

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический  
университет имени П.А. Костычева»

**На правах рукописи**



Голиков Алексей Анатольевич

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ**

### **Диссертация**

на соискание ученой степени доктора технических наук

Специальность: 05.20.01 – «Технологии и средства механизации сельского  
хозяйства»

Научный консультант:

д.т.н., профессор И.А. Юхин

Рязань, 2022

## АННОТАЦИЯ

Целью диссертационного исследования является снижение повреждений клубней применением адаптивной модели уборки картофеля.

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

В первой главе проведен анализ вопроса уборки картофеля и поставлены задачи исследования.

Во второй главе разработана адаптивная модель уборки картофеля, определены ее входные параметры. Проведены исследования процесса разгрузки самосвальных кузовов транспортного средства (ТС). Получены рекомендуемые параметры тракторно-транспортного агрегата (ТТА) 2ПТС-4,5.

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

В четвертой главе рассмотрены программа, методики и результаты полевых исследований работы техники для уборки картофеля с применением адаптивной модели.

В пятой главе произведен расчет экономического эффекта от внедрения результатов исследований.

Сформулировано заключение по диссертационному исследованию.

Приведен библиографический список научных трудов, процитированных в диссертационном исследовании.

В приложениях приведены копии актов внедрения, патентов и документов об апробации результатов исследований.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВВЕДЕНИЕ                                                                                                          | 6   |
| ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЯ ВОПРОСА ПРОИЗВОДСТВА<br>КАРТОФЕЛЯ                                                           | 12  |
| 1.1. Производство картофеля в РФ                                                                                  | 12  |
| 1.2. Технологии и технические средства для уборки картофеля                                                       | 18  |
| 1.3. Транспортные работы при уборке картофеля                                                                     | 25  |
| 1.4. «Умное фермерство» в хозяйствах РФ                                                                           | 29  |
| 1.5. Исследование уборочных и транспортных работ при<br>производстве картофеля                                    | 34  |
| 1.5.1. Анализ факторов влияния на технологические показатели<br>работы картофелеуборочных машин                   | 34  |
| 1.5.2. Анализ вариантов повышения эффективности транспортных<br>работ (при использовании самосвальных кузовов ТС) | 61  |
| 1.6. Постановка научной проблемы и гипотезы                                                                       | 95  |
| 1.7. Выводы по главе 1                                                                                            | 97  |
| 1.8. Задачи исследований                                                                                          | 98  |
| ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И<br>ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ УБОРКИ<br>КАРТОФЕЛЯ                      | 99  |
| 2.1. Разработка адаптивной модели уборки картофеля                                                                | 99  |
| 2.2. Параметризация адаптивной модели уборки картофеля                                                            | 107 |
| 2.3. Алгоритм нахождения переменных адаптивной модели уборки<br>картофеля                                         | 126 |
| 2.4. Визуализация адаптивной модели уборки картофеля                                                              | 129 |
| 2.5. Исследование процесса разгрузки самосвальных кузовов ТС                                                      | 131 |
| 2.6. Выводы по главе 2                                                                                            | 148 |
| ГЛАВА 3. ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ<br>ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ УБОРКИ                          | 149 |

## КАРТОФЕЛЯ

|                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1. Программа лабораторно-полевых исследований                                                                                             | 149 |
| 3.2. Объекты лабораторно-полевых исследований                                                                                               | 149 |
| 3.3. Методики лабораторно-полевых исследований                                                                                              | 149 |
| 3.3.1. Методика определения размерно-массовых характеристик картофеля                                                                       | 149 |
| 3.3.2. Методика определения зависимости повреждений клубней от внешних условий и параметров работы картофелеуборочных машин                 | 150 |
| 3.3.3. Методика определения зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в кузове транспортного средства от внешних факторов       | 153 |
| 3.3.4. Методика проведения лабораторного эксперимента для обоснования основных параметров разработанного самосвального кузова ТС            | 154 |
| 3.4. Результаты лабораторных исследований                                                                                                   | 157 |
| 3.4.1. Результаты исследований размерно-массовых характеристик сортов картофеля                                                             | 157 |
| 3.4.2. Результаты определения зависимости повреждений клубней от внешних условий и параметров работы картофелеуборочных машин               | 162 |
| 3.4.3. Результаты определения зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в кузове транспортного средства от независимых факторов | 171 |
| 3.4.4. Результаты обоснования основных параметров разработанного самосвального кузова ТС                                                    | 180 |
| 3.5. Выводы по главе 3                                                                                                                      | 184 |
| ГЛАВА 4. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ                     | 185 |



|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. Программа исследований                                                                    | 185 |
| 4.2. Объекты исследований                                                                      | 185 |
| 4.3. Методика исследований                                                                     | 185 |
| 4.4. Результаты исследований                                                                   | 187 |
| 4.5. Выводы по главе 4                                                                         | 192 |
| ГЛАВА 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ<br>РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ. ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО<br>РАЗВИТИЯ | 193 |
| 5.1. Расчет экономического эффекта от внедрения результатов<br>исследований                    | 193 |
| 5.2. Пути дальнейшего развития производства картофеля                                          | 199 |
| 5.3. Выводы по главе 5                                                                         | 204 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ                                                                                     | 206 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК                                                                       | 209 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ                                                                                     | 244 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

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

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

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

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

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

### **Степень разработанности темы**

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

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

Работа выполнена по плану НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2011-2015 гг. по теме 73.31.41 «Повышение эффективности эксплуатации автотранспорта и мобильной сельскохозяйственной техники за счет разработки новых конструкций, методов и средств технического обслуживания, ремонта и диагностирования» (№ гос. рег. 01201174433), плану НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 гг. по теме 1 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий» (№ гос. рег. 122020200038-8), а так же по заказу открытого акционерного общества «Аграрий» (тема «Разработка рекомендаций по повышению эффективности эксплуатации транспортных средств при перевозках технологических и строительных грузов навалом по дорогам в сельском хозяйстве (аграрном секторе)» (2015 г.)) (приложение 1).

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

**Объекты исследования** – уборка картофеля и его перевозка.

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

**Научную новизну работы составляют:**

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

Новизна технических решений подтверждена 10 патентами РФ на

изобретения и полезные модели (приложение 2).

**Теоретическая значимость работы:**

- целевая функция адаптивной модели уборки картофеля, характеризующей взаимосвязь повреждений клубней с конструктивными и эксплуатационными параметрами применяемых технических средств, природно-климатическими условиями и сортовыми характеристиками возделываемой культуры.

**Практическую значимость работы составляют:**

- теоретически обоснованные и экспериментально уточненные выходные параметры адаптивной модели уборки картофеля: скорость движения груженого ТС, рабочая скорость картофелеуборочной машины;
- параметры усовершенствованного самосвального кузова ТС для перевозки легкоповреждаемой продукции;
- практические рекомендации по использованию усовершенствованных ТС при уборке картофеля и оценка технико-экономического эффекта от их применения в АПК;
- перспективные конструктивно-технологические решения для транспортировки картофеля контейнерным способом.

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

Картофелеуборочные комбайны DR-1500, оснащенные усовершенствованными сепарирующими устройствами (патент РФ на полезную модель №157146 и патент РФ на изобретение № 2592111) применяются в ОАО «Аграрий» Касимовского района Рязанской области (приложение 3).

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

Мордовский институт переподготовки кадров агробизнеса (приложение 4).

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

**Положения, выносимые на защиту:**

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

**Достоверность результатов исследований.** Для осуществления полевых исследований использовались современные приборы и установки.

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

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева (2012...2021 гг.), Международной научно-практической конференции Белорусского ГАТУ (2013 г.), Международной студенческой научно-практической конференции Современного технического института (2013 г.), Международной научно-практической конференции Санкт-Петербургского ГАУ (2013 г.), Международной научно-технической конференции ГНУ ВИМ РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ (2013 г.), Международной научно-практической конференции Мордовского ГУ имени Н.П. Огарева (2014 г.), конференции ВНИИКХ имени А.Г. Лорха (2015 г.), Международной научной конференции РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева (2016 г.), Всероссийского научно-практического круглого стола Академии ФСИН России (2017 г.). Результаты работы были представлены на салонах изобретений и инновационных технологий «Архимед-2014,-15,-20,-21». Разработка «Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины» награждена золотой медалью салона «Архимед-2015»; разработка «Самосвальный кузов для перевозки легкоповреждаемой продукции» награждена золотой медалью салона «Архимед-2020» (приложение 5).

**Вклад автора в решение поставленных задач** состоит в определении направлений теоретических и экспериментальных исследований, разработке адаптивной модели уборки картофеля и конструктивно-технологических

решений для самосвальных кузовов транспортных средств, организации и проведении лабораторно-полевых испытаний.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в печати в 47 научных работах, в том числе 20 статей в журналах, включенных в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК РФ, 3 публикации в иностранной печати, 2 научные монографии. Получено 10 патентов РФ на изобретения и полезные модели. Общий объем публикаций составил 29,58 п.л., из них лично соискателю принадлежит 20,7 п.л.

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

# ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЯ ВОПРОСА ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ

## 1.1. Производство картофеля в РФ

По данным за 2020 год валовый сбор картофеля (по состоянию на 1 октября 2020 года) составил 4,91 млн. тонн [63], что на 13,1% меньше, чем в аналогичном периоде 2019 года (рис. 1.1). При этом окончательно планируется собрать 6,57 млн. тонн [220].

