % затрат) является процесс уборки, который осуществляется в основном комбайнами. Современные машины при благоприятных условиях эксплуатации в полной мере обеспечивают соблюдение агротехнических требований. Негативное влияние внешних факторов, при отсутствии должного внимания со стороны сельхозпроизводителя пагубным образом может отразиться на качестве конечного продукта.

Известно, что стоимость картофеля с механическими повреждениями на 30-50% меньше, что неблагоприятным образом отразится на рентабельности производства. Помимо прочего потери клубней при хранении в этом случае могут достигать 50-60% от общей массы.

В итоге наибольшие доходы от производства картофеля получают в тех хозяйствах, где внедрены современные технологии, позволяющие оптимизировать энерго- и трудозатраты.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что научно-технические изыскания в области совершенствования уборки картофеля являются перспективными в настоящее время.

Научная гипотеза. Применение адаптивной модели уборки картофеля позволит минимизировать производственные издержки при его возделывании с соблюдением соответствующих агротехнических требований.

Степень разработанности темы исследования. Исследованием вопроса уборки картофеля занимались А.Г. Аксенов, С.Н. Бoryчев, Н.В. Бышов, Н.И. Верещагин, П.И. Гаджиев, А.Ю. Измайллов, Н.Н. Колчин, М.Ю. Костенко, Г.Д. Петров, А.Г. Пономарев, К.А. Пшеченков, Г.К. Рембалович, А.В. Сибирев, В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, А.А. Сорокин, И.А. Успенский, W. Deng, A.M. Radu и другие ученые.

Исследованием вопроса внутрихозяйственных перевозок картофеля навалом в кузове транспортного средства (ТС) занимались С.Н. Бoryчев, Н.В. Бышов, Д.С. Гапич, О.Н. Дидманидзе, А.В. Заводнов, В.С. Заводнов, А.Ю. Измайллов, Н.Н. Колчин, А.И. Ряднов, А.А. Симдянкин, И.А. Успенский, С.Д. Фомин, И.А. Юхин, O'Brien M., L.L. Claypool и другие ученые.

Работа выполнена по плану НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2011-2015 гг. по теме 73.31.41 «Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта и мобильной сельскохозяйственной техники за счет разработки новых конструкций, методов и средств технического обслуживания, ремонта и

диагностирования» (№ гос. рег. 01201174433), плану НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 гг. по теме 1 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий» (№ гос. рег. 122020200038-8), а так же по заказу открытого акционерного общества «Аграрий» (тема «Разработка рекомендаций по повышению эффективности эксплуатации транспортных средств при перевозках технологических и строительных грузов навалом по дорогам в сельском хозяйстве (аграрном секторе)» (2015 г.)).

Цель исследований – снижение повреждений клубней применением адаптивной модели уборки картофеля.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- 1) проанализировать существующие технологии и технические средства уборки картофеля;
- 2) определить пути минимизации повреждений клубней при уборке картофеля;
- 3) теоретически обосновать и экспериментально уточнить параметры адаптивной модели уборки картофеля;
- 4) теоретически обосновать и экспериментально уточнить конструктивные параметры самосвального кузова транспортного средства;
- 5) провести испытания адаптивной модели уборки картофеля на базе агропредприятий Рязанской области;
- 6) определить экономический эффект от использования адаптивной модели уборки картофеля в АПК, предложить пути дальнейшего развития темы.

Объекты исследования – уборка картофеля и его перевозка.

Предмет исследований – зависимость повреждения клубней картофеля от условий его уборки.

Научную новизну работы составляют:

- адаптивная модель уборки картофеля;
- научно-обоснованные технические решения для перевозки картофеля и сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин, направленные на снижение повреждений сельскохозяйственной продукции.

Новизна технических решений подтверждена 10 патентами РФ на изобретения и полезные модели.

Теоретическая значимость работы заключается в целевой функции адаптивной модели уборки картофеля, характеризующей взаимосвязь повреждений клубней с конструктивными и эксплуатационными параметрами применяемых технических средств, природно-климатическими условиями и сортовыми характеристиками возделываемой культуры.

Практическую значимость работы составляют:

- теоретически обоснованные и экспериментально уточненные выходные параметры адаптивной модели уборки картофеля: скорость движения

груженого ТС, рабочая скорость картофелеуборочной машины;

- параметры усовершенствованного самосвального кузова ТС для перевозки легкоповреждаемой продукции;
- практические рекомендации по использованию усовершенствованных ТС при уборке картофеля и оценка технико-экономического эффекта от их применения в АПК;
- перспективные конструктивно-технологические решения для транспортировки картофеля контейнерным способом.

Реализация результатов исследований. Адаптивная модель уборки картофеля используется в ООО «Рассвет» Клепиковского и КФХ Пеньшин С.А. Михайловского района Рязанской области.

Картофелеуборочные комбайны DR-1500, оснащенные усовершенствованными сепарирующими устройствами (патент РФ на полезную модель №157146 и патент РФ на изобретение № 2592111) применяются в ОАО «Аграрий» Касимовского района Рязанской области.

Результаты исследований приняты Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха» (ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», а также внедрены в учебный процесс в ФГБОУ ВО РГАТУ и ФГБОУ ДПО Мордовский институт переподготовки кадров агробизнеса.

Методология и методы исследований. При выполнении диссертационной работы были использованы: методы эмпирического исследования (наблюдение, сравнение, измерение, эксперимент и материальное моделирование); метод анализа и синтеза; методы математического анализа и обработки статистических данных (корреляционно-регрессионный анализ и дисперсионный анализ); симплексный метод поиска оптимального решения. Лабораторно-полевые исследования проведены согласно методике, приведенной в ГОСТ 28713-2018 «Машины для уборки картофеля. Методы испытаний». Расчет экономического эффекта выполнен в соответствии с ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки». Теоретические расчеты проведены при помощи прикладных программ MathCAD 14.0 и программ MS Excel 2010. При построении адаптивной модели уборки картофеля был использован язык Visual Basic of Application.

Положения, выдвигаемые на защиту:

- результаты анализа существующих технологий и технических средств уборки картофеля;
- результаты исследований по минимизации повреждений картофеля при уборке;
- адаптивная модель уборки картофеля;
- конструктивно-технологическое решение для самосвального кузова транспортного средства и уточненные его конструктивные параметры;
- результаты исследований адаптивной модели уборки картофеля;
- результаты оценки экономического эффекта от использования

адаптивной модели уборки картофеля;

- предложения по дальнейшему совершенствованию производства картофеля.

Степень достоверности результатов исследования. Для осуществления полевых исследований использовались современные приборы и установки.

Расхождение между данными, полученными теоретическим способом и при полевых испытаниях, составляет менее 2% (установлено при помощи расчета средней ошибки аппроксимации). Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, согласуются с результатами, опубликованными в независимых источниках по тематике исследования, и прошли широкую апробацию в печати, на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева (2012...2021 гг.), Международной научно-практической конференции Белорусского ГАТУ (2013 г.), Международной студенческой научно-практической конференции Современного технического института (2013 г.), Международной научно-практической конференции Санкт-Петербургского ГАУ (2013 г.), Международной научно-технической конференции ГНУ ВИМ РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ (2013 г.), Международной научно-практической конференции Мордовского ГУ имени Н.П. Огарева (2014 г.), конференции ВНИИХХ имени А.Г. Лорха (2015 г.), Международной научной конференции РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева (2016 г.), Всероссийского научно-практического круглого стола Академии ФСИН России (2017 г.). Результаты работы были представлены на салонах изобретений и инновационных технологий «Архимед-2014,-15,-20,-21». Разработка «Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины» награждена золотой медалью салона «Архимед-2015»; разработка «Самосвальная кузов для перевозки легкоповреждаемой продукции» награждена золотой медалью салона «Архимед-2020».

Личный вклад соискателя состоит в определении направлений теоретических и экспериментальных исследований, разработке адаптивной модели уборки картофеля и конструктивно-технологических решений для самосвальных кузовов транспортных средств, организации и проведении лабораторно-полевых испытаний.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в печати в 47 научных работах, в том числе 20 статей в журналах, включенных в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание

ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК РФ, 3 публикации в иностранной печати, 2 научные монографии. Получено 10 патентов РФ на изобретения и полезные модели. Общий объем публикаций составил 29,58 п.л., из них лично соискателю принадлежит 20,7 п.л.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 249 наименований, в том числе 16 на иностранных языках и 11 приложений, изложена на 292 страницах, включает 114 рисунков и 43 таблицы.

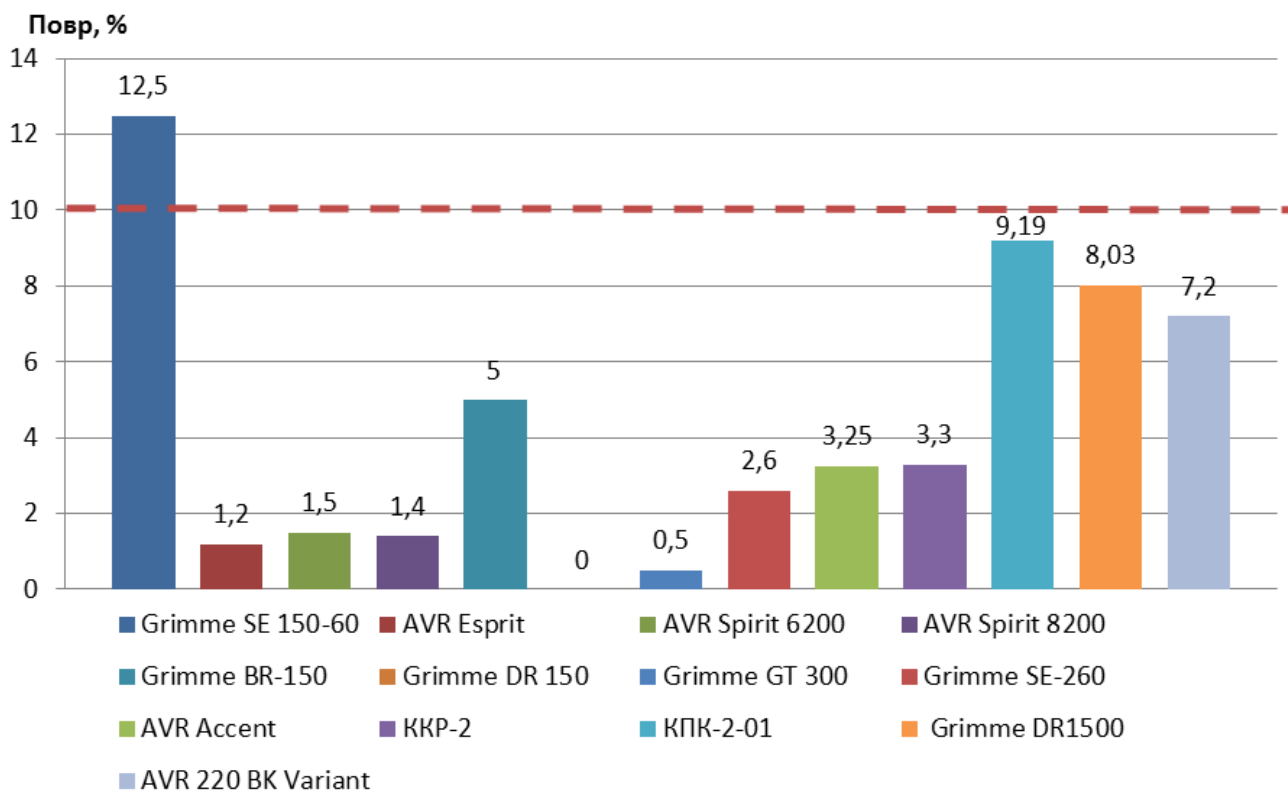
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, описана степень ее разработанности, поставлена цель исследований, раскрыта методология исследований, приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы, основные положения диссертации, выдвигаемые для защиты, отражены степень достоверности и апробация результатов исследования.

