

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



РЯБЧИКОВ ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ
ТРАНСПОРТИРОВКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ**

Специальности: 05.20.01 - «Технологии и средства механизации
сельского хозяйства»;

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

д. т. н., профессор Борычев С.Н.

АННОТАЦИЯ

Целью настоящей диссертационной работы является снижение повреждений при выгрузке клубней картофеля путем совершенствования кузова транспортного средства.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований. Отражены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе сделан анализ существующих технологий транспортирования и выгрузки клубней картофеля, рассмотрены технические средства для их осуществления. Обоснована необходимость разработки эластичных перегородок для снижения повреждений клубней при транспортировке и выгрузке.

Во втором разделе проведено теоретическое исследование разработанного устройства выгрузки клубней картофеля транспортного средства - эластичные перегородки кузова транспортного средства.

В третьем разделе представлены программа и методики экспериментальных исследований эффективности применения эластичных перегородок в кузове транспортного средства.

В четвертом разделе представлены результаты экспериментальных исследований эффективности применения эластичных перегородок в кузове транспортного средства.

В пятом разделе изложена методика и результаты определения технико-экономического эффекта применения кузова транспортного средства с эластичными перегородками на внутрихозяйственных перевозках.

Сделаны выводы и по результатам проведенных исследований даны рекомендации производству. Представлены список используемой литературы и приложения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ВЫГРУЗКЕ.....	9
1.1 Обзор существующих технологий уборки картофеля с поля.....	9
1.2 Анализ существующих технологий транспортировки и выгрузки клубней картофеля.....	13
1.3 Анализ технических средств транспортировки клубней картофеля..	15
1.4 Анализ выполненных исследований по выгрузке клубней картофеля.....	19
1.5 Постановка задач исследований.....	24
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛАСТИЧНЫХ ПЕРЕГОРОДОК КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА.....	26
2.1 Конструктивно-технологическая схема кузова транспортного средства с эластичными перегородками.....	26
2.2 Теоретические предпосылки исследования кузова транспортного средства с эластичными перегородками.....	28
2.3 Программная реализация математической модели выгрузки клубней картофеля из кузова транспортного средства с эластичными перегородками.....	37
2.4 Моделирование процесса выгрузки кузова транспортного средства с эластичными перегородками.....	44
Выводы по 2 главе.....	56
ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ЭЛАСТИЧНЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ.....	57
3.1 Программа лабораторных исследований.....	57

3.2 Методика исследований размерно-массовых характеристик клубней картофеля сорта «Сантэ».....	57
3.3 Методика лабораторных исследований кузова транспортного средства с эластичными перегородками.....	60
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ЭЛАСТИЧНЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ.....	64
4.1 Результаты исследования размерно-массовых характеристик клубней картофеля сорта «Латона».....	64
4.2 Результаты лабораторных исследований контейнера с эластичными перегородками.....	66
4.3 Результаты хозяйственных исследований кузова транспортного средства с эластичными перегородками.....	69
4.4 Результаты хронометража операции при транспортировке и разгрузке транспортных средств.....	72
Выводы по 4 главе.....	74
ГЛАВА 5 РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ЭЛАСТИЧНЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ	76
5.1 Расчёт экономического эффекта от снижения эксплуатационных затрат.....	77
5.2 Расчёт экономического эффекта от снижения повреждений корнеклубнеплодов.....	81
Выводы по 5 главе.....	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	84
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	86
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	108

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Картофель занимает одно из ведущих мест в мировом производстве сельскохозяйственной продукции, и доля Российской Федерации составляет 15...17% производимого картофеля [8]. Картофель в России выращивают на площади 3,2 млн. га, учитывая все категории отечественных хозяйств, валовой сбор в 2019 году составил 33,6 млн. т [119].

Зарубежные страны проявляют значительный интерес к картофелю, так в США зафиксирован рост количества переработанного картофеля в 3 раза с 1960 по 2019 годы [147]. Картофелепродукты занимают важное место в рационе жителей Европы, Америки и Азии. В то же время повреждения в процессе уборки, транспортировки и послеуборочной обработки могут достигать 50-60%, при чем до 10-15% повреждений клубней возникают во время погрузочно-разгрузочных работ, что снижает сохранность картофеля. В связи с этим уменьшение повреждений картофеля при выгрузке кузова транспортных средств является важной актуальной научно-технической задачей.

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

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»).

Степень разработанности темы. Большой вклад в исследование процессов внутрихозяйственных перевозок легкоповреждаемой продукции в кузове ТС, изучение вопросов минимизации повреждений при её выгрузке и погрузке в ТС внесли ученые Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, 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.

Объект исследований – технологический процесс выгрузки клубней картофеля из кузова транспортного средства на внутрихозяйственных перевозках.

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

Методика исследований. 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). Обработка результатов исследований проведена методами математической статистики.

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 для 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 кузова грузового автомобиля МАЗ 5516 и экспериментального кузова грузового автомобиля МАЗ 5516 с эластичными поперечными перегородками.
4. Результаты оценки технико-экономического эффекта применения автомобиля МАЗ 5516 с эластичными поперечными перегородками.

Научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

1. Теоретически и экспериментально обоснованные параметры эластичных перегородок кузова транспортного средства.
2. Результаты применения кузова транспортного средства с эластичными перегородками на внутрихозяйственных перевозках корнеклубнеплодов.

Достоверность результатов 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 транспортного средства, 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 транспортным средством 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 11 печатных работ, в том числе 9 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов диссертационных работ на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, получен 1 патент РФ на полезную модель и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объем публикаций составил 4,61 п.л., из них лично соискателю принадлежит 1,15 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.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ И ВЫГРУЗКЕ

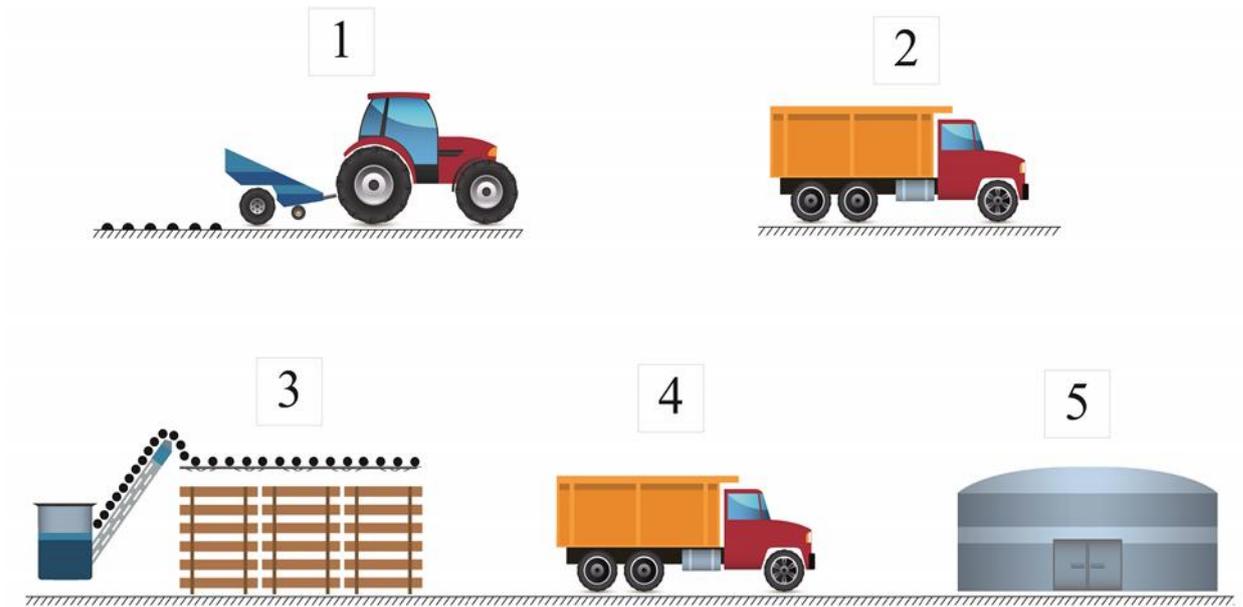
1.1. Обзор существующих технологий уборки картофеля

Уборка картофеля является важной операцией технологии возделывания. Различают несколько уборочных технологий: уборка картофеля копателем, отдельная, комбинированная и поточная (рисунки 1.1, 1.2, 1.3, 1.4) [22]. При уборке картофелекопателем клубни, частично отделенные от почвы и растительных остатков, укладываются на поверхность убранных грядок. Недостатками работы копателей является сгуживание клубненосного пласта при подкапывании, недостаточная сепарация и потери клубней присыпанных почвой, повреждения клубней при подборе. Картофелекопатели применяют на малых участках и в тяжелых почвенно-климатических условиях, благодаря дешевизне они широко распространены в РФ [34, 64]. Двухфазный способ уборки предполагает образование валка клубней с помощью картофелекопателя-валкоукладчика с последующим подбором комбайном через некоторое время. Этот способ может быть реализован при длительном периоде уборки в мягком климате (Европейские страны). Особенностью комбинированного способа (разновидность двухфазного способа) является уборка комбайном четырех или шести рядков одновременно, которые предварительно убраны картофелекопателем-валкоукладчиком и уложены в междурядья соседних грядок. Уборка валка комбайном позволяет увеличить соотношение клубней к почве, что повышает чистоту клубней в бункере и снижает их повреждения. Кроме того, как и в отдельном способе, клубни валка подсыхают, укрепляется их кожура, что снижает обдир кожуры, особенно при комбайновой уборке раннего картофеля. Недостатком данных способов

являются увеличение периода уборки и необходимость использования узкоспециализированных машин способных выполнять лишь одну операцию.

Поточный способ предполагает комбайновую уборку и является наименее трудо- и энергозатратным. Картофелеуборочные комбайны наиболее приспособлены для поточного способа уборки, но имеют высокую стоимость. Особенностью картофелеуборочных комбайнов является наличие бункера, в котором после сепарации и очистки накапливаются клубни. Объемный бункер обеспечивает работу комбайна без простоев в ожидании транспортных средств. Наличие бункера также позволяет уменьшить время совместного движения вместе с комбайном транспортных средств для накопления клубней и снизить себестоимость перевозки [9, 10, 12, 57, 86, 109].

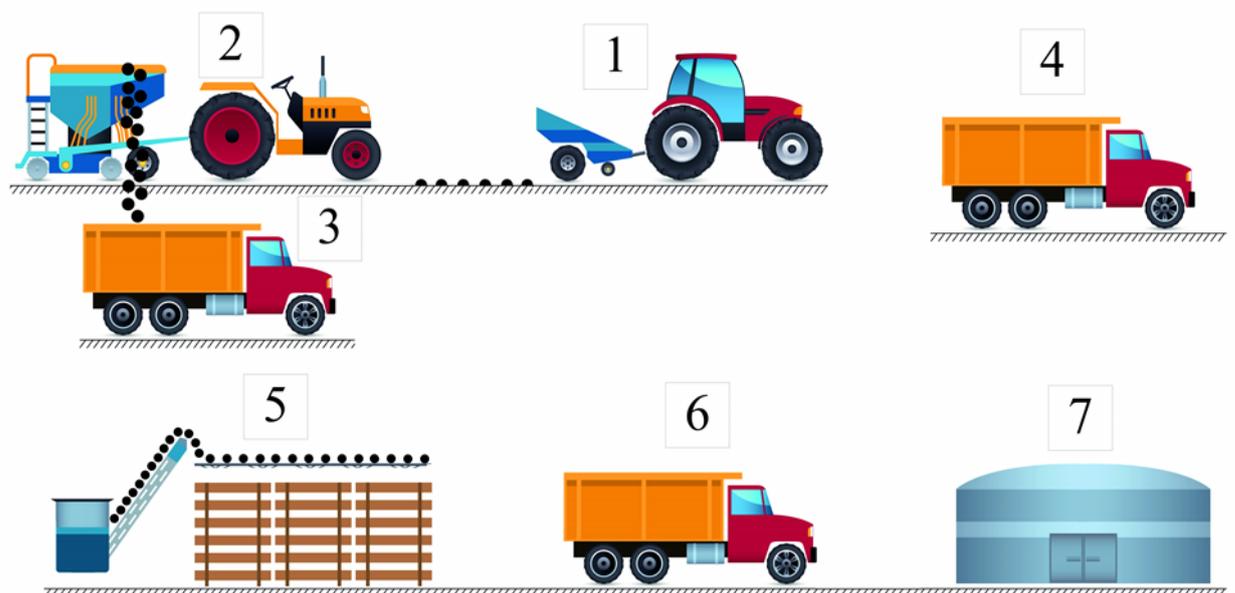
В западной Европе и США для поточной уборки широко применяют копатели–погрузчики. Они обеспечивают высокую производительность и снижают трудозатраты. В РФ «применение копателей-погрузчиков ограничивается широким диапазоном почвенно-климатических условий, коротким периодом уборки, отсутствием специальных транспортных средств для перевозки картофеля» [64]. Уборочно-транспортные отряды обеспечивают ритмичную уборку картофелеуборочными комбайнами или копателями-погрузчиками с достаточным количеством транспортных средств и оборудования для послеуборочной обработки урожая. Поточный способ уборки предполагает наличие специальных транспортных средств с кузовом большой вместимости, которые используются непродолжительный период времени, что увеличивает капиталовложения. Поэтому в большинстве случаев используется универсальные транспортные средства. Транспортные средства применяют не только в процессе уборки для перевозки картофеля с поля на сортировальный пункт, где происходит его очистка от примесей и сортировка, но и перевозят его с сортировального пункта в картофелехранилища.



1– картофелекопатель; 2– загруженный автомобиль;

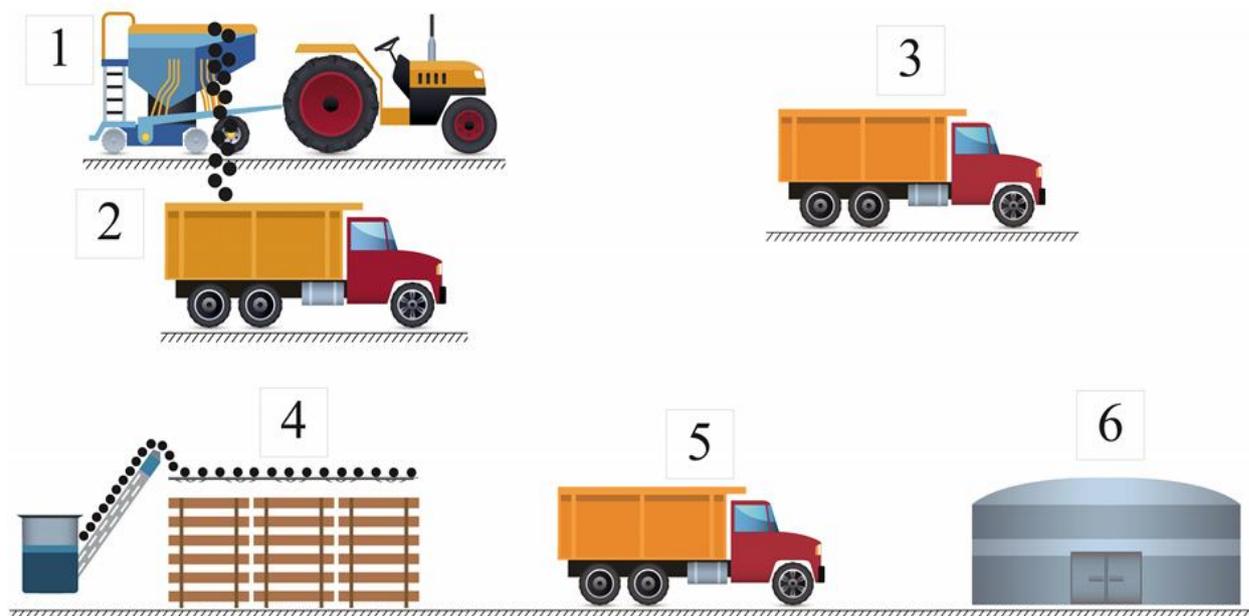
3– сортировальный пункт; 4– загруженный автомобиль; 5– хранилище

Рисунок 1.1 – Схема уборочного процесса картофеля с использованием картофелекопателя



1– картофелекопатель; 2– комбайн подборщик; 3– сопровождающий автомобиль; 4– загруженный автомобиль; 5– сортировальный пункт; 6– загруженный автомобиль; 7– хранилище

Рисунок 1.2 – Схема уборочного процесса картофеля двухфазным способом



1– картофелеуборочный комбайн; 2– сопровождающий автомобиль; 3– загруженный автомобиль; 4– сортировальный пункт; 5– загруженный автомобиль; 6– хранилище

Рисунок 1.3 –Схема уборки картофеля прямым комбайнированием (поточная технология)

Перевозка картофеля является важнейшей операцией уборочного процесса и определяет возможность применения поточного способа. Для перевозки картофеля применяют самосвальные автомобили и тракторные прицепы (таблицы 1.1, 1.2) [1, 7, 32, 53, 57, 74, 88, 115, 116, 137, 138, 139].

Таблица 1.1 –Самосвальные транспортные средства для транспортировки картофеля [51, 125]

Марка	Грузоподъемность, т	Конструктивные особенности
ГАЗ-САЗ-4509	4,0	Трехсторонняя разгрузка
КамАЗ-452803	10	Боковая двухсторонняя разгрузка
«Урал»-5557-40	7	Боковая двухсторонняя разгрузка
ЗИЛ-САЗ-1503	3	Задняя разгрузка
ЗИЛ-«Сармат»-4517	5,5	Боковая двухсторонняя разгрузка
КамАЗ-55102	7,0	Боковая двухсторонняя разгрузка
ЗИЛ-ММЗ-4516	10	Боковая двухсторонняя разгрузка

Таблица 1.2 – Самосвальные тракторные прицепы и полуприцепы [125]

Марка	Грузоподъемность, т	Конструктивные особенности
«Сармат»-852510	5,5	трехсторонняя разгрузка
«Сармат»-85720F	13,1	боковая разгрузка, двухкузовной
2ПТС-5	5,0	трехсторонняя разгрузка
2ПТС-4 мод. 887Б	4,0	трехсторонняя разгрузка
«Сармат»-952610	5,3	трехсторонняя разгрузка
«Сармат»-95572-10	12,0	задняя разгрузка
«Сармат»-955740	14,0	задняя разгрузка, гидропривод заднего борта
«Сармат»-95574С	11,0	задняя разгрузка
«Сармат»-95575В	11,0	
«Сармат»-95575С	7,0	задняя разгрузка
«Сармат»-955780	6,7	трехсторонняя разгрузка
мод.95032 (ОАО «ИМЗ»)	7,2	трехсторонняя разгрузка
3ПТС-6,5 мод.85491	6,5	боковая разгрузка

Несмотря на то, что в полевых условиях при перевозке картофеля на небольшие расстояния до 5 км рационально применение тракторных прицепов, недостаточное количество тракторов в уборочный период приводит к использованию большегрузных самосвалов. С другой стороны, при разгрузке большегрузных транспортных средств возникают инерционные нагрузки массы клубней, приводящие к повреждениям, поэтому необходимо совершенствование кузовов данного вида транспорта.

1.2. Анализ существующих технологий транспортировки и выгрузки клубней картофеля

При производстве сельскохозяйственной продукции выполняется значительное количество механизированного и людского труда [71, 122].

Транспортные работы составляют немаловажную часть механизированных работ, например, затраты на транспортировку грузов составляют 25-40% от общих затрат на производство продукции [4, 12, 61, 63, 106, 110, 118]. Транспортировка сельскохозяйственных грузов, в основном, осуществляется автомобилями, при чем, идет тенденция к увеличению доли автомобильных перевозок с улучшением качества внутрихозяйственных дорог [75, 92, 128].

Во Франции и Германии тракторные транспортные средства обеспечивают 75-80% перевозок сельскохозяйственных грузов. В Италии тракторные поезда с прицепами являются основным сельскохозяйственным транспортом [146]. В США перевозка сельскохозяйственных грузов в основном осуществляется автомобильным транспортом, хотя доля тракторов достигает 35% [146].

На транспортные работы приходится 10-12% общих затрат на возделывание картофеля. В России более 54% сельскохозяйственных грузов внутри хозяйства перевозится автомобильными транспортными средствами по дорогам находящимся в неудовлетворительном состоянии [94, 111, 140, 141, 142]. На внутрихозяйственных перевозках часто применяются грузовые автомобили общего назначения. При перевозках возникают ускорения до 3,5g, которые вызывают повреждения грузов [83].

При работе нескольких картофелеуборочных комбайнов на одном поле или загоне сокращается время загрузки транспортного средства и появляется возможность использования транспортных средств большой грузоподъемности. Несмотря на увеличение эффективности перевозок сельскохозяйственной продукции крупногабаритным транспортом, возникает проблема недостаточного использования грузоподъемности транспортных средств из-за низкой объемной массы продукции [9, 11, 84, 85, 112, 125].

Для снижения повреждений грузов специалистами НАМИ, ВИМ и других научно-исследовательских институтов разработаны требования, к использованию сельскохозяйственного транспорта. Прежде всего, установлены требования к специализированным кузовам. Автотранспорт

сельскохозяйственного назначения оборудуют надставными бортами и механизмами их открывания и закрывания. Давление в шинах должно быть регулируемым, при чем минимальное предел должен составлять 1-1,5 Бар. Также устанавливается диапазон скоростей 1-8 м/с (3,6-29 км/ч) для движения в технологическом режиме [60, 125].

В сельскохозяйственном производстве имеется дефицит автомобилей сельскохозяйственного назначения – автосамосвалов грузоподъемностью 2-8т. Сельхозпредприятия России восполняют дефицит автомобилей сельскохозяйственного назначения за счет большегрузной техники, не отвечающей агротехническим требованиям [89, 105].

Внутрихозяйственные перевозки картофеля в уборочный период осуществляются на малых плечах 5...10 км, поэтому использование тракторных прицепов также рационально [113, 138]. Однако, при повышении скорости движения тракторных прицепов возникает «виляние прицепа из стороны в сторону» [43, 44, 45, 47, 48, 52, 93, 94, 95, 96, 97, 129, 136], что ухудшает условия труда механизатора и их эксплуатационные свойства [15, 55, 85, 91]. При вилянии прицепа трактористу приходится осуществлять постоянные подруливания и снижать скорость движения, что уменьшает производительность и маневренность транспортного средства [137, 143, 144, 145]. Поэтому применение автомобилей, специально оборудованных для перевозки сельскохозяйственной продукции позволяет повысить эффективность и качество внутрихозяйственных перевозок сельскохозяйственной продукции [51].

1.3. Анализ технических средств транспортировки клубней картофеля

Современные технологии уборки картофеля требуют применения высокопроизводительных транспортных средств, поэтому предприятия зачастую используют универсальные самосвалы [77, 80, 100, 115]. Также преимущество получают более эффективные транспортные средства повышенной вместимости [28, 62, 82, 90].

Поточный способ уборки картофеля предполагает применение автомашин-самосвалов (рис. 1.5), автомашин с полуприцепами, тракторных самосвальных прицепов (рис. 1.6), полуприцепов. Основными требованиями к транспортным средствам для картофеля при уборке являются увеличение производительности за счет увеличения вместимости, снижения простоев при разгрузке и минимизация повреждений клубней [14, 124, 125].



Рисунок 1.5. Автомашин-самосвалы



Рисунок 1.6. Тракторный самосвальный прицеп 2 ПТС 4.

Разгрузка самосвальных транспортных средств большой вместимости сопровождается поднятием кузова при этом следует учитывать высоту хранилищ или навесов, а также повреждений клубней картофеля при разгрузке [2, 3, 17, 78, 139].

Для повышения проходимости и снижения давления на почву снижают давление в шинах машин и прицепов. С этой целью в ходовых системах транспортных средств используют широкопрофильные шины [33, 42, 46, 51, 73, 90, 101, 114].

В США для перевозки картофеля применяют специальные транспортные средства, оборудованные коническими бункерами с подвижным дном (рис. 1.7) и с выгрузным транспортером (рис. 1.8).



Рисунок 1.7. Транспортное средство, оборудованное подвижным дном



Рисунок 1.8. Транспортное средство, оборудованное выгрузным транспортером

Причем очень часто применяют разного типа гасители падения, в частности покрывают дно прорезиненным полотном (фирмы Dalman, Lockwood) (рис. 1.9) или устанавливают специальные гасители (рис. 1.10).



Рисунок 1.9. Покрытие прорезиненным полотном защитного козырька, расположенного над выгрузным подвижным транспортёром кузова транспортного средства



Рисунок 1.10. Гасители падения клубней картофеля в кузове транспортного средства

В России для перевозки картофеля применяют самосвалы ЗИЛ, ГАЗ, КамАЗ, МАЗ и тракторные прицепы. Выгрузку картофеля осуществляют

опрокидыванием кузова через задний борт из-за особенностей приёмных бункеров картофелесортировальных пунктов, что вызывает дополнительные механические повреждения клубней, особенно при использовании универсальных самосвальных транспортных [65, 94, 102] (рис. 1.11).



Рисунок 1.11. Используемые транспортные средства при перевозке картофеля с верхней подвеской заднего борта

1.4. Анализ выполненных исследований по выгрузке клубней картофеля

Повреждаемость картофеля прежде всего зависит от физико-механических свойств клубней [16, 74]. Физико-механические свойства

клубней картофеля изучали В. П. Васеничев [59], Н. И. Верещагин [20, 21], А. И. Бжезовская, О.А. Каспарова, З. Аудзивичене, В. Ионелюнас, П.Ф. Демирчев, В.С. Заводнов [35, 36, 37, 38, 39, 40], М.Н. Ерохин, А.В. Заводнов [35, 36, 37, 38, 39, 40], Н. Н. Колчин [66, 81, 107, 108], М.Ю. Костенко [64], Р. М. Махароблидзе [67], М.А. Мосин, Я.М. Сийм [99] и другие.

Повреждения клубней также могут быть обусловлены большим количеством почвенных комков содержащихся в картофельном ворохе во время уборки [38]. Во время транспортировки и разгрузки повреждается около 4% клубней картофеля [13, 18]. Существует два подхода к моделированию повреждений картофеля: первый рассматривает изменение динамики и кинетической энергии кузова или отдельных клубней в процессе встряхиваний кузова или при выгрузке; второй — это изучение движения потоков клубней при транспортировке и выгрузке.

Исследование изменения кинетической энергии отдельных клубней занимались Н.В.Аникин, С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, Л.С. Екимова, М.Ю. Костенко, Р.К. Курбанов, И.А.Успенский, В.Н. Чекмарев, И.А. Юхин и другие.

Аникиным Н.В., Успенским И.А., Чекмарев В.Н. и Юхиным И.А. [8, 9, 10, 11, 54, 58, 104, 127] предложены системы дифференциальных уравнений на основе метода Лагранжа, для оценки динамических характеристик кузова транспортных средств. Подобные модели не учитывают свойства картофельного вороха, что затрудняет оценку их влияния на повреждаемость.

Р.К. Курбанов предлагает использовать съемные кузова для перевозки сельскохозяйственной продукции, отвечающие технологическим требованиям определенной сельскохозяйственной культуры [48]. В определенной степени это позволяет снизить потери продукции, повысить производительность транспортных работ, но ведет к удорожанию транспортных средств, кроме того, погрузочно-разгрузочные операции занимают значительно большее время, чем у универсальных транспортных средств.

Л.С. Екимова, М.Ю. Костенко, И.А. Успенский [64, 82, 100]

рассматривали динамику движения и кинетическую энергию отдельных клубней. Полученные выражения позволяют оценить повреждаемость клубней с учетом их физико-механических и размерномассовых свойств. Данные модели не учитывают взаимодействие клубней друг с другом в процессе движения, что не в полной мере отражает динамику повреждаемости.