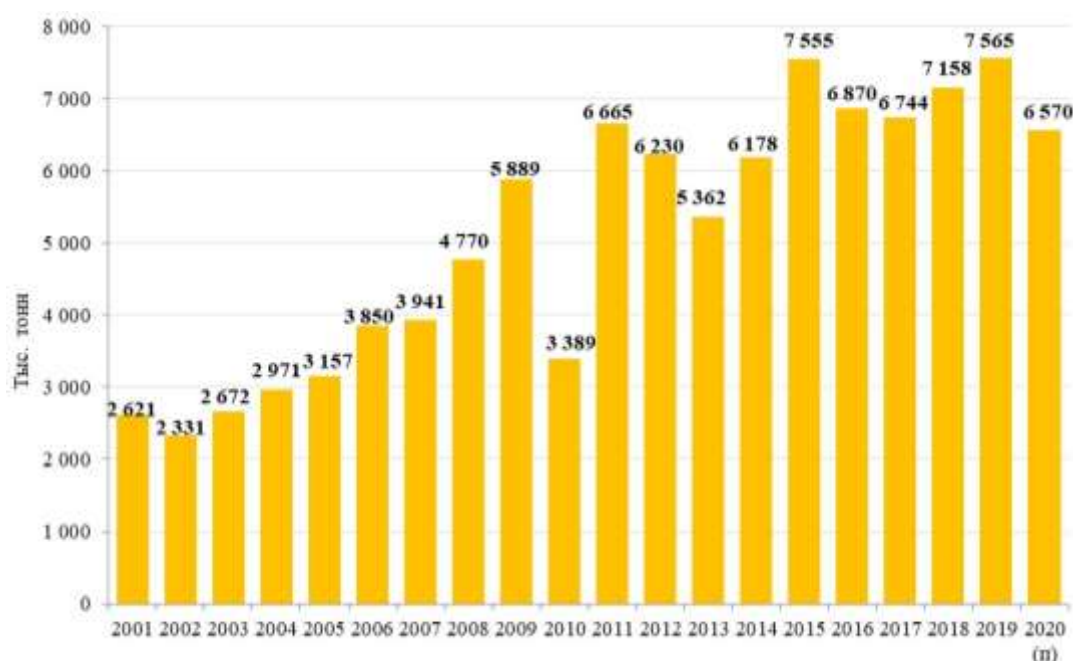


Рисунок 1.1 – Статистика валового сбора картофеля в РФ

Столь значительное снижение валового сбора картофеля связано с сокращением посадочных площадей в 2020 г. (рис. 1.2). Причиной тому послужил в 2019 году рекордный урожай за последнее десятилетие, что привело к переизбытку предложения на рынке и падению стоимости продукта [63].

Как видно из диаграммы (рис. 1.2) с 2015 года наблюдается практически стабильное снижение посадочных площадей, отводимых под возделывание картофеля. Это объясняется тем, что на протяжении последних лет отмечается сокращение среднедушевого потребления данного продукта



на сравнительно постоянном уровне (рис. 1.3) [220].

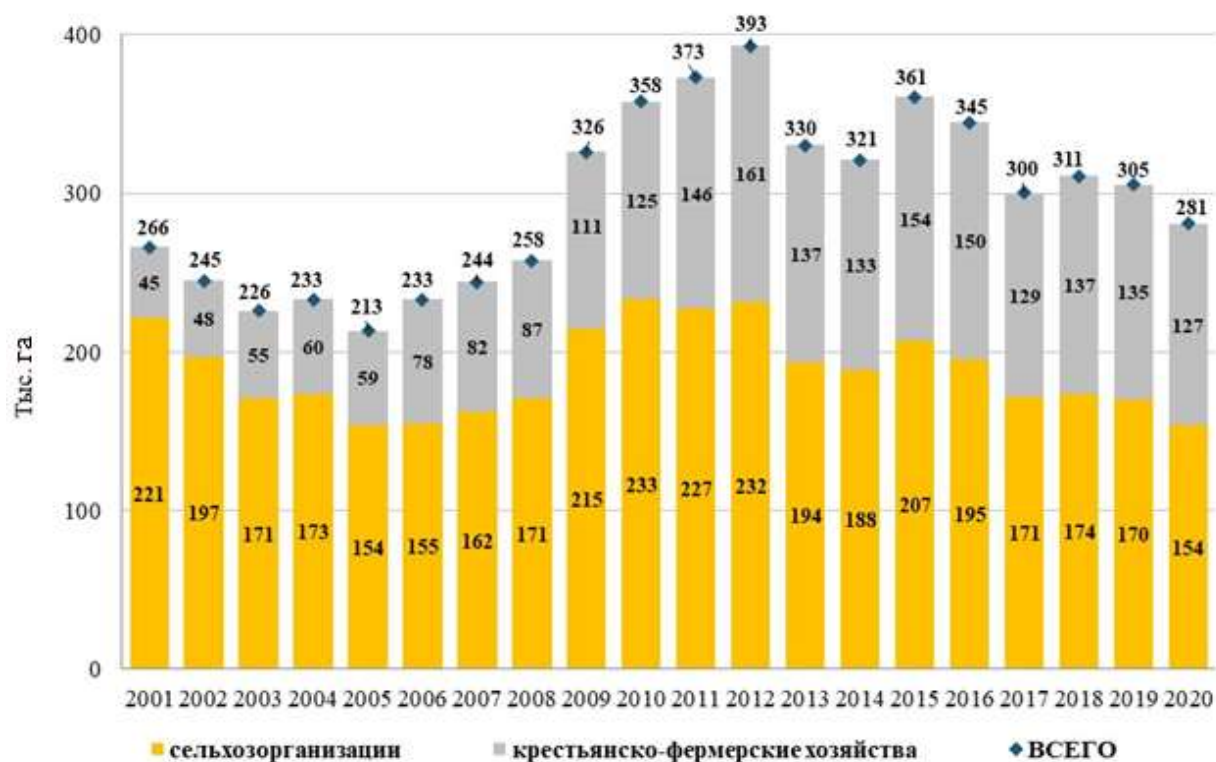


Рисунок 1.2 – Статистика посадочных площадей под картофель в РФ

При этом стоит отметить, что показатели валового сбора картофеля за рассматриваемый период времени (2015-2020 год) остаются примерно на одинаковом уровне [63], что говорит о высокой эффективности возделывания культуры [220].

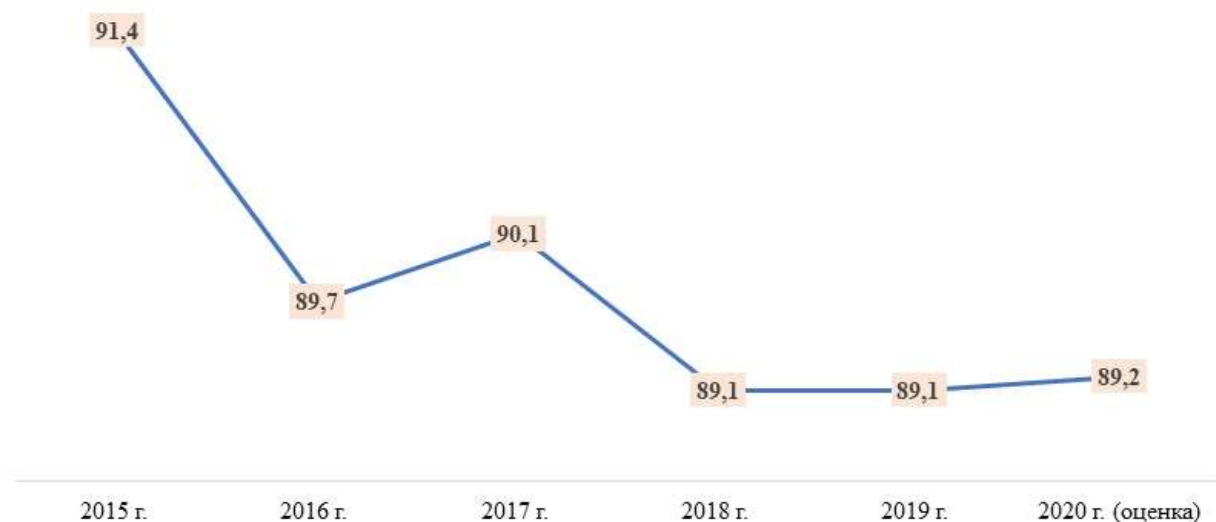


Рисунок 1.3 – Среднегодовое потребление картофеля в РФ на одного человека (кг/чел)

Среди регионов-лидеров по производству картофеля следует выделить области (рис. 1.4) [63]: Брянскую с показателем 13,6% от общего объёма; Тульскую - 7,0%; Нижегородскую - 6,5%; Астраханскую область - 4,6% и Московскую - 4,4% (Рязанская область имеет долю в 1,6% от общего объема производимого картофеля в РФ) [151].

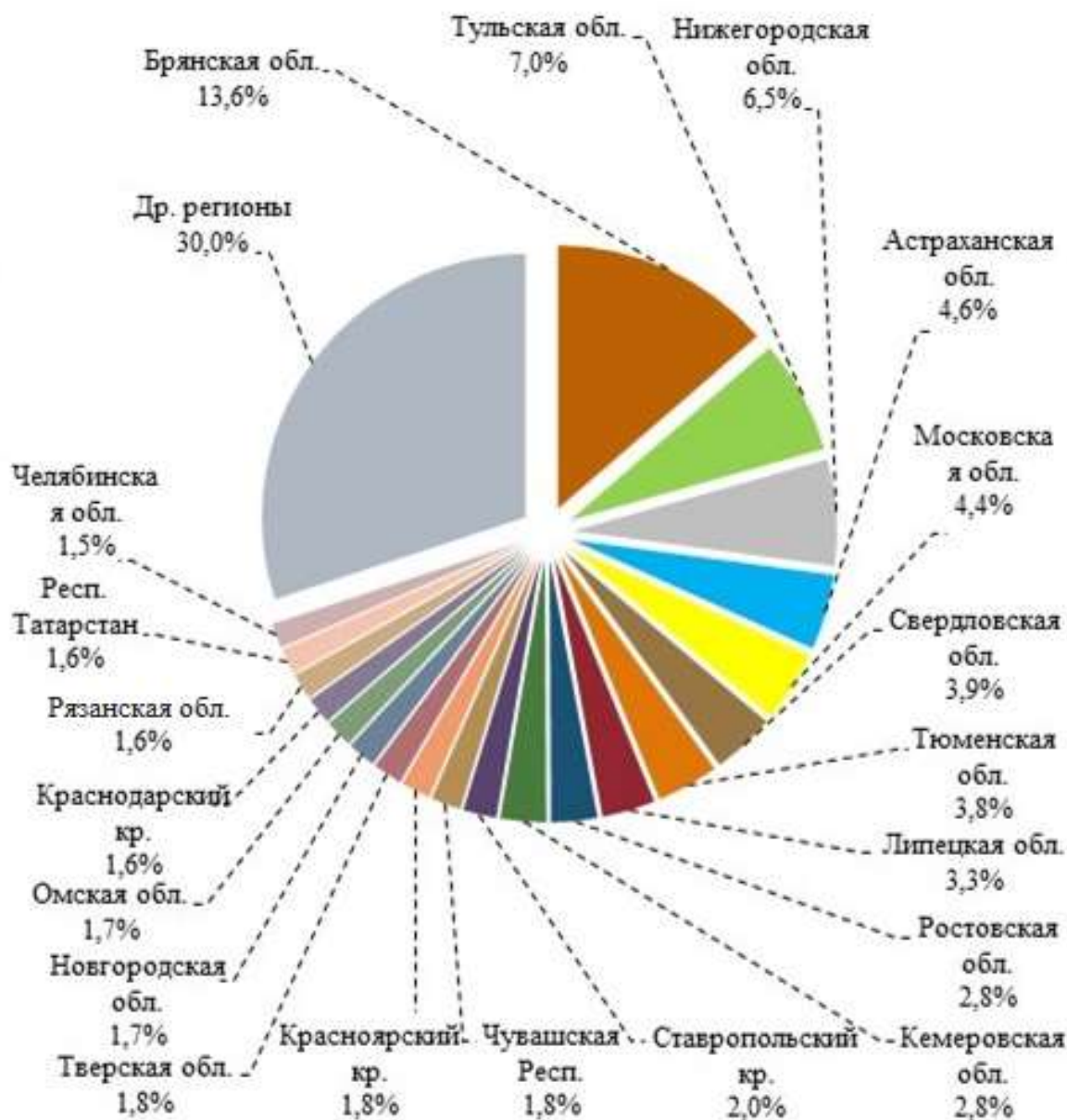


Рисунок 1.4 – Структура производства картофеля в РФ за 2020 год  
(валовый сбор в % от общего по РФ)