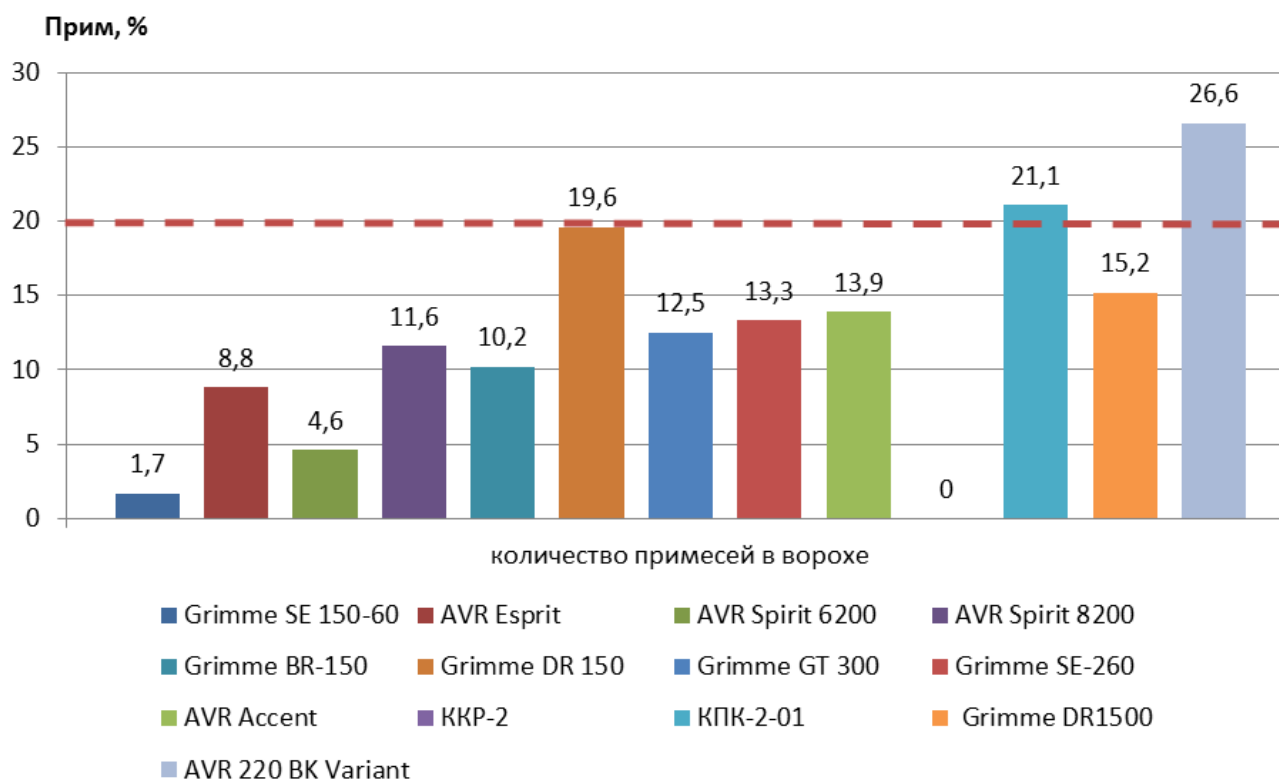
В первой главе «Исследования вопроса производства картофеля» проведен анализ вопроса уборки картофеля и поставлены задачи исследования.

Проведен анализ существующих технологий уборки картофеля. Установлено, что наиболее распространенной является –прямоточная с применением комбайнов элеваторного и бункерного типов.

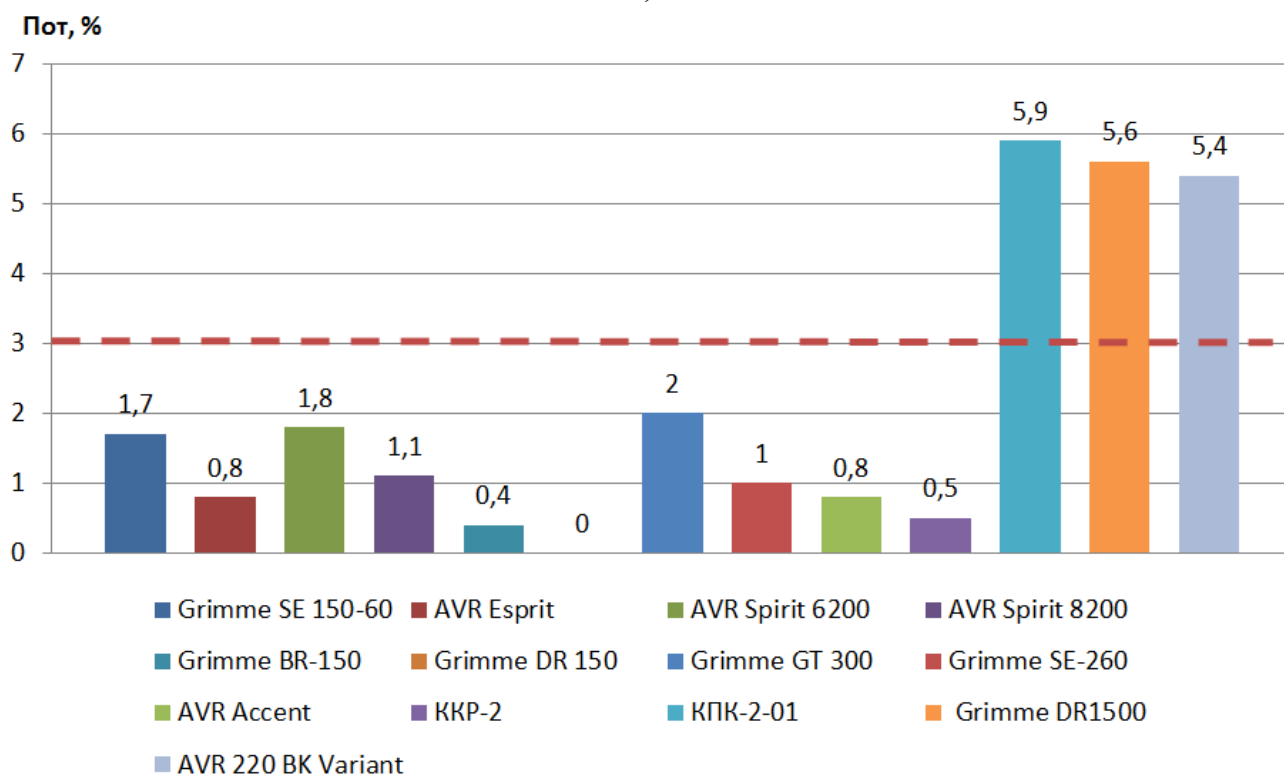
Проанализированы результаты полевых испытаний картофелеуборочных машин при различных природно-климатических условиях (рис. 1).



a)



б)



в)

а - повреждение клубней; б - чистота клубней в таре; в - потери клубней
 Рисунок 1 – Показатели работы картофелеуборочных машин

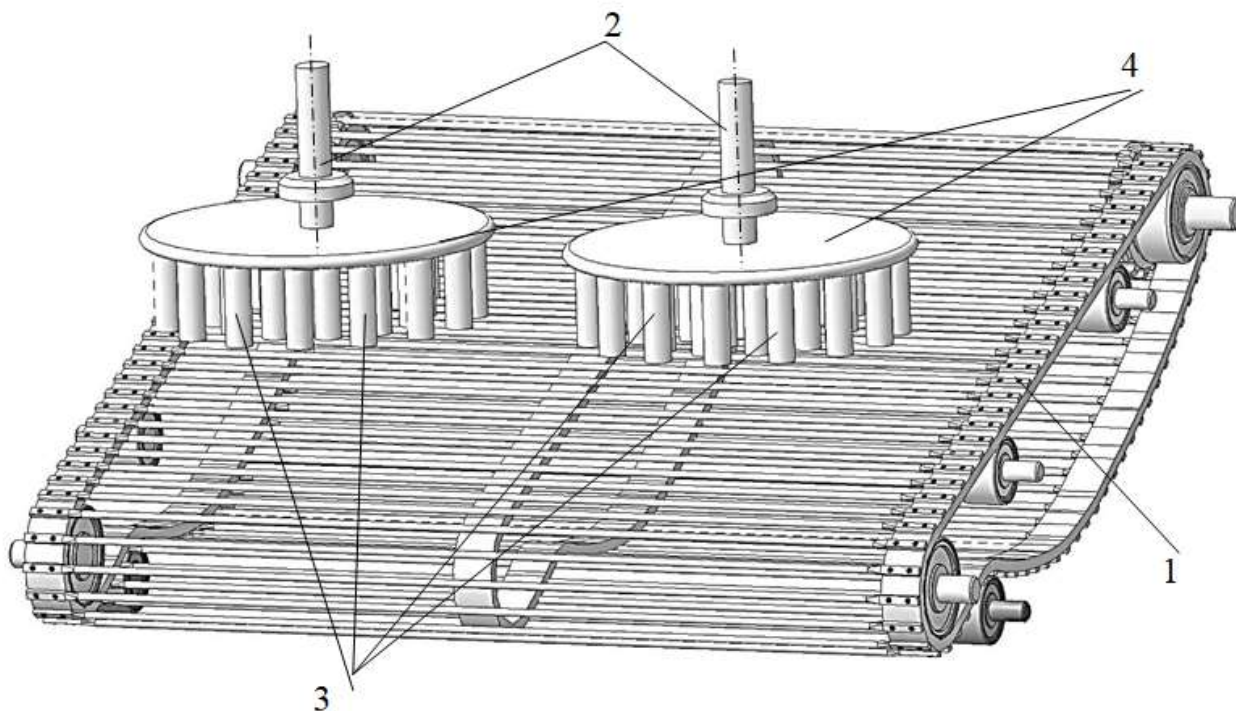
Установлено, что в благоприятных природно-климатических условиях картофелеуборочные машины соответствуют всем агротехническим требованиям. Для повышения качества отдельных показателей (снижение

повреждений и потерь, повышение чистоты клубней в таре) разработан ряд конструкторских решений.

Проанализированы причины повреждения клубней картофеля при осуществлении внутрихозяйственных перевозок: при погрузке, транспортировке, выгрузке из транспортного средства.

Проведенный анализ позволил определить наиболее весомые факторы, влияющие на повреждение клубней в процессе уборки.

Были рассмотрены конструкторские решения, направленные на повышение эксплуатационно-технологических показателей картофелеуборочных машин (рис. 2 и 3).

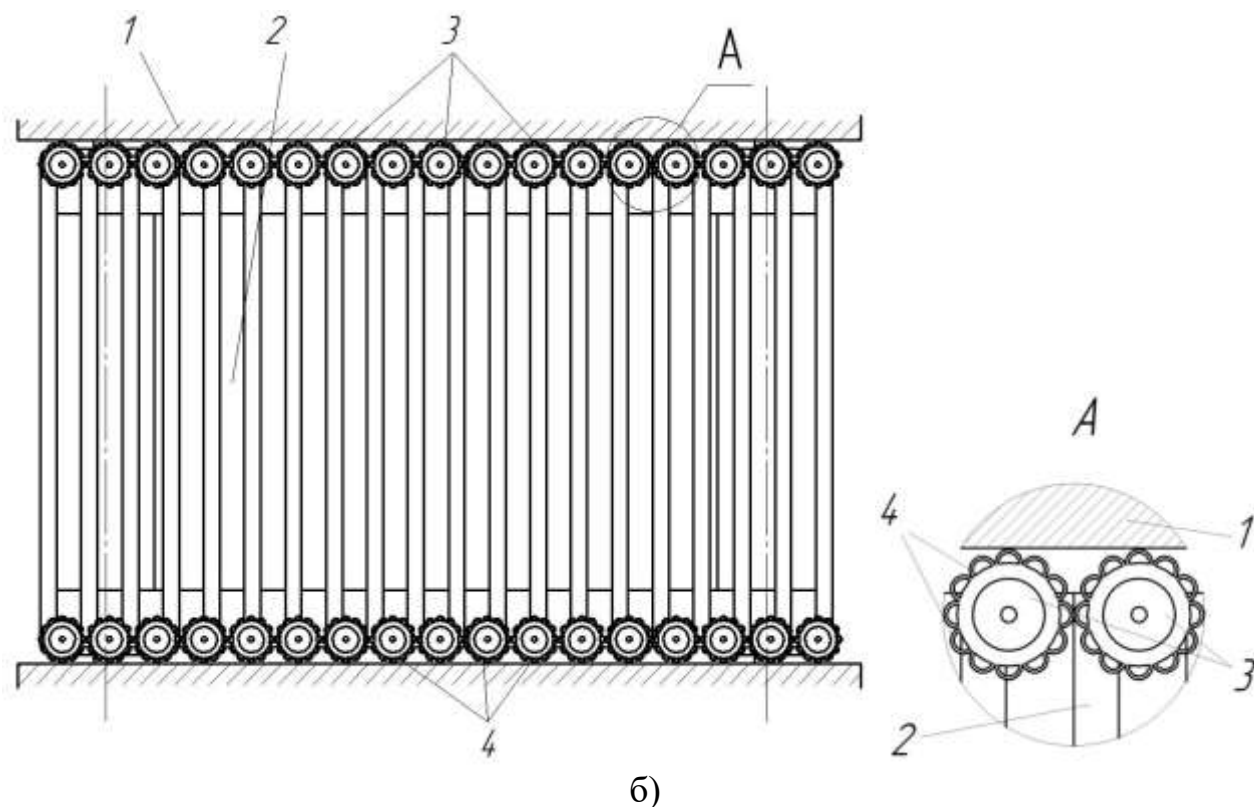


1 – полотно элеватора; 2 – интенсификаторы сепарации; 3 – упругие элементы; 4 – диски.

Рисунок 2 – Схема сепарирующего устройства (пат. РФ на ПМ № 157146)



а)



а) общий вид; б) технологическая схема.

1 – рама; 2 – полотно элеватора; 3 – упругие элементы; 4 – выступы.

Рисунок 3 – Сепарирующее устройство (пат. РФ на изобретение № 2592111)

Их комплексное применение позволит добиться высокого качества производимой продукции.