Исследованием движения гравитационных потоков занимались Александров А.И., Белокуров С.В., Борщев В.Я., Долгунин В.Н., Калач А.В., Кузьменко Р.В., Остриков А.Н., Посметьев В.В., Соловьев А.С., Фролова Л.Н. [50, 108]. Борщев В.Я., Долгунин В.Н. исследовали гравитационные течения с помощью оценки кинетической энергии столкновения масс, осуществляющих диффузию в поперечном направлении потока. Энергия взаимных перемещений частиц, обусловленных поперечным массопереносом определяется частотой соударений частиц [108, 120, 130]. Общую энергию E столкновения двух частиц можно вычислить по формуле

$$E = \frac{1}{2} \bar{m} (\bar{V}_{A-}^2 + \bar{V}_{B-}^2 - \bar{V}_{A+}^2 - \bar{V}_{B+}^2) \quad (1.1)$$

где m – средняя масса частиц;

V_{A-}, V_{B-} – скорость частиц А и В до удара;

V_{A+}, V_{B+} – скорость частиц А и В после удара.

Александров А.И. использовал для исследования потоков дифференциальные уравнения, описывающие движение компонентов потока

$$ma = k_1 v + k_2 x + k_3 \quad (1.2)$$

где m – масса компонента;

x, y, z – функция перемещения компонента (координаты x, y или z от времени);

t – время;

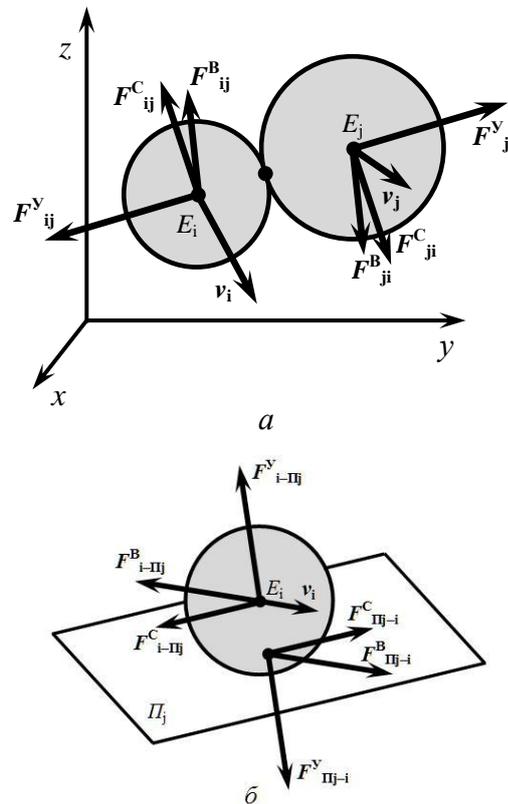
k_1, k_2, k_3 – величины, не зависящие от x , но зависящие от других искомым функций системы дифференциальных уравнений;

a – ускорение (соответствующая декартова компонента a_x , a_y или a_z);

v – скорость (соответствующая декартова компонента v_x , v_y или v_z).

Для моделирования движения потока Александров А.И., Остриков А.Н., Посметьев В.В., Соловьев А.С., Фролова Л.Н. использовали метод динамики частиц [50, 108]. Соответствующая среда представляется состоящей из множества шаров. При контакте этих шаров между собой и стенками возникают упругие силы, а также силы сухого и вязкого трения (рисунок 1.12).

Моделирование производится в трехмерном декартовом пространстве (x , y , z). Состояние каждого элемента E_i задается шестью переменными: координатами его центра (x_i , y_i , z_i) и компонентами скорости (v_{xi} , v_{yi} , v_{zi}). Уравнения движения элементов составлены на основе второго закона Ньютона» [50, 108].



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

Рисунок 1.12 – Силы, возникающие при контакте двух элементов (а) и между элементами и поверхностью (б) [50]

$$\begin{aligned}
m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = & \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{\Omega}} \left\{ \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. \right. \\
& \left. \left. 0, r_{ij} \geq \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2}; \right) \right\} + \\
& + \sum_{j=1}^{N_{II}} \left\{ \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. \right. \\
& \left. \left. 0, r_{i-IIj} \geq \alpha_n \frac{d_i}{2}; \right) \right\} + \\
& + \sum_{j=1}^{N_{\Omega T}} \left\{ \left(c_{i-\Omega Tj} \left(\frac{d_i + d_{\Omega T}}{2} - r_{i-\Omega Tj} \right) \frac{(x_i - x_{\Omega Tj})}{r_{i-\Omega Tj}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{xi} - v_{x\Omega Tj}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_{\Omega Tj}|} + k_{ij}^B (v_{xi} - v_{x\Omega Tj}) \right) \left(r_{i-\Omega Tj} - \alpha_n \frac{d_i + d_{\Omega T}}{2} \right), r_{i-\Omega Tj} < \alpha_n \frac{d_i + d_{\Omega T}}{2}; \right. \right. \\
& \left. \left. 0, r_{i-\Omega Tj} \geq \alpha_n \frac{d_i + d_{\Omega T}}{2}; \right) \right\}; \\
m_i \frac{d^2 y_i}{dt^2} = & \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{\Omega}} \left\{ \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. \right. \\
& \left. \left. 0, r_{ij} \geq \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2}; \right) \right\} + \\
& + \sum_{j=1}^{N_{II}} \left\{ \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. \right. \\
& \left. \left. 0, r_{i-IIj} \geq \alpha_n \frac{d_i}{2}; \right) \right\} + \\
& + \sum_{j=1}^{N_{\Omega T}} \left\{ \left(c_{i-\Omega Tj} \left(\frac{d_i + d_{\Omega T}}{2} - r_{i-\Omega Tj} \right) \frac{(y_i - y_{\Omega Tj})}{r_{i-\Omega Tj}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{yi} - v_{y\Omega Tj}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_{\Omega Tj}|} + k_{ij}^B (v_{yi} - v_{y\Omega Tj}) \right) \left(r_{i-\Omega Tj} - \alpha_n \frac{d_i + d_{\Omega T}}{2} \right), r_{i-\Omega Tj} < \alpha_n \frac{d_i + d_{\Omega T}}{2}; \right. \right. \\
& \left. \left. 0, r_{i-\Omega Tj} \geq \alpha_n \frac{d_i + d_{\Omega T}}{2}; \right) \right\};
\end{aligned} \tag{1.3}$$

$$\begin{aligned}
m_i \frac{d^2 z_i}{dt^2} = & \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{\Omega}} \left\{ \left(c_{ij} \left(\frac{d_i + d_j}{2} - r_{ij} \right) \frac{(z_i - z_j)}{r_{ij}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{zi} - v_{zj}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_j|} + k_{ij}^B (v_{zi} - v_{zj}) \right) \left(r_{ij} - \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2} \right), r_{ij} < \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2}; \right. \right. \\
& \left. \left. 0, r_{ij} \geq \alpha_n \frac{d_i + d_j}{2}; \right) \right\} + \\
& + \sum_{j=1}^{N_{II}} \left\{ \left(c_{i-IIj} \left(\frac{d_i}{2} - r_{i-IIj} \right) \frac{(z_i - z_{i-IIj})}{r_{i-IIj}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{zi} - v_{zIIj}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_{IIj}|} + k_{ij}^B (v_{zi} - v_{zIIj}) \right) \left(r_{i-IIj} - \alpha_n \frac{d_i}{2} \right), r_{i-IIj} < \alpha_n \frac{d_i}{2}; \right. \right. \\
& \left. \left. 0, r_{i-IIj} \geq \alpha_n \frac{d_i}{2}; \right) \right\} + \\
& + \sum_{j=1}^{N_{\Omega T}} \left\{ \left(c_{i-\Omega Tj} \left(\frac{d_i + d_{\Omega T}}{2} - r_{i-\Omega Tj} \right) \frac{(z_i - z_{\Omega Tj})}{r_{i-\Omega Tj}} + \left(k_{ij}^C \frac{v_{zi} - v_{z\Omega Tj}}{|\vec{v}_i - \vec{v}_{\Omega Tj}|} + k_{ij}^B (v_{zi} - v_{z\Omega Tj}) \right) \left(r_{i-\Omega Tj} - \alpha_n \frac{d_i + d_{\Omega T}}{2} \right), r_{i-\Omega Tj} < \alpha_n \frac{d_i + d_{\Omega T}}{2}; \right. \right. \\
& \left. \left. 0, r_{i-\Omega Tj} \geq \alpha_n \frac{d_i + d_{\Omega T}}{2}; \right) \right\} - m_i g,
\end{aligned}$$

где i – номер элемента; N_{Ω} – 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 [50]; 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» элементов); N_{Π} – количество элементарных поверхностей; $c_{i-\Pi j}$, $k_{i-\Pi j}^C$ 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; $N_{\text{ЭТ}}$ – количество шарообразных элементов трубок; $c_{i-\text{ЭТ}j}$, $k_{i-\text{ЭТ}j}^C$ и $k_{i-\text{ЭТ}j}^B$ – коэффициенты жесткости, сухого и вязкого трения при взаимодействии элемента i с другими элементами j ; $r_{i-\text{ЭТ}j}$ – расстояние от центра i -го элемента до центра j -го элемента; $x_{\text{ЭТ}j}$, $y_{\text{ЭТ}j}$, $z_{\text{ЭТ}j}$ – декартовы координаты центра элемента i ; $v_{x\text{ЭТ}j}$, $v_{y\text{ЭТ}j}$, $v_{z\text{ЭТ}j}$ – компоненты скорости центра j -го элемента; g – ускорение свободного падения [50].

«Сила упругости выступает в качестве силы нормальной реакции между элементами, приводящей к отталкиванию элементов, если они вступят 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» [50]:

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

«Решением данной системы дифференциальных уравнений второго порядка являются функции $x_i(t)$, $y_i(t)$, $z_i(t)$, определяющие траектории движения корнеклубнеплодов и позволяющие оценить эффективность процесса выгрузки» [50]. Подобная модель допускает введение, например, эластичных трубок, перегородок и поверхностей различной формы и расположения. Поэтому используем ее при моделировании процесса выгрузки из кузова или контейнера для оценки движения компонентов картофельного вороха.

1.5. Постановка задач исследований

Результаты анализа рассмотренных в разделе работ позволяют сделать

следующие выводы:

- анализ исследований процессов внутривоздушных перевозок корнеклубнеплодов и яблок показал, что в кузове транспортных средств повреждения возникают из-за неравномерности процесса разгрузки кузова.

- для уменьшения повреждений перевозимой продукции, путем более равномерной разгрузки кузова транспортного средства и снижения скорости выгружаемых клубней картофеля, необходимо создание устройства, способствующего порционно выгружать клубни картофеля из кузова транспортного средства.

Указанные выводы позволили сформулировать цель настоящих исследований - снижение повреждений при выгрузке клубней картофеля путем совершенствования кузова транспортного средства.

Для достижения поставленной цели сформулированы 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;

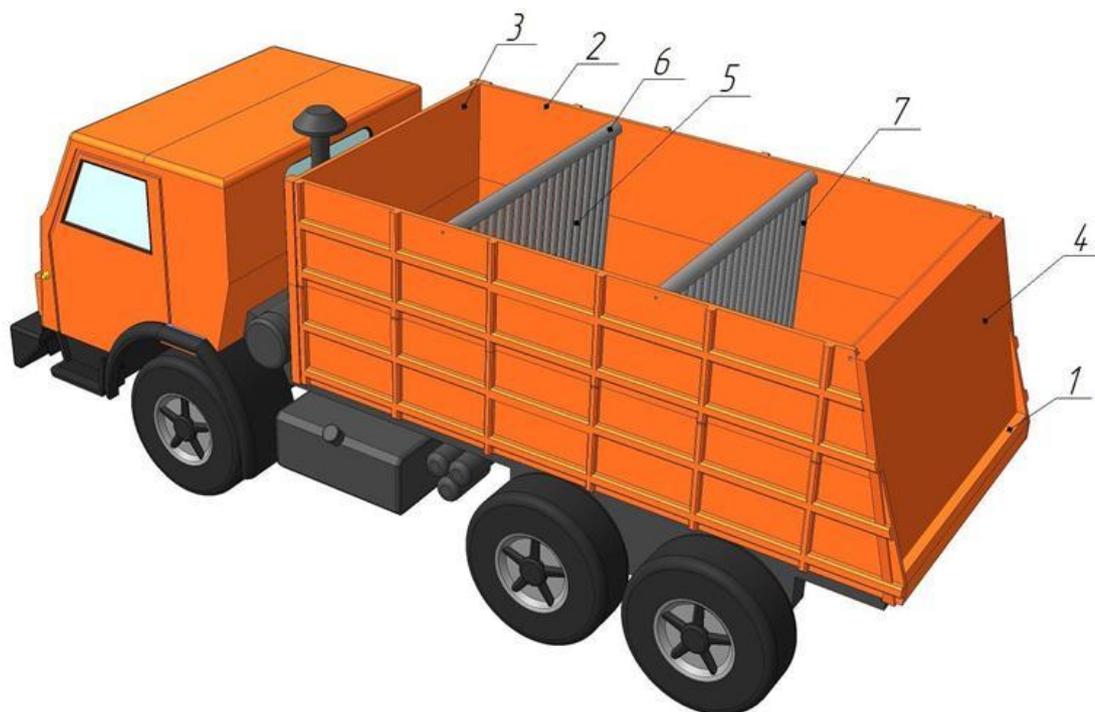
3. Провести хозяйственные исследования транспортного средства оборудованного разработанными эластичными перегородками;

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

Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛАСТИЧНЫХ ПЕРЕГОРОДОК КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

2.1 Конструктивно-технологическая схема кузова транспортного средства с эластичными перегородками

По результатам анализа применяемых в настоящее время механизированных погрузочно-разгрузочных работ с целью снижения повреждений клубней картофеля разработаны перегородки кузова транспортного средства из эластичных трубок [79, 82] (рис. 2.1, 2.2).

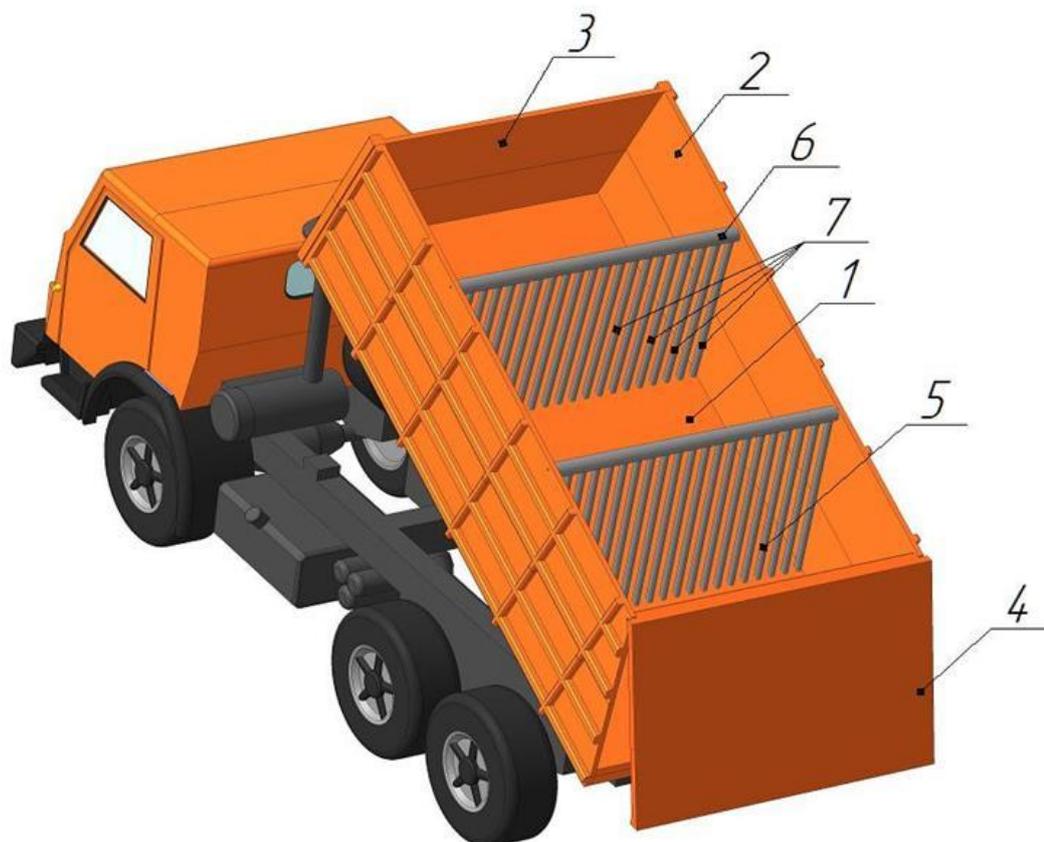


1 - основание; 2 – торцевые стенки; 3 – боковина; 4 – откидной борт;
5 – поперечная перегородка; 6 – ось; 7 – полая трубка.

Рисунок 2.1. Общий вид устройства

Устройство содержит основание 1 (рис. 2.1, 2.2), пару торцевых стенок 2, боковину 3, откидной борт 4 в верхней своей части шарнирно соединенный с торцевыми стенками 2, а в нижней части имеющий

возможность фиксации с торцевыми стенками при помощи фиксаторов (на рис. не показаны), закрепленную на торцевых стенках 2 оси 6 поперечную перегородку 5, выполненную из полых трубок из упругого материала 7, обладающих возможностью вращения вокруг оси 6 поперечной перегородки 5 и имеющих разную длину, причем она уменьшается от центра поперечной перегородки к торцевым стенкам 2 симметрично.



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

Рисунок 2.2. Положение эластичной перегородки при разгрузке.

Устройство для транспортировки корнеклубнеплодов работает следующим образом. В начальный момент выгрузки оператор открывает фиксаторы откидного борта 4 устройства для транспортировки корнеклубнеплодов. В начале выгружаются корнеклубнеплоды, расположенные у откидного борта. Затем по мере опрокидывания устройства

для транспортировки корнеклубнеплодов часть вороха корнеклубнеплодов удерживает поперечную перегородку 5 от смещения, исключая лавинообразный сход вороха корнеклубнеплодов. Благодаря меньшему трению в средней части устройства для транспортировки корнеклубнеплодов полые трубки 7 поперечной перегородки 5, вращаясь вокруг оси 6, изменяют угол наклона.

Это способствует частичной выгрузке вороха корнеклубнеплодов, расположенных за поперечной перегородкой 5. Постепенно освобождая трубки 7 поперечной перегородки 5 ворох корнеклубнеплодов дозированно выгружается от середины к торцевым стенкам 2 устройства для транспортировки корнеклубнеплодов. Величину угла опрокидывания изменяют постепенно, ориентируясь на скорость выгрузки до полной очистки основания 1. Боковина 2 устройства для транспортировки корнеклубнеплодов вместе с осью 6 создает дополнительную жесткость при выгрузке. Для регулирования скорости выгрузки полые трубки 7, выполненные из упругого материала имеют различную длину, причем зазор между трубкой и основанием зависит от сопротивления движению корнеклубнеплодов по ширине устройства для транспортировки корнеклубнеплодов [126, 132].

2.2 Теоретические предпосылки исследования кузова транспортного средства с эластичными перегородками

Для теоретического исследования устройства для транспортировки и выгрузки корнеклубнеплодов разработана его имитационная модель [98]. На основе изменения параметров и рядов эластичных трубок, устанавливали характер влияния параметра и были выбраны оптимальные значения [68].

Процесс выгрузки корнеклубнеплодов из контейнера (кузова) с рядами эластичных трубок, является чрезвычайно сложным, поэтому необходимо учитывать размеры, форму и реологические свойства корнеклубнеплодов и эластичных трубок [5, 50, 103, 123]. Отдельную сложность представляет

расчет взаимодействия корнеклубнеплодов с бортами, дном и откидной стенкой контейнера.

Система корнеклубнеплодов представляется, как совокупность большого количества (порядка 10^3 – 10^5) отдельных шаров [50]. Каждый шар представляет собой отдельный корнеклубнеплод. Размеры элементов могут быть как одинаковыми для упрощения исследования, так и разными, соответствующими реальному распределению размеров в массе корнеклубнеплодов [50]. Аналогичным образом, в модели представляются эластичные трубки: как совокупность линейно расположенных шарообразных элементов, взаимодействующих между собой таким образом, чтобы воспроизвести свойства эластичной трубки. «В предлагаемой модели приняты следующие допущения:

- корнеклубнеплоды являются шарами;
- шар -элемент с постоянной плотностью;
- элементы движутся согласно законам механики;
- взаимодействие между элементами и поверхностями контейнера носит упруго-вязкий характер» [23, 25, 50, 149].

«Элементы корнеклубнеплодов и эластичных трубок механически взаимодействуют как между собой, так и с рабочими поверхностями контейнера» [50, 108] (рисунок 2.3).

«Принимаем, что масса корнеклубнеплодов состоит из множества элементов шарообразной формы с диаметром 0,04 ... 0,15 м. Взаимодействие элементов между собой, с гибкими эластичными трубками и с поверхностями контейнера сопровождается возникновением упругих сил, а также сил сухого и вязкого трения (рисунок 1.12) [24, 103, 108]. Движение элементов в процессе выгрузки или транспортировки происходит по законам классической динамики» [50, 134, 142], что позволяет оценить повреждаемость и раскатывание корнеклубнеплодов [108].

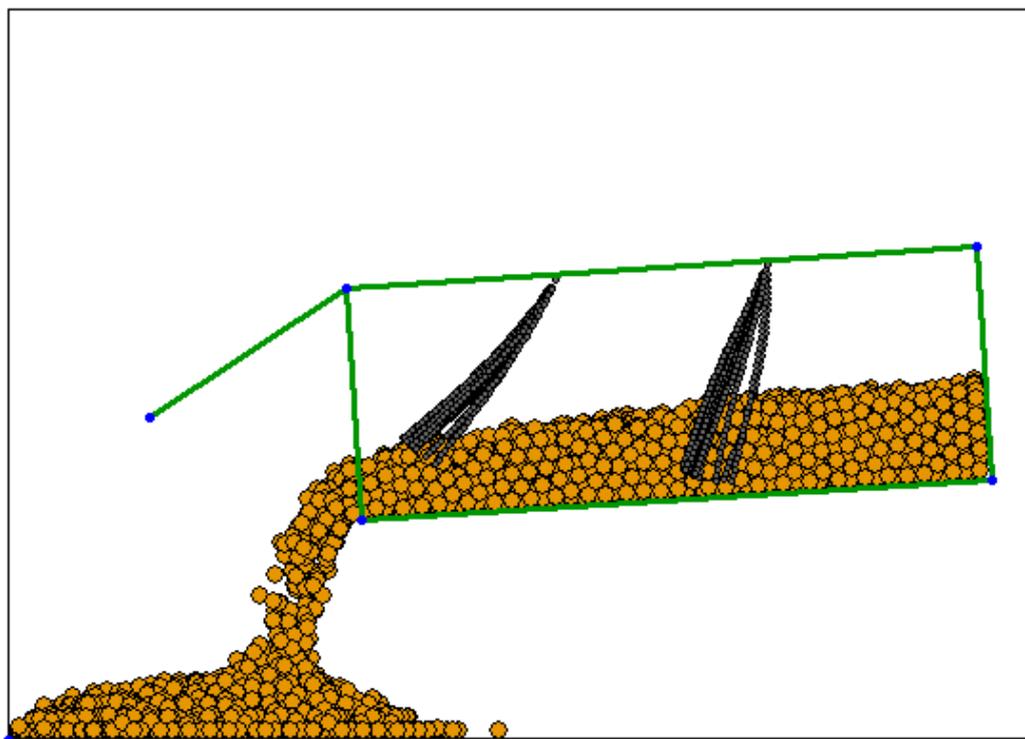


Рисунок 2.3 –Схема моделирования выгрузки корнеклубнеплодов, из кузова с эластичными трубками

Описание эластичных трубок

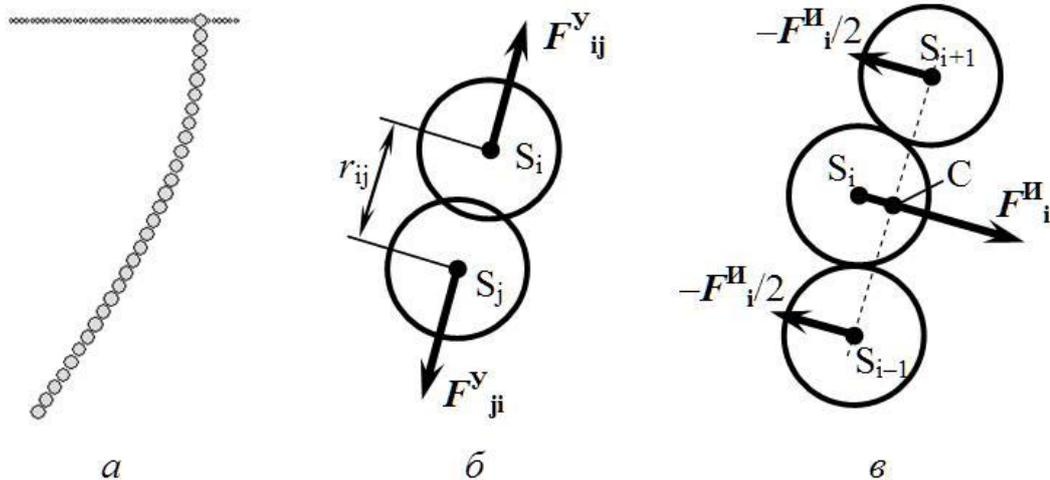
В основном варианте модели эластичные трубки расположены в два ряда по 33 трубки (рисунок 2.3). Ряды расположены на расстояниях $1/3$ и $2/3$ от длины контейнера L_k . Каждая эластичная трубка состоит из 38 шарообразных элементов диаметром $0,04$ м (рисунок 2.4, а). Начальное расположение центров элементов эластичных трубок x_{ijk} , y_{ijk} , z_{ijk} задается следующими формулами.

$$\begin{cases} x_{ijk} = x_u - \frac{1}{2}L_k + \frac{k}{3}L_k; \\ y_{ijk} = y_u - \frac{1}{2}B_k + \frac{j}{34}B_k; \\ z_{ijk} = z_u + H_k - i \cdot d_{эм}, \end{cases} \quad (2.1)$$

где i – номер элемента в эластичной трубке; j – номер эластичной трубке в ряду трубок; k – номер ряда эластичных трубок; x_u , y_u , z_u – координаты геометрического центра дна контейнера; L_k , B_k , H_k – длина,

ширина, высота контейнера; $d_{\text{эт}}$ – диаметр шарообразного элемента эластичной трубки.

Элементы эластичных трубок взаимодействуют между собой двумя типами упругих сил (межцентровыми и изгибными) и линейно-вязкими силами [87, 93]. В паре соседних элементов действуют упругие силы отталкивания или притяжения в зависимости от внедрения элементов друг в друга или растяжения от положения равновесия; упругие силы пропорциональны величине внедрения (рисунок 2.4, б). Для случая растяжения величина внедрения принимается отрицательной. Описанные упругие силы между центрами элементов обеспечивают постоянство длины эластичной трубки, но не постоянство ее формы. Для реалистичного затухания колебаний в упругой системе между соседними элементами добавлены линейно-вязкие силы: силы трения, пропорциональные относительной скорости движения центров соседствующих элементов [66, 103, 108].



а - в виде совокупности шарообразных элементов; схемы для расчета упругих сил при взаимодействии элементов трубки: б – сил отталкивания при вжатии элементов друг в друга; в – возвращающих сил при изгибе эластичной трубки

Рисунок 2.4 – Представление гибкой эластичной трубки в модели

Для того, чтобы эластичная трубка сохраняла форму, близкую к прямолинейной, добавлены упругие силы (рисунок 2.4, в). Упругие силы рассчитываются в тройках элементов: при смещении второго элемента относительно прямой, проведенной между центрами первого и третьего элементов, появляется упругая сила, стремящаяся вернуть второй элемент к прямой и пропорциональная величине, смещения от оси. Коэффициент пропорциональности представляет собой жесткость на изгиб и задает устойчивость эластичной трубки к изгибу.

Аналитическое описание сил в эластичных трубках практически аналогично формуле (1.3) и для экономии места представлено только в тексте программы (Приложение В).

Представление устройства для транспортировки и выгрузки клубней картофеля в модели.

Рабочие поверхности контейнера представлены в модели пятью прямоугольниками: основание, две торцевые стенки, боковина стенка, откидной борт (рисунок 2.5). Для унификации модели каждый прямоугольник считается состоящим из двух треугольников. Это сделано как для упрощения применения методов аналитической геометрии, так и для возможности при дальнейшей доработке модели воспроизводить поверхность произвольной формы как контейнера, так и других объектов [27, 65, 66, 103].