Стоит отметить, что производимая продукция идет не только для удовлетворения потребностей жителей РФ, но и на экспорт. Из диаграммы

следует (рис. 1.5), что за последние 5 лет существенно изменился баланс между объемом ввозимого в страну и вывозимого из нее объема картофеля. Так экспорт увеличился в 2,26 раза, а импорт упал почти на 30% [63, 186]. Учитывая сложную конкурентную борьбу на мировом продовольственном рынке можно сделать вывод, что производимая в нашей стране продукция отвечает высоким требованиям по соотношению цена/качество.



Рисунок 1.5 – Показатели импорта и экспорта картофеля в РФ (млн. т)

Кроме экспорта картофеля в чистом виде, растут объемы реализации продуктов его переработки (табл. 1.1) [63]. Так наибольшие поставки чипсов в 2019 г. были осуществлены для Казахстана (11,4 тыс. т), Беларуси (9,9 тыс. т), Азербайджана (2,5 тыс. т), а крахмала для Беларуси (1,6 тыс. т), Казахстана (0,88 тыс. т) и Украины (0,7 тыс. т).

Таблица 1.1 – Объемы продукции переработки картофеля (тонн)

| Название продукта  | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. |
|--------------------|---------|---------|---------|
| Крахмал            | 7000    | 8000    | 10000   |
| Картофельные чипсы | 144000  | 163000  | 186000  |

Продемонстрированная статистика говорит о заинтересованности крупных как отечественных, так и зарубежных сельхозпроизводителей в производстве и переработке данной культуры [48, 198, 200]. При этом рост таких показателей как валовый сбор достигается не за счет увеличения

посадочных площадей, а путем повышения урожайности картофеля. В тоже время производители этой культуры не забывают об эффективности ее возделывания [22, 64, 147, 184, 194].

На эффективность возделывания картофеля в большей мере будут влиять три составляющие [208]:

- технологии и технические средства для посадки картофеля [9];
- технологии и технические средства для ухода за картофелем;
- технологии и технические средства для уборки и последующей транспортировки продукции [5, 30, 50, 81, 83, 90, 148, 193].

При этом все три составляющие непременно должны включать высококвалифицированный персонал [208].

Стоит отметить, что цена конечного продукта зависит не только от таких показателей как: внешний вид; вид внутренней части клубня; запах и вкус; массовая доля клубней с наростами, позеленевшими участками [208], но и от массовой доли клубней с механическими повреждениями. И в этом случае основную роль играет эффективность выполнения уборочных и транспортных работ [23, 85, 95, 132, 156, 225, 226].

Рассмотрим более подробно элементы [208], влияющие на цену реализуемого картофеля (рис. 1.6). Как видно из представленной схемы, на конечный результат влияет большое количество показателей, разбитых на несколько групп: технико-эксплуатационные; технологические (показатели качества) [126], технико-экономические [155, 158] и т.д.

Согласно исследованиям ученых [73, 84, 86, 87] наибольшее влияние на качество конечного продукта [43] будут оказывать уборочные и транспортные работы. В противном случае картофель, имеющий большое количество механических повреждений будет соответствовать не категории «продовольственный» [208], а «технический» или «кормовой», а, следовательно, иметь соответствующую цену.

Применение современных комплексов технических средств [72, 101, 180] совместно с перспективными технологиями возделывания картофеля

[24, 31, 140, 215] (особенно при использовании систем «точное земледелие» и «умное фермерство») позволит добиться высоких показателей эффективности работ, а производимая при этом продукция составит достойную конкуренцию на мировом рынке продовольствия [185, 187, 188].

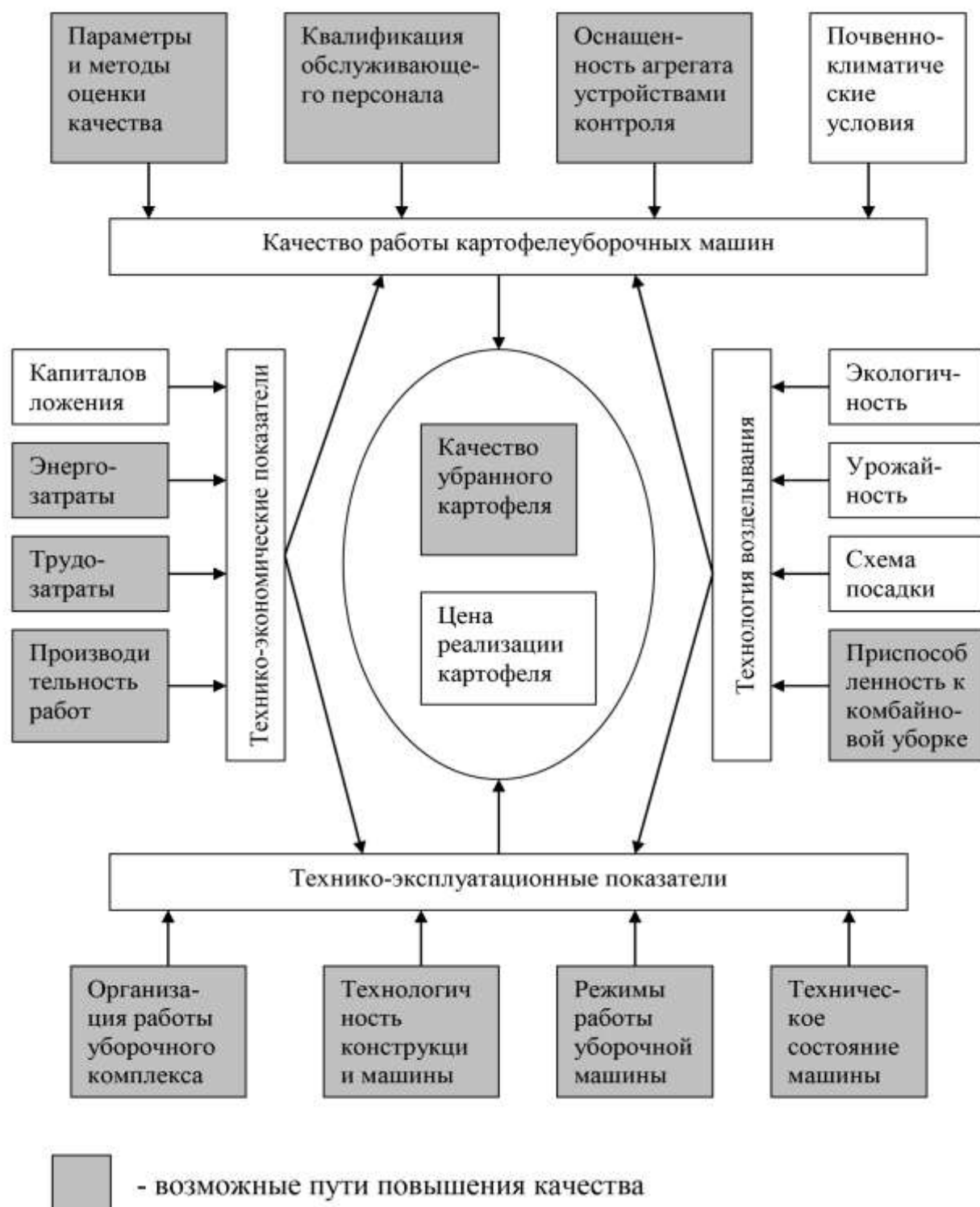


Рисунок 1.6 – Блок-схема факторов, влияющих на цену реализуемого картофеля [208]

## **1.2. Технологии и технические средства для уборки картофеля**

Согласно общеизвестной классификации [70, 84, 137] все способы уборки картофеля подразделяются на три группы: прямое комбайнирование, комбинированный и отдельный способы.

Для работы при благоприятных природно-климатических условиях наиболее распространенным является прямое комбайнирование. Данный способ может быть реализован тремя базовыми вариантами [84]:

первый – сбор урожая производится картофелеуборочным комбайном бункерного типа с периодической перегрузкой свежесобранной клубней (по мере заполнения бункера-накопителя картофелеуборочной машины) в транспортные средства;

второй – сбор урожая производится картофелеуборочной машиной элеваторного типа с постоянной перегрузкой свежесобранной клубней в рядом идущее транспортное средство [190, 191, 192];

третий – выкапывание клубней картофелекопателем с последующим ручным подбором урожая с поверхности поля. Данный способ является исключительной мерой при реализации уборки картофеля и применяется при неудовлетворительных природно-климатических условиях проведения работ [29, 68, 84, 189] и уборки урожая с поворотных полос.

В случаях, когда уборка производится при повышенной влажности почвы или на полях с низким показателем урожайности применяется комбинированный способ [84, 146]. Он может быть реализован по схемам 2+2 или 2+4. Сущность способа заключается в том, что копатель-валкоукладчик (иногда копатель-погрузчик) убирает клубни с двух (или с четырех рядков в зависимости от схемы работы) рядков и укладывает в рядом расположенные междурядья еще не убранной. После этого картофелеуборочный комбайн совершает проход и собирает весь урожай (с двух неубранных рядком и уже выкопанные клубни из междурядий). Данный способ позволяет повысить производительность картофелеуборочной машины, сократить количество почвенных примесей в картофельном ворохе

и снизить количество поврежденных клубней [84].

В случае, когда уборка картофеля производится при повышенной влажности и клубненосный почвенный пласт приобретает пластичное состояние, может применяться раздельный способ [84, 146]. Он близок к комбинированному (как по схеме, так и по способу реализации) за исключением того, что между моментом, когда был уложен валок и когда был произведен подбор картофелеуборочной машиной проходит некоторый промежуток времени. Он необходим для удаления избыточной влаги из клубненосного вороха и для повышения эффективности последующего отделения из него почвенных примесей.