Во второй главе «Теоретическое обоснование и параметризация адаптивной модели уборки картофеля» разработана адаптивная модель уборки картофеля, определены ее входные параметры. Проведены исследования процесса разгрузки самосвальных кузовов ТС. Получены рекомендуемые параметры тракторно-транспортного агрегата (ТТА) 2ПТС-4,5.

В общем виде уборка картофеля комбайном элеваторного типа выглядит следующим образом (рис. 4).

Для организации беспростойной работы всего комплекса машин необходимо соблюдение следующего условия:

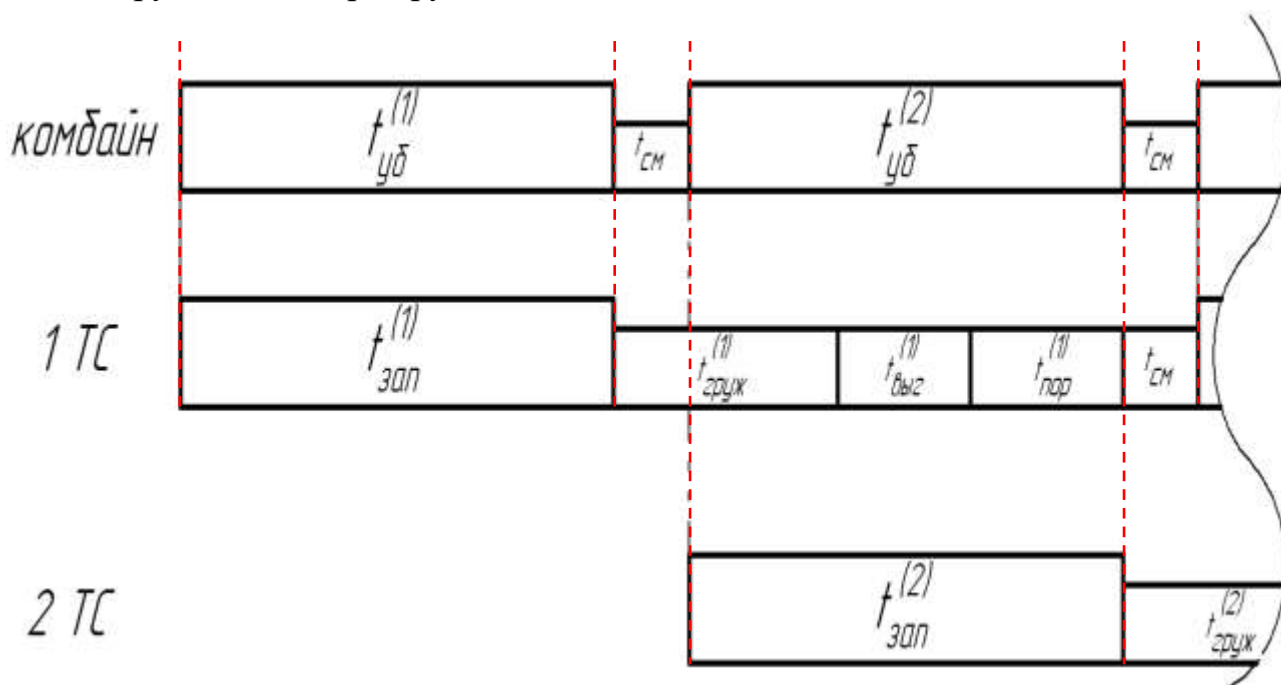
$$\begin{cases} t_{уб}^1 = t_{зап}^{(1)} \geq t_{цикл}^{(2)} \\ t_{уб}^2 = t_{зап}^{(2)} \geq t_{цикл}^{(1)} \end{cases} \quad (1)$$

где: $t_{зап}^{(1)}$, $t_{зап}^{(2)}$ – время заполнения кузовов 1 и 2 ТС, с; $t_{уб}^1$, $t_{уб}^2$ – время работы комбайна по заполнению кузова 1 и 2 ТС, с; $t_{цикл}^{(1)}$, $t_{цикл}^{(2)}$ – время, затраченное 1 и 2 ТС на езду с грузом до места хранения, разгрузку и возвращение обратно, с.

Общее время цикла каждого i -го ТС определили как:

$$\begin{cases} t_{\text{цикл}}^{(1)} = t_{\text{груз}}^{(1)} + t_{\text{выг}}^{(1)} + t_{\text{пор}}^{(1)} = \frac{S}{v_{\text{груз}}^{(1)}} + t_{\text{выг}}^{(1)} + \frac{S}{v_{\text{пор}}^{(1)}} \\ t_{\text{цикл}}^{(2)} = t_{\text{груз}}^{(2)} + t_{\text{выг}}^{(2)} + t_{\text{пор}}^{(2)} = \frac{S}{v_{\text{груз}}^{(2)}} + t_{\text{выг}}^{(2)} + \frac{S}{v_{\text{пор}}^{(2)}} \end{cases} \quad (2)$$

где: S – путь от комбайна до места выгрузки, м; $v_{\text{груз}}^{(1)}$, $v_{\text{груз}}^{(2)}$ – скорости движения груженого 1 и 2 ТС, м/с; $v_{\text{пор}}^{(1)}$, $v_{\text{пор}}^{(2)}$ – скорости движения порожнего 1 и 2 ТС, м/с; $t_{\text{груз}}^{(1)}$, $t_{\text{груз}}^{(2)}$ – время ездки 1 и 2 ТС с грузом от комбайна до места разгрузки, с; $t_{\text{выг}}^{(1)}$, $t_{\text{выг}}^{(2)}$ – время разгрузки 1 и 2 ТС, с; $t_{\text{пор}}^{(1)}$, $t_{\text{пор}}^{(2)}$ – время ездки 1 и 2 ТС без груза от места разгрузки до комбайна, с.



----- границы этапов; $t_{\text{уб}}^1$, $t_{\text{уб}}^2$ – время работы комбайна по заполнению кузова первого и второго ТС, с; $t_{\text{см}}$ – технологический простой, с; $t_{\text{зап}}^{(1)}$, $t_{\text{зап}}^{(2)}$ – время заполнения картофельным ворохом кузова первого и второго ТС, с; $t_{\text{груз}}^{(1)}$, $t_{\text{груз}}^{(2)}$ – время ездки первого и второго ТС с грузом от комбайна до места разгрузки, с; $t_{\text{выг}}^{(1)}$, $t_{\text{выг}}^{(2)}$ – время разгрузки первого и второго ТС, с; $t_{\text{пор}}^{(1)}$, $t_{\text{пор}}^{(2)}$ – время ездки первого и второго ТС без груза от места разгрузки до комбайна, с.

Рисунок 4 - Схема уборки картофеля при помощи комбайна элеваторного типа

Время заполнения кузова 1 и 2 ТС находили как:

$$\begin{cases} t_{\text{зап}}^{(1)} = \frac{V_{\text{куз}}^{(1)} \cdot \rho}{0,1 \cdot Y \cdot 2,778 \cdot P} \\ t_{\text{зап}}^{(2)} = \frac{V_{\text{куз}}^{(2)} \cdot \rho}{0,1 \cdot Y \cdot 2,778 \cdot P} \end{cases} \quad (3)$$

где: Y – урожайность картофеля, т/га; 0,1 – переводной коэффициент из т/га в кг/м²; P – производительность комбайна, га/ч; 2,778 – переводной коэффициент га/ч в м²/с; ρ – объемная масса клубней, кг/м³; $V_{\text{куз}}^{(1)}$, $V_{\text{куз}}^{(2)}$ – объем кузова первого и второго ТС, м³.

Окончательно система ограничений для адаптивной модели уборки картофеля выглядела следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_{\text{куз}}^{(1)} \cdot \rho_0}{0,1 \cdot Y \cdot \vartheta_{\text{комб}}^{(2)} \cdot B} \geq \frac{S}{\vartheta_{\text{груз}}^{(2)}} + t_{\text{выг}}^{(2)} + \frac{S}{\vartheta_{\text{пор}}^{(2)}} \\ \frac{V_{\text{куз}}^{(2)} \cdot \rho_0}{0,1 \cdot Y \cdot \vartheta_{\text{комб}}^{(1)} \cdot B} \geq \frac{S}{\vartheta_{\text{груз}}^{(1)}} + t_{\text{выг}}^{(1)} + \frac{S}{\vartheta_{\text{пор}}^{(1)}} \\ \vartheta_{\text{комб}}^{(1,2)} \leq 1,444 \text{ м/с (5,2 км/ч)} \\ \vartheta_{\text{комб}}^{(1,2)} \geq \frac{0,28 \sqrt{0,28 a \cdot B \cdot \sum l_i}}{n_{\text{ряд}} \cdot \frac{1}{2} H_{\text{под}} \cdot B_{\text{гр}} \cdot \rho_{\text{поч}}} \\ \vartheta_{\text{комб}}^{(1,2)} \leq \frac{0,28 \sqrt{0,772 a \cdot B \cdot \sum l_i}}{n_{\text{ряд}} \cdot \frac{1}{2} H_{\text{под}} \cdot B_{\text{гр}} \cdot \rho_{\text{поч}}} \\ \vartheta_{\text{груз}}^{(1,2)} \leq 8,056 \text{ м/с (29 км/ч)} \end{array} \right. \quad (4)$$

где: $V_{\text{куз}}^{(1)}$, $V_{\text{куз}}^{(2)}$ – объем кузова первого и второго ТС, м³; ρ_0 – объемная масса клубней, кг/м³; Y – урожайность картофеля, т/га; 0,1 – переводной коэффициент из т/га в кг/м²; B – ширина захвата комбайна, м; $\vartheta_{\text{комб}}^{(1)}$, $\vartheta_{\text{комб}}^{(2)}$ – скорость комбайна, м/с; S – путь от комбайна до места выгрузки, м; $\vartheta_{\text{груз}}^{(1)}$, $\vartheta_{\text{груз}}^{(2)}$ – скорости движения груженого 1 и 2 ТС, м/с; $t_{\text{выг}}^{(1)}$, $t_{\text{выг}}^{(2)}$ – время разгрузки 1 и 2 ТС, с; $\vartheta_{\text{пор}}^{(1)}$, $\vartheta_{\text{пор}}^{(2)}$ – скорости движения порожнего 1 и 2 ТС, м/с; $H_{\text{под}}$ – глубина подкопа, м; $B_{\text{гр}}$ – ширина грядки, м; a – коэффициента линейности, $\frac{\kappa c^{1-b}}{m^2 c^{1-b}}$; $\rho_{\text{поч}}$ – плотность почвы, т/м³; $n_{\text{ряд}}$ – количество убираемых рядков, ед.; $\sum l_i$ – сумма длин сепарирующих элеваторов машины, м.

Целевая функция адаптивной модели уборки выглядела следующим образом:

$$\begin{aligned}
 F = & 2V_{\text{куз}}^{(i)} \left(f\left(\vartheta_{\text{комб}}^{(i)}\right) + \left(\frac{\pi \cdot b_{\text{в.тр}}^2}{3H_{\text{куз}} \cdot b_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}}} \left(H_{\text{куз}} + h_{\text{тр}} - \frac{\sigma_{\text{пред}}^5}{58,632 \left(\frac{E_2}{\pi}\right)^4 \cdot \rho \cdot g} - \frac{\vartheta_{\text{в.т.}}^2}{2g} \right) \right) + \right. \\
 & + \frac{c_{\text{ср}}}{H_{\text{куз}} \cdot \sqrt{2\pi \cdot D(m_{\text{кл}})}} \cdot \left(\frac{\int_{m_{\text{кл}}}^{m_{\text{кл.макс}}} \frac{\sigma_{\text{пред}}^5 \cdot \pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}})}{8588,75 \cdot \left(f\left(\vartheta_{\text{груз}}^{(i)}\right)\right)^2 \cdot \left(\frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)}\right)^4} f(x) dx}{\int_{m_{\text{кл}}}^{m_{\text{кл.макс}}} \frac{\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}})}{240 \cdot \left(f\left(\vartheta_{\text{груз}}^{(i)}\right)\right)^2 \cdot \left(\frac{E_2}{\pi}\right)^4} \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{пред}}}{3,1}\right)^5 f(x) dx} \right) + \\
 & + \frac{1,3 \cdot c_{\text{ср}}}{H_{\text{куз}} \cdot \sqrt{2\pi \cdot D(m_{\text{кл}})}} \int_{m_{\text{кл}}}^{m_{\text{кл.макс}}} \frac{\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}})}{240 \cdot \left(f\left(\vartheta_{\text{груз}}^{(i)}\right)\right)^2 \cdot \left(\frac{E_2}{\pi}\right)^4} \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{пред}}}{3,1}\right)^5 f(x) dx + \\
 & \left. + \frac{\pi \cdot b_{\text{куз}}}{3H_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}}} \left(h_{\text{пл}} - \frac{\sigma_{\text{пред}}^5}{58,632 \left(\frac{E_2}{\pi}\right)^4 \cdot \rho \cdot g} \right) \right) \rightarrow \min
 \end{aligned} \tag{5}$$

где: ρ – плотность клубня, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; π – математическая постоянная; $\sigma_{\text{пред}}$ – предельное контактное напряжение, возникающее при падении клубня, Па; E_1 – модуль Юнга поверхности, на которую падает клубень, Па; E_2 – модуль Юнга клубня, Па; $c_{\text{ср}}$ – усредненный размер клубня, м; $M(a_{\text{кл}})$, $M(b_{\text{кл}})$, $M(c_{\text{кл}})$ – моменты ожиданий длины, ширины, толщины клубня, м; $m_{\text{кл}}$ – масса клубня, кг; $m_{\text{кл.макс}}$ – максимальная масса клубня исследуемого сорта, кг; $D(m_{\text{кл}})$ – дисперсия, кг²; $V_{\text{куз}}^{(i)}$ – объем кузова i – го ТС, м³; $h_{\text{пл}}$ – высота дна кузова ТС относительно плоскости разгрузки, м; $H_{\text{куз}}$, $b_{\text{куз}}$, $L_{\text{куз}}$ – высота, ширина, длина кузова ТС, м; $b_{\text{в.тр}}$ – ширина выгрузного транспортера, м; $\vartheta_{\text{в.т.}}$ – линейная скорость выгрузного транспортера комбайна, м/с; $h_{\text{тр}}$ – высота полотна транспортера, м; $f(x)dx$ – функция плотности распределения масс отдельных клубней картофеля; $f\left(\vartheta_{\text{комб}}^{(i)}\right)$ – функция зависимости количества повреждений клубней при работе комбайна от его скорости; $f\left(\vartheta_{\text{груз}}^{(i)}\right)$ – функция зависимости количества повреждений клубней от скорости движения ТС.