Контейнер задается десятью базовыми точками $A_1 \dots A_{10}$ (рисунок 2.5). Базовые точки образуют 10 элементарных треугольных поверхностей: $T_1(A_1A_2A_4)$, $T_2(A_2A_3A_4)$, $T_3(A_1A_2A_6)$, $T_4(A_1A_5A_6)$, $T_5(A_3A_4A_7)$, $T_6(A_4A_8A_7)$, $T_7(A_2A_3A_7)$, $T_8(A_2A_6A_7)$, $T_9(A_5A_8A_9)$, $T_{10}(A_8A_9A_{10})$.

Угловое положение плоскости откидного борта $A_5A_8A_{10}A_9$ относительно исходного положения $A_1A_5A_8A_4$ задается углом φ_c . Наклон всего контейнера относительно исходного положения задается углом φ_k .

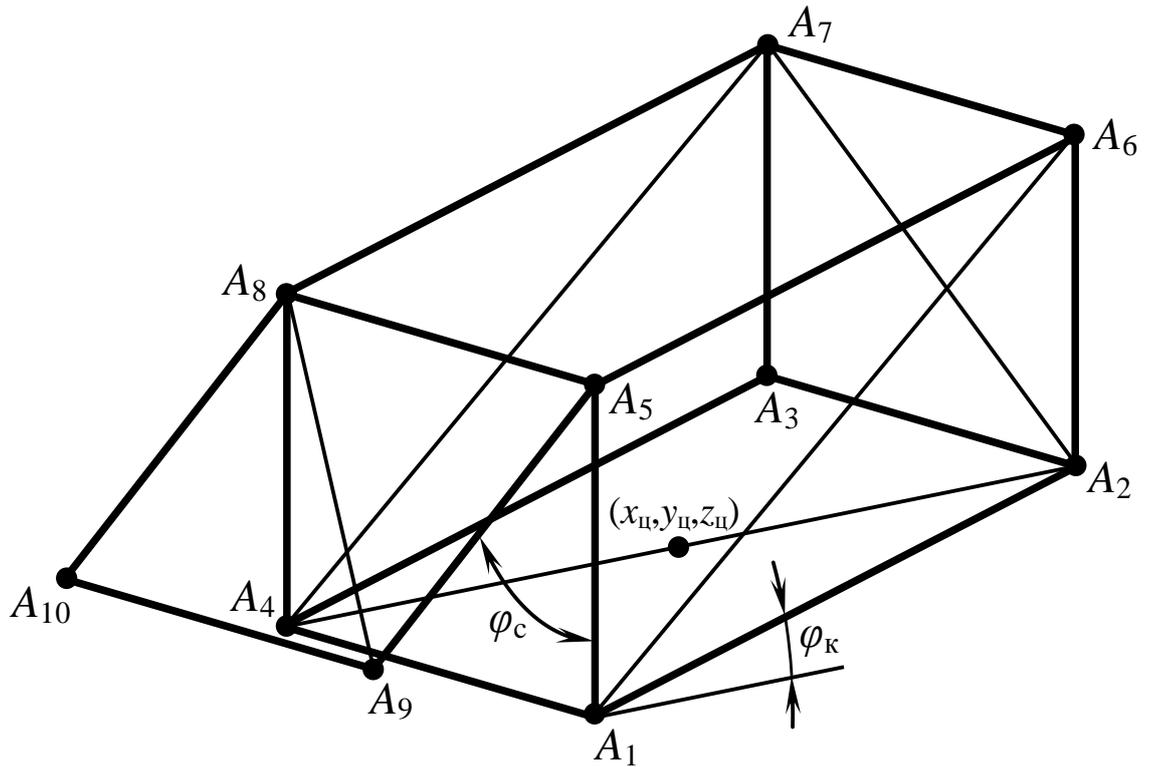


Рисунок 2.5 – Представление рабочих поверхностей контейнера как совокупности элементарных треугольных поверхностей, ребер и угловых точек [50]

В начале компьютерного эксперимента контейнер ориентирован горизонтально ($\varphi_k = 0$), откидной борт закрыт ($\varphi_c = 0$). Исходные координаты базовых точек $A_1 \dots A_{10}$ контейнера задавали следующим образом.

$$\begin{aligned}
 x_{A1} &= x_{ц0} - L_k/2; & y_{A1} &= y_{ц0} - B_k/2; & z_{A1} &= z_{ц0}; \\
 x_{A2} &= x_{ц0} + L_k/2; & y_{A2} &= y_{ц0} - B_k/2; & z_{A2} &= z_{ц0}; \\
 x_{A3} &= x_{ц0} + L_k/2; & y_{A3} &= y_{ц0} + B_k/2; & z_{A3} &= z_{ц0}; \\
 x_{A4} &= x_{ц0} - L_k/2; & y_{A4} &= y_{ц0} + B_k/2; & z_{A4} &= z_{ц0}; \\
 x_{A5} &= x_{ц0} - L_k/2; & y_{A5} &= y_{ц0} - B_k/2; & z_{A5} &= z_{ц0} + H_k; & (2.2) \\
 x_{A6} &= x_{ц0} + L_k/2; & y_{A6} &= y_{ц0} - B_k/2; & z_{A6} &= z_{ц0} + H_k; \\
 x_{A7} &= x_{ц0} + L_k/2; & y_{A7} &= y_{ц0} + B_k/2; & z_{A7} &= z_{ц0} + H_k; \\
 x_{A8} &= x_{ц0} - L_k/2; & y_{A8} &= y_{ц0} + B_k/2; & z_{A8} &= z_{ц0} + H_k; \\
 x_{A9} &= x_{A1}; & y_{A9} &= y_{A1}; & z_{A9} &= z_{A1}; \\
 x_{A10} &= x_{A4}; & y_{A10} &= y_{A4}; & z_{A10} &= z_{A4},
 \end{aligned}$$

где $x_{ц0}, y_{ц0}, z_{ц0}$ – положение центра основания контейнера в начальный

момент времени.

В процессе компьютерного эксперимента по выгрузке сначала откидывается борт (равномерно увеличивается угол φ_c), затем наклоняется сам контейнер (равномерно увеличивается угол φ_k). Аналитически изменение углов описывается следующим образом [50].

$$\varphi_c = \begin{cases} 0, & t < t_1; \\ \varphi_{cm} \frac{t - t_1}{t_2 - t_1}, & t_1 \leq t \leq t_2; \\ \varphi_{cm}, & t > t_2; \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\varphi_k = \begin{cases} 0, & t < t_3; \\ \varphi_{km} \frac{t - t_3}{t_4 - t_3}, & t_3 \leq t \leq t_4; \\ \varphi_{km}, & t > t_4, \end{cases} \quad (2.4)$$

где t_1 и t_2 – моменты времени начала и окончания откидывания борта; t_3 и t_4 – моменты времени начала и окончания наклона контейнера; φ_{cm} и φ_{km} – максимальные углы откидывания борта и наклона контейнера.

Изменение углов φ_c и φ_k приводит к необходимости пересчета на каждом шаге интегрирования по времени координат базовых точек $A_2, A_3, A_5 \dots A_{10}$, при этом точки A_1 и A_4 остаются неподвижными в течение всего времени компьютерного эксперимента [103].

Для наклона точек $A_2, A_3, A_5 \dots A_{10}$ контейнера относительно оси A_1A_4 производится следующее преобразование поворота:

$$\begin{cases} r = \sqrt{(x_i - x_{A1})^2 + (z_i - z_{A1})^2}; \\ \varphi = \begin{cases} \arctg \frac{z_i - z_{A1}}{x_i - x_{A1}}, & x_i - x_{A1} \geq 0; \\ \arctg \frac{z_i - z_{A1}}{x_i - x_{A1}} + 180^\circ, & x_i - x_{A1} < 0; \end{cases} \\ x_i = x_{A1} + r \cos(\varphi + \varphi_k); \\ y_i = y_i; \\ z_i = z_{A1} + r \sin(\varphi + \varphi_k), \end{cases} \quad (2.5)$$

где r и φ – полярные координаты базовых точек в системе координат, связанной с осью наклона контейнера A_1A_4 ; x_i, y_i, z_i – координаты базовой точки i ($i = A_2, A_3, A_5 \dots A_{10}$).

Поворот откидного борта (размещение точек A_9 и A_{10}) выполняется преобразованием поворота относительно оси A_5A_8 :

$$\left\{ \begin{array}{l} r = \sqrt{(x_i - x_{A_5})^2 + (z_i - z_{A_5})^2}; \\ \varphi = \begin{cases} \operatorname{arctg} \frac{z_i - z_{A_5}}{x_i - x_{A_5}}, & x_i - x_{A_5} \geq 0; \\ \operatorname{arctg} \frac{z_i - z_{A_5}}{x_i - x_{A_5}} + 180^\circ, & x_i - x_{A_5} < 0; \end{cases} \\ x_i = x_{A_5} + r \cos(\varphi - \varphi_c + \varphi_k); \\ y_i = y_i; \\ z_i = z_{A_5} + r \sin(\varphi - \varphi_c + \varphi_k), \end{array} \right. \quad (2.6)$$

где r и φ – полярные координаты базовых точек в системе координат, связанной с осью вращения откидного борта A_5A_8 ; x_i, y_i, z_i – координаты базовой точки i ($i = A_9$ или $i = A_{10}$).

Расчет показателей эффективности

Разработанная модель позволяет определить основные показатели, характеризующие производительность и качество процесса выгрузки. Из множества возможных показателей эффективности выбраны три, наиболее информативно и всесторонне характеризующие процесс выгрузки: время выгрузки, среднее расстояние раскатывания корнеклубнеплодов и доля поврежденных корнеклубнеплодов [29, 30, 31].

Время выгрузки t_v рассчитывается как время, прошедшее с момента t_1 начала откидывания борта до момента времени t_n , в который последний корнеклубнеплод покидает контейнер. Определение момента времени t_n производится по функции зависимости количества корнеклубнеплодов, оставшихся в контейнере от времени $N_o(t)$:

$$N_o(t) = \sum_{i=1}^{N_{\text{э}}} \begin{cases} 1, & z_i(t) \geq z_{A1}; \\ 0, & z_i(t) < z_{A1}; \end{cases} \quad (2.7)$$

$$t_{\text{с}} = t_n - t_1 = t|_{N_o(t)=0} - t_1. \quad (2.8)$$

Среднее расстояние раскатывания L_p определяется как смещение центра тяжести системы корнеклубнеплодов относительно ребра выгрузки A_1A_4 :

$$L_p = x_{A1} - \frac{1}{N_{\text{э}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{э}}} x_i(t_n). \quad (2.9)$$

Для расчета доли поврежденных корнеклубнеплодов n_n в процессе компьютерного эксперимента по выгрузке для каждого корнеклубнеплода записывается функция давления от времени $P_i(t)$. За оценку давления принята сумма сил, действующих на корнеклубнеплод со стороны других корнеклубнеплодов, поверхностей контейнера и элементов эластичных трубок, деленная на площадь поверхности шарообразного элемента.

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_{\text{э}}} |\vec{F}_{ij}| + \sum_{j=1}^{N_{\text{п}}} |\vec{F}_{i-\text{п}j}| + \sum_{j=1}^{N_{\text{э}r}} |\vec{F}_{i-\text{э}rj}|}{\pi d_i / 2}. \quad (2.10)$$

Корнеклубнеплод считается поврежденным, если в какой-то момент времени t функция $P_i(t)$ превысит предельное значение давления P_n . [28, 29] Тогда доля поврежденных корнеклубнеплодов определяется по формуле:

$$n_n = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{э}}} \begin{cases} 1, & \max_t P_i(t) \geq P_n; \\ 0, & \max_t P_i(t) < P_n; \end{cases}}{N_{\text{э}}}. \quad (2.11)$$

Алгоритмическая основа модели.

Разработанная модель по своей сути является не аналитической, а алгоритмической: так как показатели эффективности невозможно рассчитать

по формулам явным образом, они рассчитываются с помощью итерационного алгоритма. Схема алгоритма представлена на рисунке 2.6.

На схеме алгоритма добавлены обозначения: $t_{кэ}$ – длительность компьютерного эксперимента; $[t_{кэ}/\Delta t]$ – номер последнего шага интегрирования по времени; квадратные скобки означают округление до целого числа.

Таким образом, разработана математическая модель устройства для транспортировки и выгрузки корнеклубнеплодов, учитывающая физические свойства корнеклубнеплодов, физические и геометрические характеристики контейнера и эластичных трубок, а также параметров процесса выгрузки [148]. Модель позволяет оценить эффект от оснащения контейнера рядами эластичных трубок и определить их оптимальные параметры.

2.3 Программная реализация математической модели выгрузки клубней картофеля из кузова транспортного средства с эластичными перегородками

Для проведения компьютерного моделирования разработана «Программа для моделирования устройства для транспортировки и выгрузки корнеклубнеплодов» на языке Object Pascal в среде программирования Borland Delphi 7. Программа зарегистрирована в Роспатенте (свидетельство на программу для ЭВМ 2020614320) [98].

Программа предназначена для моделирования методом динамики частиц движения системы корнеклубнеплодов при транспортировке с вибрацией в кузове и при выгрузке из кузова автомобиля, оборудованного эластичными перегородками [119].

Перед началом компьютерного эксперимента программа позволяет задать геометрические характеристики кузова, а также параметры корнеклубнеплодов в окнах интерфейсной формы (рисунок 2.7).

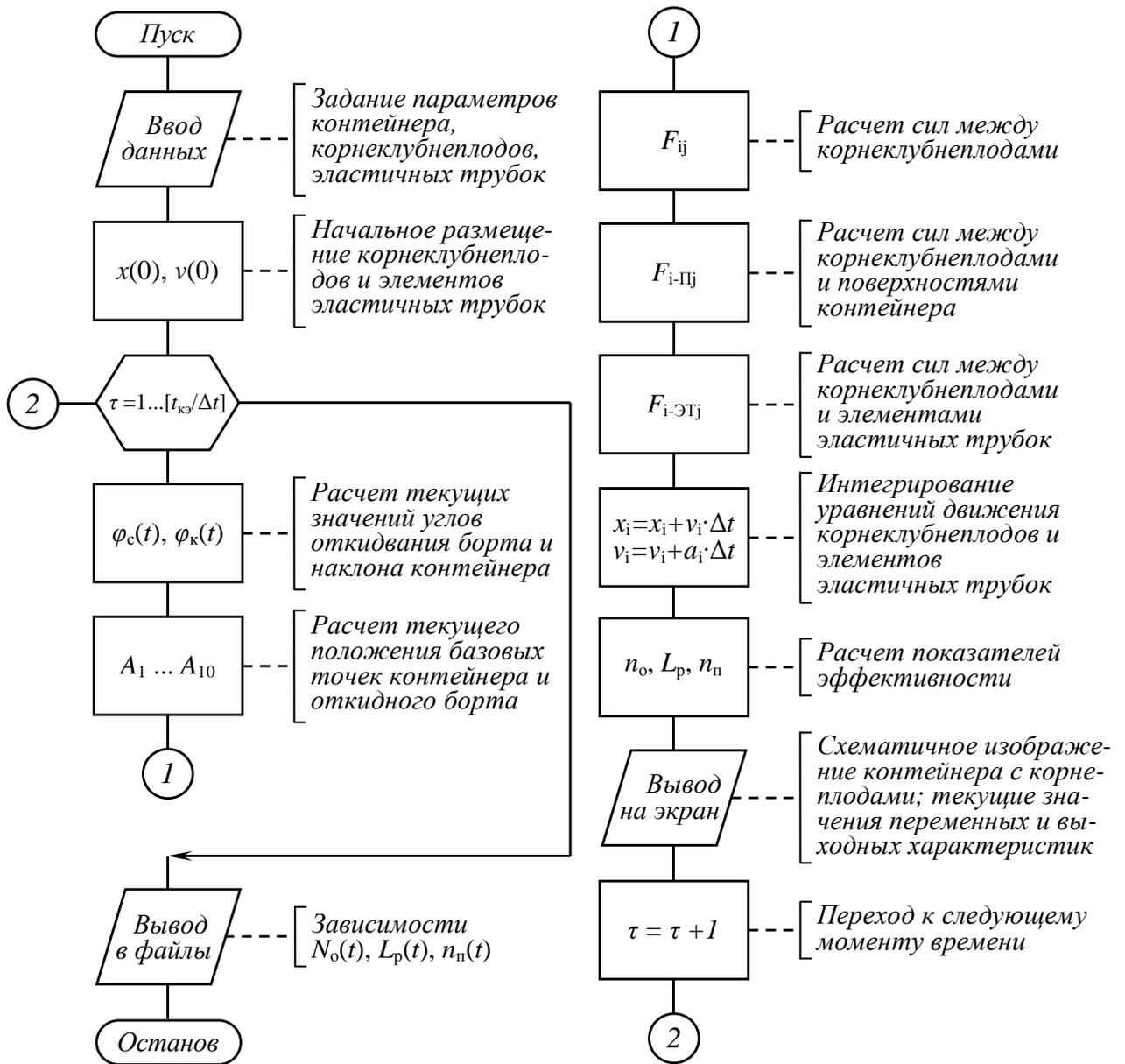


Рисунок 2.6 –Схема алгоритма моделирования выгрузки картофеля из кузова транспортного средства, оборудованного эластичными перегородками

В процессе работы программа регулярно выводит на экран три проекции кузова транспортного средства, значения остатка корнеклубнеплодов в кузове и расстояния раскатывания корнеклубнеплодов (рисунок 2.8). Программа применима для различных видов и сортов корнеклубнеплодов.

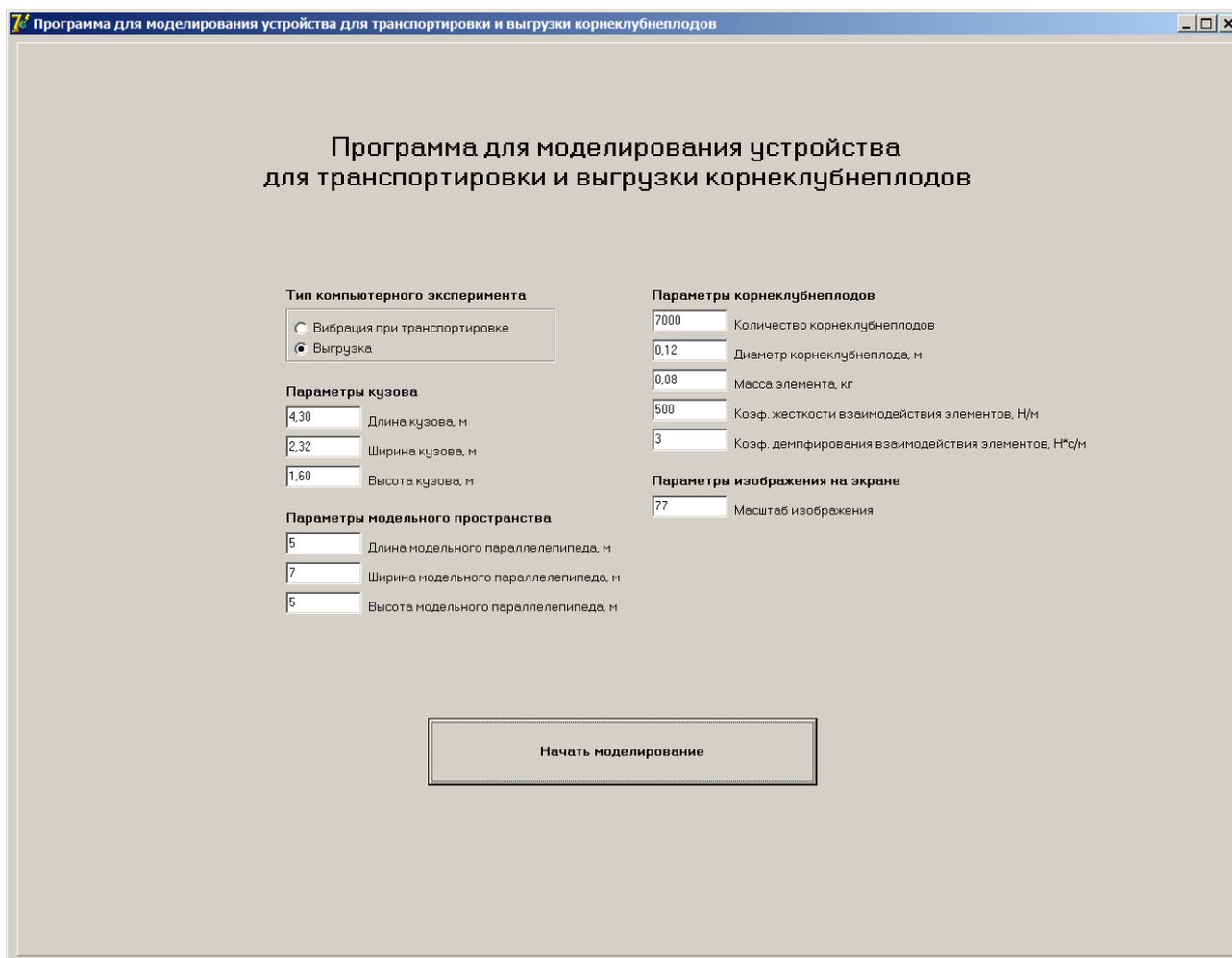


Рисунок 2.7. Интерфейсная форма ввода параметров компьютерного эксперимента

«Основные технические характеристики программы:

- количество корнеклубнеплодов от 1000 до 100000;
- диаметр корнеклубнеплодов от 0,04 до 0,2 м;
- длительность компьютерного эксперимента по разгрузке контейнера около 10 минут (для тактовой частоты процессора 3 ГГц)»[50].

Таким образом, разработана компьютерная программа, позволяющая на основе компьютерных экспериментов с моделью изучать эффективность устройства для транспортировки и выгрузке корнеклубнеплодов.

Особенности проведения компьютерного эксперимента

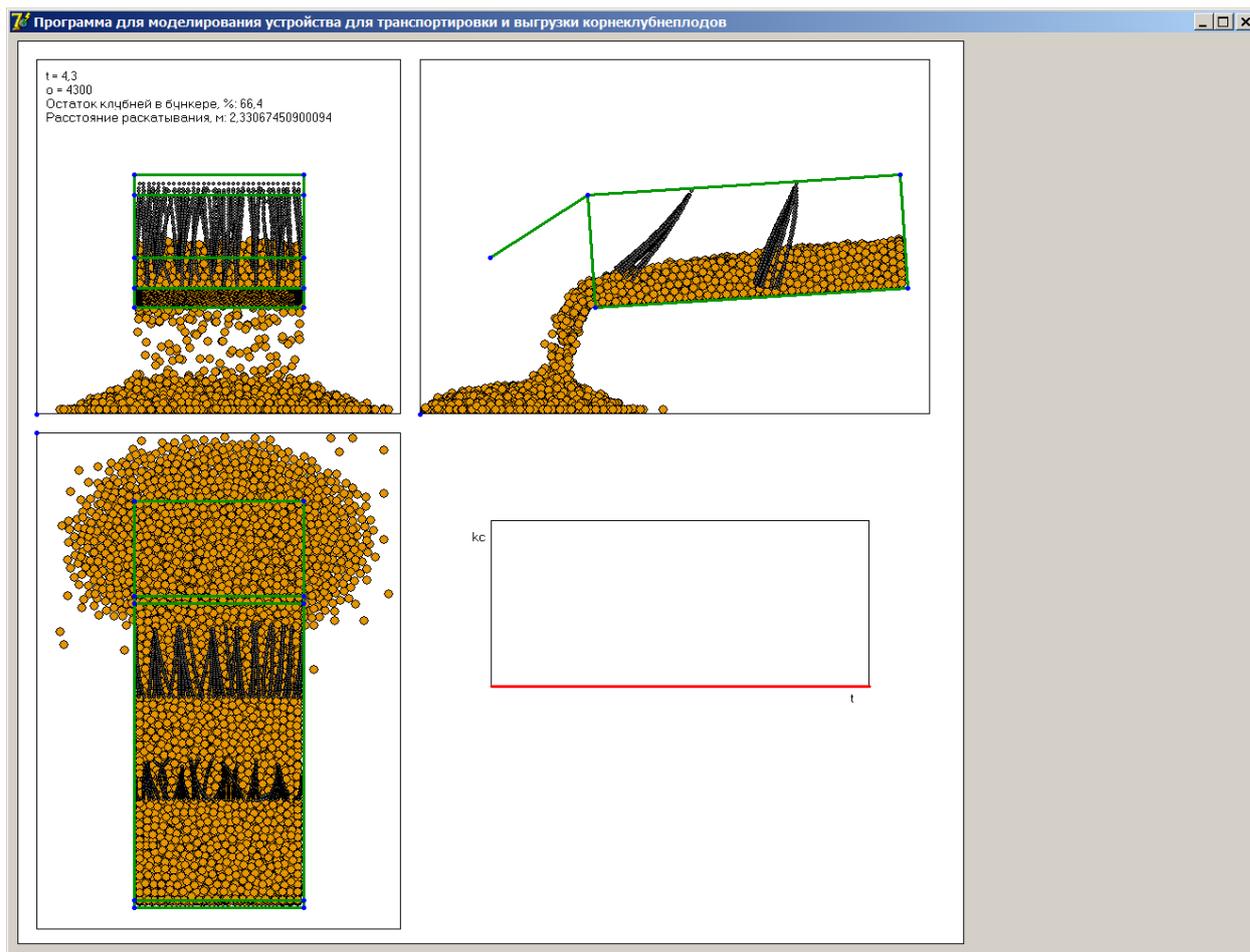


Рисунок 2.8 – Интерфейсная форма вывода результатов компьютерного эксперимента: трех проекций кузова транспортного средства, числовых значений показателей остатка корнеклубнеплодов в кузове и расстояния раскатывания

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

В начале компьютерного эксперимента необходимо было разместить корнеклубнеплоды в кузове транспортного средства аналогично реальному размещению. Для этого в момент модельного времени $t = 0$ с заданное количество корнеклубнеплодов распределялось равномерно по объему контейнера (рисунок 2.9, а). В течение 0,7 с корнеклубнеплоды оседали под действием сил тяжести и формировали случайную плотную упаковку в нижней части кузова транспортного средства (рисунок 2.9, б).