Во всех случаях свежееубранный картофель перевозится в пункт послеуборочной доработки [195] или промежуточного хранения клубней при помощи транспортных средств (самосвальных либо с донным выгрузным устройством).

Помимо базовых вариантов уборки картофеля существуют и узкоспециализированные [37]. К ним можно отнести, например использование картофелеуборочной машины Imas Special (рис. 1.7). В этом случае, после подкопа клубневого гнезда и отделения из него почвенных примесей, картофельный ворох поступает на инспекционный стол машины, где в ручную оператором производится его фасовка в мягкую тару или ящики. Среди преимуществ данного способа стоит выделить минимальное динамическое воздействие на клубни (например, при загрузке в бункер-накопитель машины или перегрузке в транспортное средство) [235], возможность быстрой отправки в пункт назначения груза, снижение механических повреждений клубней при транспортировке (благодаря использованию транспортной тары) [37]. При этом можно выделить существенный недостаток - низкую производительность работы.

В рамках научно-исследовательских работ сотрудников ФГБОУ ВО РГАТУ совместно с ЗАО «Колнаг» г. Коломна Московской области был разработан способ уборки картофеля и устройство для его осуществления в



хозяйствах малых форм [109, 182].

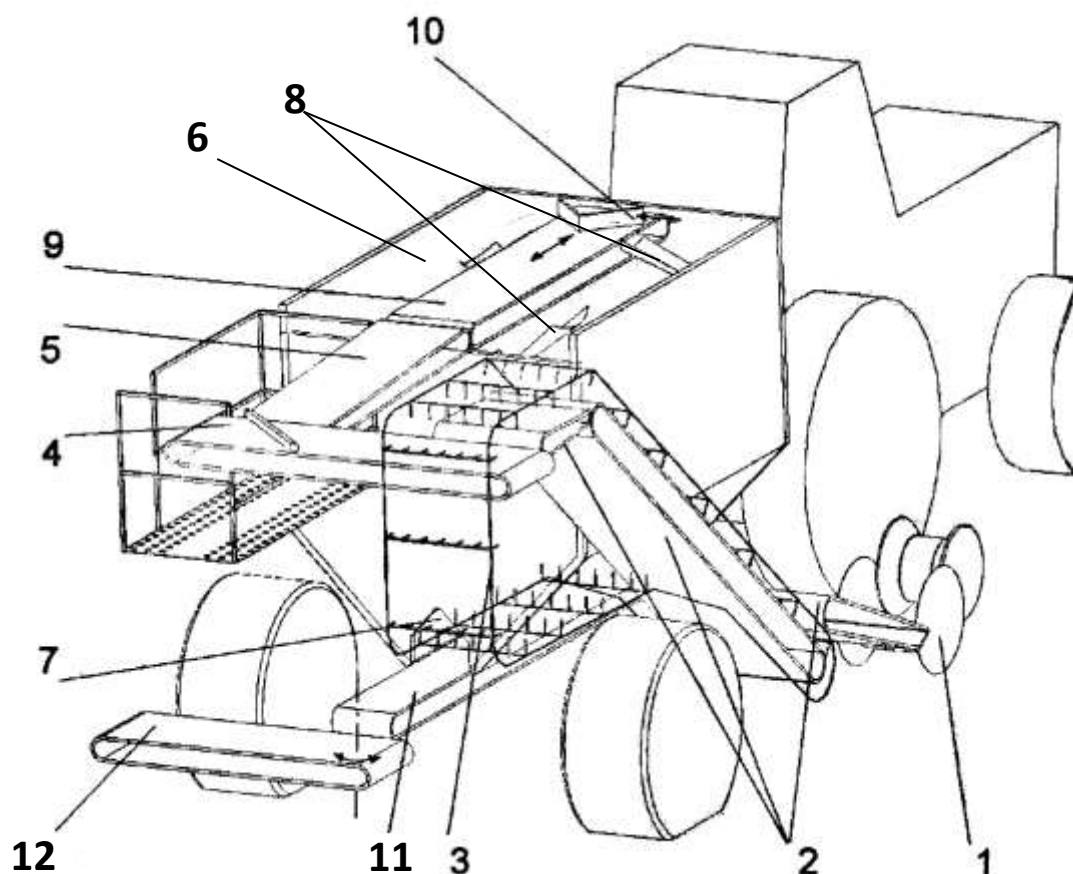


Рисунок 1.7 – Применение картофелеуборочного комбайна Imas Special

Суть предложенного способа заключалась в следующем [109]: на небольшом поле, отведенном для возделывания картофеля, урожай собирался картофелеуборочной машиной с бункером повышенной вместимости (рис. 1.8). После того как бункер-накопитель полностью заполнялся свежесобраным картофелем машина сама доставляла его к пункту послеуборочной доработки, расположенному на краю поля (данное предложение весьма целесообразно при небольших размерах картофельных полей). После бережной выгрузки клубней, машина возвращалась на поле для продолжения работы.

Данный способ позволял сократить комплекс машин, задействованных при уборке картофеля (что немаловажно для картофелеводческих хозяйств малых форм) [109], а применение на комбайне устройств бережного обращения со свежесобранными клубнями (системы каскадных лотков для загрузки клубней в бункер повышенной вместимости, система разгрузки бункера) добиться высоких качественных показателей работы.





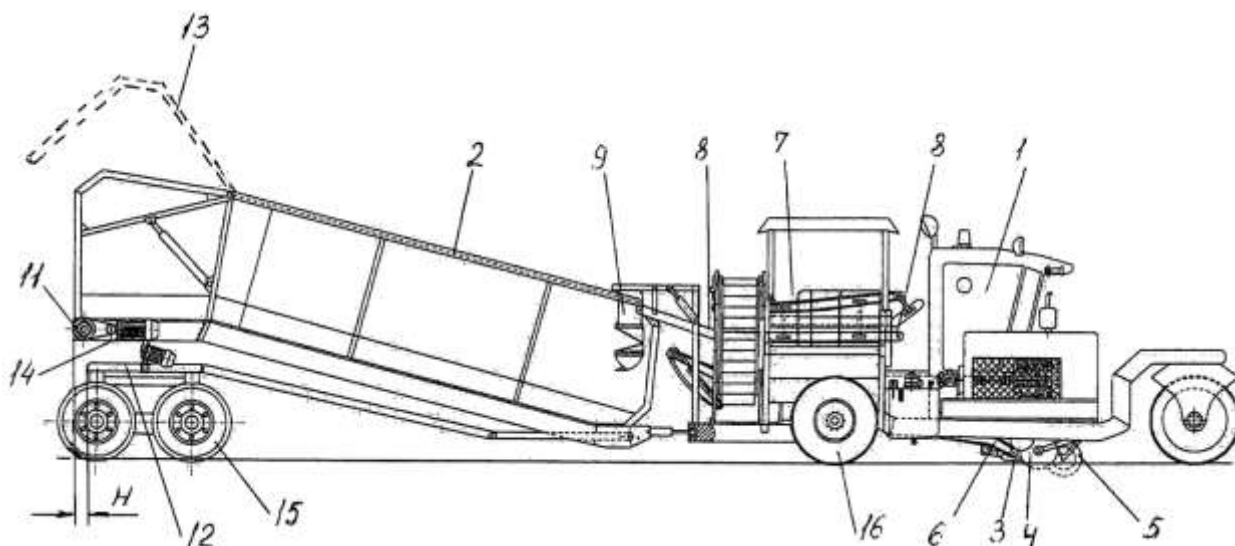
1 – подкапывающий рабочий орган; 2 - сепарирующие элеваторы; 3 - ботвоудаляющий транспортер; 4 - поперечная сепарирующая горка; 5 - инспекционный стол; 6 - бункер-накопитель; 7 – выгрузное окно; 8 – лотки; 9 - продольный транспортёр; 10 – клубнеотражатель; 11 и 12 – выгрузные транспортеры.

Рисунок 1.8 – Схема картофелеуборочной машины с бункером повышенной вместимости [109]

В 2010 году Туболевым С.С., Колчиным Н.Н., Пшеченковым К.А. и другими был разработан способ механизированной уборки и послеуборочной обработки корнеклубнеплодов и система машин для его осуществления [119]. Отличительная особенность данного решения заключалась в том, что картофельный ворох после подкопа и отделения почвенных и растительных примесей поступает в сменный прицепной бункер. После заполнения его отцепляют и транспортируют к пункту послеуборочной доработки. Тем временем, присоединив пустой бункер, уборочная машина продолжает свою

работу практически без простоя. Данный способ позволял сократить комплекс машин, задействованных в уборочном процессе, снизить механические повреждения клубней [71], за счет исключения этапа перегрузки груза из бункера-накопителя комбайна в кузов ТС.

Реализация устройства для работы по данной технологии представлена на рисунке 1.9.



1 – картофелеуборочная машина; 2 – сменный прицепной бункер; 3 – лемех; 4 – отрезной диск; 5 – копирующий каток; 6 – сепарирующий элеватор; 7 – резервный бункер; 8 – дно-конвейер; 9 – каскадное устройство; 11 – вал выгрузного конвейера; 12 – рама прицепного бункера; 13 – задняя стенка бункера; 14 – электродвигатель; 15 – колесо прицепного бункера; 16 – колесо комбайна.

Рисунок 1.9 – Схема картофелеуборочной машины с прицепным бункером

Подобный способ выполнения уборочных работ описан в патенте Г.К. Рембаловича, С.Н. Борычева, И.А. Успенского и других [117] и авторском свидетельстве Н.Н. Колчина, К.А. Пшеченкова, В.И. Старовойтова и других [1].

Данный подход был воплощен в жизнь федеральным научным агроинженерным центром ВИМ как система сменных кузовов (Вимлифт) (рис. 1.10). В настоящее время производство подобной техники прекращено.