Оптимальные значения переменных, удовлетворяющих системе ограничений, при которых целевая функция минимальна, определяли симплексным методом.

Для упрощения расчетов была разработана программа, алгоритм которой представлен на рисунке 5.

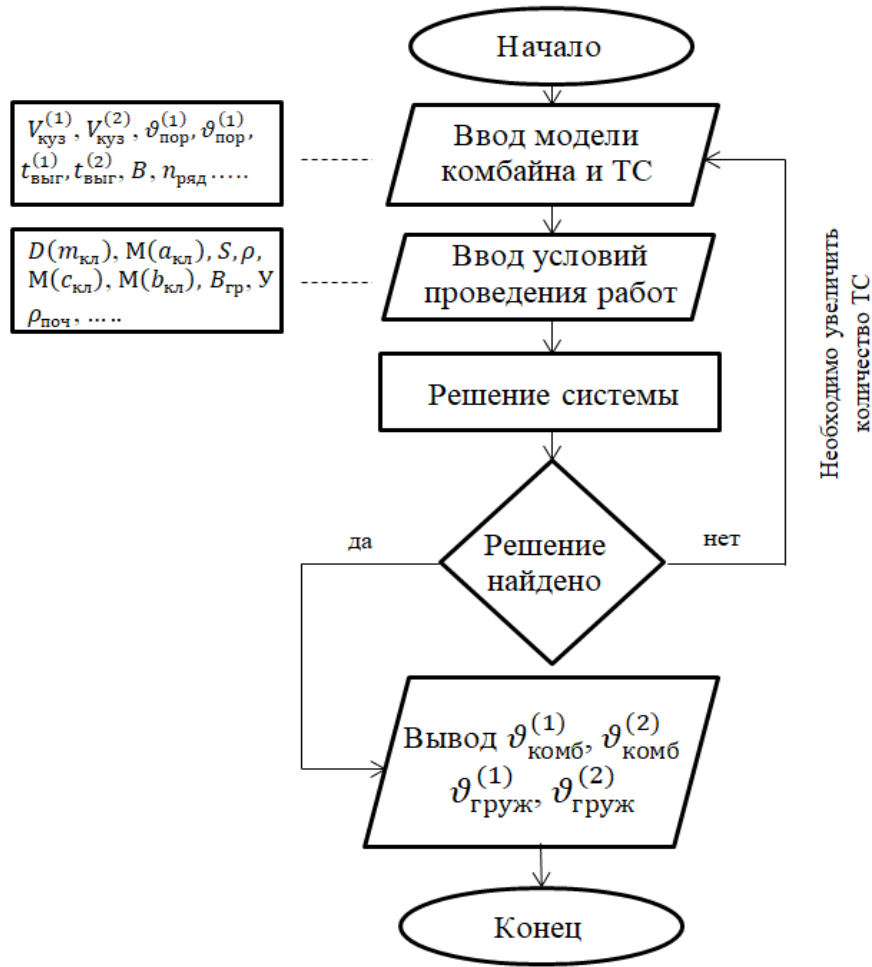


Рисунок 5 - Алгоритм адаптивной модели

Для снижения повреждений клубней в процессе их выгрузки из кузова ТС была разработана следующая конструкция (рис. 6).

Оптимальные параметры кузова были определены согласно следующим условиям: $l_{ц} = L/2$; $l_{п} = l_{ц}/2$; $h_{ц} = H_{куз}$; $h_{п} = h_{ц} - \frac{L}{4} \cdot \tan 30$ (рис. 7).

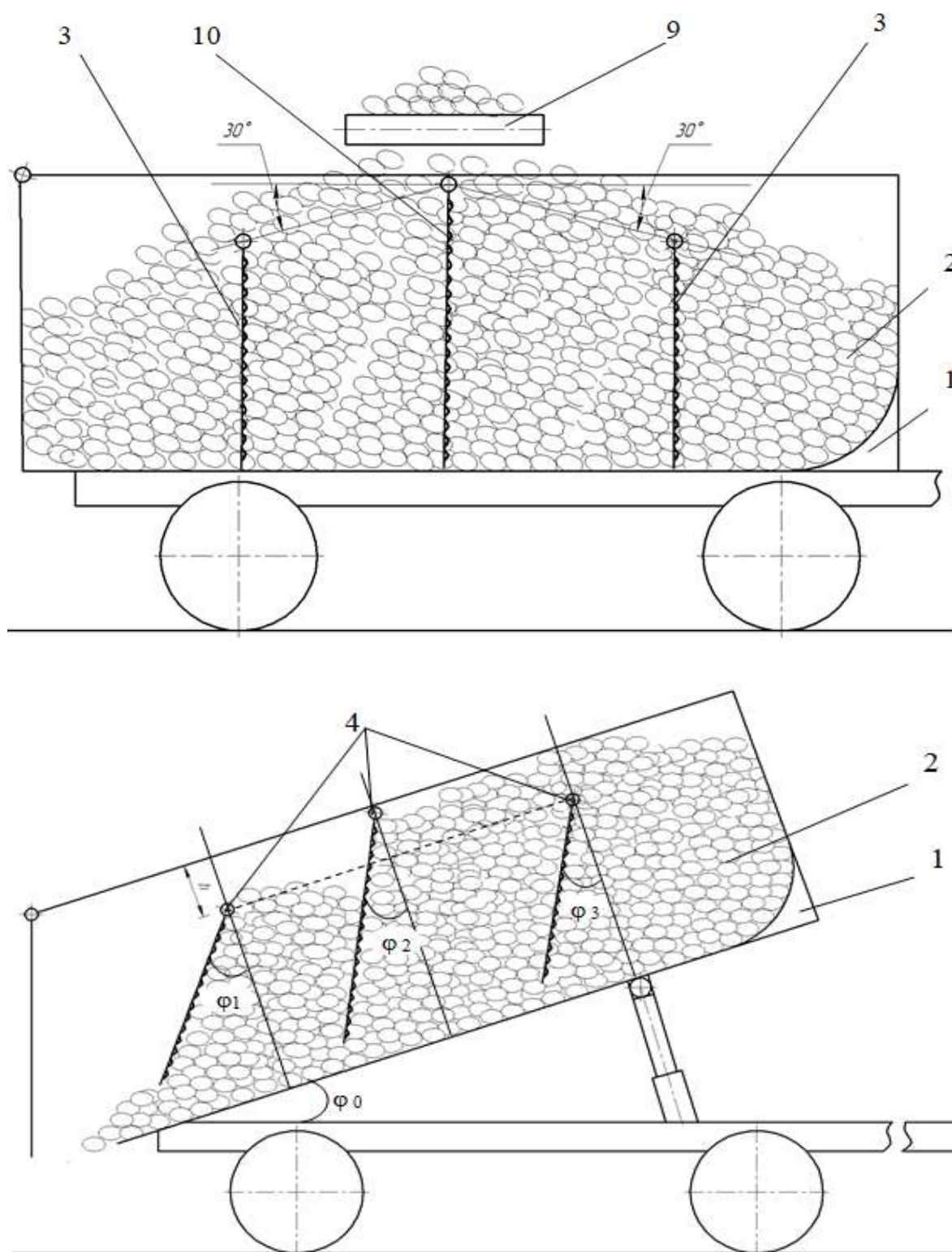
Угол отклонения передней поперечной перегородки определили исходя из следующего условия:

$$\varphi_1 = \arccos \left(1 - \frac{\left(\frac{3,2 \cdot g \cdot b_{куз} h_{6.0} \cdot \cos a}{h_{6.0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{куз}} \right)}{H_{куз} - \frac{L}{4} \cdot \tan a} \right) \quad (6)$$

Углы отклонения центральной и задней поперечной перегородки определили исходя из следующего условия:

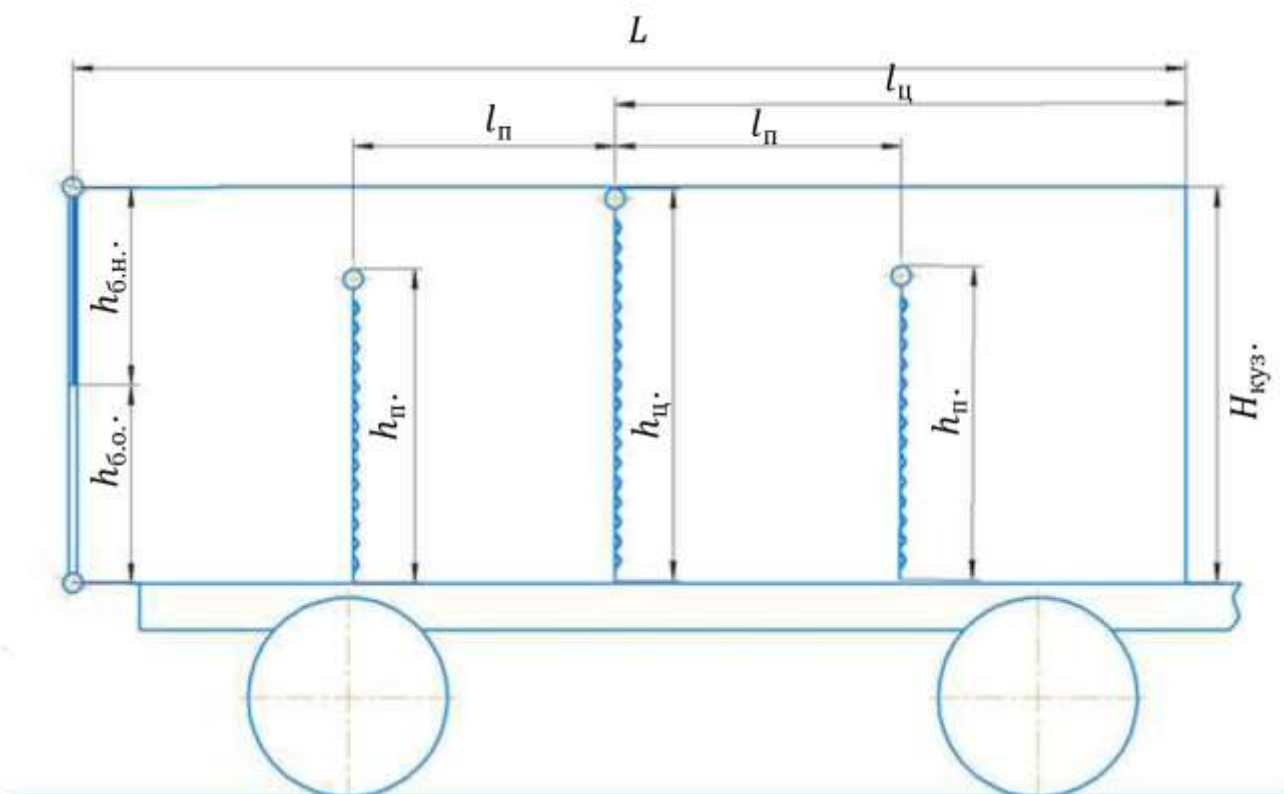
$$\varphi_2 = \varphi_3 = \arccos \left(\frac{\left(H_{куз} - \left(\frac{b_{куз}}{0,56 \cdot \cos \varphi_{1-2}} \left(\sin \varphi_{1-2} - \frac{0,8 \lambda^2}{L} \left(\frac{3,2 \cdot g \cdot b_{куз} h_{6.0} \cdot \cos a}{h_{6.0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{куз}} \right) b_{куз} \right) - b_{куз} \right) \right)}{H_{куз}} \right) \quad (7)$$

где: λ – коэффициент истечения.