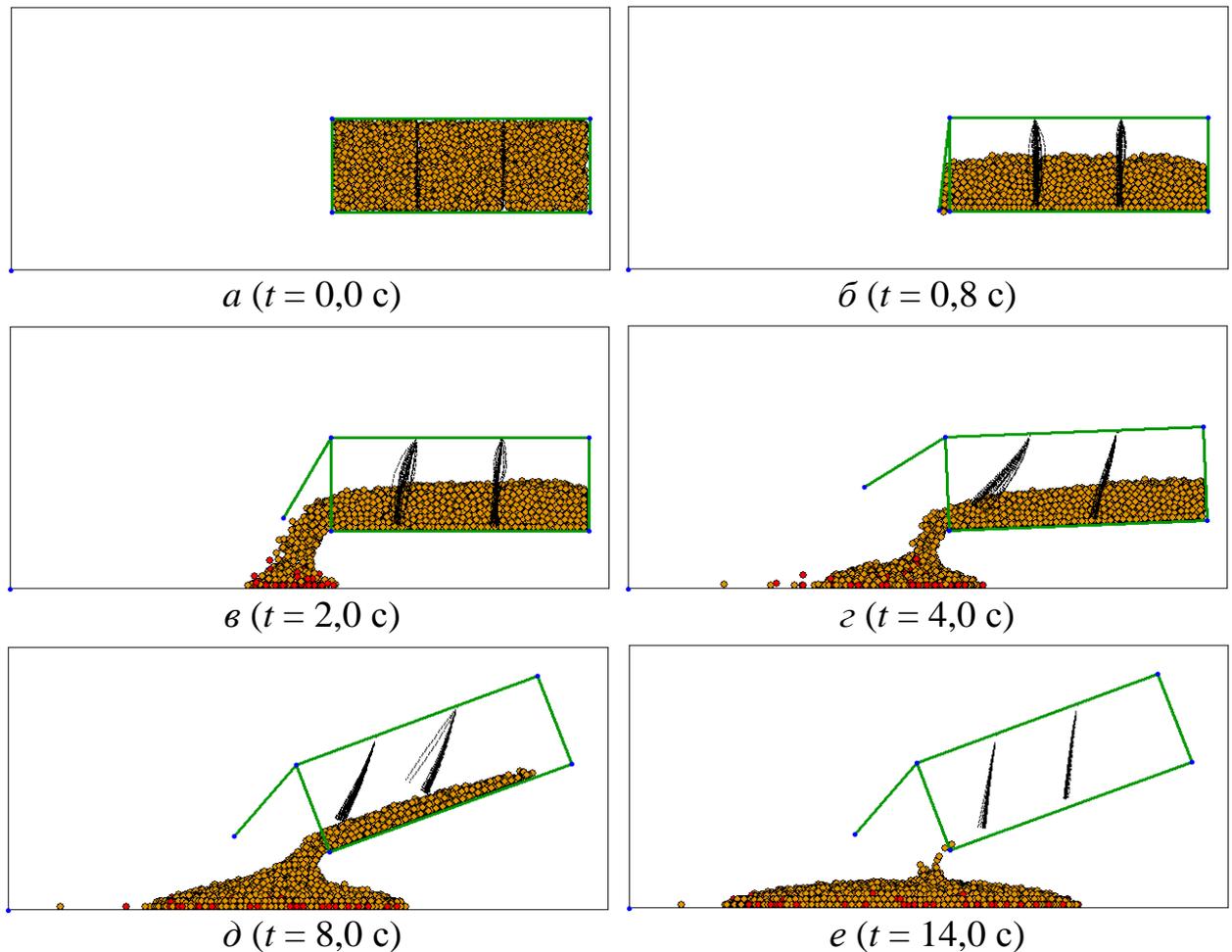


Рисунок 2.9 – Изменение состояния системы корнеклубнеплодов в компьютерном эксперименте по выгрузке корнеклубнеплодов из кузова транспортного средства

В промежуток времени 0,7 ... 3,5 с откидной борт поворачивался вокруг оси с постоянной угловой скоростью (рисунок 2.9, в). Корнеклубнеплоды, находящиеся между откидным бортом и первым рядом эластичных трубок, начинали высыпаться из кузова транспортного средства.

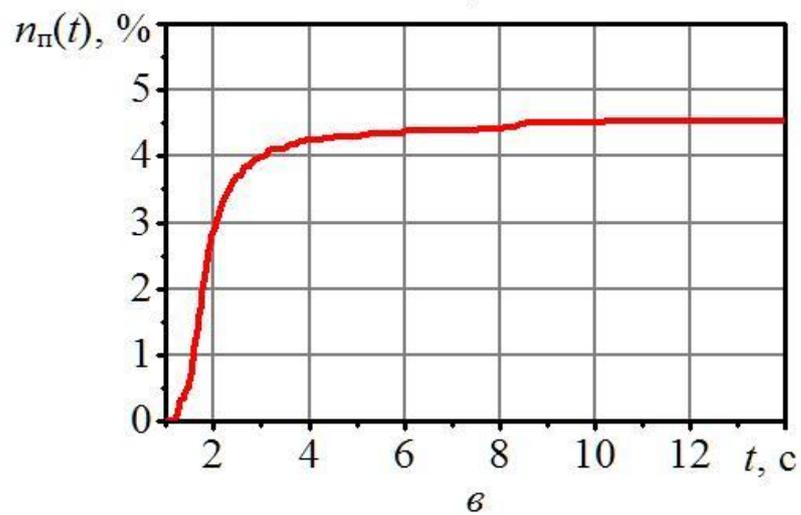
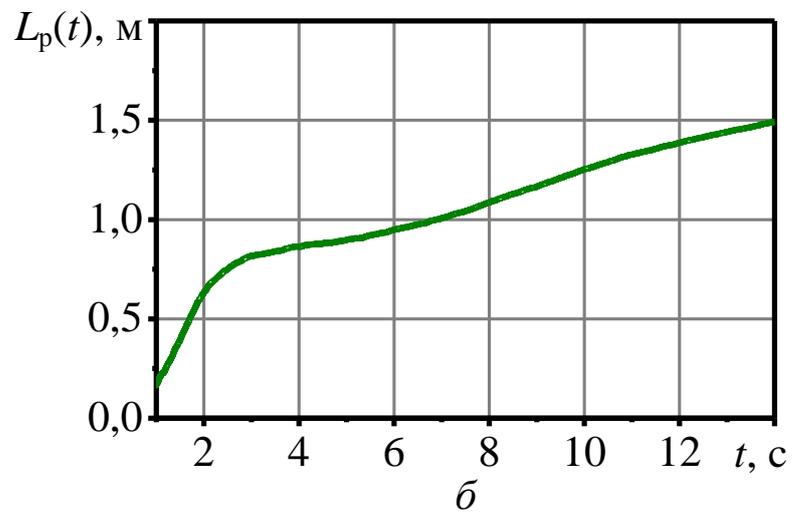
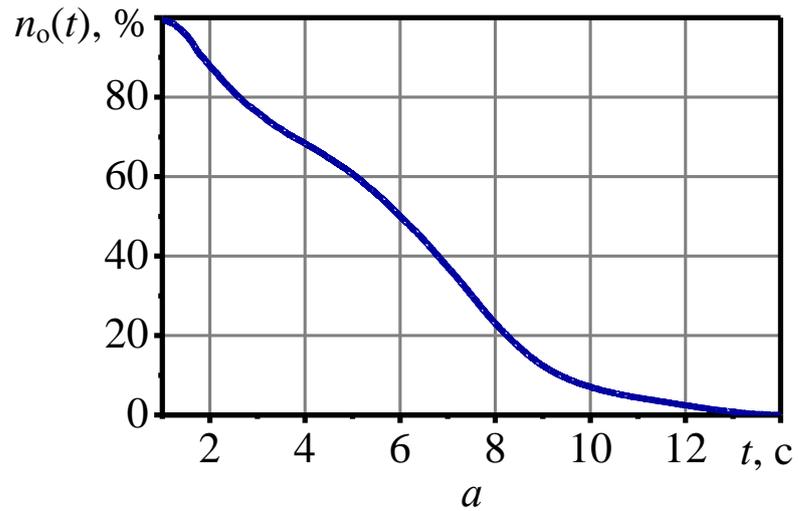
В момент времени 3,0 с начинался наклон всего кузова транспортного средства, который продолжался с постоянной угловой скоростью до момента времени 8,0 с (рисунок 2.9). После освобождения от корнеклубнеплодов первой трети кузова транспортного средства эластичные трубки первого ряда поднимались и пропускали массу корнеклубнеплодов, расположенных между первым и вторым рядами эластичных трубок. После освобождения второй трети кузова транспортного средства поднимались эластичные трубки

второго ряда и начиналась выгрузка оставшейся трети корнеклубнеплодов. Необходимо отметить, что разработанное устройство с двумя эластичными перегородками обеспечивает практически постоянную скорость разгрузки, о чем свидетельствует практически линейный характер графика на рисунке 2.9а в интервале 2,0 ... 9,0 с.

После остановки наклона кузова транспортного средства оставшийся слой корнеклубнеплодов продолжал высыпаться еще в течение около 6 с и к моменту времени $t = 14$ с кузов транспортного средства полностью освобождался (рисунок 2.9 е).

Среднее расстояние раскатывания L_p быстро увеличивалось с 0 до 0,8 м после откидывания борта (в интервале 0,0...2,5 с) (рисунок 2.10, б). После этого расстояние раскатывания увеличивалось медленно и практически линейно на протяжении оставшегося времени выгрузки и к моменту освобождения кузова транспортного средства не превышало 1,5 м.

В различных вариантах модели можно было исследовать различные аспекты повреждаемости корнеклубнеплодов. В базовом варианте модели наблюдалась повреждаемость преимущественно первых корнеклубнеплодов при падении с наибольшей высоты после откидывания борта. Об этом свидетельствует резкий рост зависимости доли поврежденных корнеклубнеплодов от времени (рисунок 2.10, в) и расположение выделенных красным цветом шаров, означающих поврежденные корнеклубнеплоды, преимущественно в нижнем слое выгруженных корнеклубнеплодов (рисунок 2.9, в ... е). В ходе дальнейшей выгрузки корнеклубнеплоды падают с меньшей высоты, поэтому в дальнейшем количество повреждений увеличивается слабо (рисунок 2.10, в). Разработанное устройство обеспечивает достаточно малую долю 4,6 % поврежденных в процессе выгрузки корнеклубнеплодов.



a – доли корнеклубнеплодов, оставшихся в кузове транспортного средства; b – среднего расстояния раскатывания; v – доли поврежденных корнеклубнеплодов.

Рисунок 2.10 – Зависимости от времени

Аналогичный компьютерный эксперимент был проведен для выгрузки из стандартного кузова транспортного средства без установленных эластичных перегородок тех же габаритных размеров, с теми же кинетическими параметрами процесса выгрузки. Сравнение показало, что предлагаемое устройство позволило снизить среднее расстояние раскатывания с 1,60 до 1,52 м, снизить долю поврежденных корнеклубнеплодов с 6,3 до 4,6 %, при незначительном увеличении времени выгрузки с 9,7 до 11,0 с. Таким образом, предлагаемое устройство позволяет повысить кучность разгрузки и снизить повреждаемость корнеклубнеплодов.

2.4 Моделирование процесса выгрузки кузова транспортного средства с эластичными перегородками

Разработанная модель позволяет учесть большое количество параметров корнеклубнеплодов, кузова транспортного средства, эластичных трубок, параметров процесса выгрузки, а также рассчитать основные показатели эффективности выгрузки корнеклубнеплодов. Взаимосвязь между входными параметрами модели и показателями эффективности схематично изображена на рисунке 2.11 [133].

Переменные, относящиеся к разработанной модели, можно разделить на три группы: две группы входных переменных и одну группу показателей эффективности.

К первой группе входных переменных относятся конструктивные и технологические параметры устройства:

φ_m – максимальный угол наклона кузова транспортного средства;

t_n – время наклона кузова транспортного средства с постоянной угловой скоростью на максимальный угол φ_m ;

c_n – коэффициент жесткости эластичных трубок на изгиб;

n_{pt} – количество эластичных перегородок в кузове транспортного средства.

Вторая группа переменных задает свойства системы

корнеклубнеплодов:

h_3 – высота загрузки кузова транспортного средства;

d_k – диаметр корнеклубнеплодов (в варианте модели с корнеклубнеплодами одного и того же диаметра);

k_B – коэффициент вязкого трения между корнеклубнеплодами, позволяющий не явным образом задавать уровни загрязнения и липкости корнеклубнеплодов.

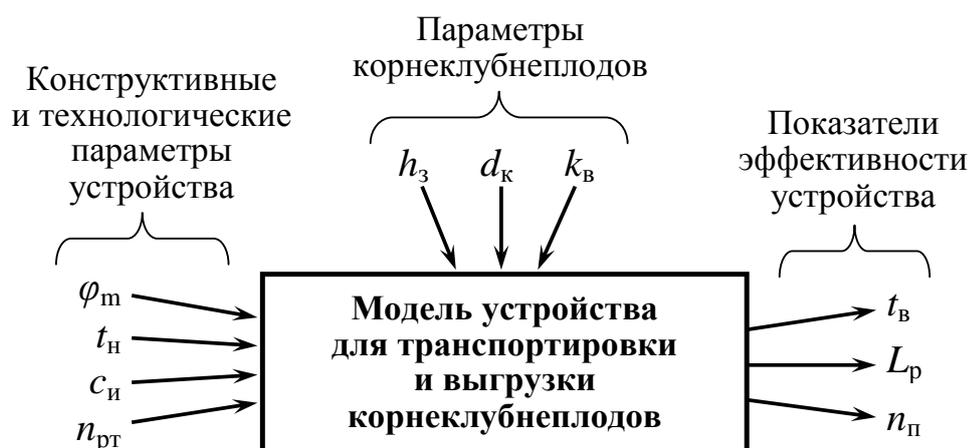


Рисунок 2.11. Основные входные и выходные параметры модели устройства для транспортировки и выгрузки корнеклубнеплодов

К показателям эффективности устройства для транспортировки и выгрузки корнеклубнеплодов относятся:

t_B – время полной выгрузки корнеклубнеплодов;

L_p – среднее расстояние раскатывания корнеклубнеплодов;

$n_{п}$ – доля поврежденных корнеклубнеплодов.

Дальнейшее теоретическое исследование заключается в варьировании параметров модели и изучении отклика показателей эффективности устройства для транспортировки и выгрузки корнеклубнеплодов.

Влияние максимального угла наклона кузова транспортного средства

С увеличением предельного угла наклона кузова транспортного средства φ_m существенно увеличивается интенсивность выгрузки, что благоприятно влияет на скорость выгрузки, но неблагоприятно влияет на

повреждаемость корнеклубнеплодов и их раскатывание. Для исследования влияния угла φ_m на эффективность процесса выгрузки провели пять компьютерных экспериментов с изменением φ_m от 15° до 35° с шагом 5° (рисунки 2.12, 2.13). Для сравнения компьютерные эксперименты провели как для кузова транспортного средства, оснащенного двумя эластичными перегородками (сплошные линии на графиках рисунка 2.13 и далее), так и для стандартного кузова транспортного средства без эластичных перегородок (штриховые линии на рисунке 2.13 и далее).

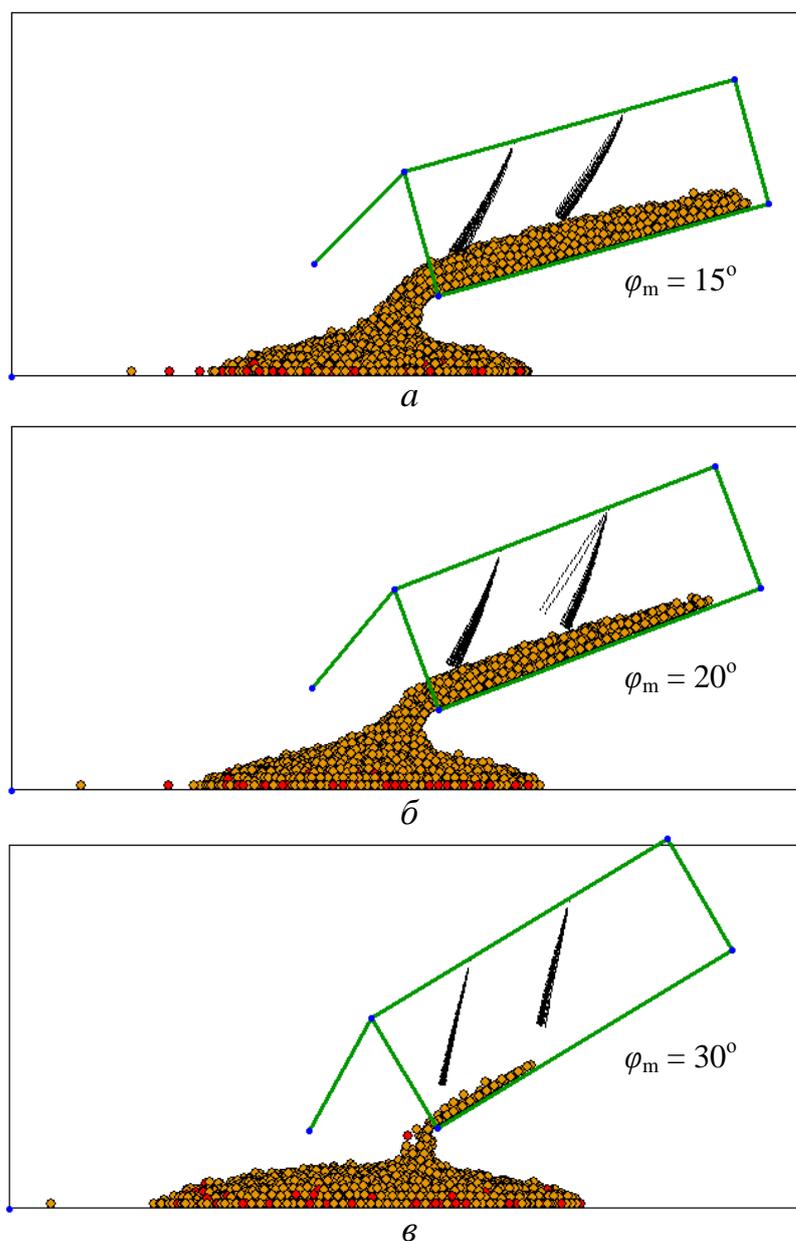


Рисунок 2.12 – Состояние системы корнеклубнеплодов в момент достижения максимального угла φ_m наклона кузова транспортного средства (при

постоянной угловой скорости наклона кузова транспортного средства 4 градуса в секунду): $a - 15^\circ$, $b - 20^\circ$, $c - 30^\circ$

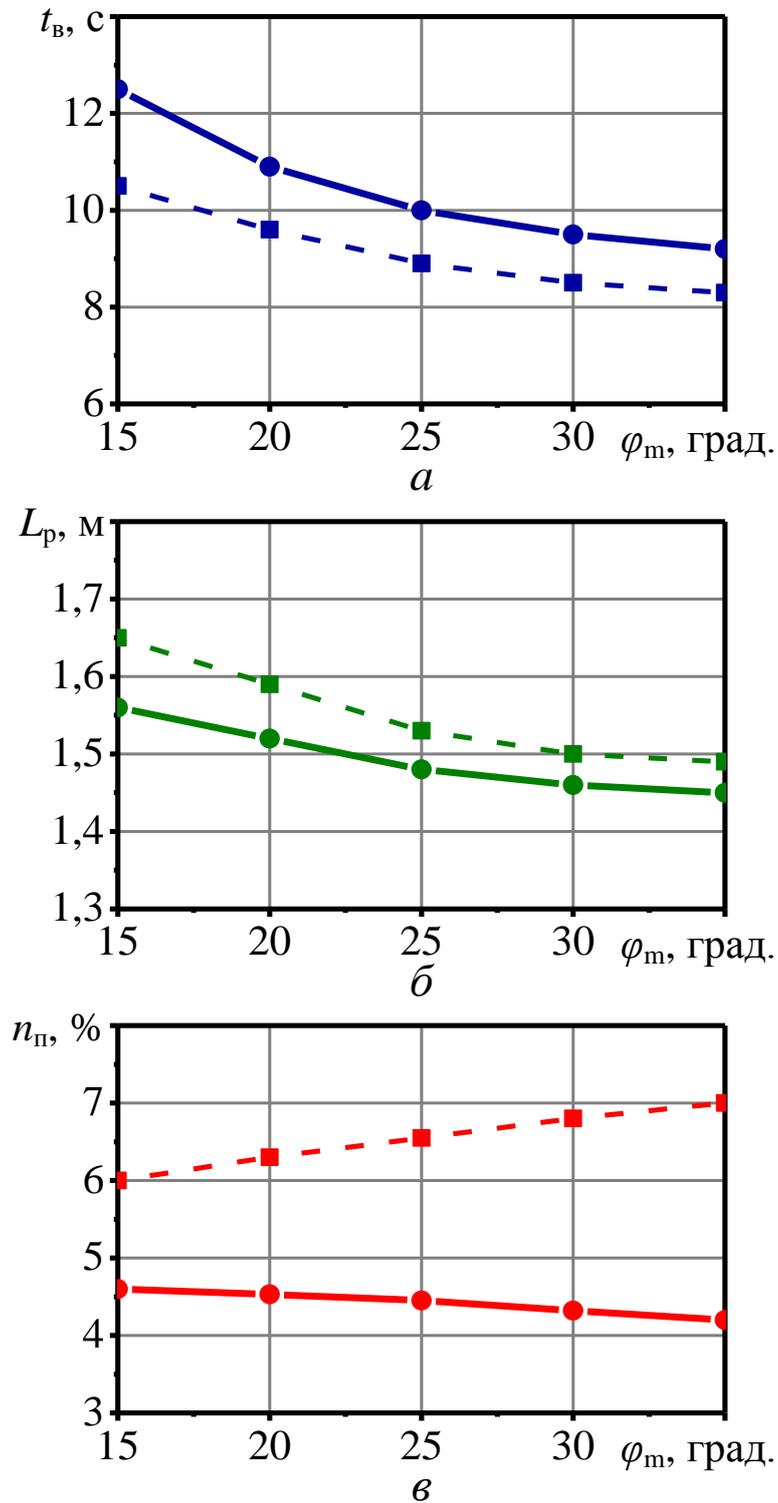


Рисунок 2.13 – Влияние максимального угла наклона кузова транспортного средства φ_m (при постоянной угловой скорости наклона кузова транспортного средства 4 градуса в секунду) на время выгрузки t_b (а),

среднее расстояние раскатывания L_p (б) и долю поврежденных корнеклубнеплодов n_n (в). Сплошная и штриховая линии – соответственно оснащен и не оснащен эластичными перегородками.

Определение параметров эластичных трубок

Эластичные трубки характеризуются двумя основными параметрами: длиной L_T и коэффициентом жесткости на изгиб $c_{и}$. Исследуем совместное влияние параметров эластичных трубок L_T и $c_{и}$ на показатели эффективности и выполним двухфакторную оптимизацию параметров L_T и $c_{и}$. [66]. Аналитически данную задачу оптимизации можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} t_{\epsilon}(L_m, c_u) \rightarrow \min; \\ L_p(L_m, c_u) \rightarrow \min; \Rightarrow L_m^{opt}, c_u^{opt}. \\ n_n(L_m, c_u) \rightarrow \min; \end{cases} \quad (2.12)$$

Влияние скорости наклона контейнера

Решение задачи оптимизации заключается в поиске такой области изменения факторов L_T и $c_{и}$, в которой одновременно будут минимальными время выгрузки $t_{в}$, расстояние раскатывания L_p и доля поврежденных корнеклубнеплодов n_n .

Для решения двухфакторной задачи оптимизации провели девять компьютерных экспериментов, в которых задавали длину трубки L_T равной 1,40, 1,52, 1,64 м (высота кузова транспортного средства составляет 1,60 м) при одновременном изменении коэффициента жесткости трубки на изгиб $c_{и}$ на уровнях 0,6, 1,0, 1,4 кН/м².

Коэффициент жесткости на изгиб имеет физический смысл силы, которую необходимо приложить, чтобы обеспечить стрелу прогиба в 1 м трубки, опирающейся на два упора с расстоянием между упорами 1 м. В частности, коэффициент 1,0 кН/м² означает, что при приложении силы 10 Н (от массы условного груза примерно 1 кг) стрела прогиба трубки составит 1 см, если эластичная трубка опирается на упоры с расстоянием между ними 1 м.

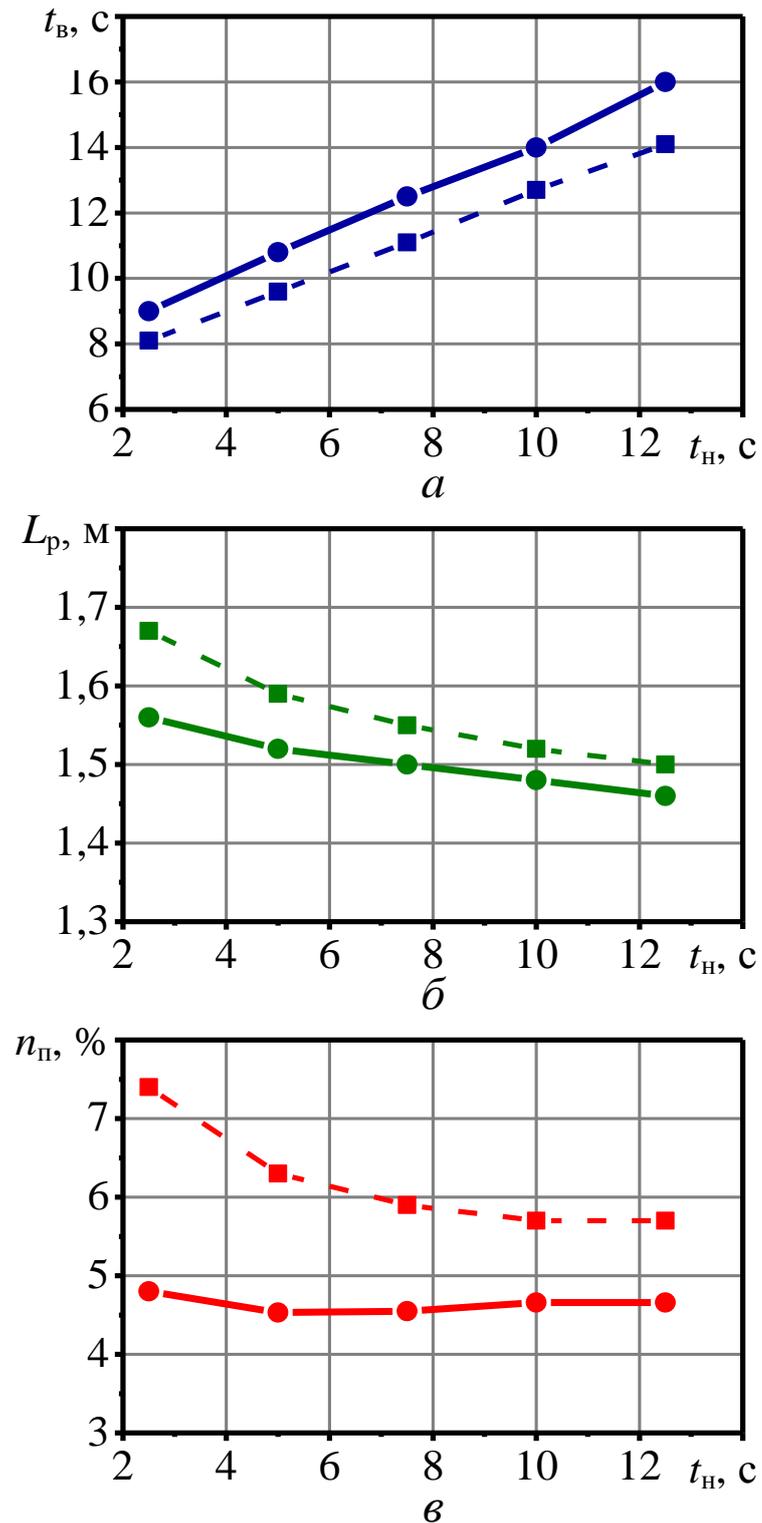


Рисунок 2.14 – Влияние времени t_H наклона кузова транспортного средства на угол 20° на время выгрузки t_B (а), среднее расстояние раскатывания L_p (б) и долю поврежденных корнеклубнеплодов n_{II} (в). Сплошная и штриховая линии – соответственно оснащен и не оснащен рядами эластичных трубок

На рисунке 2.15 показано состояние системы для двух различных длин L_T эластичных трубок в момент времени 2,2 с от начала компьютерного эксперимента. Как можно судить по данным проекциям, при слишком низкой длине эластичных трубок они увлекаются верхними слоями корнеклубнеплодов, и оказывают слабое тормозящее влияние на выгрузку (рисунок 2.15, *а*). При слишком большой длине эластичных трубок, они оказывают хорошее влияние на замедление выгрузки, однако могут травмировать корнеклубнеплоды у дна кузова транспортного средства за счет значительных сил воздействия на них (рисунок 2.15, *б*).