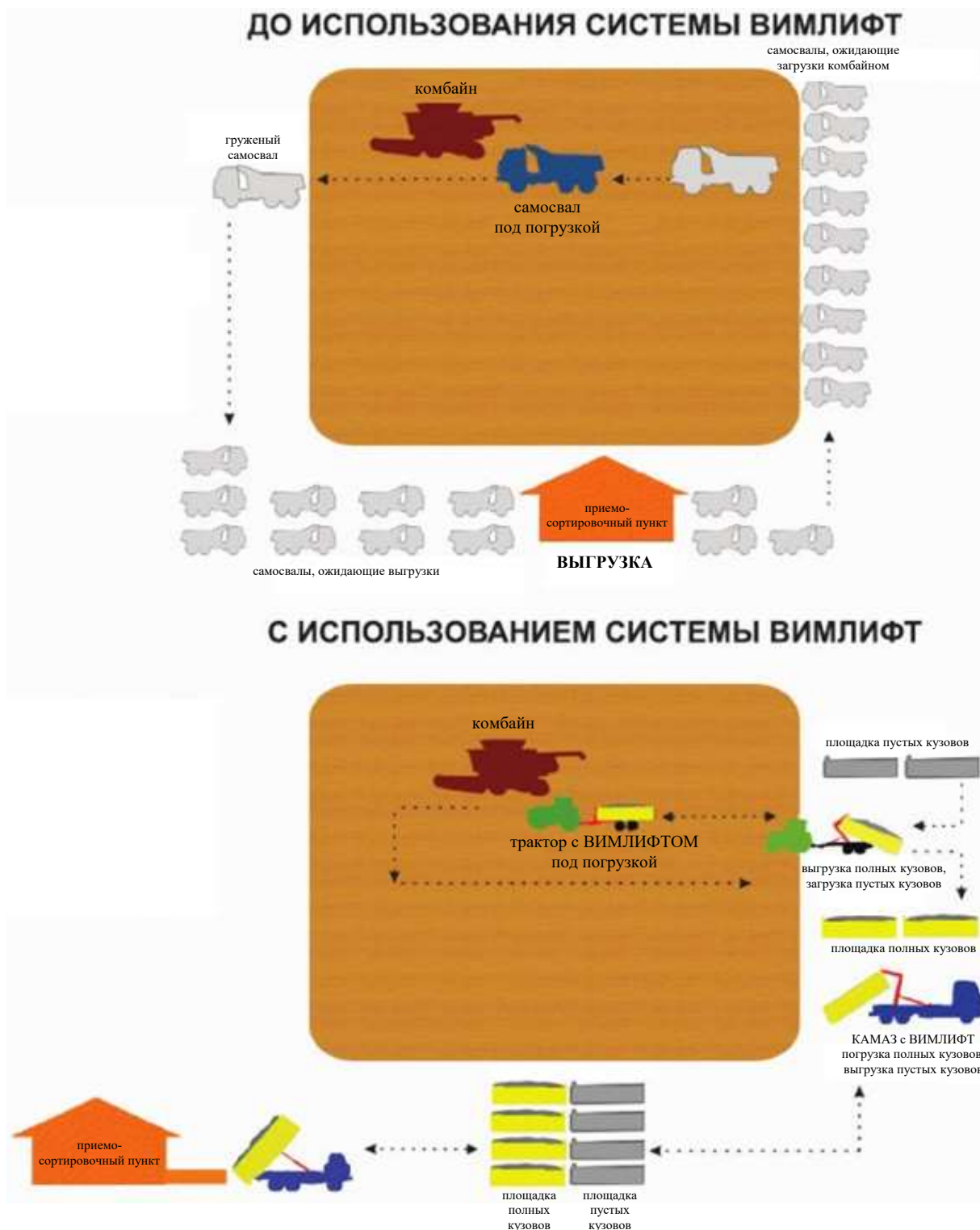


Рисунок 1.10 – Схема использования сменных кузовов [61]

В настоящее время в РФ на рынке картофелеуборочной техники можно встретить продукцию таких фирм как GRIMME, завод «КОЛНАГ», WM-Kartoffeltechnik, Unia, Агротехмаш и прочие. Рассмотрим модельный ряд более подробно.

Лидером на рынке уборочной техники является компания GRIMME. Ее модельный ряд включает:

- картофелекопатель WH 200, картофелекопатель-валкоукладчик WR 200, картофелекопатели-погрузчики GT 170 и GT 300.
- комбайны бункерного типа: однорядные SE 75-20, SE 140, SE 75-55; двухрядные SE 260, SE 150-60, EVO 280, EVO 290, SV 260;
- самоходные уборочные машины: двухрядный комбайн элеваторного типа VARITRON 220 Platinum (с промежуточным бункером на 2 тонны); двухрядный комбайн бункерного типа VARITRON 270 PLATINUM (и версия TERRA TRAC с перегрузочным устройством для непрерывной работы машины); четырехрядный комбайн бункерного типа VENTOR 4150 и четырехрядный комбайн бункерного типа VARITRON 470 с бункером непрерывной работы

На заводе «КОЛНАГ» выпускают:

- комбайны бункерного типа: однорядный AVR Spirit 6100; двухрядные AVR Spirit 5200, AVR Spirit 6200 и AVR Spirit 9200;
- комбайн элеваторного типа AVR Lynx;
- самоходный бункерный картофелеуборочный комбайн AVR Puma 4.0.

Компания WM-Kartoffeltechnik:

- картофелекопатели WM 1450 VR, WM 1700 VR, WM 2100 VR;
- однорядные бункерные картофелеуборочные комбайны WM 1733, 3000/4000; WM-4500 и WM-6000;
- двухрядные бункерные картофелеуборочные комбайны WM 6500 и WM 8500 / WM 8500 L.

Польский производитель сельхозтехники UNIA выпускает следующий модельный ряд картофелеуборочной техники:

- картофелекопатели WEGA 1400 UNO/1600 DUO/1600 PLUS;
- однорядные картофелеуборочные комбайны: бункерного типа БОЛКО и PYRA 1600, элеваторного типа БОЛКО Т и с площадкой для загрузки убранных картофеля в тару БОЛКО S и PYRA 1600 S.

Небольшую долю рынка занимают рязанские производители картофелеуборочной техники. Так ООО АгроСпецАнгар выпускает двухрядные бункерные комбайны ККУ-2А и КПК-2-01, ООО Агротехмаш - ККР-2.

Кроме выпускаемых в настоящее время картофелеуборочных машин на полях РФ можно встретить и модели, снятые с производства, например GRIMME DR 1500, AVR 220 BK Variant и прочее.

Как видно из представленного обзора столь обширный выбор картофелеуборочной техники способен в полной мере удовлетворить потребности сельхозпроизводителей [72, 180, 181]. Поэтому выбор конкретного образца техники будет зависеть от совокупности факторов, определяющих специфику производства: объемы посадочных площадей, номенклатура уже имеющейся в хозяйствах техники, финансовые возможности и так далее.

### **1.3. Транспортные работы при уборке картофеля**

Вывоз свежееубранного картофеля с поля осуществляется при помощи самосвальных грузовых автомобилей, грузовых автомобилей с самосвальными прицепами или полуприцепами либо тракторным транспортом (с самосвальными прицепами или полуприцепами). В зависимости от того каким образом осуществляется сбор урожая (применением комбайнов бункерного либо элеваторного типа) будет производиться выбор способа транспортировки груза [84, 156]. При работе комбайна элеваторного типа наиболее эффективным решением является использование тракторной техники (так как упрощается синхронизация режима движения уборочной и транспортной техники). Для обслуживания комбайна бункерного типа целесообразнее использовать грузовые автомобили с самосвальными кузовами повышенной вместимости (как у самого автомобиля, так и на прицепе/ полуприцепе) [84].

При этом стоит заметить, что для обеспечения беспростой работы

одного картофелеуборочного комбайна достаточно иметь в своем арсенале одно-два транспортных средства, то для копателей-погрузчиков потребуются в несколько раз больше [84]. Если на поле работает несколько уборочных машин, то в данном случае применяется групповой метод (комбайны обслуживаются группой ТС по мере необходимости).

При этом современный уровень развития техники (особенно это явно прослеживается на картофелеуборочных машинах фирмы GRIMME) позволяет картофелеуборочным машинам продолжать работу в случае отсутствия ТС – в режиме «non-stop». Суть которого заключается в возможности выгрузки свежееубранного картофеля из бункера-накопителя комбайна в междурядья неубранных рядков (рис. 1.11).



Рисунок 1.11 – Работа картофелеуборочной машины бункерного типа с системой «NonstopBunker»

В настоящее время широкое распространение в картофелеводческих хозяйствах имеют универсальные транспортные средства. Далее рассмотрим более подробно их в соответствии со следующей группировкой: самосвальные грузовые автомобили (табл. 1.2), самосвальные прицепы (табл. 1.3), самосвальные полуприцепы (табл. 1.4).

В связи с тем, что рассмотренные выше самосвальные ТС являются

универсальными, то и эффективность их использования при транспортировке свежесобранного картофеля оставляет желать лучшего. Особенно это касается такого показателя как количество клубней, получивших механические повреждения в процессе внутрихозяйственных перевозок [2, 93, 195].

Таблица 1.2 - Автомобили-самосвалы сельскохозяйственного назначения [233]

| <b>Марка</b>      | <b>Грузоподъемность, т</b> | <b>Конструктивные особенности</b> |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| ГАЗ-САЗ-4509      | 4,0                        | Разгрузка на 3 стороны            |
| КамАЗ-452803      | 10                         | Разгрузка на 2 боковые стороны    |
| «Урал»-5557-40    | 7                          | Разгрузка на 2 боковые стороны    |
| ЗИЛ-САЗ-1503      | 3                          | Разгрузка назад                   |
| ЗИЛ-«Сармат»-4517 | 5,5                        | Разгрузка на 2 боковые стороны    |
| КамАЗ-55102       | 7,0                        | Разгрузка на 2 боковые стороны    |
| ЗиЛ-ММЗ-4516      | 10                         | Разгрузка на 2 боковые стороны    |

Таблица 1.3 - Самосвальные прицепы [233]

| <b>Марка</b>               | <b>Грузоподъемность, т</b> | <b>Конструктивные особенности</b> |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| «Сармат»-852510            | 5,5                        | Разгрузка на 3 стороны            |
| «Сармат»-85720F            | 13,1                       | Разгрузка на 2 боковые стороны    |
| 2ПТС-5                     | 5,0                        | Разгрузка на 3 стороны            |
| 2ПТС-4 мод. 887Б           | 4,0                        | Разгрузка на 3 стороны            |
| PRONAR T672/1              | 10                         | Разгрузка на 3 стороны            |
| PRONAR T780                | 16,3                       | Разгрузка на 3 стороны            |
| JOSKIN Drakkar 6600/23D150 | 18                         | Разгрузка назад                   |
| JOSKIN Drakkar 8600/31T150 | 28                         | Разгрузка назад                   |

Таблица 1.4 - Самосвальные полуприцепы [233]

| <b>Марка</b>      | <b>Грузоподъемность, т</b> | <b>Конструктивные особенности</b> |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| «Сармат»-952610   | 5,3                        | Разгрузка на 3 стороны            |
| «Сармат»-95572-10 | 12,0                       | Задняя разгрузка                  |

| Марка                 | Грузоподъемность, т | Конструктивные особенности     |
|-----------------------|---------------------|--------------------------------|
| «Сармат»-955740       | 14,0                | Задняя разгрузка               |
| «Сармат»-95574С       | 11,0                | Разгрузка назад                |
| «Сармат»-95575В       | 11,0                |                                |
| «Сармат»-95575С       | 7,0                 | Разгрузка назад                |
| «Сармат»-955780       | 6,7                 | Разгрузка на 3 стороны         |
| мод.95032 (ОАО «ИМЗ») | 7,2                 | Разгрузка на 3 стороны         |
| ЗПТС-6,5 мод.85491    | 6,5                 | Разгрузка на 2 боковые стороны |
| Fliegl DHKS 350       | 28,4                | Разгрузка назад                |
| Grunwald Gr-TSt 22    | 31,5                | Разгрузка назад                |

К приоритетным направлениям развития транспортных средств в настоящее время следует отнести снижение повреждений сельскохозяйственной продукции при перевозке [47, 210, 247], а также повышение производительности данного процесса, за счет применения кузовов повышенной вместимости.