1 – кузов; 2 – груз; 3 – боковые поперечные перегородки; 4 – ось перегородок; 9 – подающий транспортер картофелеуборочной машины; 10 – центральная поперечная перегородка; φ_1, φ_3 – углы отклонения боковых поперечных перегородок, град; φ_2 – угол отклонения центральной поперечной перегородки, град; φ_0 – угол наклона грузовой платформы самосвального кузова, град; h – разница высот центральной и боковых поперечных перегородок, м.

Рисунок 6 – Самосвальный кузов ТС (пат. № 194128)



$h_{б.о.}$ – высота основного борта, м; $h_{б.н.}$ – высота надставного борта, м; $h_{п.}$ – высота боковых поперечных перегородок, м; $h_{ц.}$ – высота центральной поперечной перегородки, м; $H_{куз.}$ – высота кузова, м; L – длина кузова, м; $l_{ц.}$ – удаленность центральной поперечной перегородки, м; $l_{п.}$ – удаленность боковых поперечных перегородок, м.

Рисунок 7 – Схема расчета параметров кузова ТС

Для усовершенствованного самосвального кузова на базе ТТА 2ПТС-4,5 рекомендуемыми параметрами будут: высота центральной поперечной перегородки $h_{ц.} = 1,15$ м; удаленность центральной поперечной перегородки от заднего откидного борта $l_{ц.} = 2,04$ м; удаленность боковых поперечных перегородок от центральной $l_{п.} = 1,02$ м; высота боковых поперечных перегородок $h_{п.} = 0,56$ м; угол отклонения первой (относительно заднего откидного борта) боковой поперечной перегородки $\varphi_1 = 16$ град; угол отклонения центральной поперечной перегородки $\varphi_2 = 37,2$ град; угол отклонения второй (относительно заднего откидного борта) боковой поперечной перегородки $\varphi_3 = 37,2$ град.

В третьей главе «Лабораторно-полевые исследования входных параметров адаптивной модели уборки картофеля» рассмотрены программа, методики и результаты лабораторно-полевых исследований входных параметров адаптивной модели уборки картофеля.

Программа лабораторно-полевых исследований включала:

1. Изучение размерно-массовых характеристик картофеля;
2. Определение зависимости повреждений клубней от внешних условий и

параметров работы картофелеуборочных машин;

3. Определение зависимости виброскорости колебаний клубней картофеля в кузове транспортного средства от независимых факторов;

4. Обоснование основных параметров разработанного самосвального кузова ТС.

Все этапы лабораторно-полевых исследований были проведены на базе ФГБОУ ВО РГАТУ и картофелеводческих хозяйств Рязанской области.

Забор проб исследуемых сортов картофеля осуществляли по методике, приведенной в ГОСТ 28713-2018 «Машины для уборки картофеля. Методы испытаний»

Были получены функция плотности распределения масс, средние значения длины, ширины и толщины клубней:

- сорта «Ред Скарлет» $f(x) = 0,015 \cdot e^{\frac{-(x-85,8)^2}{1444,72}}$; $a_{\text{кл}} = 71,7$ мм; $b_{\text{кл}} = 51,8$ мм; $c_{\text{кл}} = 45,5$ мм; $m_{\text{кл}} = 85,8$ г.

- сорта «Сантэ» $f(x) = 0,014 \cdot e^{\frac{-(x-74)^2}{1624}}$; $a_{\text{кл}} = 64,4$ мм; $b_{\text{кл}} = 52,1$ мм; $c_{\text{кл}} = 43,7$ мм; $m_{\text{кл}} = 74$ г.

- сорта «Невский» $f(x) = 0,013 \cdot e^{\frac{-(x-72,6)^2}{1802,48}}$; $a_{\text{кл}} = 62,3$ мм; $b_{\text{кл}} = 46,7$ мм; $c_{\text{кл}} = 39,1$ мм; $m_{\text{кл}} = 72,6$ г.

- сорта «Романо» $f(x) = 0,019 \cdot e^{\frac{-(x-76,6)^2}{864,88}}$; $a_{\text{кл}} = 69,4$ мм; $b_{\text{кл}} = 53,8$ мм; $c_{\text{кл}} = 43,5$ мм; $m_{\text{кл}} = 76,6$ г.

- сорта «Латона» $f(x) = 0,012 \cdot e^{\frac{-(x-64,6)^2}{2045,68}}$; $a_{\text{кл}} = 62,9$ мм; $b_{\text{кл}} = 48,2$ мм; $c_{\text{кл}} = 42,9$ мм; $m_{\text{кл}} = 64,6$ г.

Полученные функции дают представление о плотности распределения масс клубней сорта «Ред Скарлет», «Романо», «Латона», «Невский», «Сантэ», значениях их усредненных размерных характеристик (длины, ширины, толщины). Это позволит оптимизировать процесс перевозки свежубранного картофеля самосвальными кузовами ТС с минимальными повреждениями.

Проведены испытания картофелеуборочных машин на супесчаных и суглинистых почвах при рабочих скоростях (x_1) в диапазоне от 2,5 до 5,2 км/ч. Влажность почвы (x_2) на глубине залегания клубней варьировалась от 16 до 22%.

Выбор вида уравнения регрессии производили согласно методике, изложенной в СТО АИСТ 1.17–2010 «Испытания сельскохозяйственной техники и агротехнологий. Методы сравнительной оценки с использованием многофакторного корреляционно-регрессионного анализа».

Для картофелеуборочной машины Grimme GT 170 на супесчаных почвах получили уравнение регрессии:

$$y = 7,0881 - 0,518x_1 - 0,09107x_2 \quad (8)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,992$.

Для картофелеуборочной машины Grimme GT 170 на суглинистых почвах получили уравнение регрессии:

$$y = 7,671 - 0,6181x_1 - 0,1149x_2 \quad (9)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9733$.

Для картофелеуборочной машины AVR Lynx на супесчаных почвах получили уравнение регрессии:

$$y = 7,0385 - 0,4553x_1 - 0,1072x_2 \quad (10)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,929$.

Для картофелеуборочной машины AVR Lynx на суглинистых почвах получили уравнение регрессии:

$$y = 7,1545 - 0,4624x_1 - 0,1125x_2 \quad (11)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9274$.

Уравнения регрессий позволяют установить оптимальные эксплуатационные показатели картофелеуборочной техники при заданных условиях выполнения работ (в соответствии с агротехническими требованиями).

Проведены исследования для определения зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в кузове транспортного средства от скорости его движения (x_1) по дорогам с различным покрытием.

Скорость движения груженых самосвальных ТТА регистрировалась при помощи тахоспидометра КД 8105 МТЗ.

Показания виброскорости движения клубней в кузове ТС регистрировали при помощи виброметра Вибротест-МГ4.01.

Получены зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в кузове самосвального ТТА 2ПТС-4,5 при движении по дорогам с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием:

- для верхнего слоя клубней в кузове ТС:

$$y = 2,0893x - 5,8393 \quad (12)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9766$.

- для нижнего слоя клубней в кузове ТС:

$$y = -14,8631 + 1,6131x \quad (13)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9938$.

Построены графики зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в нижнем и верхнем слое кузова самосвального ТТА 2ПТС-4,5 от скорости его движения по дорогам с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием (рис. 8).

Учитывая, что предельное значение виброскорости колебания клубней в верхнем слое ($\vartheta_{\text{крит}}^{\text{вibr}} = 54,5$ мм/с) кузова ТС выше, чем для нижнего ($\vartheta_{\text{крит}}^{\text{вibr}} = 38$ мм/с), была установлена соответствующая граница (вертикальная штрихпунктирная линия на рис. 8).

Установили, что предельное значение скорости движения груженого самосвального ТТА 2ПТС-4,5 по дорогам с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием не должно превышать 28,6 км/ч. В противном случае клубни картофеля будут испытывать такие динамические нагрузки, при которых не будут соблюдаться агротехнические требования.

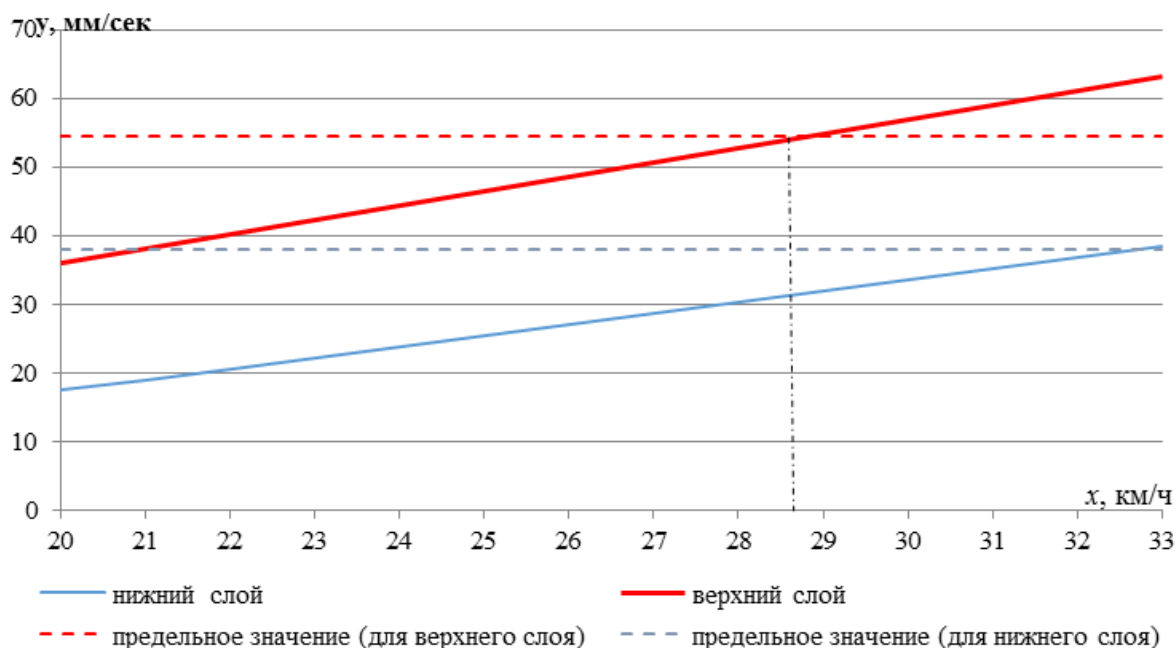


Рисунок 8 - Графики зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в нижнем и верхнем слое кузова ТСА от скорости его движения

Получены зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в кузове самосвального ТТА 2ПТС-4,5 при движении по грунтовым дорогам:

- для верхнего слоя клубней в кузове ТСА:

$$y = 2,0714x + 13,1786 \quad (14)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9567$.

- для нижнего слоя клубней в кузове ТСА:

$$y = 1,4881x + 0,9286 \quad (15)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9701$.

Построены графики зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в нижнем и верхнем слое кузова самосвального ТТА 2ПТС-4,5 от скорости его движения по грунтовым дорогам (рис. 9).

Установили, что предельное значение скорости движения груженого самосвального ТТА 2ПТС-4,5 по грунтовой дороге не должно превышать 19,8 км/ч.

Получены зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в кузове самосвального ТТА 2ПТС-5 при движении по дорогам с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием:

- для верхнего слоя клубней в кузове ТСА:

$$y = 2,006x - 4,506 \quad (16)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9799$.

- для нижнего слоя клубней в кузове ТСА:

$$y = 1,4583x - 13,2083 \quad (17)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,992$.

Установили, что предельное значение скорости движения груженого самосвального ТТА 2ПТС-5 по дорогам с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием не должно превышать 29,4 км/ч.