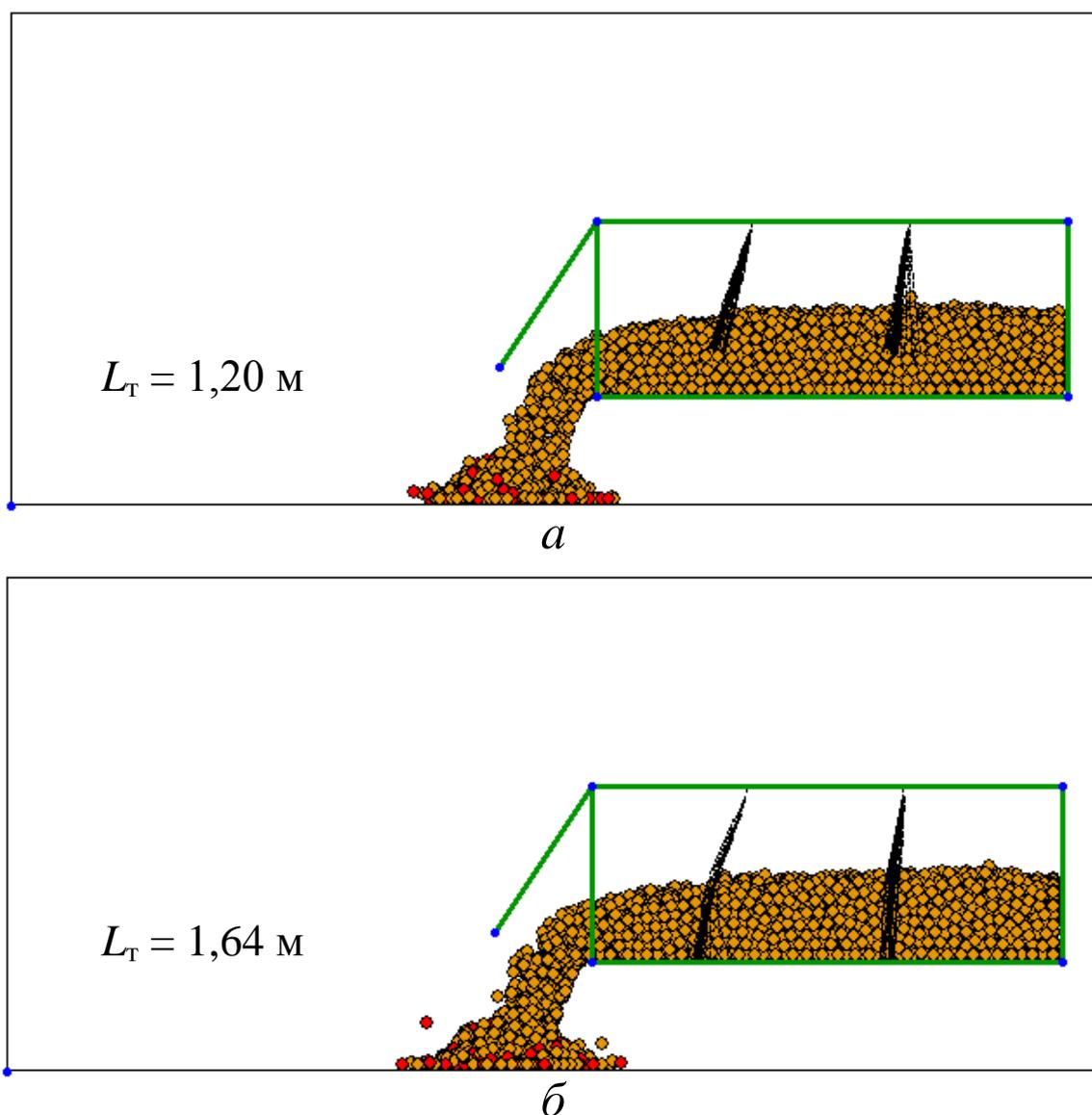


Рисунок 2.15 – Процесс выгрузки корнеклубнеплодов при различной длине эластичных трубок L_T : *а* – 1,20 м, *б* – 1,64 м

На основе набора данных, полученного в результате проведения девяти оптимизационных компьютерных экспериментов, получены аналитические формулы для функций $t_B(L_T, c_{и})$, $L_p(L_T, c_{и})$ и $n_{п}(L_T, c_{и})$. Для обобщения и сглаживания результатов каждую функцию аппроксимировали полиномами второго порядка в виде [103]:

$$K(L_T, c_{и}) = k_1 L_T^2 + k_2 c_{и}^2 + k_3 L_T \cdot c_{и} + k_4 L_T + k_5 c_{и} + k_6, \quad (2.13)$$

где K – критерий оптимизации (t_B , L_p или $n_{п}$);

$k_1 \dots k_6$ – параметры полинома.

Параметры полиномов определены методом наименьших квадратов, в рамках которого минимизировалась сумма квадратов отклонений аналитической зависимости от результатов компьютерного эксперимента:

$$\sum_{i=1}^{N_{КЭ}} \left(K_{\text{аналит.}}(L_m^i, c_{и}^i) - K_{КЭ}^i(L_m^i, c_{и}^i) \right)^2 \rightarrow \min, \quad (2.14)$$

где i и $N_{КЭ}$ – порядковый номер и общее количество компьютерных экспериментов; $K_{\text{аналит.}}$ – искомая аналитическая (полиномиальная) зависимость критерия K от факторов h и s ; $K_{КЭ}^i$ – значения критерия K , определенные в i -м компьютерном эксперименте с параметрами h^i и s^i .

В результате аппроксимации, выполненной в программе MathCAD 14 (Приложение Б), получены следующие аналитические формулы для показателей эффективности устройства:

$$t_B(L_T, c_{и}) = 1,157L_T^2 + 0,104 c_{и}^2 + 2,604L_T \cdot c_{и} + 3,183L_T - 4,125c_{и} + 3,439; \quad (2.15)$$

$$L_p(L_T, c_{и}) = -0,116L_T^2 - 0,010 c_{и}^2 - 0,365L_T \cdot c_{и} + 0,147L_T + 0,487c_{и} + 1,642; \quad (2.16)$$

$$n_{п}(L_T, c_{и}) = 35,88L_T^2 + 0,729 c_{и}^2 + 8,333L_T \cdot c_{и} - 126,7L_T - 12,75c_{и} + 113,6, \quad (2.17)$$

где L_T измеряется в метрах, $c_{и}$ – в килоньютонах на квадратный метр ($\text{кН}/\text{м}^2$), t_B – в секундах, L_p – в метрах; $n_{п}$ – в процентах.

Полученные формулы могут использоваться для быстрой оценки (без выполнения реальных или компьютерных экспериментов) показателей эффективности устройства в зависимости от параметров эластичных трубок.

Для дальнейшего анализа функции $t_B(L_T, c_H)$, $L_p(L_T, c_H)$ и $n_{II}(L_T, c_H)$ представлены в виде графиков (рисунок 2.16) и картограмм (рисунок 2.17).

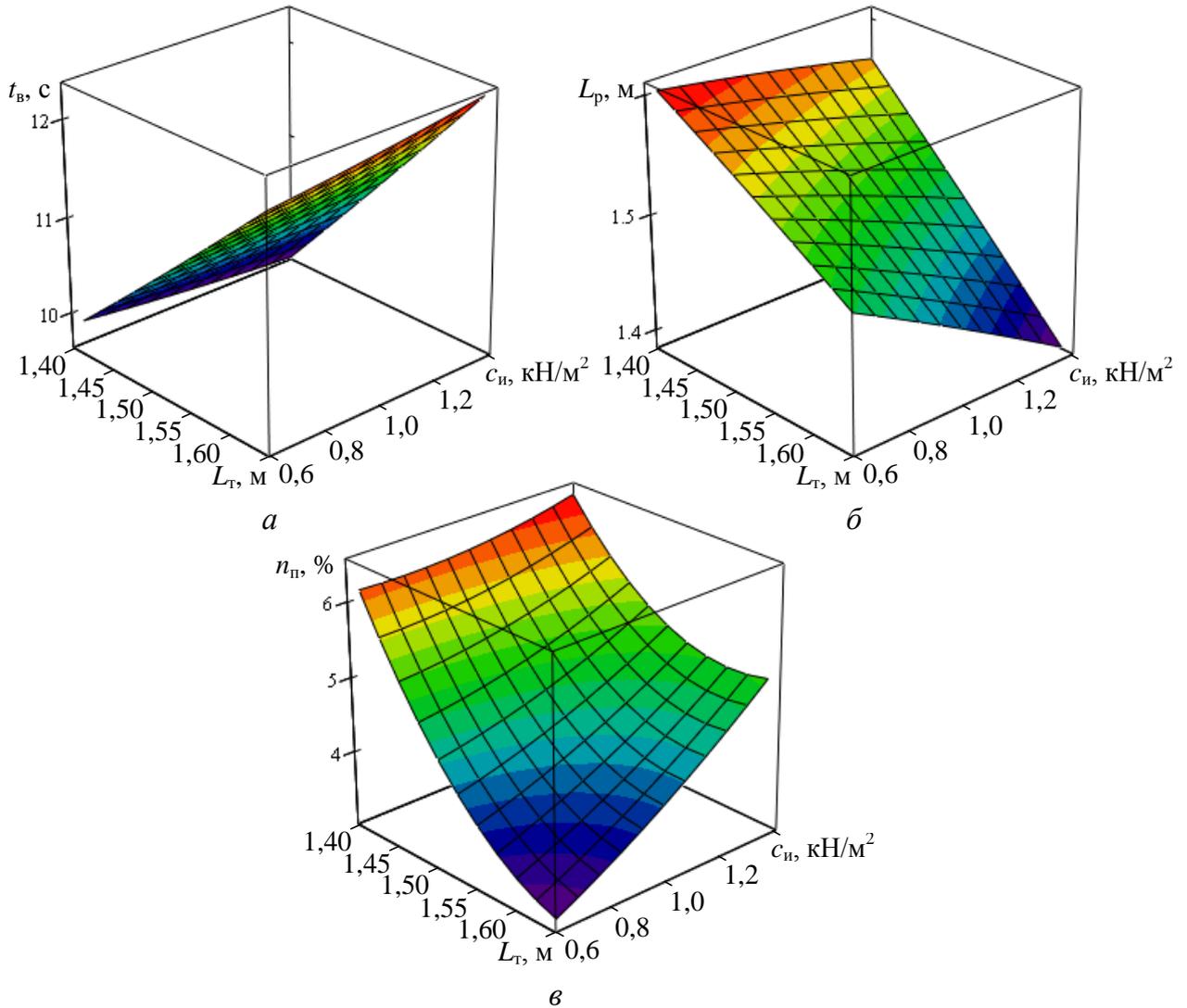


Рисунок 2.16 – Графики влияния длины L_T и коэффициента жесткости на изгиб c_H эластичных трубок на время выгрузки t_B (*a*), расстояние раскатывания L_p (*б*) и долю поврежденных корнеклубнеплодов n_{II} (*в*)

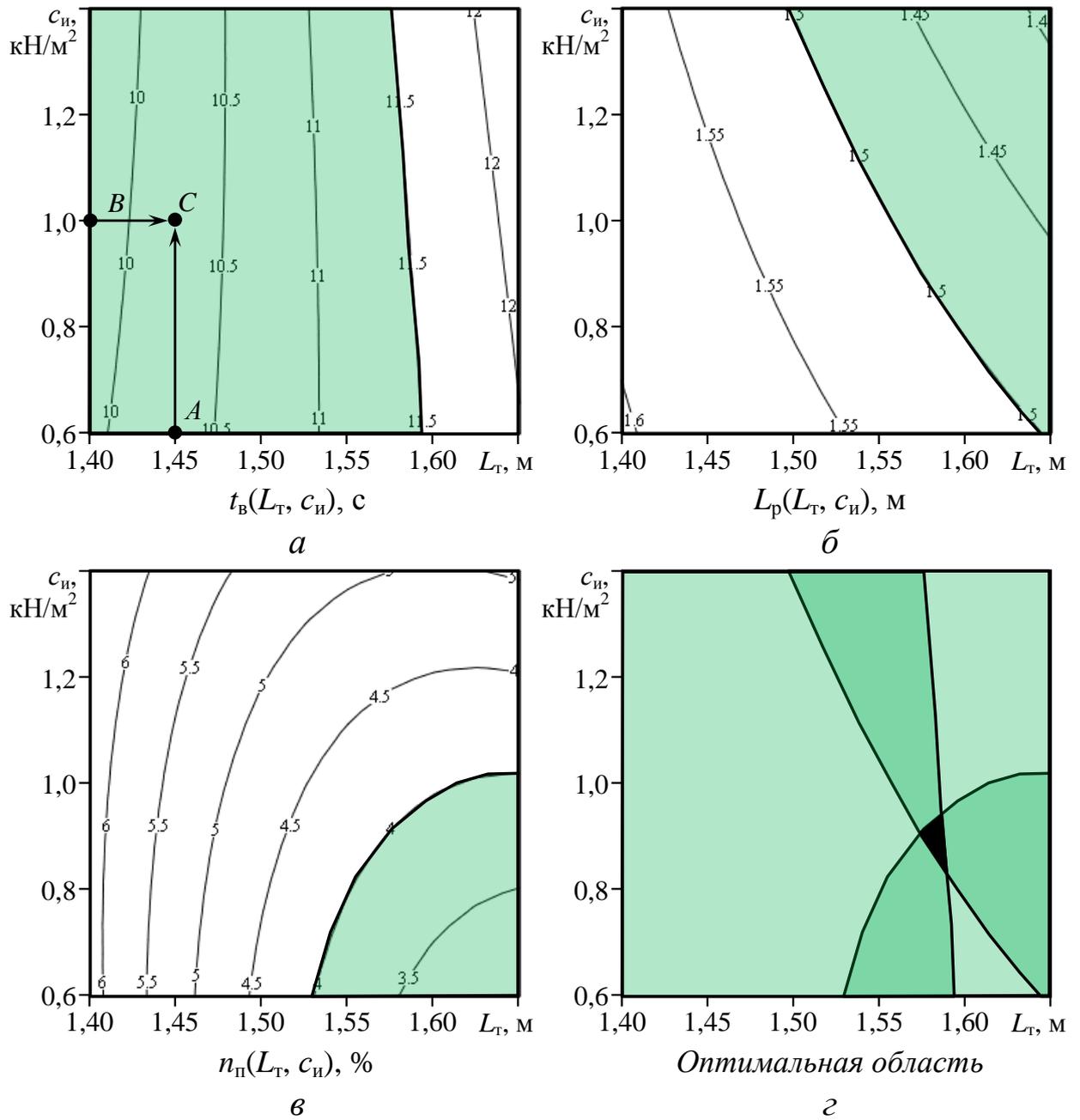


Рисунок 2.17 – Картограммы оптимизации параметров эластичных трубок(Затемнены благоприятные области факторного пространства. Черным выделена общая оптимальная область)

Графики позволяют визуально проанализировать характер поверхностей отклика: зависимости $t_B(L_T, c_{и})$, $L_p(L_T, c_{и})$ близки к линейным, тогда как зависимость $n_{п}(L_T, c_{и})$ существенно нелинейная и носит вогнутый характер. Картограммы предназначены для количественного анализа и

представляют собой вид на графики сверху, с изображением поверхности отклика линиями уровня.

Пример использования картограмм показан на рисунке 2.17, *а*. Если длина эластичной трубки составляет 1,45 м (точка *A*) и коэффициент жесткости на изгиб составляет $1,0 \text{ кН/м}^2$ (точка *B*), то соответствующая точка факторного пространства *C* попадает примерно посередине между линиями уровня $t_{\text{в}} = 10,0 \text{ с}$ и $t_{\text{в}} = 10,5 \text{ с}$. То есть, время выгрузки составит около 10,25с.

На картограммах затемнены области благоприятного (минимального) значения показателей. Пороговые значения для разделения на благоприятную и неблагоприятную области выбраны $t_{\text{в}} = 11,5 \text{ с}$ (рисунок 2.17, *а*), $L_{\text{р}} = 1,50 \text{ м}$ (рисунок 2.17, *б*) и $n_{\text{п}} = 4 \%$ (рисунок 2.17, *в*). Выбор произведен, исходя из условий, что благоприятная область будет занимать значительную долю факторного пространства, включать наименьшие значения критерия, и граница области будет представлять собой линию уровня на картограмме.

Пересечение благоприятных областей (рисунок 2.17, *г*) представляет собой оптимальную область, в которой одновременно учитываются требования низких значений времени выгрузки, расстояния раскатывания и доли поврежденных корнеклубнеплодов [103, 131, 135].

По расположению оптимальной области в факторном пространстве (рисунок 2.17, *г*) можно сделать следующий вывод. Оптимальная длина эластичной трубки составляет 1,58 м (при высоте кузова транспортного средства 1,60 м, то есть просвет между трубкой и дном кузова транспортного средства должен составлять 2 см), оптимальный коэффициент жесткости трубки на изгиб составляет $0,9 \text{ кН/м}^2$. При этом время выгрузки составит менее 11,5 с, расстояние раскатывания корнеклубнеплодов составит менее 1,50 м, доля поврежденных корнеклубнеплодов составит менее 4,0 %. Для полученных оптимальных параметров проведен отдельный компьютерный эксперимент, который подтвердил, что показатели эффективности устройства не превышают указанных значений.

Таблица 2.1 – Влияние количества рядов эластичных трубок $n_{рт}$ на время выгрузки $t_{в}$, среднее расстояние раскатывания L_p и долю поврежденных корнеклубнеплодов $n_{п}$

$n_{рт}$	$t_{в}$, с	L_p , м	$n_{п}$, %
Без рядов эл. трубок	9,7	1,60	6,3
1 ряд	10,4	1,56	5,4
2 ряда	11,0	1,52	4,6
3 ряда	11,4	1,47	3,8

Влияние количества эластичных перегородок

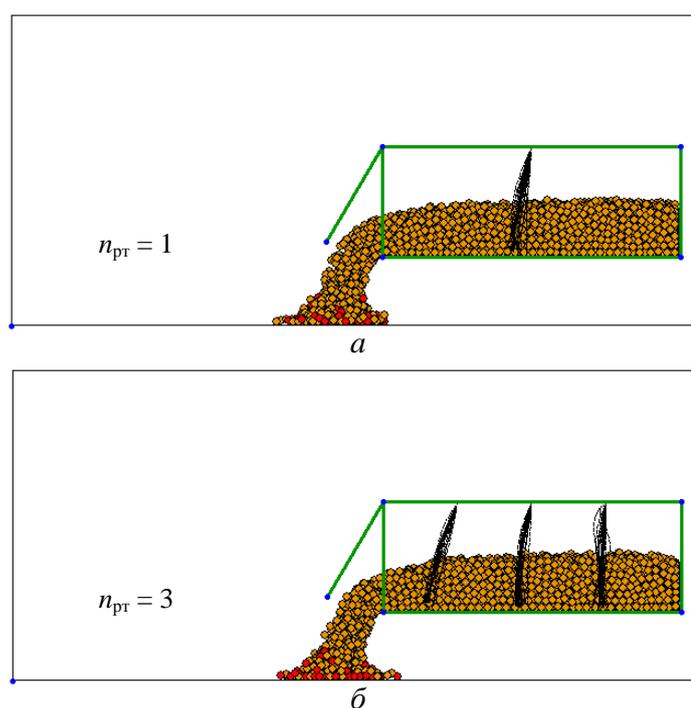


Рисунок 2.18 – Процесс выгрузки корнеклубнеплодов при различном количестве эластичных перегородок $n_{рт}$: a – 1 ряд, b – 3 ряда

Влияние высоты загрузки кузова транспортного средства

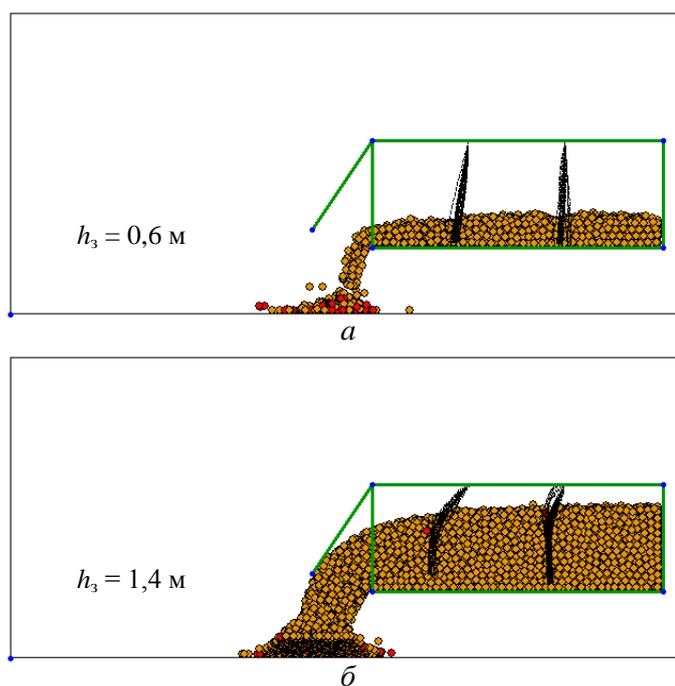


Рисунок 2.19 – Процесс выгрузки корнеклубнеплодов при различной начальной высоте загрузки кузова транспортного средства h_3 : *a* – 0,6 м, *б* – 1,4 м

Выводы по 2 главе

1. Разработана математическая модель устройства для транспортировки и выгрузки корнеклубнеплодов, учитывающая физические свойства корнеклубнеплодов, физические и геометрические характеристики кузова транспортного средства и эластичных перегородок, а также параметров процесса выгрузки. Модель позволяет оценить эффект от оснащения кузова транспортного средства рядами эластичных перегородок и определить их оптимальные параметры.

2. Разработана компьютерная программа, позволяющая на основе компьютерных экспериментов с моделью изучать эффективность устройства для транспортировки и выгрузки корнеклубнеплодов.

3. Рациональный просвет между эластичными перегородками и дном кузова транспортного средства составляет 2 см, а коэффициент жесткости эластичных трубок на изгиб составляет $0,9 \text{ кН/м}^2$. При этом время выгрузки составит менее 11,5 с, расстояние раскатывания корнеклубнеплодов составит менее 1,50 м, доля поврежденных корнеклубнеплодов составит менее 4,0 %.

Глава 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ЭЛАСТИЧНЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ

3.1 Программа лабораторных исследований

С целью уточнения параметров эластичных перегородок кузова транспортного средства проводились экспериментальные исследования, программа которых включала

1. Экспериментальные исследования размерно-массовых характеристик клубней картофеля
2. Лабораторные исследования выгрузки клубней картофеля из кузова транспортного средства оборудованного эластичными перегородками
3. Экспериментальные исследования длины и зазора между эластичными трубками на характер выгрузки.

3.2 Методика исследований размерно-массовых характеристик клубней картофеля

Основными параметрами размерно-весовых характеристик клубней являются, длина, ширина, ширина и масса.

Замеры параметров [55] проводились на приборе «Клубень», который показан на рисунке 3.1.

«При замерах картофеля, например длины, клубень вертикально помещался на площадку и измерительный шуп опускался на клубень. В это время параметр длины высвечивался на индикаторе и заносился в память блок управления. Полученная информация заносилась в таблицу» [55].



1 – клубень; 2 – измерительный шуп; 3 – измерительный блок; 4 – блок управления; 5 – блок питания.

Рисунок 3.1. Прибор «Клубень» ПРГ-401.

Среднее арифметическое значение размера \bar{A} (длина, ширина, толщина) в миллиметрах вычислили по формуле [55]

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^N A_i}{N}, \quad (3.1)$$

где A_i – текущее значение параметра в опыте, мм [55];

N – количество измеренных клубней за опыт, шт [55].

Среднегеометрические размеры клубня вычисляли по формуле:

$$d_{cp} = \sqrt[3]{lbc},$$

где l - длина клубня, мм

b - ширина клубня, мм

c - толщина клубня, мм

Среднеквадратическое отклонение σ в миллиметрах вычислил по формуле:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (A_i - \bar{A})^2}{N-1}}, \quad (3.2)$$

где: A_i – текущее значение параметра, мм;

\bar{A} - среднее арифметическое значение параметра, мм [55].

Коэффициент вариации K в процентах вычислили по формуле:

$$K = \frac{\sigma}{\bar{A}} \cdot 100, \quad (3.3)$$

где: σ – среднеквадратическое отклонение параметра, мм;

\bar{A} - среднее значение параметра, мм.

Расчетную массу клубня G_i [55] в граммах вычислили по формуле:

$$G_i = \frac{K \cdot A_{Li} \cdot A_{Bi} \cdot A_{Ci}}{1000}, \quad (3.4)$$

где: K – приведенный коэффициент массы ($K = 0,5; 0,7$).

Среднее значение расчетной массы клубней \bar{G} в граммах вычислил по формуле [55]:

$$\bar{G}_p = \frac{\sum_{i=1}^N G_i}{N}, \quad (3.5)$$

где: G_i – масса в граммах каждого клубня.

Среднеквадратическое отклонение массы σ_m клубней картофеля в граммах вычислили по формуле [66]:

$$\sigma_m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2}{N-1}}, \quad (3.6)$$

где: G_i – масса в граммах каждого клубня;

\bar{G} - среднее арифметическое значение массы клубней в граммах [55].

Коэффициент вариации K_m массы клубней в процентах вычислили по формуле [55]:

$$K_m = \frac{\sigma_m}{\bar{G}} \cdot 100, \quad (3.7)$$

где: σ_m – среднеквадратическое отклонение массы, г;

\bar{G} - среднее арифметическое значение массы, г [55].

3.3 Методика лабораторных исследований кузова транспортного средства с эластичными перегородками

Взаимодействия клубней при выгрузке генерируют напряжения в насыпи картофеля за счет передачи ударных импульсов и массопереноса в поперечном направлении к поверхности сдвига. Для неэластичных сферических частиц при быстром гравитационном течении напряжения пропорциональны квадрату относительной скорости – скорости сдвига, величине и числу ударных импульсов. В результате движения клубни взаимодействуют друг с другом, и возникают хаотические перемещения клубней в движущемся потоке с относительной скоростью того же порядка, что и скорость сдвига [76].

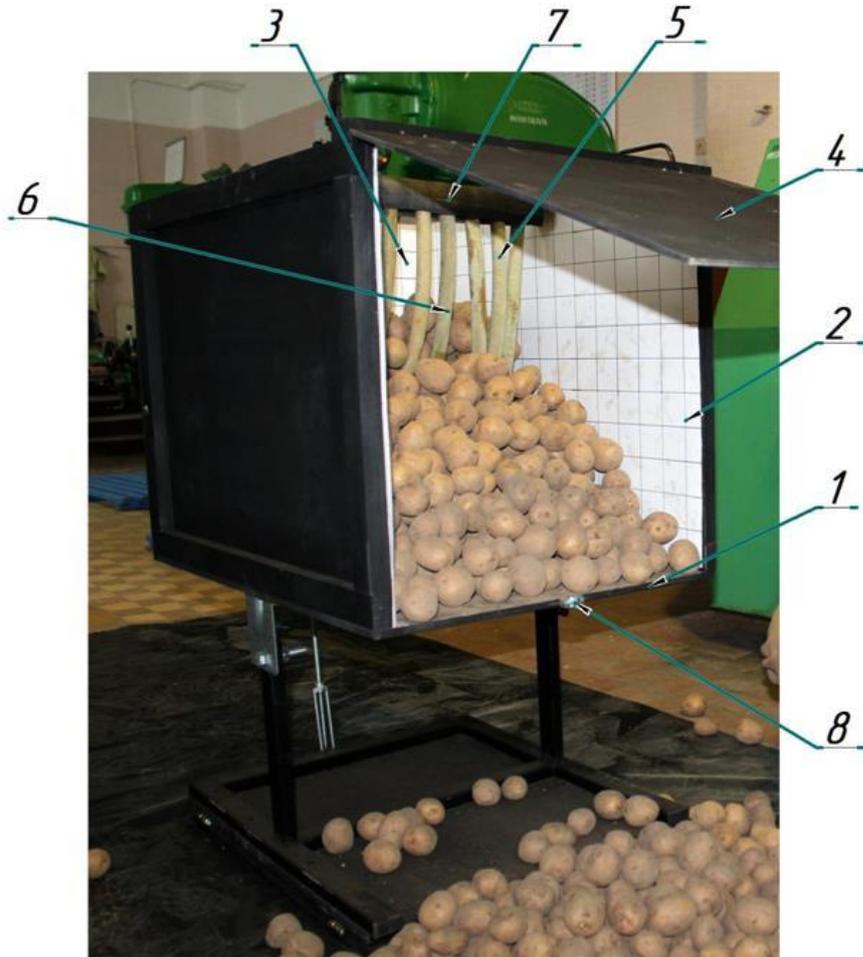
С увеличением угла подъема кузова возрастает скорость сдвига, при чем наблюдается выпрыгивание отдельных клубней, что несколько уменьшает удельную вес насыпи картофеля. Так как клубни картофеля имеют шероховатую поверхность, то направление контактных сил при соударениях клубней отличается от нормали за счет силы трения. Очевидно, что условия контакта клубней, возникающие силы трения оказывают существенное влияние на механические повреждения, и на формирование сдвигового напряжения [26].