Основываясь на этом наибольший интерес для сельхозпроизводителей вызывает специализированная картофелеуборочная техника. В первую очередь стоит отметить линейку картофелевозов БАЛТ, оснащенных гасителями энергии падения клубней и выгрузными устройствами (рис. 1.12):

- грузовые автомобили БАЛТ (рис. 1.12 а).
- 2-х скатные прицепы (рис. 1.12 б).
- 2-х скатные полуприцепы.



а)



б)

а - автомобиль БАЛТ; б – прицеп БАЛТ.

Рисунок 1.12 – Картофелевозы БАЛТ



Аналогичную продукцию выпускает машиностроительный завод «Тонар», среди которых особое внимание заслуживает:

- прицеп тракторный ПТ4 с объемом кузова 22 м<sup>3</sup> (рис. 1.13 а);
- полуприцеп-самосвал с донной разгрузкой Тонар-9591 с объемом кузова 40 м<sup>3</sup> (рис. 1.13 б).



а)

б)

а - прицеп тракторный ПТ4; б – полуприцеп-самосвал Тонар-9591.

Рисунок 1.13 - Транспортные средства ТОНАР

Кроме описанных выше примеров специализированных транспортных средств список могут дополнить тракторный прицеп Brettmeister КЗ, прицеп-самосвал JOSKIN Trans-SPACE 9200 и так далее [218, 219, 239].

Подводя итоги данного раздела можно сделать вывод, что отечественный рынок наполнен как универсальными (например, самосвал КамАЗ-55102 или ТТА ЗПТС-6,5), так и специализированными транспортными средствами (например, картофелевозы БАЛТ), способными выполнять возложенные на них функции на высоком технологическом уровне.

#### **1.4. «Умное фермерство» в хозяйствах РФ**

Постоянный рост требований потребителей к качеству сельскохозяйственной продукции создает необходимость в

совершенствовании не только технической составляющей производства, но и технологической [181].

Классическое значение термина «машинное производство картофеля» морально устарело и на замену ему пришел термин «умное производство» или «умное фермерство» [11, 88, 228].

На данном этапе развития производства можно выделить четыре направления «умного фермерства» [231]:

- в первую очередь это точное земледелие;
- применение сельскохозяйственных роботов и интеллектуальных систем [3, 51, 142, 165, 199];
- использование приложений (AIoT-платформы/AIoT-приложения) для мониторинга в режиме реального времени данных, поступающих с датчиков техники (уборочных машин, транспортных средств [94, 121, 123], пунктов послеуборочной доработки и так далее);
- систем анализа полученных данных (Big Data) и помощи в принятии управленческих решений.

Обобщенная структура рынка «умного фермерства» в настоящее время выглядит следующим образом (рис. 1.14).

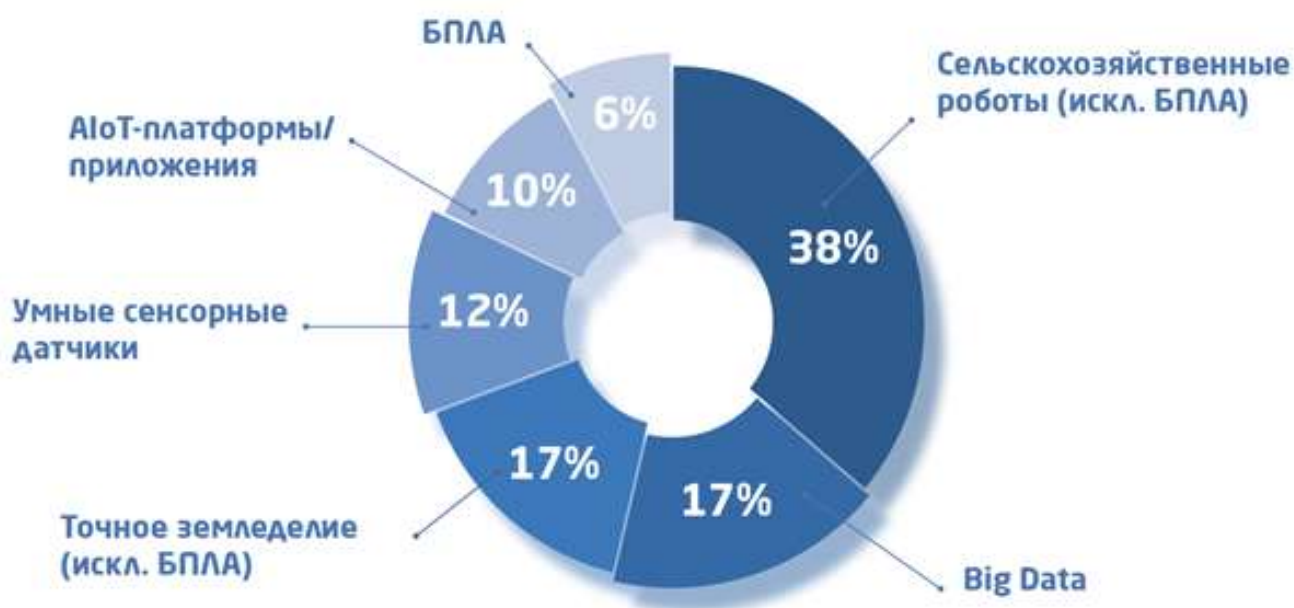


Рисунок 1.14 – Мировая структура рынка элементов «умного фермерства»

Среди мировых лидеров в области разработки и реализации интеллектуальных решений для сельского хозяйства можно выделить компании [96, 164]: John Deere (США), CLAAS (Германия), CNH Industrial (Нидерланды), Farmers Edge (Канада) и другие.

Среди игроков Российского рынка следует выделить: «СЕТЬ 868» (среда сбора данных от различных устройств и мониторинг их показаний в режиме реального времени), «Беспилотные технологии», «ExactFarming» (платформа управления фермерским хозяйством) и прочие.

Направление - точное земледелие включает в себя следующие инструменты: системы навигации и телеметрии; дистанционное зондирование угодий; геоинформационные системы (ГИС) и так далее.

направление - сельскохозяйственные роботы включают следующие области:

беспилотные ТС или системы помощи оператору;  
автоматизированные системы выращивания сельскохозяйственных культур и т.д.

Направление - AIoT-проекты (Agricultural Internet of Things) состоят из:

- датчиков, сенсоров и прочее;
- каналов связи (например, GPS/ГЛОНАСС);
- сами AIoT-платформы и AIoT-приложения.

Направление - Big Data совокупность технических и программных продуктов, цель которых помощь фермеру в принятии оперативных решений в реальном времени.

В общем виде интеллектуальный комплекс для помощи в управлении фермерским хозяйством представлен на рисунке 1.15. Он включает все компоненты основных направлений «умного фермерства»: датчики регистрирующие параметры, каналы связи, систему обработки массива данных и пользовательские приложения для контроля в режиме реального времени ситуации на производстве.

Бесспорным достоинством данного подхода (построения системы

помощи в принятии управленческих решений) является возможность для фермера приобрести полный и сопряженный интеллектуальный комплекс.

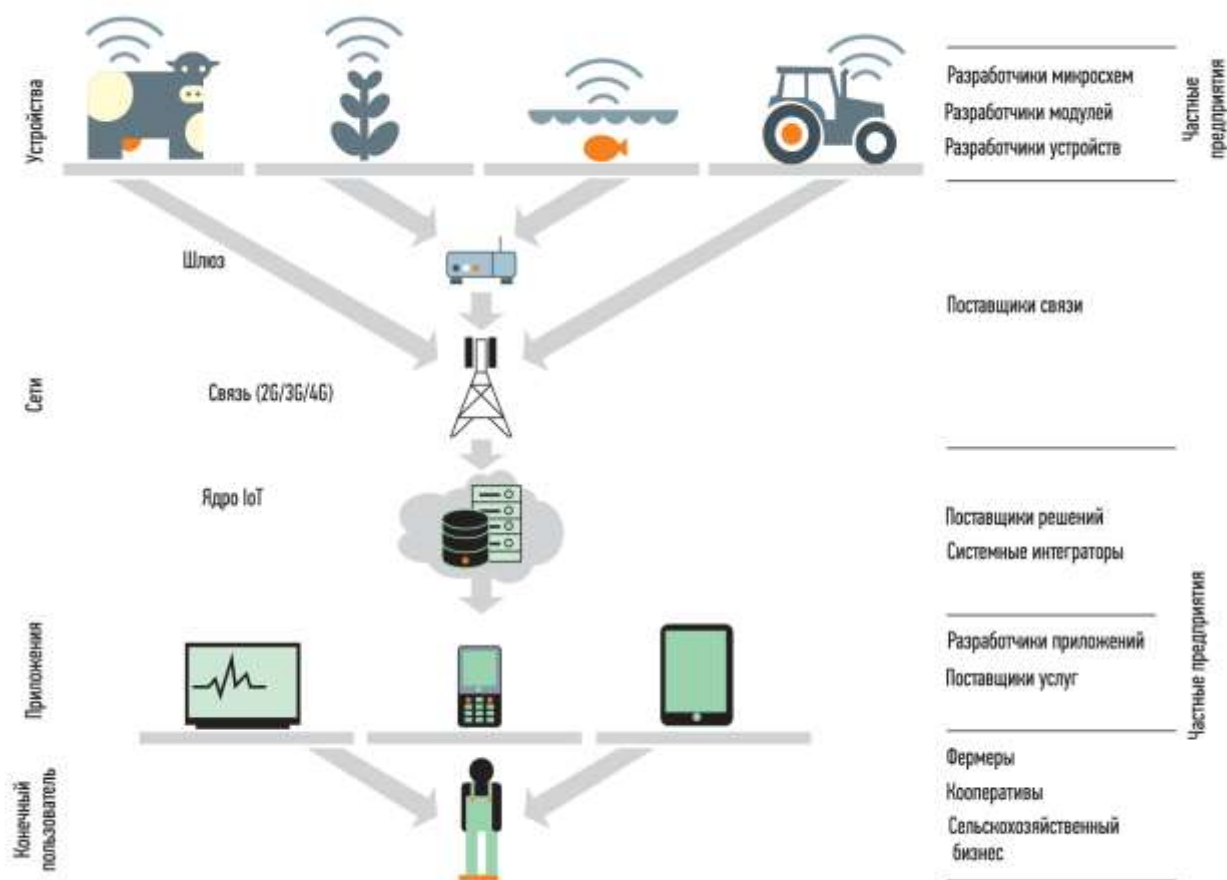


Рисунок 1.15 – Мировая структура рынка элементов «умного фермерства»