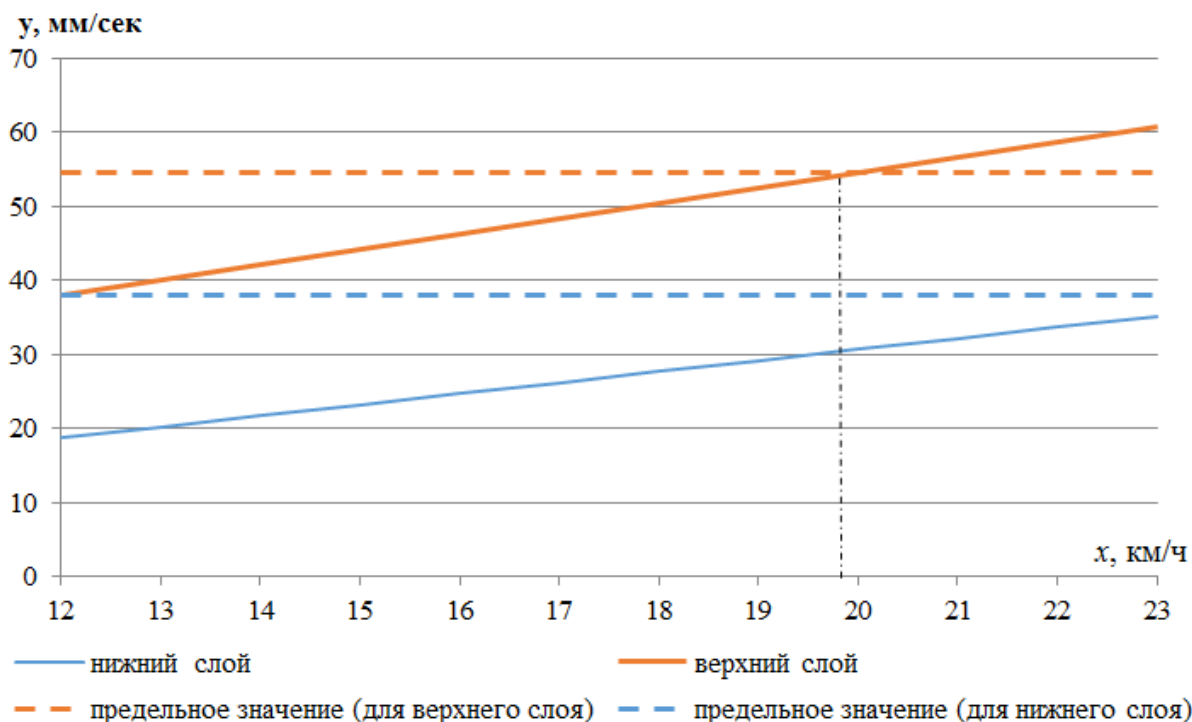


Рисунок 9 - Графики зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в нижнем и верхнем слое кузова 2ПТС-4,5 от скорости его движения

Получены зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в кузове самосвального ТТА 2ПТС-5 при движении по грунтовым дорогам:

- для верхнего слоя клубней в кузове ТС:

$$y = 1,9762 x + 14,1071 \quad (18)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9656$.

- для нижнего слоя клубней в кузове ТС:

$$y = 1,631 x - 1,4643 \quad (19)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9843$.

Установили, что предельное значение скорости движения груженого самосвального ТТА 2ПТС-5 по полю не должно превышать 20,3 км/ч.

Проведенные испытания ТТА 2ПТС-5 и 2ПТС-4,5 подтвердили предположения, что основное влияние на виброскорость колебаний клубней оказывает скорость движения ТС, а также дорожные условия, при которых выполняются внутрихозяйственные перевозки (разница в расчетной величине допустимой скорости движения ТС по полю и дороге общего значения около 9 км/ч).

Получены рекомендации по предельным значениям рабочих скоростей рассмотренных выше моделей ТС при осуществлении перевозки свежесобранного картофеля по полю и дорогам общего значения.

Были проведены исследования зависимости скорости соударения клубней с поверхностью пола при их выгрузке из разработанного самосвального кузова от особенностей его конструкции. В качестве независимых факторов, влияющих на результирующий показатель, были выбраны:

x_1 – удаленность поперечной перегородки от откидного борта, м;

x_2 – угол опрокидывания бункера, град; x_3 – высота зазора между поперечной перегородкой и дном бункера, м.

По результатам исследований было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 4,6819 + 0,1093x_1 + 0,00718x_2 + 1,9407x_3 \quad (20)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9525$.

Подставив геометрические характеристики самосвального ТТА 2ПТС-4,5 в уравнение (20) получили зависимости (рис. 10-11).

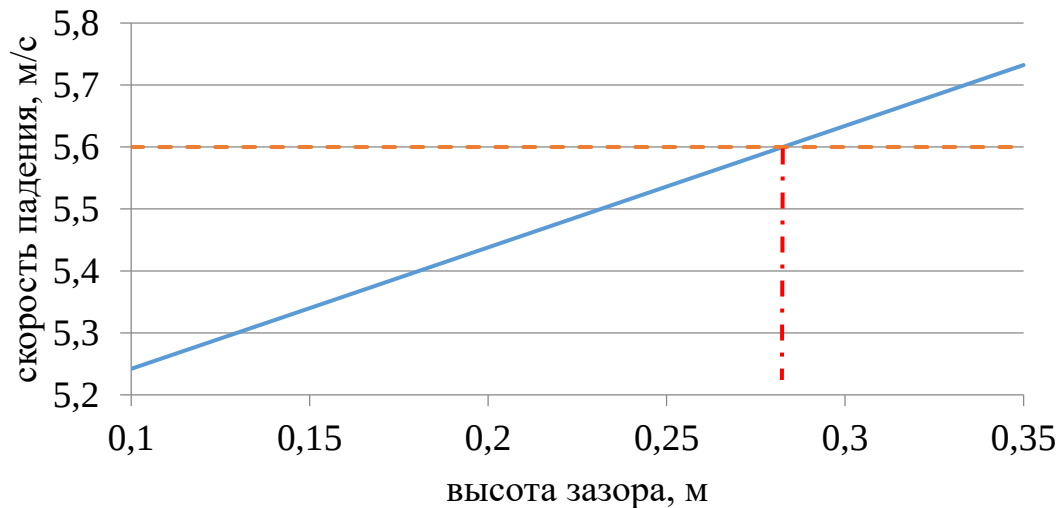


Рисунок 10 - График зависимости скорости соударения клубня с поверхностью места разгрузки от величины зазора между боковой поперечной перегородкой и дном кузова ТТА 2ПТС-4,5

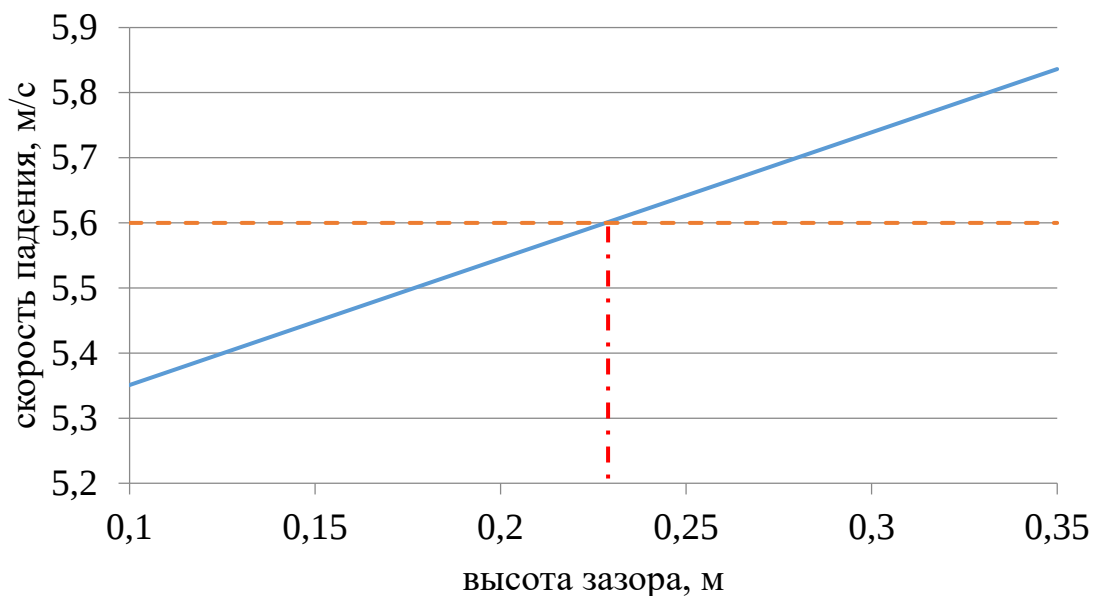


Рисунок 11 - График зависимости скорости соударения клубня с поверхностью места разгрузки от величины зазора между центральной поперечной перегородкой и дном кузова ТТА 2ПТС-4,5

Установили, что рекомендуемая высота зазора между боковой поперечной перегородкой и дном кузова ТТА 2ПТС-4,5, обеспечивающая

максимально-допускаемую скорость соударения клубня с поверхностью места разгрузки при его выгрузке из самосвального кузова ТС менее 5,6 м/с составляет 0,285 м.

Для центральной поперечной перегородки кузова ТТА 2ПТС-4,5 данный показатель, согласно графика на рисунке 11 составил 0,228 м.

В четвёртой главе «Полевые исследования работы комплекса технических средств при использовании адаптивной модели уборки картофеля» рассмотрены программа, методики и результаты полевых исследований работы техники для уборки картофеля с применением адаптивной модели.

Проведены исследования совместной работы комбайна AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5 при использовании адаптивной модели уборки картофеля и без нее, и аналогичные для комбайна Grimme GT 170 и ТТА 2ПТС-4,5.

Испытания были проведены в картофелеводческих хозяйствах Клепиковского и Михайловского районов Рязанской области.

При загрузке входных параметров в адаптивную модель уборки картофеля были получены следующие рекомендации для комбайна AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5 (рис. 12).

Вывод данных	
Область данных	
Скорость комбайна с 1 ТС	5,2 км/ч
Скорость комбайна с 2 ТС	5,2 км/ч
Скорость груженого 1 ТС (асфальт)	25 км/ч
Скорость груженого 1 ТС (грунтовая дорога)	15 км/ч
Скорость груженого 2 ТС (асфальт)	25 км/ч
Скорость груженого 2 ТС (грунтовая дорога)	15 км/ч
Выход	Назад

Рисунок 12 – Выходные параметры адаптивной модели уборки картофеля

При загрузке входных параметров в адаптивную модель уборки картофеля были получены следующие рекомендации для комбайна Grimme GT 170 и ТТА 2ПТС-4,5 (рис. 13).

Результаты сравнительных испытаний приведены в таблицах 1 и 2.

Было установлено, что для организации беспростойной работы комплекса технических средств и обеспечения максимальной производительности AVR Lynx (при скорости в 5,2 км/ч) достаточно, чтобы груженные ТС передвигались со скоростью 25 км/ч по дороге с асфальтобетонным покрытием и 15 км/ч по грунтовой. Это позволило снизить совокупные повреждения клубней при уборке картофеля на 2,1 % в абсолютном исчислении (или на 19,21 в относительном).

Вывод данных	
Область данных	
Скорость комбайна с 1 ТС	4,9 км/ч
Скорость комбайна с 2 ТС	4,9 км/ч
Скорость груженого 1 ТС (асфальт)	28 км/ч
Скорость груженого 1 ТС (грунтовая дорога)	18 км/ч
Скорость груженого 2 ТС (асфальт)	28 км/ч
Скорость груженого 2 ТС (грунтовая дорога)	18 км/ч
Выход	Назад

Рисунок 13 – Выходные параметры адаптивной модели уборки картофеля

Таблица 1 – Испытание комплекса технических средств, содержащего комбайн AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5

Параметр	Без использования адаптивной модели	С использованием адаптивной модели
Рабочая скорость комбайна, км/ч	5,2	5,2
Скорость 1 ТС (груженого), км/ч	29	25 (по асфальтобетонному покрытию) 15 (по грунтовой дороге)
Скорость 2 ТС (груженого), км/ч	29	25 (по асфальтобетонному покрытию) 15 (по грунтовой дороге)
Скорость 1 ТС (порожного), км/ч	32	32
Скорость 2 ТС (порожного), км/ч	32	32
Производительность сменного времени, га/ч	0,76	0,76
Производительность эксплуатационного времени, га/ч	0,78	0,78
Собрано урожая, т	348,5	348,5

Параметр	Без использования адаптивной модели	С использованием адаптивной модели
Доля клубней с механическими повреждениями, %	13,03	10,93

Таблица 2 – Испытание комплекса технических средств, содержащего комбайн Grimme GT 170 и ТТА 2ПТС-4,5

Параметр	Без использования адаптивной модели	С использованием адаптивной модели
Рабочая скорость комбайна, км/ч	5,2	4,9
Скорость 1 ТС (груженого), км/ч	28	28 (по асфальтобетонному покрытию) 18 (по грунтовой дороге)
Скорость 2 ТС (груженого), км/ч	28	28 (по асфальтобетонному покрытию) 18 (по грунтовой дороге)
Скорость 1 ТС (порожного), км/ч	32	32
Скорость 2 ТС (порожного), км/ч	32	32
Производительность сменного времени, га/ч	0,76	0,71
Производительность эксплуатационного времени, га/ч	0,78	0,72
Собрано урожая, т	378,6	378,6
Доля клубней с механическими повреждениями, %	12,4	10,64

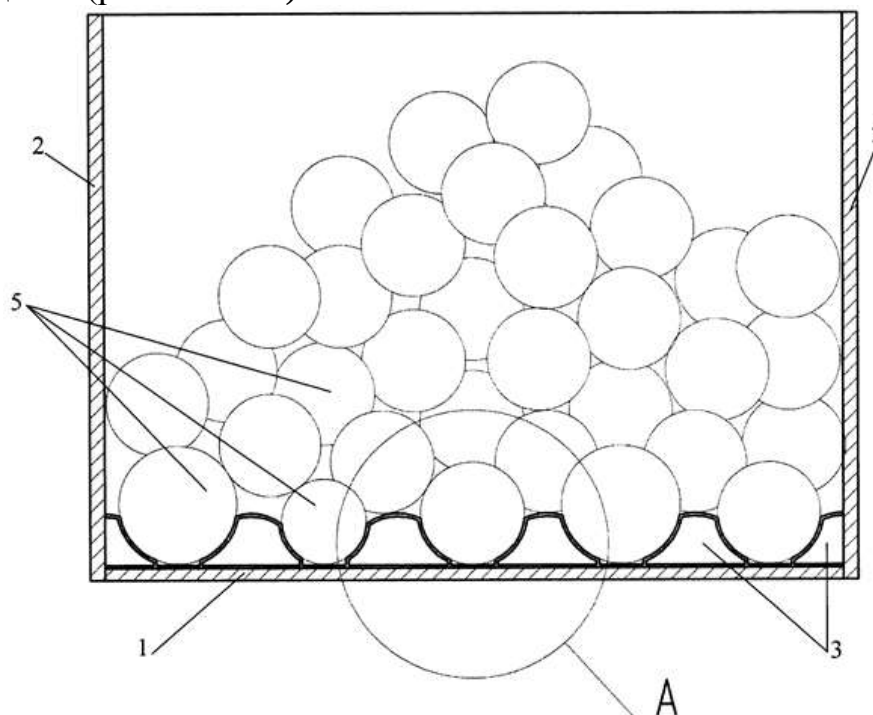
Было получено, что при снижении производительности картофелеуборочной машины Grimme GT 170 и груженого ТТА 2ПТС-4,5 общие повреждения клубней сократились на 1,76 % в абсолютном и 16,54 % в относительном исчислении.