На рисунке 3.2 представлен общий вид контейнера (кузова транспортного средства), оборудованного поперечной перегородкой.

Контейнер содержит основание 1, торцевые стенки 2, боковину 3, откидной борт 4, который шарнирно соединен со стенками 2, фиксатор 8, закрепленный на откидном борту поперечную перегородку 5, из полых трубок 6, вращающихся вокруг оси 7.

При открытии откидного борта 4 выгружаются клубни, расположенные

непосредственно у борта 4. При опрокидывании контейнера (кузова) поперечная перегородка 5 удерживает часть вороха клубней, исключая их лавинообразный сход. Постепенная выгрузка освобождает трубки 6 поперечной перегородки 5, и ворох клубней выгружается дозированно.



1 - основание. 2 - торцевые стенки; 3 - боковина; 4 - откидной борт;
5 - поперечная перегородка; 6 - полая трубка; 7 - ось; 8 - фиксатор

Рисунок 3.2. Общий вид контейнера (кузова транспортного средства), оборудованного эластичной перегородкой

Наибольшую скорость скатывания имеют клубни находящиеся сверху насыпи, так как не ограничены связями в движении. Скорость при выгрузке верхних клубней дополнительно снижается за счет трения о полые упругие трубки перегородки. Для уточнения теоретических выкладок был проведен эксперимент по выгрузке клубней из контейнера без перегородки и оборудованного поперечной перегородкой [117]. В качестве фактора

варьирования выбран угол наклона контейнера к горизонту (угол подъёма кузова). В ходе эксперимента изучались раскат клубней от контейнера, характеризующий скорость клубней при скатывании по насыпи, и остаток клубней в кузове, характеризующий скорость выгрузки клубней (отсутствие лавинообразных потоков).

Для исследований использовали семенной картофель сорта Лотона, с наибольшим размером 35 мм, для масштабного моделирования движения клубней в контейнере. Угол опрокидывания контейнера меняли с помощью винтовой стяжки и через каждые 5 градусов, снимали показания. Повторность была трехкратной. Распределение картофельного вороха в контейнере, оборудованном перегородкой, и раскат клубней после выгрузки представлены на рисунках 3.3 и 3.4.

Теоретические исследования показали, что наибольшее влияние на кинетическую энергию скатывающегося картофеля будет оказывать путь, пройденный клубнем по насыпи, чем больше путь, тем больше энергия. Также значительную роль будет оказывать конечная скорость клубня, которая косвенно выражается временем разгона клубня t . Таким образом, снижение кинетической энергии клубня возможно уменьшением участка разгона путем установки дополнительных препятствий в кузове, например, поперечной перегородки.



Рисунок 3.3. Общий вид контейнера с картофелем, оборудованного эластичной перегородкой при выгрузке



Рисунок 3.4. Общий вид контейнера, оборудованного эластичной перегородкой при исследовании раската клубней картофеля

Глава 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ЭЛАСТИЧНЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ

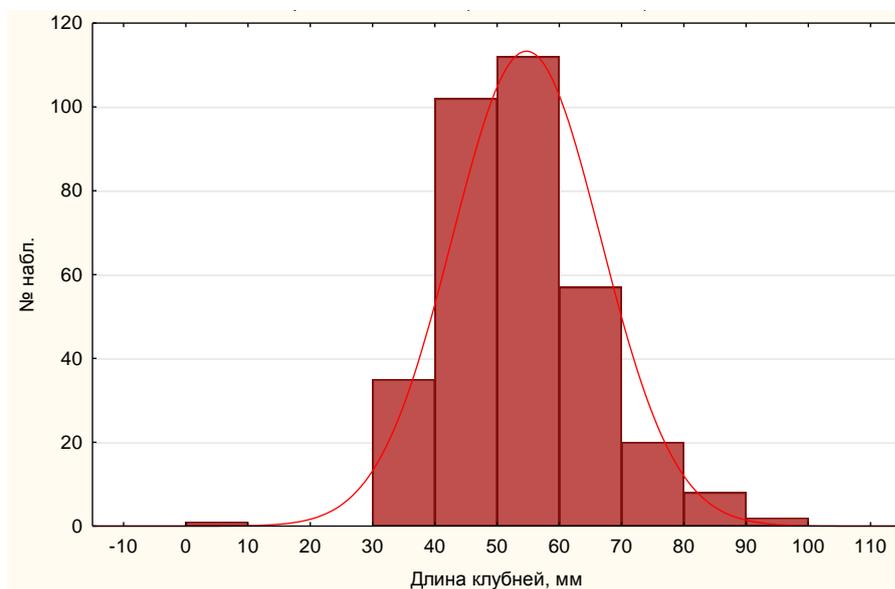
4.1 Результаты исследования размерно-массовых характеристик клубней картофеля сорта «Латона»

По результатам исследований были получены среднеарифметические значения длины, ширины, толщины и массы клубней различных сортов, которые сведены в таблицу 4.1 [55].

Таблица 4.1 Размерно-весовая характеристика клубней картофеля разных сортов

Сорт и показатели	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Масса, г
«Латона»				
Средние	60,7	52,1	43,5	92,2
Наименьшие	29,8	27,5	21,3	12
Наибольшие	120,5	77,4	65,2	252

Анализ результатов показал, что выборка клубней картофеля распределена по нормальному закону и графики распределения по длине, толщине и ширине представлены на рисунке 4.1 и 4.2.



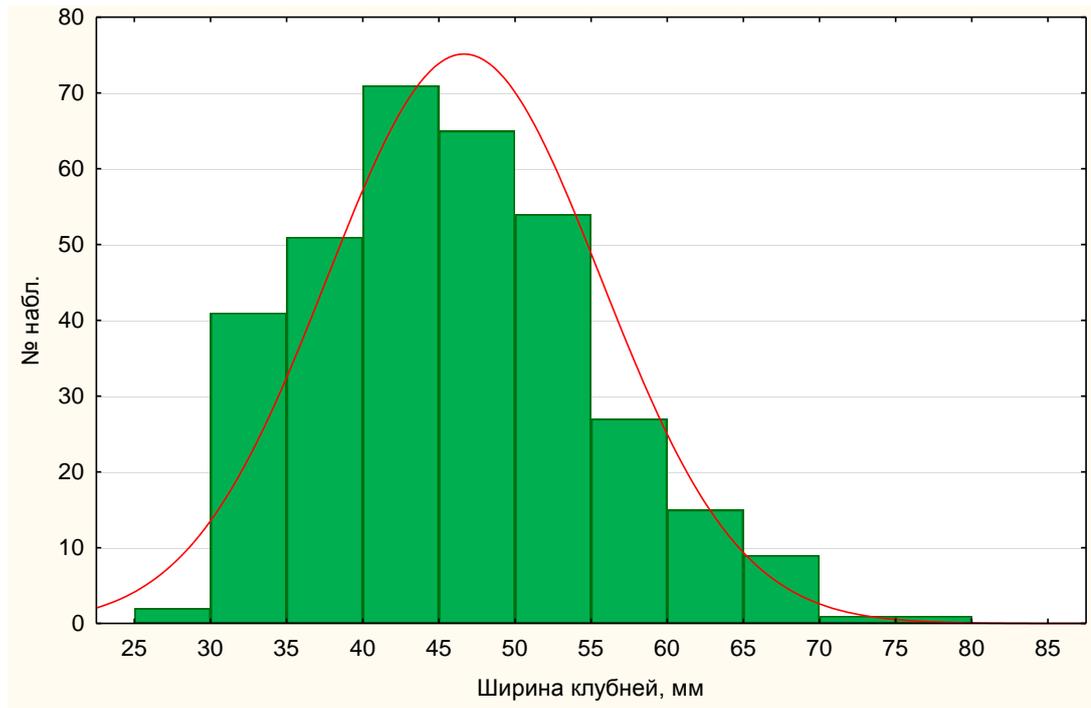
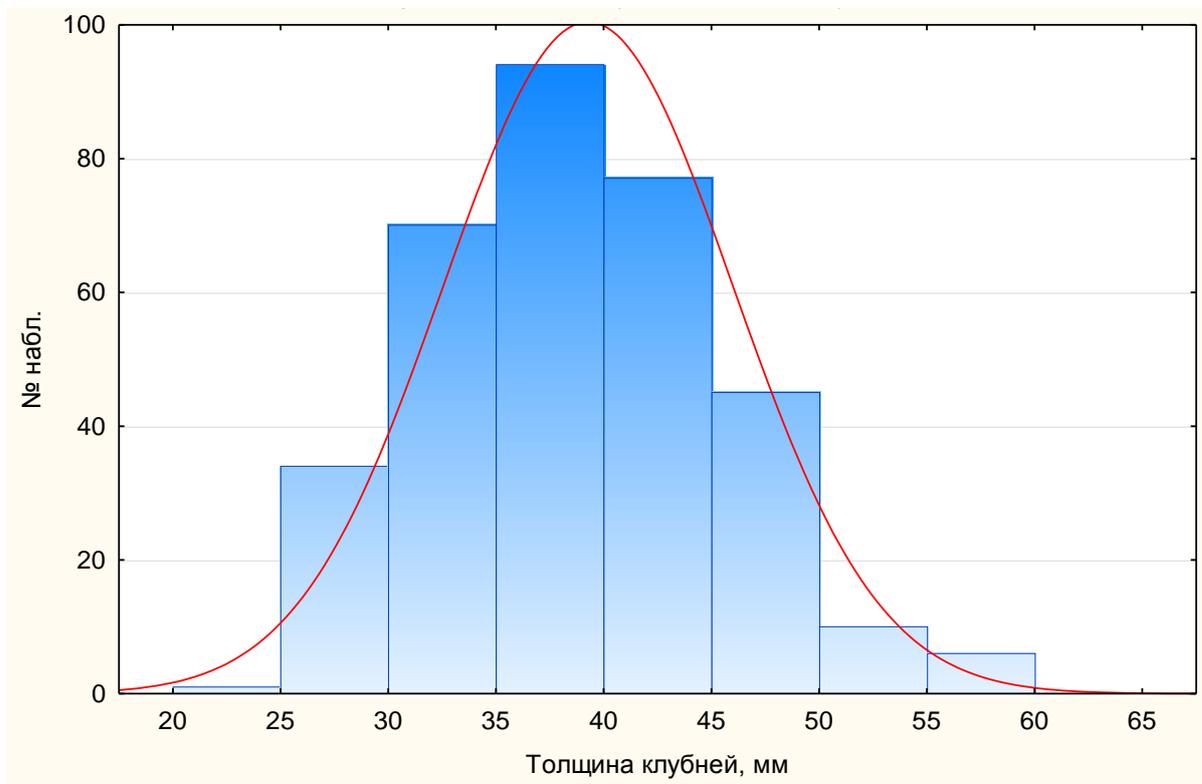


Рисунок 4.1. Гистограммы распределения длины и ширины клубней картофеля сорта «Латона»



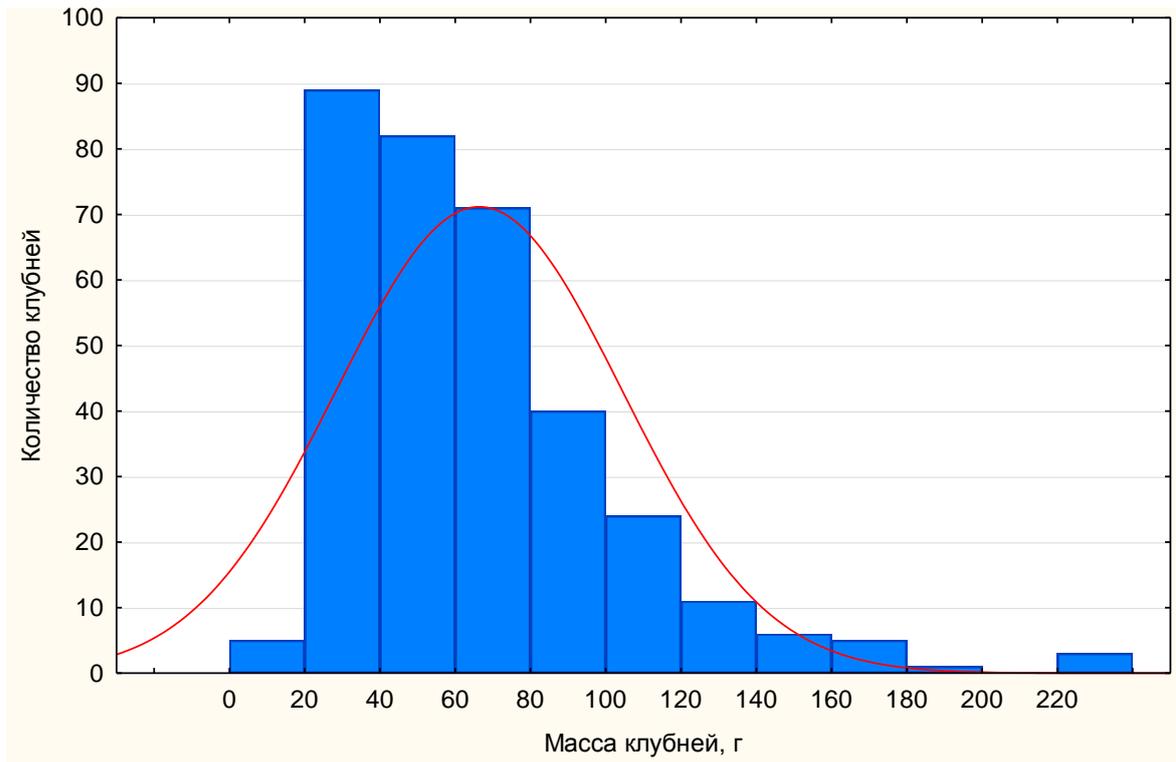


Рисунок 4.2. Гистограммы распределения толщины и массы клубней картофеля сорта «Латона»

«В зависимости от соотношения параметров клубни картофеля имеют разную форму» [55]. Установлено, что средний геометрический размер клубней картофеля сорта «Латона» составляет 46,2 мм.

4.2 Результаты лабораторных исследований контейнера с эластичными перегородками

Лабораторные исследования контейнера с эластичными перегородками проводились в лаборатории кафедры технологии металлов и ремонта машин. В результате выполнения лабораторных исследований установлены взаимосвязи количества клубней, оставшихся в контейнере после наклона, в зависимости от угла опрокидывания. Результаты графически представлены на рисунке 4.3.

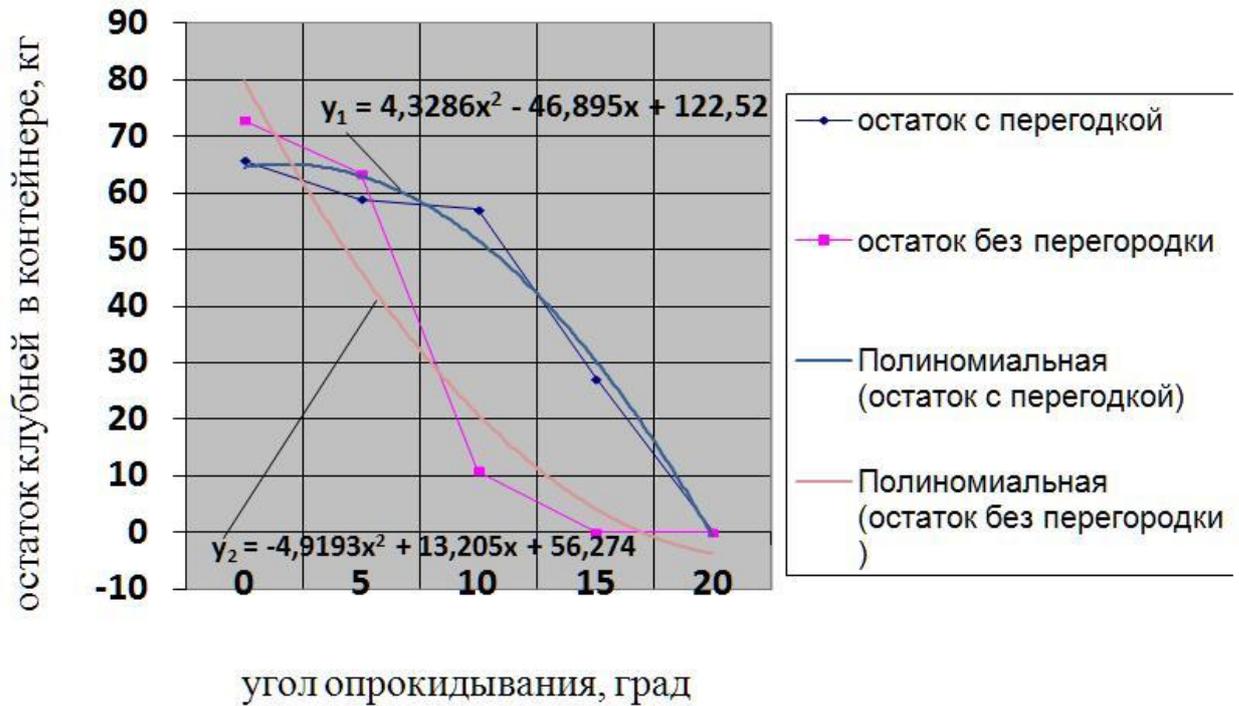


Рисунок 4.3. График выгрузки клубней из контейнера в зависимости от угла опрокидывания

Анализ выгрузки из контейнера показал, что установка поперечной перегородки в контейнере позволяет осуществлять равномерную выгрузку в течение всего цикла опрокидывания – это видно на графике остатков клубней в контейнере (рисунок 4.3), кривая остатка в контейнере с перегородкой имеет более пологий угол [56]. Равномерная выгрузка контейнера снижает возможность образования лавинообразных потоков, что в конечном итоге будет снижать кинетическую энергию скатывающихся клубней картофеля и уменьшать их механические повреждения.

Наибольшее количество убывание клубней из контейнера происходит 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° , причем выгрузка клубней картофеля происходит равномерно в интервале в 2 раза большем, чем без эластичной перегородки.

Исследование раската клубней после выгрузки в зависимости от угла опрокидывания проводились на кафедре технологии металлов и ремонта машин. В результате выполнения лабораторных исследований установлены взаимосвязи количества и расстояние раската клубней в зависимости от угла опрокидывания. Результаты графически представлены на рисунке 4.4.

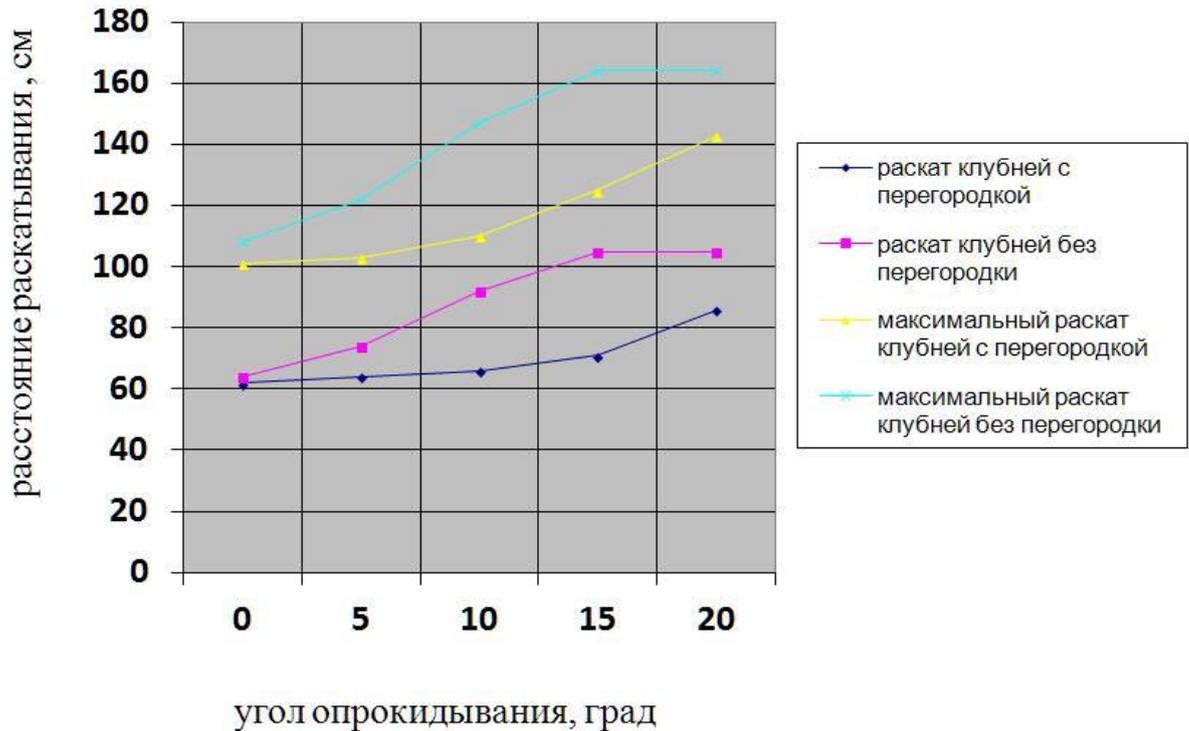


Рисунок 4.4. Графики расстояния раската клубней после выгрузки в зависимости от угла опрокидывания

Анализ расстояния раската клубней после выгрузки (рисунок 4.4) показывает, что установка поперечной эластичной перегородки в кузове транспортного средства позволяет уменьшить раскат клубней. Наибольшее расстояние раскатывания клубней картофеля из кузова транспортного средства происходит при углах опрокидывания более 15° . 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, что в 1,56 раза больше.

Это можно объяснить ограничением участка разгона клубней по насыпи и трением о трубки поперечной перегородки. В итоге уменьшается кинетическая энергия клубней, что снижает вероятность повреждения клубней. Исследование повреждений клубней следует проводить в производственных условиях, так как масштабный фактор может существенно влиять на механические повреждения.

Анализируя результаты исследований видно, что наибольшее влияние на кинетическую энергию системы будет оказывать путь, пройденный клубнем по насыпи, чем больше путь, тем больше энергия. Также значительную роль будет оказывать конечная скорость клубня, которая косвенно выражается временем разгона клубня t . Таким образом, снижение кинетической энергии клубня возможно уменьшение участка разгона установкой дополнительных препятствий в кузове транспортного средства, например эластичной перегородки.

Экспериментальные исследования выгрузки из кузова транспортного средства показали, что установка эластичной перегородки в кузова транспортного средства позволяет осуществлять равномерную выгрузку в течение всего цикла опрокидывания, причем в 2 раза увеличивается интервал углов выгрузки клубней картофеля из кузова транспортного средства. Анализ расстояния раската клубней после выгрузки показывает, что установка эластичной перегородки в кузова транспортного средства позволяет в 1,56 раза уменьшить расстояние раскатывания клубней. Таким образом, установка дополнительных эластичных перегородок способствует снижению кинетической энергии картофеля при выгрузке и снижает механические повреждения клубней [41].

4.3 Результаты хозяйственных исследований кузова транспортного средства с эластичными перегородками

Хозяйственные испытания проводились в ООО «Аграрий» Касимовского района Рязанской области в период уборки картофеля с 2017-

2019 г.г. Общий объем картофеля, перевезенного одним экспериментальным автомобилем в 2019 г. составил 315 тонн.

Поперечные эластичные перегородки устанавливались на кузове транспортных средств, в частности автомобилях МАЗ 5516 (рис. 4.5).

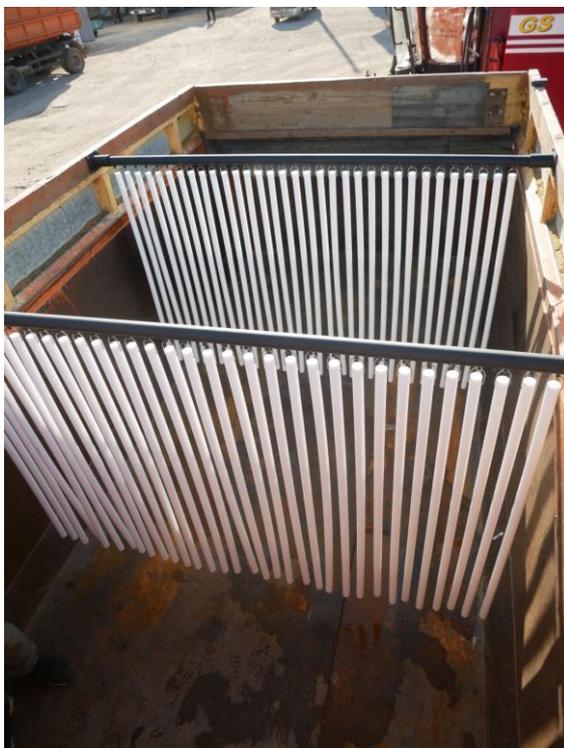


Рисунок 4.5. Общий вид кузова автомобиля МАЗ 5516, оборудованного поперечными эластичными перегородками

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 установлено, 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 поперечными 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. 4.6-4.7).



Рисунок 4.6. Окончание выгрузки клубней картофеля из кузова автомобиля, оборудованного поперечными эластичными перегородками

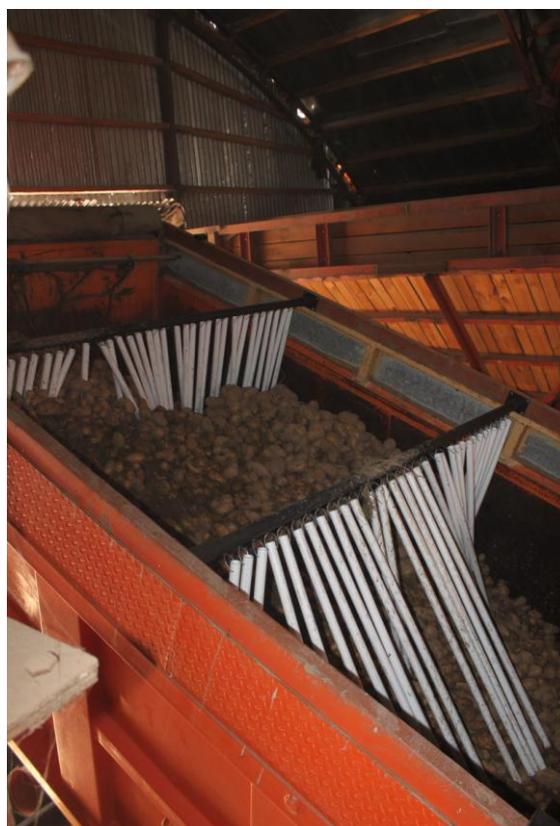


Рисунок 4.7. Начало выгрузки клубней картофеля из кузова автомобиля, оборудованного поперечными эластичными перегородками.

На основе проведенного анализа результатов исследования установлено, что повреждение клубней картофеля при выгрузке из серийного грузового автомобиля МАЗ 5516 и экспериментального грузового автомобиля МАЗ 5516 с установленными поперечными эластичными перегородками составили соответственно: 5,3% и 2,9%.

4.4 Результаты хронометража операции при транспортировке и разгрузке транспортных средств

«На основе полученных данных была определена потребность в транспортных средствах при работе совместно с комбайнами и копателем-погрузчиком [6, 56]. Как видно из данных табл. 4.2, для обеспечения бесперебойной работы копателя-погрузчика необходимо больше транспортных единиц по сравнению с бункерным комбайном» [56].

«При урожайности картофеля 20,4 т/га и производительности, показанной в табл. 4.2, картофелеуборочный комбайн убирает 10 тонн картофеля в час. Следовательно, его бункер-накопитель вместимостью 5 тонн наполняется за 30 минут. При групповой работе автомашина с кузовом вместимостью 10 тонн сначала забирает 5 тонн от одного комбайна и 5 тонн у другого (рис. 4.8). Таким образом, при продолжительности рабочего цикла менее одного часа для работы с двумя картофелеуборочными комбайнами необходимо два транспортного средства» [56].



Рисунок 4.8. Загрузка автомобиля МАЗ 5516, оборудованного поперечными эластичными перегородками

При работе картофелеуборочного комбайна, клубни картофеля накапливаются в бункере и после выгружаются принимает убранный картофель. «Поэтому время под загрузкой транспортного средства, работающего с комбайном данного типа, значительно увеличивается и носит случайный характер. Для исключения простоев копателя - погрузчика из-за отсутствия транспортных средств, в поле должна дежурить другая автомашина, находясь в ожидании, как минимум, 25-30 минут. Поэтому общее количество транспортных средств на обслуживание одного копателя-погрузчика увеличивается до двух (табл. 4.2).