В качестве примера рассмотрим несколько разработок интеллектуальных систем фирмы John Deere. В первую очередь отметим интернет платформу Operations Center и его мобильную версию Operations Center Mobile. При помощи данного приложения оператор в любое время может получить следующую информацию:

- об операционном центре John Deere
- о запланированных работах;
- об урожайности, обработке почвы [67, 133, 213] и т.д.
- о производительности выполняемых операций;
- о размере конкретного поля;
- о списке полей и их границах;

- об истории местоположений, времени работы, уровня топлива каждой машины [157] и т.д.

Следующим интересным решением является система автоматического вождения AutoTrac. Она предотвращает возникновение перекрытий или пропусков при обработке поля, что упрощает работу оператора и обеспечивает максимальную производительность техники. Система реализуется в трех вариантах (рис. 1.16), причем самая совершенная из них (RTK) – с точностью 2,5 см.

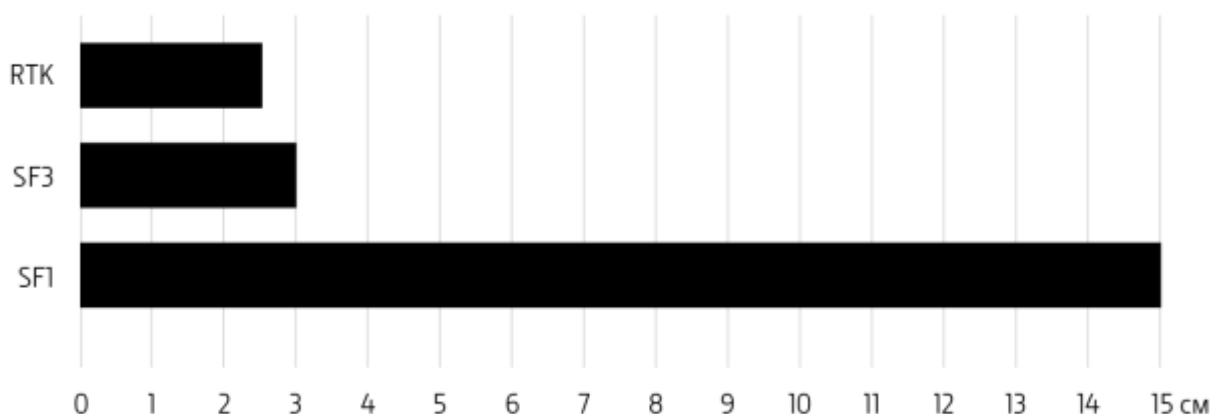


Рисунок 1.16 – Варианты системы AutoTrac John Deere

Компания GRIMME в свою очередь ведет разработки интеллектуальных систем для картофелеуборочной техники. Здесь в первую очередь стоит отметить:

- системы наблюдения за работой рабочих органов картофелеуборочной машины: Visual Protect, Procam, Smartview;
- система Speedtronic обеспечивает автоматическую регулировку линейной скорости перегрузочного устройства копателей погрузчиков серии GT и SV либо сепарирующих устройств картофелеуборочных комбайнов серии EVO и SE;
- система Terracontrol обеспечивает автоматическую регулировку давления на гребень и глубины подкопа почвенного пласта;
- система картирования урожайности - на основании данных, поступающих с картофелеуборочных машин, возможно составление карты

поля с отображением отдельных участков с высокой и низкой урожайностями картофеля.

Для обмена данными в режиме реального времени между сельскохозяйственными машинами и мобильными приложениями (например, Farm Management Information System) разработана веб-платформа Agrirouter.

Рассмотренные выше интеллектуальные системы не являются комплексным решением проблем возделывания сельскохозяйственных культур, а лишь инструментом для достижения поставленной цели – повышения эффективности производства. При возделывании картофеля, например на этапе уборки, более важным является параметр сохранности продукции [76]. Следовательно, при оптимизации данного процесса следует опираться на такие режимы работы машин (как транспортных, так и уборочных) [46], при которых показатели потерь клубней и их повреждений будут минимальны, а чистота картофельного вороха максимальна.

Исходя из вышеописанного, следует, что построение интеллектуальных систем для отдельных этапов возделывания картофеля (а именно уборки) необходимо учитывать корреляционные связи технологических и эксплуатационных параметров уборочных и транспортных машин.

## **1.5. Исследование уборочных и транспортных работ при производстве картофеля**

### **1.5.1. Анализ факторов влияния на технологические показатели работы картофелеуборочных машин**

В процессе производства картофеля неизбежны потери. Причем в данном случае речь идет не только про клубни, оставленные в почве или на поверхности поля, но также и имеющие механические повреждения, так как они влияют на потребительские качества продукта и существенно сокращают срок его хранения.

Из материалов работы С.В. Заводнова [57] следует, что доля поврежденных клубней в ворохе на 52 - 56% зависит от внутренних факторов

(биологических особенностей сорта картофеля) и лишь на 20 - 22% от внешних.

Наиболее значимым внутренним фактором является биологическая зрелость клубня [25]. Несоблюдение данного условия (начало проведение уборочных работ до полного созревания картофеля) ведет к резкому увеличению таких повреждений как сдир кожуры.

По мнению С.Н. Борычева [19] к внешним факторам, оказывающим влияние на повреждение клубней, относятся:

- природно-климатические условия;
- тип (по механическому составу) и влажность почвы;
- технология проведения уборочных работ [145];
- технические и эксплуатационные характеристики комплекса технических средств, применяемых при уборке картофеля;
- геометрические параметры поля и удаленность его от места временного/постоянного складирования картофеля и т.д.

В своих исследованиях Н.И. Верещагина установил [25], что в зависимости от применяемого комплекса технических средств (уборочных машин, транспортных средств, приемных бункеров, сортировальных установок и прочего) и технологии, по которой он работает (поточная, прямоточная или перевалочная (табл. 1.5), доля поврежденных клубней от общей массы может составлять более 60 %, основная часть которых приходится на картофелеуборочные машины и установки послеуборочной доработки (и весомая часть на транспортировку, примерно 5-10% [25, 27]).

Таблица 1.5 – Доля поврежденных клубней (по массе) в зависимости от применяемой технологии уборки [84]

| Показатель                                | Технологии уборки |              |             |
|-------------------------------------------|-------------------|--------------|-------------|
|                                           | поточная          | перевалочная | прямоточная |
| Механические повреждения клубней общие, % | 66,4              | 31,3         | 20,2        |

Наиболее благоприятная температура для проведения уборочных работ находится в диапазоне от 10 до 16 °С [57]. В случае ее выхода за нижнюю границу (ниже 10 °С) на каждый градус прирост повреждений клубней составляет 10% [57]. Данные исследования были проделаны и опубликованы Н.И. Верещагиным [25]. При этом установлено, что температура окружающей среды в большей мере влияет на повреждаемость клубней, чем влажность почвы (рис. 1.17).

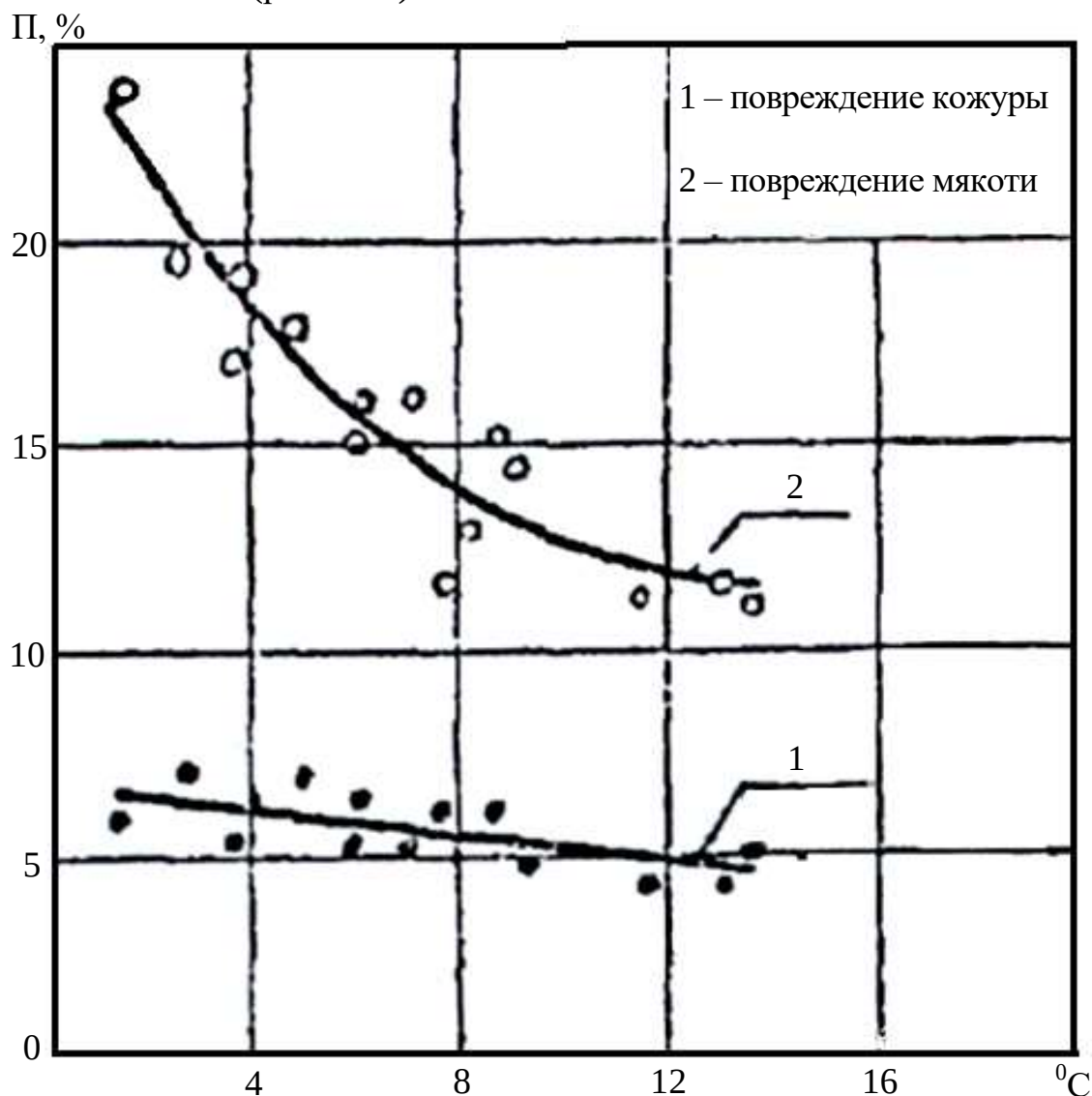


Рисунок 1.17 - Зависимость количества клубней, получающих механические повреждения от температуры воздуха во время уборки [25]