В пятой главе «Экономическая эффективность результатов исследований. Пути дальнейшего развития» произведен расчет экономического эффекта от внедрения результатов исследований.

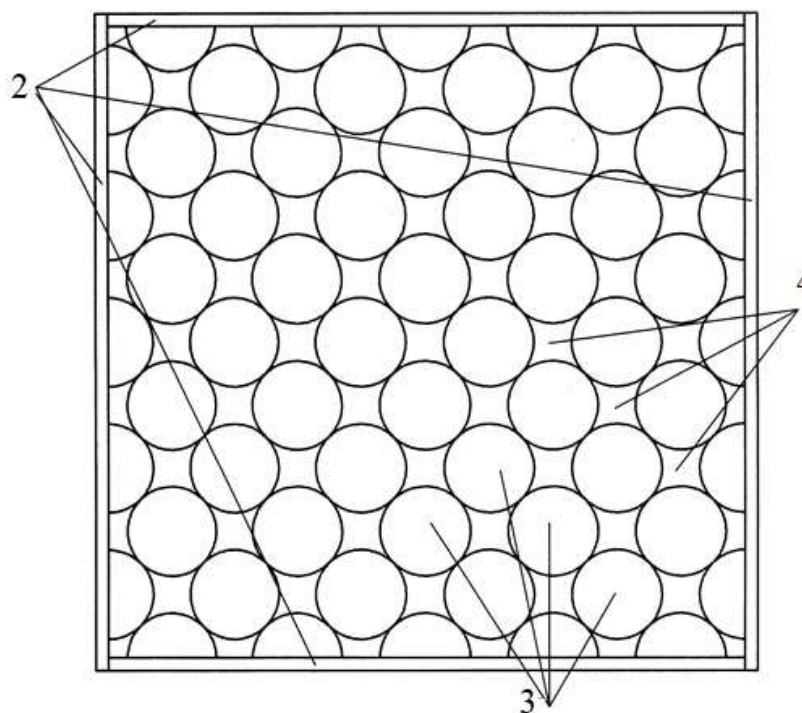
Установлено, что для комплекса технических средств, включающего комбайн AVR Lynx снижение себестоимости выполнения уборки картофеля

составило 5017,32 руб./га; для комплекса технических средств, включающего комбайн Grimme GT 170 - 4568,15 руб./га. Положительный экономический эффект получен за счет снижения издержек денежных средств от повреждения сельскохозяйственной продукции.

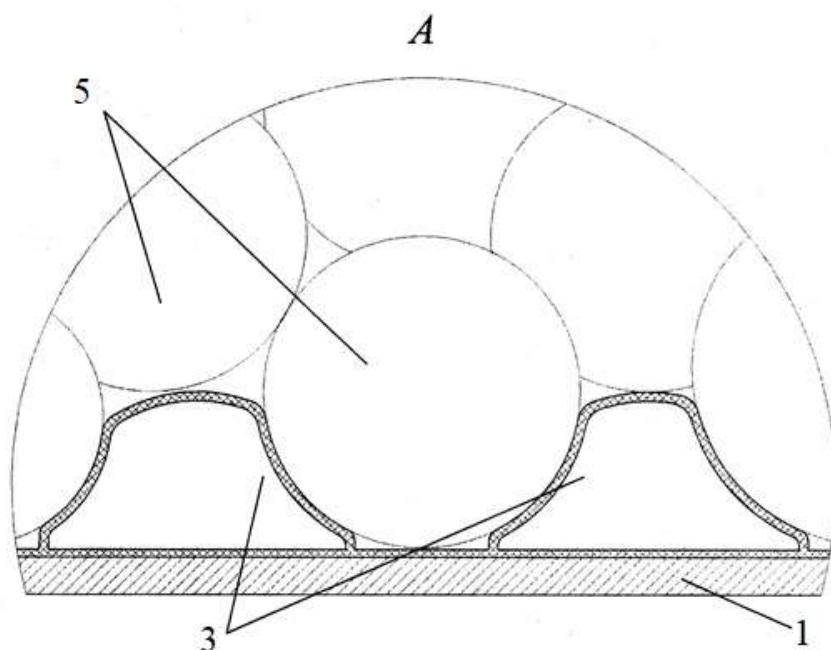
В качестве дальнейших путей совершенствования производства картофеля нами был разработан ряд технических решений, призванных снизить финансовые издержки и повысить производительность отдельных работ при его производстве (рис. 14 и 15).



а)



б)



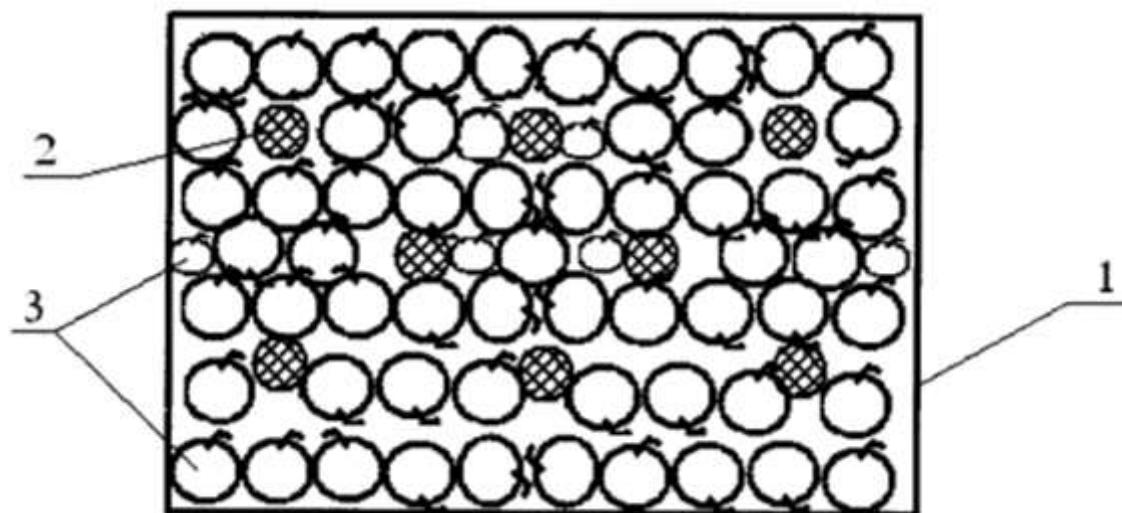
в)

а – вид сбоку; б – вид сверху; в – местный вид.

1 – дно контейнера; 2 – стенки контейнера; 3 – полые выступы;
4 – ячейки; 5 - клубни.

Рисунок 14 - Контейнер для перевозки плодоовощной продукции
(пат. РФ на ПМ № 166384)

Разработанный контейнер предназначен для перевозки некалиброванного картофеля и позволяет добиться снижения ее повреждений.



1 - контейнер; 2 - вертикальные гибкие стойки; 3 – клубни картофеля.

Рисунок 15 - Устройство для транспортировки легкоповреждаемой
плодоовощной продукции (пат. РФ на изобретение № 2636569)

Предлагаемое устройство направлено на снижение повреждений клубней картофеля, за счет снижения их перемещения в горизонтальном направлении на неровностях дороги, торможении или ускорении транспортного средства, а

также перераспределения нагрузки между вертикальными слоями продукции, располагающимися в зоне стоек, и самими вертикальными гибкими стойками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ существующих технологий и технических средств уборки картофеля позволил установить, что эффективность уборки картофеля в первую очередь зависит от согласованности каждого отдельного элемента (комбайна, транспортного средства или пункта послеуборочной доработки клубней) со всем комплексом используемых технических средств. При этом увеличение производительности отдельных элементов и соответственно снижение их технологических показателей приведёт не к росту эффективности комплекса в целом, а к простоям и задержкам у других.

2. По результатам проведенного анализа научно-производственного опыта вывоза с поля свежееубранного картофеля установлено, что основная доля клубней получает механические повреждения при загрузке и выгрузке из ТС, или при превышении допустимых значений их скоростей движения. Применение специализированной транспортной техники не всегда целесообразно с точки зрения оптимизации и повышения рентабельности картофелеводческих хозяйств.

3. Теоретически обоснована адаптивная модель уборки картофеля, входными параметрами которой являются: конструктивные и эксплуатационные параметры применяемых технических средств, природно-климатические условия и сортовые характеристики культуры, а выходными: скорость движения груженого ТС, рабочая скорость картофелеуборочной машины.

4. Экспериментально уточнены:

функции распределения масс клубней исследуемых сортов картофеля;

зависимости повреждений клубней от скорости движения комбайнов и влажности почвы на глубине залегания клубней на супесчаных и суглинистых почвах.

5. Теоретически обоснованы конструктивные параметры усовершенствованного самосвального кузова на базе ТТА 2ПТС-4,5, такие как: высота центральной поперечной перегородки; удаленность центральной поперечной перегородки от заднего откидного борта; удаленность боковых поперечных перегородок от центральной; высота боковых поперечных перегородок; угол отклонения первой (относительно заднего откидного борта) боковой поперечной перегородки; угол отклонения центральной поперечной перегородки; угол отклонения второй (относительно заднего откидного борта) боковой поперечной перегородки.

6. Экспериментально установлены зависимости скорости соударения клубней с поверхностью места разгрузки от величины зазоров между боковой и центральной поперечными перегородками и дном кузова ТТА 2ПТС-4,5.

7. По результатам проведенных испытаний адаптивной модели уборки картофеля на базе агропредприятий Рязанской области установлено, что: совместная работа картофелеуборочного комбайна AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5 с

применением адаптивной модели уборки картофеля обеспечила снижение повреждение клубней на 19,21 % (с 13,03 до 10,93 %) по сравнению с базовым вариантом; совместная работа картофелеуборочного комбайна Grimme GT 170 и ТТА 2ПТС-4,5 с применением адаптивной модели уборки картофеля обеспечила снижение повреждение клубней на 16,54 % (с 12,4 до 10,64 %) по сравнению с базовым вариантом.

8. Определено, что годовой экономический эффект от использования адаптивной модели уборки картофеля совместно с комбайном AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5 составил 80277,12 руб, с комбайном Grimme GT 170 и ТТА 2ПТС-4,5 - 73090,4 руб. за счет снижения себестоимости выполнения работы на 19,21 % для первого комплекса технических средств и 16,54 % для второго при уборке картофеля с 16 га посадочных площадей.

9. Для дальнейшего совершенствования уборки картофеля были предложены: устройство для транспортировки легкоповреждаемой плодоовощной продукции (патент на изобретение №2636569); контейнер для перевозки плодоовощной продукции (патент на полезную модель №166384); устройство для транспортировки корнеклубнеплодов (патент на полезную модель №191227), позволяющие уменьшить издержки в процессе уборки картофеля.

Рекомендации производству

Для снижения повреждений продукции при уборке картофеля рекомендуется использовать адаптивную модель, входными параметрами которой являются: конструктивные и эксплуатационные параметры применяемых технических средств, природно-климатические условия и сортовые характеристики картофеля, а выходными: скорость движения груженого ТС, рабочая скорость картофелеуборочной машины.

С целью снижения повреждений картофеля при разгрузке рекомендуется использовать самосвальные кузова транспортных средств, оснащенные поперечными подвижными перегородками с гидроприводом.

Перспективы дальнейшего развития темы

Дальнейшим развитием полученных в ходе диссертационного исследования результатов является расширение имеющейся базы данных для повышения быстродействия и автономности применяемой адаптивной модели уборки картофеля.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

– в изданиях перечня *Web of Science, Scopus*:

1. Increasing the safety of agricultural products during its transportation and unloading / N. V. Byshov, S. N. Borychev, **A. A. Golikov** [et al.] // Proceedings of the 4th International Conference on Frontiers of Educational Technologies, Moscow, 25–27 июня 2018 года. – Moscow: ACM New York, NY, USA, 2018. – P. 176-179.