Исследования показали, что из двух рассмотренных типов уборочных машин значительное преимущество за комбайном с бункером. Для его обслуживания требуется в два раза меньше транспортных средств, меньше уплотняется почва колёсами автомобилей и меньший расход горючего, примерно на 15-20%, поскольку они стоят и ждут, когда у комбайна наполнится бункер, вместо параллельного движения с копателем погрузчиком на расстоянии от 1,0 до 1,5 км» [56]. «При более низкой урожайности, например, 10-15 т/га, совместный пробег будет значительно больше. При этом полный цикл оборота транспортных средств тоже носит вероятностный характер» (рис. 4.9) [19, 56].

Таблица 4.2. Вероятность продолжительности оборота транспортных средств (КамАЗ вместимостью 10т) при движении с копателем-погрузчиком, мин [56].

Продолжительность цикла от-до, мин.	Совместный путь с копателям-погрузчиком, км.	Вероятность
81-85	1,0	0,33
91-95	1,1	0,33
96-100	1,3	0,17
101-105	1,5	0,17

Примечание: урожайность 20,4 т/га, скорость движения грузового автомобиля МАЗ 25,4 км/ч, расстояние от поля до хранилища 13-17 км.

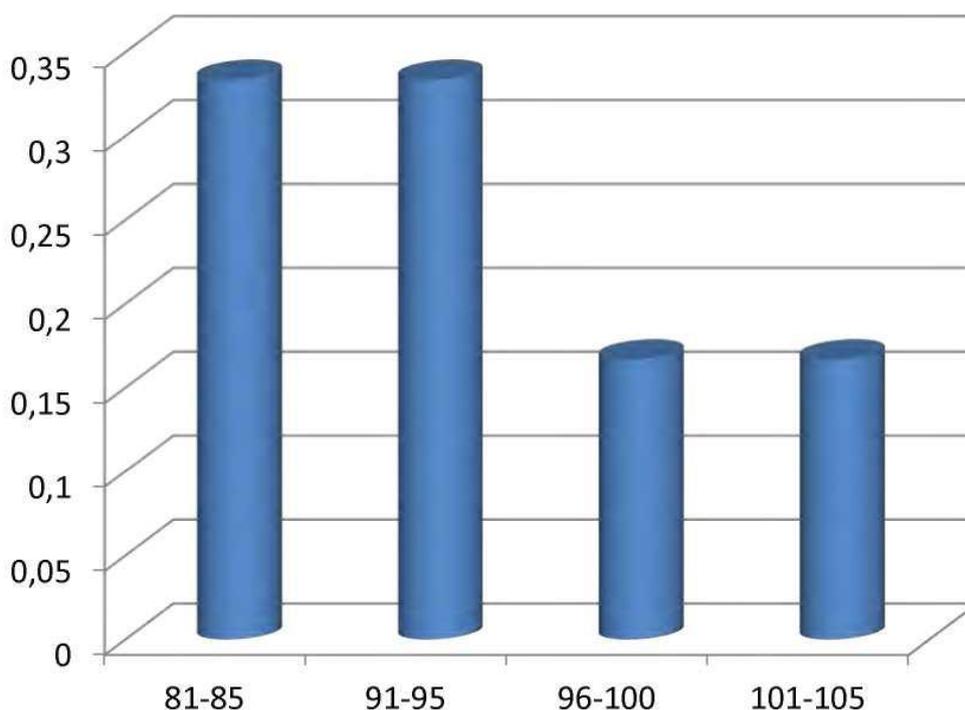


Рисунок 4.9. Статистическое распределение продолжительности цикла оборота транспортных средств при работе с картофелеуборочным комбайном. Грузоподъемность транспорта 10т, урожайность 20,4 т/га [56]

Выводы по 4 главе

1. Анализ выгрузки клубней картофеля из кузова транспортного средства показал, что установка поперечной эластичной перегородки позволяет осуществлять равномерную выгрузку в течение всего цикла опрокидывания. Наибольшее количество убывание клубней из кузова транспортного средства происходит при угле опрокидывания от 5° - 10° при отсутствии эластичной перегородки. При наличии эластичной перегородки выгрузка клубней осуществляется с задержкой при углах от 10° до 20° , при чем выгрузка клубней картофеля происходит равномерно в интервале углов опрокидывания в 2 раза большем, чем без эластичной перегородки.

2. Наибольшее расстояние раскатывания клубней картофеля из кузова транспортного средства происходит при углах опрокидывания более 15° . 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.

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

4. 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 процессе транспортировки (загрузка, транспортировка, взвешивание и выгрузка картофеля, движение к месту загрузки, ожидание загрузки) составляет менее 1%.

Глава 5 РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ЭЛАСТИЧНЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ

«Расчет технико-экономического эффекта применения транспортных средств с кузовом, оборудованным поперечными эластичными перегородками, производился по стандартной методике, исходные данные взяты за 2019 г. и представлены ниже (табл. 5.1)» [70, 121, 125].

Таблица 5.1. Исходные данные для технико-экономического расчёта эффекта применения транспортного средства с кузовом, оборудованным поперечными эластичными перегородками для перевозки и выгрузки картофеля [125].

№	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 транспортных средств с кузовом, оборудованным поперечными эластичными перегородками, определяли, сопоставляя приведенные затраты базового и нового вариантов (в расчете на одно транспортное средство) [70, 72]. В качестве базового варианта взят грузовой автомобиль МАЗ 5516, а новый вариант включал в свою конструкцию установленные в кузов ТС поперечные эластичные перегородки.

При эксплуатации транспортного средства с эластичными перегородками экономический эффект складывался из следующих составляющих:

$$\text{СУМ} = \text{Э}_{\text{ЭКС}} + \text{Э}_{\text{ПОВР}} , \quad (5.1)$$

где $\text{Э}_{\text{ЭКС}}$ – экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат, руб; $\text{Э}_{\text{ПОВР}}$ – экономический эффект в результате снижения величины повреждений картофеля, руб.

Таким образом, определив затраты на эксплуатацию для обоих вариантов и денежный выигрыш в результате повышения доли выхода товарной продукции, определим общую экономическую эффективность от использования транспортного средства с эластичными перегородками для перевозки продукции» [125].

5.1 Расчёт экономического эффекта от снижения эксплуатационных затрат

«Экономический эффект в результате снижения эксплуатационных затрат будет равен

$$\text{Э}_{\text{ЭКС}} = (Z_1 - Z_2) * Q_{\text{общ}} , \quad (5.2)$$

где $\text{Э}_{\text{ЭКС}}$ – экономический эффект в результате снижения эксплуатационных затрат при использовании транспортного средства с поперечными эластичными перегородками, руб; Z_1 и Z_2 – приведенные затраты на единицу груза, перевезенного серийным и транспортным

средством с поперечными эластичными перегородками соответственно, руб/т; $Q_{ОБЩ}$ – годовой объем перевозок продукции, т.

Приведенные затраты представляют собой сумму эксплуатационных затрат и нормативной прибыли [18]:

$$Z = Z_{ЭКС} + Н_{П} , \quad (5.3)$$

где: $Z_{ЭКС}$ – эксплуатационные затраты, руб/т;

$Н_{П}$ – нормативная прибыль от капитальных вложений, руб/т» [125].

«Расходы на содержание и эксплуатацию (эксплуатационные затраты) являются комплексной статьёй затрат в себестоимости продукции растениеводства» [69, 125].

«Статьи эксплуатационных затрат в зависимости от вида и объема выполняемых за год работ, то есть годовой загрузки, подразделяются на постоянные и переменные. К постоянным расходам, не зависящим от изменения годовой загрузки, относятся амортизационные отчисления и расходы на содержание [125]».

«К переменным расходам, зависящим прямо пропорционально от годовой загрузки, относятся затраты на техническое обслуживание и ремонт, топливо-смазочные материалы и оплату труда механизаторов [70].

Амортизационные отчисления на эксплуатацию определяем по формуле:

$$Z_a = \frac{B \cdot H_d}{100 \cdot T_{год} \cdot W_Q} , \quad (5.4)$$

где Z_a – амортизационные отчисления, руб/т;

B – балансовая стоимость ТС, руб;

H_d – норма амортизационных отчислений, %;

$T_{год}$ – годовая загрузка ТС, ч;

W_Q – производительность ТС, т/ч.

Балансовая стоимость ТС (Б) определяется по формуле:

$$B = П_{П} \cdot K_{П} , \quad (5.5)$$

где P_{II} – оптовая цена ТС, руб; K_{II} – коэффициент, учитывающий издержки на доставку ТС в хозяйства при покупке. Принимаем равным $K_{II} = 1,2$.

Производительность ТС определим по формуле:

$$W_Q = \frac{q * \gamma_c * v_m * \beta}{l_{er} + t_{n-p} * v_m * \beta}, \quad (5.6)$$

где q – номинальная грузоподъемность ТС, т;

γ_c – коэффициент статического использования грузоподъемности;

V_m – средняя техническая скорость ТС, км/ч;

β – коэффициент использования пробега;

l_{ez} – средняя длина ездки с грузом (среднее расстояние от поля до хранилища), км;

t_{II-P} – время погрузки и разгрузки ТС, ч.

Производительность транспортного средства составила:

- для базового варианта:

$$W_Q = 4,66 \text{ т/ч};$$

- для нового варианта:

$$W_Q = 5,59 \text{ т/ч} \text{ [125];}$$

«Затраты на техническое обслуживание и ремонт находятся:

$$Z_{TO} = \frac{B * H_{TO}}{100 * T_{год} * W_Q}, \quad (5.7)$$

Z_{TO} – затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб/т;

H_{TO} – норма отчислений на техническое обслуживание и ремонт, %;

$T_{год}$ – годовая загрузка ТС ч;

Затраты на горюче-смазочные материалы определяются следующим образом:

$$Z_{ГСМ} = \frac{H_{ГСМ} * C_{ГСМ}}{W_Q}, \quad (5.8)$$

где $Z_{ГСМ}$ – затраты на горюче-смазочные материалы, руб/т; $H_{ГСМ}$ – расход горюче-смазочных материалов, кг/ч; $C_{ГСМ}$ – комплексная цена горюче-смазочных материалов, руб/кг.

Общий расход горюче-смазочных материалов равен:

$$N_{ГСМ} = N * q * \chi, \quad (5.9)$$

где N – номинальная мощность двигателя ТС, кВт; q – удельный расход горючего, кг/(кВт·ч); χ – средний коэффициент использования мощности двигателя (для транспортных работ принимается равным 0,5).

Для обоих вариантов общий расход горюче-смазочных материалов составит:

$$N_{ГСМ} = 45,98 \text{ кг/ч.}$$

Величина оплаты труда механизаторов рассчитывается следующим образом:

$$Z_0 = \frac{C_{ТАР} * L}{W_Q}, \quad (5.10)$$

где Z_0 – оплата труда механизаторов, руб/т;

$C_{ТАР}$ – тарифная ставка механизатора за выполняемую работу, руб/ч;

L – число механизаторов, чел. [125].

«Результаты расчета эксплуатационных затрат представлены в таблице

5.2.

Таблица 5.2. Калькуляция эксплуатационных затрат

№	Статьи затрат	Условные обозначения	Единицы измерения	Грузовой автомобиль МАЗ 5516	
				Базовый вариант	Новый вариант
1	Амортизационные отчисления	Z_a	Руб/т	712,5	612,7
2	Техническое обслуживание и ремонт	$Z_{ТО}$	Руб/т	642,4	552,5
3	Горюче-смазочные материалы,	$Z_{ГСМ}$	Руб/т	419,5	360,7
4	Оплата труда	Z_0	Руб/т	43,7	37,6
5	Итого эксплуатационных затрат	$Z_{экс}$	Руб/т	1818,1	1563,5

Нормативная прибыль от капиталовложений (Н) находим по формуле:

$$N_{\Pi} = E_H * K_y, \quad (5.11)$$

где E_H – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений ($E_H=0,15$);

K_y – удельные капиталовложения, руб/т.

Удельные капиталовложения определяем:

$$K_y = \frac{B}{T_{\text{Год}} * W_Q}, \quad (5.12)$$

С помощью выражения (5.3) определяем приведенные затраты и годовой экономический эффект от использования транспортного средства в результате снижения эксплуатационных затрат» [125] (таблицах 5.2):

$$\text{Э}_{\text{ЭКС}} = 321374,4 \text{ руб.}$$

5.2 Расчёт экономического эффекта от снижения повреждений корнеклубнеплодов

«Экономический эффект от снижения величины повреждений продукции при её перевозке определяется выражением:

$$\text{Э}_{\text{ПОВР}} = I_C - I_M, \quad (5.13)$$

где I_C – издержки от повреждения продукции при перевозке серийным транспортным средством, руб; I_M – издержки от повреждения продукции при перевозке транспортным средством с эластичными перегородками, руб;

Издержки от повреждения продукции при перевозке определяем выражением:

$$I = Q_{\text{ОБЩ}} * P_{\text{КЛ}} * C_P \quad (5.14)$$

где: $Q_{\text{ОБЩ}}$ – количество перевезенного урожая за время уборки одним ТС, т;

$P_{\text{КЛ}}$ – величина повреждений продукции, %;

C_P – ценовая разница продовольственного и поврежденного картофеля, руб/т;

Приняв величину повреждений картофеля 4,73%– для серийного транспортного средства и 3,81%– для транспортного средства с эластичными перегородками (таблицы 5.1), а также ценовую разницу продовольственного и поврежденного картофеля ЦР = 4300 руб/т получим следующие выражения для определения издержек от повреждения продукции:

- для базового варианта: $I_C = 173\,288,28$ руб.

- для нового варианта: $I_C = 139\,583,16$ руб.

Экономический эффект от снижения величины повреждений продукции при перевозке будет равен» [125] :

$\text{Э}_{\text{повр}} = 33\,705,12$ руб.

Общий экономический эффект от транспортного средства с эластичными перегородками будет равен:

$\text{Э}_{\text{сум}} = 355\,079,5$ руб.

или в пересчете на 1 тонну перевезенного картофеля 416,7 руб/т.

Кроме того, применение ТС с кузовом, оборудованным поперечными эластичными перегородками, позволяет увеличить производительность перевозок в среднем на 10,1 – 10,5 %.

Проведя расчёт экономического эффекта от снижения повреждений картофеля и применив используемую методику моделирования транспортных потоков, можем сделать вывод, что повреждения при использовании экспериментального кузова грузового автомобиля МАЗ 5516 с установленными поперечными эластичными перегородками в сравнении с грузовым автомобилем МАЗ 5516 с серийным кузовом снижаются.

«Таким образом, использование транспортных средств с кузовом, оборудованными поперечными эластичными перегородками для перевозки и выгрузки картофеля в условиях сельскохозяйственного производства является экономически эффективным, что доказали приведенные выше расчеты» [125].

Выводы по 5 главе

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 – 3700 тыс. 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 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ работ по исследованию процессов внутривозвратных 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 0,71 м до 1,05 м, а при отсутствии эластичной перегородки составляет от 1,05 м до 1,64 м.

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 %.

Предложения производству

Для снижения 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 эластичной перегородки. Рациональный просвет между эластичной трубкой и дном кузова транспортного средства составляет 2 см, а коэффициент жесткости трубки на изгиб составляет $0,9 \text{ кН/м}^2$.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобили, прицепы и полуприцепы [Текст] / Е. П. Шилова и др. // Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства: учеб. пособие. – Москва: Издательство ФГНУ «Росинформагротех». – 2003. – Ч.1. – С. 106-193.
2. Авторское свидетельство СССР 1298107, МПК51 В60Р 1/28. Кузов транспортного средства для перевозки легкоповреждаемых сельскохозяйственных продуктов / Спивак А.В., Литвин М.В., Кривописк Л.Г.(SU); заявитель и патентообладатель / Головное специализированное конструкторское бюро по комплексам машин для механизации работ в садах, виноградниках, питомниках и ягодниках Кишиневского производственного объединения «Плодсельхозмаш». № 3969253/29-11; –Заявл. 24.10.1985; Оpubл. 23.03.1987; Бюл. №11.– 3 с.
3. Авторское свидетельство СССР 1498649, МПК51 В65G 65/02. Самосвальный кузов транспортного средства для перевозки сельскохозяйственной продукции / Рамфопуло П.С., Хатиашвили А.Г. (SU); заявитель и патентообладатель / Рамфопуло П.С., Хатиашвили А.Г. - № 4339893/27-11; –Заявл. 07.12.1987; Оpubл. 07.08.1989; Бюл. №29 – 7 с.
4. Алгоритм расчета допускаемых режимов работы энергетических и технико-экономических показателей МТА и его реализация в среде MAPLE [Текст] / Н.Г. Очиров, В.А. Эвиев, Б.И. Беляева, С.Д. Хулхачиева // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – Т. 4. – № 40. – С. 76-84.
5. Алгоритм расчета математической модели эксплуатационных показателей МТА в среде MAPLE [Текст] / Н.Г. Очиров, В.А. Эвиев, Б.И. Беляева, С.Д. Хулхачиева // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – Т. 3. – № 39. – С. 55-63.
6. Алмазов, И.В. Результаты хронометража работы транспортных средств на перевозке рулонов сена [Текст] / И.В. Алмазов, О.Н. Беспалова, А.И. Ряднов // Сб.: Прикаспийский международный молодежный научный

форум агропромтехнологий и продовольственной безопасности 2016: Материалы Прикаспийского международного молодежного научного форума, 2016. – С. 3-5.

7. Анализ современного состояния и перспективы развития техники для внутрихозяйственных перевозок [Текст] / И.А. Успенский, А.А. Симдянкин, И.А. Юхин, О.В. Филюшин // Сб.: Инновационное развитие современного агропромышленного комплекса России: материалы национальной научно-практической конференции. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. – С. 202-207.

8. Аникин, Н.В. Повышение эффективности перевозки картофеля путем совершенствования тракторного транспортного агрегата: дисс... канд. техн. наук [Текст] / Н.В. Аникин – Рязань, 2006. – 149 с.

9. Аникин, Н. В. Анализ внутрихозяйственных перевозок сельскохозяйственной продукции [Текст] / Н. В. Аникин, Н. В. Бышов, И. А. Успенский, И.А. Юхин и др. // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса: II Международная научно-производственная конференция - Пенза: Изд-во ПГУАС, 2009. - С. 111-113.

10. Аникин Н.В. Особенности применения тракторного транспорта в технологических процессах по возделыванию сельскохозяйственных культур [Текст] / Н.В. Аникин, И.А. Успенский, И.А. Юхин и др. //Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Материалы III международной научно-практической конференции «Наука – Технология - Ресурсосбережение». Сборник научных трудов. Вып. 11. – Киров: Вятская ГСХА, 2010 – С.45-49.

11. Аникин, Н. В. Снижение уровня повреждения перевозимой сельскохозяйственной продукции за счет использования устройства для стабилизации положения транспортного средства / Н. В. Аникин, С. Н. Борычев, Н. В. Бышов, И. А. Юхин и [др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: XII Международная научно-практическая конференция – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2010. – С.

319-322.

12. Антышев, Н.М. Концепция транспортно-технологического обслуживания сельского хозяйства до 2005 года. [Текст] / Н.М. Антышев, Н.Е. Евтюшенков, С.Д. Сметнев и др. – Москва: Издательство ВИМ, 1996. – 93 с.

13. Белоцерковский, О.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. [Текст] / О.М. Белоцерковский, Ю.М. Давыдов. – Москва: Издательство Наука, 1982. – 392 с.

14. Бышов, Н.В. Некоторые аспекты снижения повреждений плодов при уборочно-транспортных работах [Электронный ресурс] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский и др. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/29.pdf>.

15. Бышов, Н.В. Перспективы повышения эксплуатационных показателей транспортных средств при внутрихозяйственных перевозках плодоовощной продукции [Электронный ресурс] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, И.А. Юхин и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №04(078). С. 475 – 486. – IDA [article ID]: 0781204041. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/41.pdf>.

16. Бышов, Н.В. Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта и мобильной сельскохозяйственной техники при внутрихозяйственных перевозках / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, И.А. Юхин и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №04(088). – С. 519 – 529. – IDA [articleID]: 0881304035. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/35.pdf>.

17. Бышов, Н.В. Пути дальнейшей модернизации транспортных средств для АПК [Электронный ресурс] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А.

Успенский, И.А. Юхин, Д.С. Рябчиков, С.Н. Кулик. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/09/pdf/09.pdf>, 1,688 у.п.л. – IDA [article ID]: 1221608009. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-123-009>

18. Василенко, П.М. Элементы методики математической обработки результатов экспериментальных исследований [Текст] / П.М. Василенко – Москва: 1958. - 217 с.

19. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Г.В. Веденяпин – Москва: Издательство Колос, 1987. - 159 с.

20. Венцель, Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов [Текст] / Е.С. Венцель. - 6-е изд. – Москва: Издательство Высшая школа, 1999. - 576 с.

21. Верещагин, Н.И. Динамические характеристики клубней картофеля [Текст] / Н.И. Верещагин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ, 2007. – №3. – С. 69 – 76.

22. Волченкова, В.А. Вопросы транспортировки сельскохозяйственной продукции на послеуборочном этапе [Текст] / В.А. Волченкова, В.А. Шафоростов, И.А. Успенский, И.А. Юхин // В сборнике: Актуальные вопросы применения инженерной науки: материалы Международной студенческой научно-практической конференции. – Рязань: Изд-во ФГБОУ ВО РГАТУ, 2019. – С. 227-231.

23. Герасимов, А.В. Разработка алгоритма расчета условий на свободной и контактной границах при моделировании деформирования материалов методом SPH [Текст] / А.В. Герасимов, Р.О. Черепанов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2009. – № 7/2. – С. 64-69.

24. Герасимов А.В. Черепанов Р.О. Разработка алгоритма расчета условий на свободной и контактной границах для моделирования деформирования материалов методом SPH [Текст] / А.В. Герасимов, Р.О. Черепанов // Физическая мезомеханика. – 2010. – Т. 13. – № 2. – С. 69-75.

25. Горшенин, В.И. Коэффициенты трения плодов по различным материалам [Текст] / В.И. Горшенин // Краткие тезисы докладов второй

Всесоюзной конференции молодых ученых по садоводству. - Мичуринск, 1976. - С. 198-201.

26. ГОСТ Р 54781-2011 Машины для уборки картофеля. Методы испытаний. – Москва: Издательство Стандартиформ, 2012-31 с.

27. ГОСТ 34393-2018 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки (издание официальное). – Москва: Издательство Стандартиформ, 2018 – 15 с.

28. Григорьев, Ю.Н. Численное моделирование методами частиц-в-ячейках. [Текст] / Ю.Н. Григорьев, В.А. Вшивков, М.П. Федорук. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 360 с.

29. Давыдов, М.Н. Метод сглаженных частиц в задачах моделирования кавитационного разрушения жидкости при ударно-волновом нагружении [Текст] / М.Н. Давыдов, В.К. Кедринский // Прикладная механика и теоретическая физика. – 2013. – Т. 54. – № 6. – С. 17-26.

30. Джабборов, Н.И. Методика оценки энергетической эффективности технологических процессов и технических средств в растениеводстве: Монография [Текст] / Н.И. Джабборов, В.А. Эвиев, Д.С. Федькин. – Санкт-Петербург:– Элиста: Калмыцкий гос. ун-т им. Б. Б. Городовикова, 2016. - 94 с.

31. Джабборов, Н.И. Методика расчета энергоэффективности машинно-тракторных агрегатов [Текст] / Н.И. Джабборов, В.А. Эвиев, Н.Г.Очиров // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 2 (50). – С. 367-374.

32. Джабборов, Н.И. Оценка энергоэффективности технологических процессов и технических средств в растениеводстве [Текст] / Н.И. Джабборов, В.А. Эвиев, Н.Г. Очиров // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 2 (50). – С. 317-322.

33. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) [Текст] / Б.А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – Москва: Издательство Агропромиздат, 1985. – 351 с.

34. Ежевский, А.А. Техническая и технологическая обеспеченность сельскохозяйственного производства России на 2013-2020 годы [Текст] / А.А. Ежевский // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – №1. – С. 3-6.

35. Заводнов, В.С. О повреждаемости плодов и овощей при транспортировке [Текст] / В.С. Заводнов // Садоводство и виноградарство Молдавии. – 1965. – №6. – С. 29-32.

36. Заводнов, В.С. Деформация мякоти плодов при транспортировании [Текст] / В.С. Заводнов // Труды ВНИИ Механизации сельск. хоз-ва. – М., 1966. – С. 69-82.

37. Заводнов, В.С. Исследование причин повреждаемости плодов при транспортировке [Текст] / В.С. Заводнов // Говорят молодые ученые: Доклады на первой Московской областной конференции молодых ученых. Московский рабочий, Том II – Москва, 1966. – С. 392-399.

38. Заводнов, В.С. Исследование физико-механических свойств овощей и фруктов и условий их перевозки в сельском хозяйстве: дис... канд. техн. наук [Текст] / В.С. Заводнов. – Москва, 1968. – 160 с.

39. Заводнов, А.В. Допустимые амплитудно-частотные характеристики колебаний транспортных средств при перевозке картофеля. [Текст] / А.В. Заводнов, В.С. Заводнов// Совершенствование технологий и машин в АПК: сб. науч. тр. МГАУ. – М., 2001. – С. 64-66.

40. Заводнов, А.В. Обеспечение сохранности клубней картофеля при ударном взаимодействии с рабочими органами сельскохозяйственных машин [Текст] / А.В. Заводнов, В.С. Заводнов// Научные труды ВИМ – Москва. – Т.141, ч 1, 2002. – С. 212-214.

41. Зернов, В.Н. Методы и устройства для оценки пригодности

сортов и гибридов картофеля к механизированной уборке [Текст] / В.Н. Зернов, С.Н.Петухов // Картофель и овощи. – 2019. – № 5. – С. 22-24.

42. Измайлов, А.Ю. Развитие транспортной и погрузочно-разгрузочной техники в сельском хозяйстве [Текст] / А.Ю. Измайлов, Н.Е. Евтюшенков, А.Ю. Васильев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 2. – С. 14-18.

43. Измайлов, А.Ю. Автотранспорт для перевозки сельскохозяйственных грузов [Текст] / А.Ю. Измайлов, Н.Е. Евтюшенков // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – №2. – С. 19-23.

44. Измайлов, А.Ю. Интенсивные машинные технологии и новая техника для производства продукции растениеводства и животноводства [Текст] / А.Ю. Измайлов, Ю.Х. Шогенов // Сб.: Инновационные разработки производства и переработки лубяных культур – Тверь: Материалы Международной научно-практической конференции, 2016. – С. 11-18.

45. Измайлов, А.Ю. К вопросу обоснования технико-экономического уровня сельскохозяйственных машин и оборудования [Текст] / А.Ю. Измайлов, В.А. Макаров // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2016. – № 6. – С. 3-9.

46. Измайлов, А.Ю. Разработка интенсивных машинных технологий и новой энергонасыщенной техники для производства основных видов сельскохозяйственной продукции [Текст] / А.Ю. Измайлов, Ю.Х. Шогенов // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 5. – С. 2-5.

47. Измайлов, А.Ю. Интенсивные машинные технологии и техника нового поколения для производства основных групп сельскохозяйственной продукции [Текст] / А.Ю. Измайлов, Ю.Х. Шогенов // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 7. – С. 2-6.

48. Измайлов, А.Ю. Модернизация технологий транспортирования селекционного урожая [Текст] / А.Ю. Измайлов, Н.Е. Евтюшенков, Р.К. Курбанов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2017. – № 2. – С. 6-8.

49. Измайлов, А.Ю. Развитие интенсивных машинных технологий и техники нового поколения для производства основных групп продовольствия [Текст] / А.Ю. Измайлов, Ю.А. Иванов, Ю.Х. Шогенов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2017. – № 2 (26). – С. 20-31.

50. Имитационная математическая модель процесса смешивания сыпучих компонентов в смесителе. [Текст] / Остриков А.Н., Фролова Л.Н., Александров А.И., Посметьев В.В. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2019 – №2 (81) - С. 13-21.