– DOI 10.1145/3233347.3233362.

2. Improving the performance parameters of vehicles for intrafarm transport in the agro-industrial complex / N. V. Byshov, S. N. Borychev, **A. A. Golikov** [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 апреля 2019 года. – Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 012145. – DOI 10.1088/1755-1315/341/1/012145.

3. Intra-farm transportation of easily damaged agro food products for sustainable development of agricultures / S. N. Borychev, I. Uspensky, **A. A. Golikov** [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volgograd, 12–14 мая 2021 года. – Volgograd, 2022. – P. 012048. – DOI 10.1088/1755-1315/965/1/012048.

– в изданиях перечня ВАК:

4. Взаимосвязь характеристик повреждаемости клубней с параметрами технического состояния сельскохозяйственной техники в процессе производства картофеля / Рембалович Г.К., Успенский И.А., **Голиков А.А.** [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2011. – №74 (10). - С. 197 – 207. - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/53.pdf>.

5. Технологическое и теоретическое обоснование конструктивных параметров органов вторичной сепарации картофелеуборочных комбайнов для работы в тяжелых условиях / Бышов Н.В., Бoryчев С.Н., **Голиков А.А.** [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2012. - № 4 (16). - С. 87-90.

6. Анализ эксплуатационно-технологических требований к картофелеуборочным машинам и показателей их работы в условиях Рязанской области / Рембалович Г.К., Успенский И.А., **Голиков А.А.** [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2013. - № 1 (17). - С. 64-68.

7. Повышение эксплуатационно-технологических показателей транспортной и специальной техники на уборке картофеля / Рембалович Г.К., Бoryчев С.Н., **Голиков А.А.** [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2013. – №88. - С. 509 – 518. - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/34.pdf>.

8. Теоретические и практические основы применения современных сепарирующих устройств со встряхивателями в картофелеуборочных машинах / Бышов Н.В., Бoryчев С.Н., **Голиков А.А.** [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2013. - №89. - С. 488 – 498. - Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/58.pdf>.

9. **Голиков А.А.** Перспективные направления развития сепарирующих устройств корнеклубнеуборочных машин / А.А. Голиков // Вестник Рязанского

государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2013. - № 4 (20). - С. 103-105.

10. Математическая модель вероятностной оценки наступления технологического отказа картофелеуборочной машины / **Голиков А.А.**, Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Успенский И.А. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. –2014. – №99. - С. 244 – 255. –Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/11.pdf>.

11. Перспективные направления развития сепарирующих устройств картофелеуборочных машины для работы в неблагоприятных условиях эксплуатации / **Голиков А.А.**, Успенский И.А., Рембалович Г.К., [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2014. - № 6. – С. 7-9.

12. Теоретические исследования процесса интенсификации первичной сепарации в картофелеуборочных машинах динамическим методом / Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., **Голиков А.А.** [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. –2014. – №102. -С. 417 – 431. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/08/pdf/26>.

13. Практические результаты совершенствования рабочих органов сепарации картофелеуборочных машин / **Голиков А.А.**, Успенский И.А., Рембалович Г.К., Юхин И.А. // Техника и оборудование для села. – 2014. - № 11. – С. 16-17.

14. **Голиков А.А.** Изыскание перспективных способов снижения повреждений клубней при машинной уборке картофеля / А.А.Голиков, Н.И.Верещагин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. –2015. – №105. - С. 356 – 366. –Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/19>.

15. Перспективная схема картофелеуборочного комбайна с взаимозаменяемыми сепарирующими модулями / Успенский И.А., **Голиков А.А.**, Рембалович Г.К. [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2015. - №6. – С. 35-38.

16. Способ контроля скрытых повреждений клубней картофеля / Костенко М.Ю., Борычев С.Н., **Голиков А.А.** [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – №120. - С. 1166 – 1187.– Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/77.pdf>.

17. Уменьшение энергетических затрат в сельскохозяйственном производстве (на примере картофеля) / Бышов Н.В., Борычев С.Н., **Голиков А.А.** [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – №120. - С. 375 – 398. –Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/25.pdf>.

18. Усовершенствованное устройство для сепарирования клубней картофеля / Бышов Н.В., Бoryчев С.Н., **Голиков А.А.** [и др.] // Сельский механизатор. – 2016. – №11. – С. 6 – 7.

19. Успенский И.А. Исследование причин возникновения повреждений клубней картофеля при их загрузке в транспортное средство / Успенский И.А., Юхин И.А., **Голиков А.А.** // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 10 (268). – С. 26-29.

20. Успенский И.А. Снижение травмирования корнеклубнеплодов при их перевозке самосвальным транспортным средством / Успенский И.А., Юхин И.А., **Голиков А.А.** // Техника и оборудование для села. - 2020. - № 6 (276). - С. 22-25.

21. Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований устойчивости движения тракторного поезда / Бортник А.В., Успенский И.А., Юхин И.А., **Голиков А.А.** // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 164. - С. 222 – 231.

22. Формирование комплекса картофелеуборочных и транспортных машин / Успенский И.А., Юхин И.А., Мачнев А.В., **Голиков А.А.** // Техника и оборудование для села. - 2021. - № 2 (284). - С. 22-25.

23. Снижение повреждений сельхозпродукции при транспортировке / Усольцев А.А., Панова А.А. Юхин И.А., **Голиков А.А.** // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2021. – Т. 13. - № 3. – С. 106-112.

– *патенты РФ*:

24. Патент № 2479981 С2 Российская Федерация, МПК A01D 91/02, A01D 17/00. Способ уборки картофеля и устройство для его осуществления : № 2011131354/13 : заявл. 26.07.2011 : опубл. 27.04.2013 / Н. Н. Колчин, Г. К. Рембалович, И. А. Успенский, **А. А. Голиков** ; заявитель Закрытое акционерное общество "Колнаг".

25. Патент на полезную модель № 129345 U1 Российская Федерация, МПК A01D 17/00. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины : № 2012133070/13 : заявл. 01.08.2012 : опубл. 27.06.2013 / Г. К. Рембалович, **А.А. Голиков**, Д. Н. Бышов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВПО РГАТУ).

26. Патент на полезную модель № 157146 U1 Российская Федерация, МПК A01D 33/08. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины : № 2015120963/13 : заявл. 02.06.2015 : опубл. 20.11.2015 / **А.А. Голиков**, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального

образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВПО РГАТУ).

27. Патент на полезную модель № 161488 U1 Российская Федерация, МПК В60R 9/00, В60P 1/00. Навесное перегрузочное устройство для самосвального кузова транспортного средства : № 2015145901/11 : заявл. 26.10.2015 : опубл. 20.04.2016 / О. В. Филюшин, А. А. Полункин, **А.А. Голиков** [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ).

28. Патент № 2584041 С1 Российская Федерация, МПК В60P 1/28. Самосвальный кузов для перевозки легкоповреждаемой продукции : № 2015107218/11 : заявл. 02.03.2015 : опубл. 20.05.2016 / И. А. Успенский, А. А. Симдянкин, **А.А. Голиков** [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВПО РГАТУ).

29. Патент № 2592111 С1 Российская Федерация, МПК А01D 17/10, А01D 33/08. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины : № 2015104275/13 : заявл. 10.02.2015 : опубл. 20.07.2016 / **А. А. Голиков**, И. А. Успенский, Н. В. Бышов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ).

30. Патент на полезную модель № 166384 U1 Российская Федерация, МПК В65D 85/34. Контейнер для перевозки плодоовощной продукции : № 2016115317/12 : заявл. 19.04.2016 : опубл. 20.11.2016 / **А. А. Голиков**, И. А. Юхин, И. А. Успенский [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ).

31. Патент № 2636569 С Российская Федерация, МПК В65D 85/34, В65D 81/05. Устройство для транспортировки легкоповреждаемой плодоовощной продукции : № 2016120142 : заявл. 24.05.2016 : опубл. 23.11.2017 / И. А. Юхин, **А. А. Голиков**, А. А. Симдянкин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ).

32. Патент на полезную модель № 191227 U1 Российская Федерация, МПК В65D 8/14. Устройство для транспортировки корнеклубнеплодов : №

2019116209 : заявл. 27.05.2019 : опубл. 30.07.2019 / С. Н. Борычев, Д. С. Рябчиков, **А. А. Голиков** [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ).

33. Патент на полезную модель № 194128 U1 Российская Федерация, МПК В60Р 1/28. Самосвальный кузов для перевозки легкоповреждаемой продукции : № 2019100387 : заявл. 09.01.2019 : опубл. 28.11.2019 / С. Н. Борычев, **А. А. Голиков**, И. А. Успенский [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ).

– *монографии*:

34. Повышение эффективности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники при выполнении энергоемких процессов (на примере картофеля): монография / Борычев С.Н., Бышов Н.В., **Голиков А.А.** [и др.]. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2015. – 402 с.

35. Технология уборки картофеля в сложных полевых условиях с применением перспективных решений в конструкции и обслуживании комбайнов: монография / Бышов Н.В., Борычев С.Н., **Голиков А.А.** [др.]. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2015. – 304 с.

– *в периодических изданиях*:

36. Анализ современного уровня и обоснование эксплуатационно-технологических требований к картофелеуборочным машинам / Успенский И.А., Рембалович Г.К., Волченков Д.А., **Голиков А.А.** // Инновационные направления и методы реализации научных исследований в АПК: материалы научно-практической конференции. – Рязань, 2012. - С. 35-39.

37. Совершенствование технологического процесса и инновационные устройства сепарации вороха в картофелеуборочных машинах / Успенский И.А., Рембалович Г.К., **Голиков А.А.** [и др.] // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: доклады Международной научно-практической конференции. – Минск, 2013. – С. 219-221.

38. Перспективное устройство для снижения повреждений клубней при сепарации в картофелеуборочной машине / Успенский И.А., Рембалович Г.К., Волченков Д.А., **Голиков А.А.** // Научные приоритеты в АПК: инновационные достижения, проблемы, перспективы развития: материалы Международной научно-практической конференции. – Рязань, 2013. – С. 203-206.

39. Перспективное устройство для снижения повреждений клубней при сепарации в картофелеуборочной машине / Рембалович Г.К., Успенский И.А., **Голиков А.А.** [и др.] // Научное обеспечение и развитие АПК в условиях реформирования: материалы международной научно-практической

конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. – СПб., 2013. – Ч.1. – С. 368-371.

40. Инновационные процессы и устройства для «бережной» сепарации клубней в технологии машинной уборки картофеля / Бышов Н.В., Бoryчев С.Н., **Голиков А.А.** [и др.] // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. – М., 2013. – Ч.1. – С. 275-279.

41. Теоретические исследования усовершенствованного пруткового конвейера картофелеуборочной машины / Голиков А.А., Рембалович Г.К., **Голиков А.А.**, Успенский И.А. // Наука и образование XXI века: материалы VII-й Международной научно-практической конференции. – Рязань, 2013. – С. 167-176.

42. К вопросу модернизации транспортных средств для АПК / Юхин И.А., Успенский И.А., Бондарев П.В., **Голиков А.А.** // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сборник научных трудов международной конференции. – Саранск, 2014. – С. 181-187.

43. Повышение эффективности функционирования картофелеуборочной техники путем модернизации сепарирующих рабочих органов / Бышов Н.В., Успенский И.А., Рембалович Г.К., **Голиков А.А.** // Картофелеводство: история развития и результаты научных исследований по культуре картофеля: сборник научных трудов. – Москва, 2015. – С. 242-247.

44. Перспективы повышения эффективности эксплуатации картофелеуборочных машин совершенствованием технических средств сепарации клубненосного вороха / Безносюк Р.В., **Голиков А.А.**, Лапин Д.А. и др. // Научно-практические инициативы и инновации для развития регионов России: материалы национальной научной конференции. – Рязань, 2015. - С. 56-61.

45. Технические и технологические требования к перспективной сельскохозяйственной технике / Уткин А.А., Кокорев Г.Д., Колотов А.С., **Голиков А.А.** // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве: материалы 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. – Рязань, 2017. – Ч.2. - С. 368-371.

46. Совершенствование транспортных и погрузочно-разгрузочных работ при перевозке сельскохозяйственных грузов / Шафоростов В.А., Успенский И.А., Юхин И.А., **Голиков А.А.** // Актуальные вопросы материально-технического снабжения органов и учреждений уголовно-исполнительной системы: сборник материалов Всероссийского научно-практического круглого стола. – Рязань, 2017. - С. 282-290.

47. Совершенствование конструкции транспортных средств специального

назначения / Черкашин Н.Г., Успенский И.А., **Голиков А.А.**, Кулаков К.В. // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии: материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием. – Рязань, 2021. - С. 330-334.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 2. Тираж 100 экз. Заказ № 1512 подписано в печать 21.06.2022 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