51. Инновационные решения в технологиях и технике внутрихозяйственной перевозки плодоовощной продукции растениеводства.[Текст]/ Юхин И.А., Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А., Булатов Е.П., Тужиков И.В., Пименов А.Б.// Инновационные технологии и техника нового поколения - основа модернизации сельского хозяйства. Сборник докладов Международной научно-технической конференции – Москва, 2011- С. 395-403.

52. Инновационная система машинно-технологического обеспечения предприятий агропромышленного комплекса [Текст] / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, В.М. Бейлис, Ю.С. Ценч // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. – Москва: Издательство ФНАЦ ВИМ, 2019.

53. 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.

54. Инновационные решения в технологии и технике транспортировки продукции растениеводства [Текст] / И. А. Успенский, И.

А. Юхин, В. Г. Селиванов, С. Н. Кулик, Д. С. Рябчиков // Техника и оборудование для села. – 2013. - №7. – С. 6 – 8.

55. Инновационные решения уборочно-транспортных технологических процессов и технических средств в растениеводстве [Текст] / Г. К. Рембалович, Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, и др. // Инновационные технологии и техника нового поколения – основа модернизации сельского хозяйства. Материалы Международной научно-технической конференции: Сборник научных трудов ГНУ ВИМ Россельхозакадемии – Москва: Издательство ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, 2011. – Том 2. – С. 455 – 460.

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

57. К вопросу создания экологически безопасных всесезонных автомобилей сельскохозяйственного назначения [Текст] / З.А. Годжаев, А.Ю. Измайлов, Н.Е. Евтюшенков, М.Л. Крюков // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 3. – С. 48-52.

58. Колупаев, С.В. Анализ процесса выгрузки сельскохозяйственной продукции из усовершенствованного кузова тракторного прицепа / С.В. Колупаев, И.А. Юхин, И.А. Успенский и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ. – 2015. – №08(112). – С.778–801. – URL:<http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/58.pdf>.

59. Колчин, Н.Н. Современная техника для машинного производства картофеля [Текст] / Н.Н. Колчин // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 6. – С. 51-55.

60. Колчин, Н.Н. Как снизить повреждение клубней в машинных технологиях [Текст] / Н.Н. Колчин, А.Г. Пономарев, С.Н. Петухов // Картофель и овощи. – 2019. – № 3. – С. 14-16.

61. Колчин, Н.Н. Новая техника для картофелеводства [Текст] / Н.Н. Колчин, А.Г. Пономарев, В.Н. Зернов // Картофель и овощи. – 2019. – № 6. – С. 26-29.

62. Концепция развития сельскохозяйственных тракторов и тракторного парка России на период до 2010 года [Текст] / – Москва: Издательство ВИМ, 2002. – 52 с.

63. Концепция создания семейства многоцелевых агрегатов к перспективным энергосредствам для зерновых, пропашных и кормовых культур. Методологические основы проектирования технологического процесса работы инновационных рабочих органов для уборки овощных культур [Текст] / А.Г. Пономарев, А.Г. Аксенов, А.В. Еремченко и др. // Отчет о НИР (Федеральное агентство научных организаций).

64. Костенко, М.Ю. Технология уборки картофеля в тяжелых полевых условиях с применением инновационных решений в конструкции и обслуживании уборочных машин: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / М.Ю. Костенко. - Рязань, 2011. - 462 с.

65. Кривцов, А.М. Метод частиц и его использование в механике деформируемого твердого тела [Текст] / А.М. Кривцов, Н.В. Кривцова // Дальневосточный математический журнал ДВО РАН. – 2002. – Т. 3. – № 2. – С. 254-276.

66. Лукьянов, А.А. Моделирование деформирования твердого тела с использованием бессеточных методов [Текст] / А.А. Лукьянов, В.Б. Пеньков // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. – 2007. – № 6(56). – С. 62-70.

67. Махароблидзе, Р.М. Исследование деформации и разрушения корнеплодов ударной нагрузкой. [Текст] / Р.М. Махароблидзе // Вопросы сельскохозяйственной механики. Т.XV – Минск: Издательство Урожай, 1965. – С. 4-44.

68. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. 2-ое издание, перераб. и доп. [Текст] / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, Г.М. Роцин. – Ленинград: Издательство Колос.

Ленинград. отд., 1980. – 168 с.

69. Методика определения оптовых цен на новую машиностроительную продукцию производственно-технического назначения [Текст] / Москва: Издательство Прейскурантиздат, 1997. – 29 с.

70. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений [Текст] // Техника в сельском хозяйстве. – 1977. – № 12. – С. 79-85.

71. Некоторые вопросы организации транспортных работ при машинной уборке картофеля [Текст] / И. А. Успенский, Г.К. Рембалович, Г.Д. Кокорев, И.А. Юхин и др. // Вестник РГАТУ. – 2010. – №4. – С. 72 – 74.

72. О составе затрат и единичных нормах амортизационных отчислений [Текст] / – Москва: Издательство Финансы и статистика, 1995. – 208 с.

73. Обоснование уборочно-транспортных процессов в селекционных технологиях [Текст] / А.Ю. Измайлов, В.Ф. Рожин, Е.П. Шилова, и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12. – № 1. – С. 4-9.

74. Основные задачи и направления НИР по снижению повреждений картофеля и овощей в машинных технологиях их производства [Текст] / В.Н. Зернов, С.Н. Петухов, А.Г. Аксенов, А.В. Сибирёв // Агротехника и энергообеспечение. – 2019. – № 4 (25). – С. 6-16.

75. Особенности перевозки сельскохозяйственной продукции в кузове автотранспортных средств [Текст] / Е.П. Булатов, Г.Д. Кокорев, Г.К. Рембалович, и др. // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств. Часть 2. Материалы VI международной научно-практической конференции. г. Пенза. – 2010. – С. 22-27.

76. ОСТ № 10 13.1-2000 Транспортные средства: Испытания с.-х. техники : Методы оценки функцион. показателей : Стандарт отрасли : Утв. и введ. в действие М-вом сел. хоз-ва и продовольствия Рос. Федерации 3 марта 2000 г., 5 июня 2000 г. – Москва: Издательство Минсельхозпрод России,

2000. – 17 с.

77. Пат. РФ № 105233, МПК51 В 60 Р 1/28 Самосвальный кузов транспортного средства для перевозки легкоповреждаемой сельскохозяйственной продукции / Успенский И.А., Булатов Е.П., Рембалович Г.К., Кокорев Г.Д., Юхин И.А. (RU), заявитель и патентообладатель федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева - № 2010119314; – Заявл. 13.05.2010; Оpubл. 10.06.2011; Бюл. № 16. – 2 с. : ил.

78. Пат. РФ № 161488, RU, МПК В60R 9/00; В60Р 1/00. Навесное перегрузочное устройство для самосвального кузова транспортного средства / Филюшин О.В., Голиков А.А., Успенский И.А., Юхин И.А. и др. – Оpubл. 20.04.2016; Бюл. № 11.

79. Пат. РФ № 191227, МПК В65D5/48. Устройство для транспортировки корнеклубнеплодов / Борычев 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; Оpubл. 30.07.19; Бюл. №22.

80. Пат. РФ № 48894, МПК51 В60R 9/00. Навесное перегрузочное устройство для автомобилей / Рябчиков Д.С., Борычев С.Н., Аникин Н.В., Чекмарев В.Н., Успенский И.А., Бышов Н.В., Бышов Д.Н. (RU); заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Рязанская государственная сельскохозяйственная академия имени профессора П.А. Костычева. - № 2005114775/22; – Заявл. 14.05.2005; Оpubл. 10.11.2005; Бюл. № 31. – 2 с. : ил.

81. Пат. РФ № 2637785 С1. Машина для уборки клубней топинамбура / Михеев В.В., Ерёмченко В.И., Ерёмин П.А., Зернов В.Н., Петухов С.Н. – Заявл. 07.04.2017; Оpubл. 07.12.2017. Пат. РФ № 81152, МПК В 62 D 37/00. Устройство для стабилизации положения транспортного

средства / Минякин С.В.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИМС. - № 2008139805/22; – Заявл. 07.10.2008; Оpubл. 10.03.2009; Бюл. №7 – 2 с. : ил.

82. Пат. РФ № RU 194128 U1. Самосвальный кузов для перевозки легкоповреждаемой продукции. / Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Рябчиков Д.С., Юхин И.А., Безносюк Р.В., Голиков А.А., Горин Е.В., Зацепин А.Н., Морозова Е.А., Кондауров Д.А. – Оpubл. 28.11.2019.

83. Повороженко, П.В. Разработка методов оценки влияния различных факторов на сохранность перевозимых грузов: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст] / П.В. Повороженко. – Москва, 1980. – 27 с.

84. Повышение качества перевозки картофеля, плодов и фруктов совершенствованием подвески транспортного средства [Текст] / Н.В. Аникин, Г.Д. Кокорев, Г.К. Рембалович, и др. // Вестник МГАУ. – 2009. – №2. – С.38-40.

85. Повышение эксплуатационных качеств транспортных средств при перевозке грузов в АПК [Текст] / Н. В. Аникин, И.А. Успенский, И.А. Юхин и др. // Международный технико-экономический журнал. – 2009. – № 3. – С. 92-96.

86. Постановление Правительства РФ от 15.04.2011 № 272 (ред. от 23.05.2020) «Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом»).

87. Потапов, А.П. Моделирование волновых процессов при высокоскоростных соударениях методом сглаженных частиц (SPH) [Текст] / А.П. Потапов, И.Б. Петров // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. – 2009. – № 10. – С. 49-55.

88. Проблемные вопросы повышения энергоэффективности МТА с упруго закрепленными рабочими органами [Текст] / Д.С. Гапич, В.А. Эвиев, Р.А. Косульников, С.А. Чумаков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 1 (49). – С. 312-318.

89. Проблемы и перспективы транспортной техники на селе / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, И.А. Юхин и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №03(107). С. 443 – 458. – IDA [article ID]: 1071503031. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/03/pdf/31.pdf>, 1 у.п.л.

90. Результаты полевых испытаний модернизированных транспортных средств [Текст] / И.А. Юхин, И.А. Успенский, Д.С. Рябчиков, Н.М. Воронкин // [Техника и оборудование для села](#). – 2015. – № 7. – С. 14-16.

91. Рембалович, Г.К. Повышение эксплуатационно-технологических показателей транспортной и специальной техники на уборке картофеля / Г.К. Рембалович, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Юхин и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №04(088). С. 509 – 518. – IDA [article ID]: 0881304034. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/34.pdf>.

92. 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.

93. Ряднов, А.И. Использование грузоподъемности транспортных средств на перевозке рулонов сена [Текст] / А.И. Ряднов, И.В. Алмазов // Сб.: Современное научное знание в условиях системных изменений: материалы Первой национальной научно-практической конференции. Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Тарский филиал, 2016. – С. 227-230.

94. Ряднов, А.И. Обоснование высоты бокового борта грузовой платформы для перевозки рулонов сена [Текст] / А.И. Ряднов, И.В. Алмазов // Научное обозрение. – 2016. – № 9. – С. 98-102.

95. Ряднов, А.И. Выбор транспортного средства для перевозки рулонов сена по затратам на топливо-смазочные материалы [Текст] / А.И. Ряднов, О.А. Федорова, И.В. Алмазов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 1 (53). – С. 364-371.

96. Ряднов, А.И. Результаты оптимизации геометрических параметров экспериментальной грузовой платформы для перевозки рулонов сена [Текст] / А.И. Ряднов, О.А. Федорова, И.В. Алмазов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 1 (53). – С. 281-289.

97. Свидетельство на полезную модель РФ №25723 МКИ В62D 37/04. Устройство для стабилизации движения транспортного средства / Чекмарев В.Н., Борычев С.Н., Успенский И.А. и др. – Оpubл.20.10.2002.

98. Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ РФ №2020614320. 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; Оpubл. 31.03.20.

99. Сийм, Я.М. Определение повреждаемости клубней [Текст] / Я.М. Сийм // Картофель и овощи. – 1977. – № 2. – 150 с.

100. Снижение травмируемости сельскохозяйственной продукции при перевозке транспортными средствами с самосвальными кузовами [Текст] / А.А. Полункин, О.В. Филюшин, И.А. Успенский, и др. // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сборник научных трудов международной научно-практической конференции,

посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф.Х. Бурумкулова. – Саранск: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», 2016. – С. 376-382.

101. Снижение уровня повреждения перевозимой сельскохозяйственной продукции за счет использования устройства для стабилизации положения транспортного средства [Текст] / Н.В. Аникин, С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей. XII Международная научно-практическая конференции – Владимир, 2010. – С. 319-322.

102. Совершенствование транспортных средств для внутрихозяйственных перевозок на селе [Текст] / И.А. Успенский, И.А. Юхин, Е.В. Лунин, К.А. Жуков и др. // Сборник научных трудов преподавателей и аспирантов Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева: Материалы научно-практической конференции 2012г., –Рязань, 2012. – С. 59-65.

103. Советов, Б. Я. Моделирование систем. Учебное пособие [Текст] / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев – Москва: Издательство Высш. шк., 1998. – 319 с.

104. Суравкин, А.Ю. Реализация метода SPH на CUDA для моделирования несжимаемых жидкостей [Текст] / А.Ю. Суравкин // Наука и образование. – 2012. – № 7. – С. 87-106.

105. Тенденции перспективного развития сельскохозяйственного транспорта / И.А. Успенский, И.А. Юхин, Д.С. Рябчиков и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №07(101). С. 2062 – 2077. – IDA [article ID]: 1011407136. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/136.pdf>.

106. Техничко-экономические изыскания технических средств, определяющих критические машинные технологии на разных этапах селекции и семеноводства картофеля [Текст] / В.Н. Зернов, Н.Н. Колчин, С.Н. Петухов и др. // Сб.: Картофелеводство : Материалы научно-практической конференции. – 2017. – С. 98-106.

107. Технологии и техника для картофелеводства на выставке Potato Europe 2018 [Текст] / Н.Н. Колчин, В.П. Елизаров, В.Н. Зернов, С.Н. Петухов // Картофель и овощи. – 2019. – № 1. – С. 27-29.

108. Трехмерная информационная модель движения лавиноопасной снежной массы. [Текст] / Белокуров С.В., Калач А.В., Кузьменко Р.В., Соловьев А.С., // Вестник Воронежского института ФСИИИ России. - 2017 - №1 - С. 12-18.

109. Туболев, С. С. Машинные технологии и техника для производства картофеля [Текст] / С. С. Туболев, С. И. Шеломенцев, К. А. Пшеченков, В. Н. Зейрук. – Москва: Издательство Агроспас, 2010. – 311 с.

110. Туболев, С. С. Технология производства картофеля. Научные труды [Текст] / С. С. Туболев, К. А. Пшеченков. – Москва: Издательство ВНИИКХ, 1975. – №22. – С. 110-121.

111. Универсальные транспортные средства для выполнения транспортно-погрузочных работ при внутрихозяйственных перевозках плодоовощной продукции / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №09(093). С. 1231 – 1242. – IDA [article ID]: 0931309084. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/84.pdf>.

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

113. Устойчивость транспортного средства при вывозе картофеля с поля [Текст] / Н.В. Бышов, Н.В. Аникин, Е.П. Булатов, и др. // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем». – Саранск. – 2009. – С. 324-326.

114. Устройство для снижения колебаний грузовой платформы [Текст] / Н.В. Аникин, С.В. Колупаев, И.А. Успенский, И.А. Юхин // Сельский механизатор. – 2009. – №8. – 31 с.

115. Устройство для сохранения прямолинейности движения транспортного средства [Текст] / Н.В. Аникин, Г.Д. Кокорев, И.А. Успенский, И.А. Юхин // Нива Поволжья. – 2010. – №2 (15). – С.48-50.

116. Федоренко, В.Ф. Тенденции машинно-технологической модернизации сельского хозяйства за рубежом (по материалам международной выставки «Agritechnica-2015», научно аналитический обзор): Монография [Текст] / В.Ф. Федоренко, В.Я. Гольпяпин, Н.П. Мишуров. – Москва: Издательство Росинформагротех, 2016. – 220 с.

117. Федоров, В.В. Теория оптимального эксперимента [Текст] / В.В. Федоров. – Москва: Издательство Наука, 1971. – 312 с.

118. Хачатрян, Х.А. Вопросы механизации уборки и транспортировки плодов [Текст] / Х.А. Хачатрян – Ереван, 1967. – 69с.

119. Хачатрян, Х.А. Явления вибрации при перевозке плодов [Текст] / Х.А. Хачатрян, Г.В. Тарджуманян // Изв. с.-х. наук, Вып 1. – Ереван, 1967. – С. 42-51.

120. Хокни, Р. Численное моделирование методом частиц [Текст] / Р. Хокни, Дж. Иствуд. – Москва: Издательство Мир, 1987. – 638 с.

121. Шпилько, А.В. Методика определения экономической эффективности технологии и сельскохозяйственной техники [Текст] / А.В. Шпилько, В.И. Драгайцев, П.А. Тулапин. и др. – Москва: Издательство ВНИИЭСХ, 1998, – 219 с.

122. Шурихт, Р. Производство плодов. Технология, экономика,

организация [Текст] / Р. Шурихт, Пер.с нем. Г. Н. Мирошниченко; Под ред. В. И. Демьянова. – Москва: Издательство Колос, 1984. – 303 с.

123. Юхин, И.А. Современное состояние вопроса перевозок плодоовощной продукции в кузове АТС [Текст] / Юхин И.А., Тужиков И.В. // Сборник научных трудов преподавателей и аспирантов Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева: Материалы научно-практической конференции 2012г., – Рязань, 2012, – С. 49-52.

124. Юхин, И.А. К вопросу модернизации транспортных средств для АПК [Текст] / И.А. Юхин, И.А. Успенский, А.А. Голиков, П.В. Бондарев // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сборник научных трудов международной конференции / редкол.: Сенин П.В. и др. – Саранск: Издательство Мордов. ун-та, 2014. – С. 181-187.

125. Юхин, И. А. Снижение повреждений картофеля и яблок на внутрихозяйственных перевозках стабилизацией транспортных средств: дис. ... доктора техн. наук [Текст] / И. А. Юхин. – Рязань, 2017. – 388 с.

126. Якубовский, Э.Я. Физико-механические свойства плодов. С. «Садоводство», вып. 21 [Текст] / Э.Я. Якубовский. – К.: Издательство «Урожай», 1974. – С. 22-27. (на украинском языке).

127. Byshov N V, Borychev S N, Kashirin D E, Kokorev G D, Kostenko M Y, Rembalovich G K, Simdyankin A A, Uspensky I A, Shemyakin A V, Yukhin I A, Danilov I K, Ryadnov A I and Kosul'nikov R A 2018 ARPN Journ. of Engin. and Applied Scien. Theoretical studies of the damage process of easily damaged products in transport vehicle body during the on-farm transportation 10 3502-3508.

128. Ditz O. Pendelerscheinungen an Strassen — Anhängerzügen. Deutsche Kraftfahzforschung, 1938, Heft 15.

129. Ditz O. Über das Spuren und Pendel von Lastcraftwagenanhängern. — ATZ, 1939. Heft 15.

130. Español, P. Hydrodynamics from Dissipative Particle Dynamics [Text] / P. Español // Phys. Rev. E. – 1995. – Vol. 52. – P. 1734–1742.

131. Hoover, W.G. Atomistic Nonequilibrium Computer Simulations [Text] / W.G. Hoover // Physica A. – 1983. – Vol. 118. – P. 111-122.
132. I A Uspenskiy, G K Rembalovich, I A Yukhin, D S Ryabchikov and A S Stepashkina. Development and testing of a conveyor for detecting various types of vehicles when transporting agricultural products from the field. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 832 (2020) 012059 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/832/1/012059
133. Improving the method of freight vehicles' traffic modeling: Совершенствование методики моделирования грузового движения [Текст] / Е. В. Горин, Е.А. Морозова, А.Н. Зацепин, Д.С. Рябчиков // Transportation Research Procedia. – 2018. – С. 213-219.
134. Jakob, C., Konietzky H. Particle Methods. An Overview [Text] / C. Jakob, H. Konietzky – Freiberg, 2012. – 24 p.
135. Kovalev, O.O. On Simulation of Hydraulic Fracturing Using Particle Dynamics Method [Text] / O.O. Kovalev // Proc. of Summer School – Conference “Advanced Problems in Mechanics”. – St. Petersburg, 2013. – P. 285-291.
136. Milliken W.F., et. Al. The static Directional Stability and Control of the Automobile. SAE 760712.
137. Milliken W.F., Whitcomb D.W. General Introduction to a Programme of Dynamic Research. Proc.Auto.Div.1.Mech.E 1956-57 vol 171 p.p. 287-309.
138. N V Byshov, S N Borychev, I A Uspensky, I A Yukhin, A A Golikov, O V Filyushin. Improving the performance parameters of vehicles for intrafarm transport in the agro-industrial complex. Conference on Innovations in Agricultural and Rural development: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 341 (2019) 012145 - doi:10.1088/1755-1315/341/1/012145
139. N.V. Byshov, S.N. Borychev, A.A. Simdyankin, I.A. Yukhin, A.A. Golikov. Increasing the safety of agricultural products during its transportation and unloading. (2018) ACM International Conference Proceeding Series, pp. 176-179.
140. O'Brien M., Claypool L.L., et. Causes of fruit bruising on transport trucks. – Hilgardia, 1963, №6, vol. 35.

141. O'Brien M., I.P. Gentry, Gibbs R.C., et. Vibrating characteristics of fruits as related, to in transit injury. – Transactions of the ASAE, 1965№2, vol. 8.
142. Particle Dynamics Modeling for Colloid Suspensions [Text] / D.S. Bolintineanu, G.S. Grest, J.B. Lechman, and etc// Comp. Part. Mech. – 2014. – Vol. 1. – P. 321-356.
143. Patent №2790432 (France) Dispositif de correction d'assiette pour bennes de gros tonnage. / Bennes Maupu SA, Maupu Francois Noel. 08.09.2000.
144. Patent №6076612 (USA) Transition from position to draft mode controlled by hitch position command and feedback. / Carr Donald D., Stelzle Michael, Schubert William L. 20.06.2000.
145. Patent №734327 (Australia) Self-leveling mobile supporting chassis. /Bartlett D.J., Raffels P.J. 07.06.2001.
146. Potato development in a changing Europe [Text] / Norbert U. Haase, An-ton J. Haverkort. – The Netherlands. Wageningen Academic Publishers, 2006. – 278 p.
147. Segel L. Theoretical Predictions and Experimental Substantiation of The Response of The Automobile to Steering Control.Proc.Auto.Div.1.Mech.E 1956-57 vol 171 p. 310.
148. Segel L. On The Lateral Stability and Control of The Automobile as Influenced by The Dynamics of The Steering System. OSME Paper 65-WA/MD (Nov. 1965).
149. Zhen Li, Xin Bian, Yu-Hang Tang, Karniadakis G.E. A Dissipative Particle Dynamics Method for Arbitrary Complex Geometries // arXiv:1612.08761v1.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 191227

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ
КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ) (RU)*

Авторы: *Борычев Сергей Николаевич (RU), Рябчиков Дмитрий Сергеевич (RU), Колошейн Дмитрий Владимирович (RU), Маслова Лилия Александровна (RU), Бойко Александр Игоревич (RU), Голиков Алексей Анатольевич (RU), Безносюк Роман Владимирович (RU)*

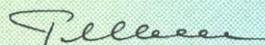
Заявка № 2019116209

Приоритет полезной модели 27 мая 2019 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 30 июля 2019 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 27 мая 2029 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ильин

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) RU (11)

191 227⁽¹³⁾ U1

(51) МПК
B65D 8/14 (2006.01)

(12) **ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

(52) СПК
B65D 5/48 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2019116209, 27.05.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.05.2019

Дата регистрации:
30.07.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 27.05.2019

(45) Опубликовано: 30.07.2019 Бюл. № 22

Адрес для переписки:
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ ВО
РГАТУ, Безносок Р.В.

(72) Автор(ы):

Борычев Сергей Николаевич (RU),
Рябчиков Дмитрий Сергеевич (RU),
Колошеин Дмитрий Владимирович (RU),
Маслова Лилия Александровна (RU),
Бойко Александр Игоревич (RU),
• Голиков Алексей Анатольевич (RU),
Безносок Роман Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Рязанский государственный
агротехнологический университет имени
П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 164257 U1, 20.08.2016. RU 132056
U1, 10.09.2013. RU 2057690 C1, 10.04.1996. RU
92401 U1, 20.03.2010.

(54) **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ**

(57) **Формула полезной модели**

Устройство для транспортировки корнеклубнеплодов, имеющее прямоугольную форму с открытым верхом, включающее основание, пару торцевых стенок, боковину и откидной борт, отличающееся тем, что откидной борт в верхней своей части шарнирно соединен с торцевыми стенками, а в нижней части имеет возможность фиксации с торцевыми стенками при помощи фиксаторов, внутри на закрепленной на торцевых стенках оси установлена поперечная перегородка, выполненная из полых трубок из упругого материала, обладающих возможностью вращения вокруг оси поперечной перегородки и имеющих разную длину, причем она уменьшается от центра поперечной перегородки к торцевым стенкам симметрично.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020614320

«ПРОГРАММА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ВЫГРУЗКИ
КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) (RU)*

Авторы: *см. на обороте*



Заявка № 2019665200

Дата поступления 25 ноября 2019 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 31 марта 2020 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

**XXIII Московский международный
Салон изобретений и инновационных технологий**



«АРХИМЕД 2020»

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ПРИЗ

**Лучший инновационный проект
Салона «Архимед»**

*Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ),
г. Рязань*

*за проект: «Самосвальный кузов для перевозки
легкоповреждаемой продукции»*

**Председатель
Международного Жюри,
академик,
член президиума РАН**

С.М. Алдошин

Президент Салона

Д.И. Зезюлин

**Руководитель
Федеральной службы
по интеллектуальной
собственности**

Г.П. Ивлиев

Россия, Москва, 24.03 - 27.03.2020 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО РГАТУ

Н.В. Бышов

2020 г.



АКТ

о внедрении научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы

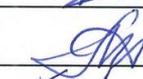
Мы, нижеподписавшиеся, представитель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева» в лице руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы д.т.н., профессора Борычева Сергея Николаевича и представитель ОАО «Аграрий» Касимовского района Рязанской области (наименование организации, предприятия) в лице генерального директора Минина Сергея Алексеевича составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы на тему: «Совершенствование технологии и транспортных средств для механизированной погрузки сельскохозяйственных грузов (на примере картофеля)» выполненной на: кафедре «Строительство инженерных сооружений и механика» ФГБОУ ВО РГАТУ в 2019-2020 году внедрены на ОАО «Аграрий» (предприятие, организация) Касимовского района Рязанской области путем сравнительных полевых испытаний серийного кузова грузового автомобиля (указать, каким образом внедрена работа) МАЗ 5516 и экспериментального кузова грузового автомобиля МАЗ 5516 с установленными поперечными перегородками (патент на полезную модель 191227 от 27.05.2019г.). Общий объем картофеля, перевезенного одним экспериментальным автомобилем за 2019-2020 г. составил 634 тонны. Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект:
- повреждение клубней картофеля при выгрузке из серийного грузового автомобиля МАЗ 5516 и экспериментального грузового автомобиля МАЗ 5516 с установленными поперечными перегородками составили соответственно: 5,3% и 2,9%

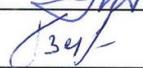
Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению: Признать усовершенствование кузова транспортного средства для перевозки корнеклубнеплодов целесообразным и экономически обоснованным.

Исполнители:

соискатель  Д.С. Рябчиков

декан автодорожного ф-та  Г.К. Рембалович

профессор кафедры ТМиРМ  М.Ю. Костенко

доцент кафедры ТМиРМ  Р.В. Безносюк

**Представитель ФГБОУ ВО РГАТУ,
научный руководитель работы**

С.Н. Борычев


(подпись)
М.П. « » 20__ г.

**Генеральный директор
ОАО «Аграрий»
Касимовского района
Рязанской области**

С.А. Минин


(подпись)
М.П. « » 20__ г.