Если же рассматривать такой показатель как влажность почвы, то существенное увеличение количества клубней, получающих механические



повреждения, регистрируется при значениях от 19 до 25 % (при дальнейшем повышении влажности почвы существенный рост количества травмированных клубней не наблюдается) [25].

Влажность почвы свыше 25 % наоборот может повлиять на снижение повреждений клубней благодаря тому, что образующаяся в этом случае вязкая масса будет гасить энергию взаимодействия корнеплодов с поверхностями рабочих органов машин [166] либо между собой (за счет налипания почвы на поверхности рабочих органов машин и самих клубней).

При этом необходимо учитывать не только значение данного показателя (влажность почвы), но также и тип почвы (классификация по механическому составу).

В своих исследованиях Костенко М.Ю. отмечал [77, 205], что эффективная работа картофелеуборочных машин на тяжелых почвах проблематична, а при ее повышенной влажности практически неосуществима. Данные условия в первую очередь оказывают воздействие на функционирование подкапывающих и сепарирующих органов [207]. Так первые не справляются с крошением клубненосного пласта, а вторые с выделением из него почвенных примесей.

По мнению Петрова Г.Д. [129] работоспособность картофелеуборочных комбайнов на почвах разных типов (классификация по содержанию физической глины) и значений влажности выглядит следующим образом (рис. 1.18).

На основании представленной диаграммы можно сделать следующие выводы [129]:

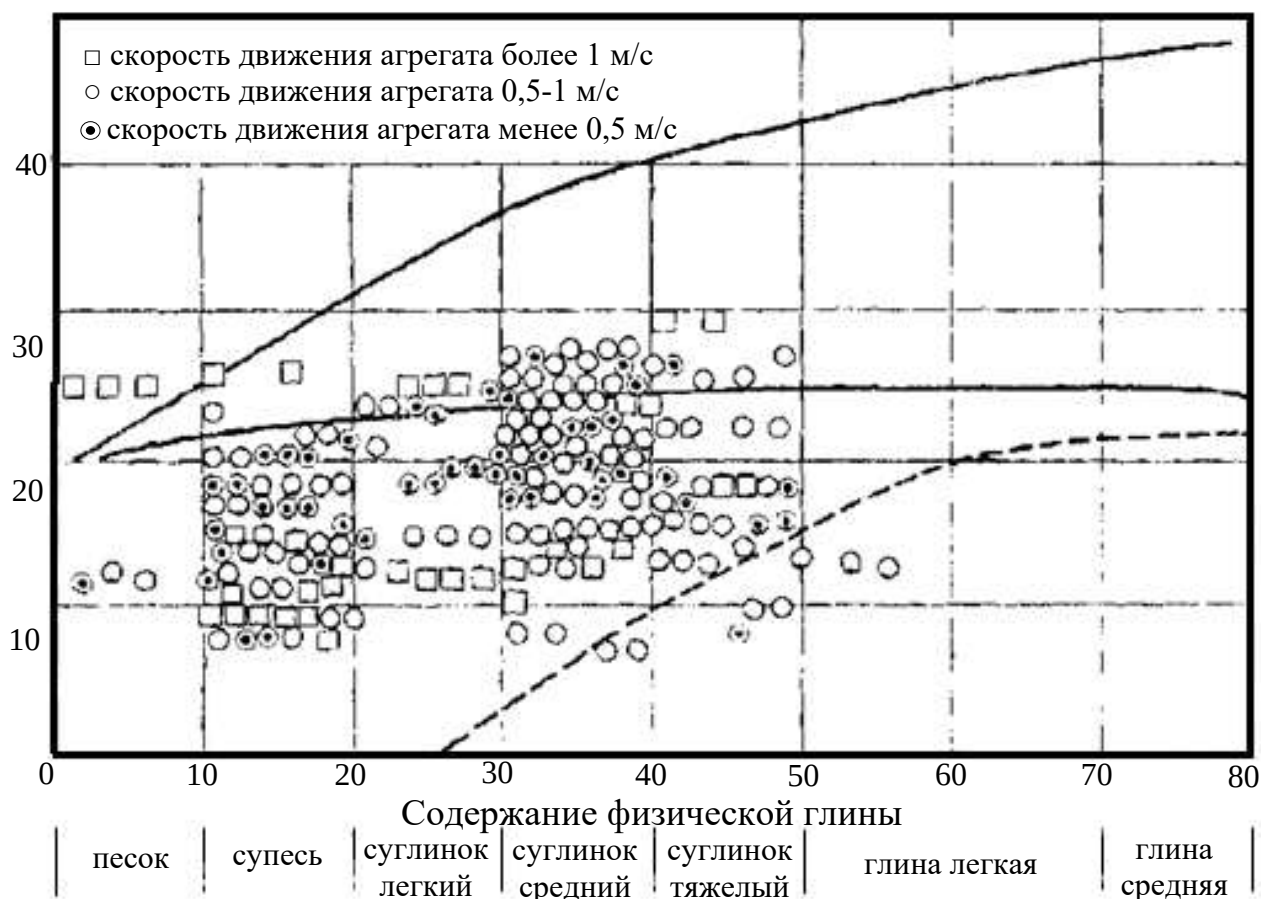
- 1) картофелеуборочные машины не работают на почвах в текучем состоянии (при текучем состоянии песчаных почв – выше границы 1).
- 2) картофелеуборочные машины частично работают на почвах в пластичном состоянии (зона между границами 1 и 2);
- 3) основная зона работы картофелеуборочных машин (между границами 2 и 3) и частные случаи (ниже границы 3), когда почва находится

в твердом состоянии.

При этом не стоит забывать, что эффективность работы пруткового элеватора зависит от двух факторов [129]: время, которое картофельный ворох пребывает на сепарирующем устройстве, и интенсивность встряхивания [92, 169].

Что касается первого фактора, то он весьма неоднозначен. С одной стороны увеличение скорости элеватора повышает динамическое воздействие на находящийся на нем клубненосный пласт [246], но с другой стороны сокращает время пребывания компонентов вороха на сепарирующем устройстве.

W, %

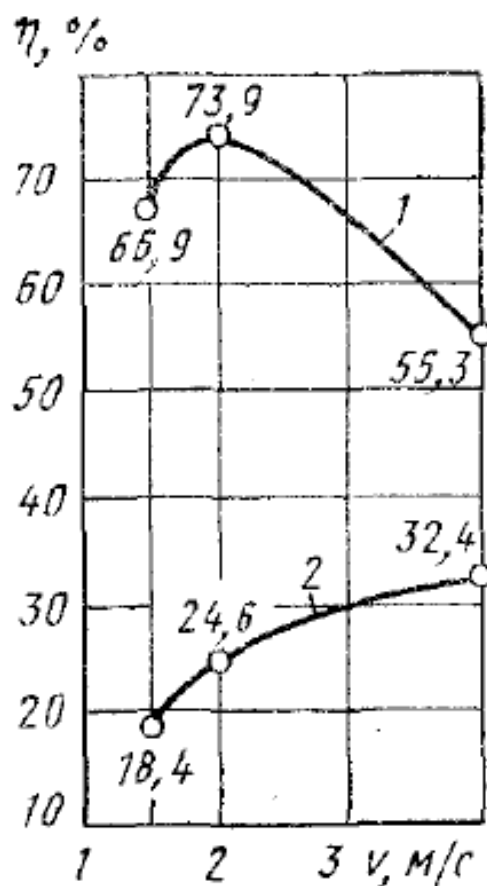


1 – верхняя граница пластичности; 2 – нижняя граница пластичности;  
3 – граница зоны высокой прочности комков.

Рисунок 1.18 – Работоспособность картофелеуборочных машин при различных условиях [129]

Экспериментально было установлено [129] что увеличение линейной скорости пруткового элеватора по-разному влияет на выделение из картофельного вороха почвенных примесей (рис. 1.19).

Как видно из представленной диаграммы, в случае, когда почва находится в твердом состоянии при линейной скорости элеватора более 2 м/с наблюдается значительное снижение качества отделения почвенных примесей из картофельного вороха [129]. Стоит заметить, что в пластичном состоянии прослеживается обратная ситуация.



1 – твердое состояние почвы; 2 – пластичное состояние почвы.

Рисунок 1.19 - Зависимость полноты отделения почвенных примесей от линейной скорости элеватора (в зависимости от состояния почвы) [129].

Согласно Г.Д. Петрову [129] отделение мелких почвенных примесей должно быть завершено в конце второго просеивающего транспортера (обеспечение минимального повреждения клубней, при их перемещении по полотну сепарирующего устройства).

Соответствующие исследования были проведены А.А. Сорокиным, Н.В. Бышовым и другими учеными [136, 141]. Установлено, что зависимость интенсивности сепарации  $q$  от подачи вороха  $Q$  выглядит следующим образом:

$$q = a \cdot Q^b$$

где:  $a$  - коэффициент линейности,  $\frac{\text{кг}^{1-b}}{\text{м}^2 \text{с}^{1-b}}$ ;

$b$  - показатель степени.

Коэффициенты  $a$  и  $b$  были получены путем обработки данных по результатам экспериментальных исследований (рис. 1.20).

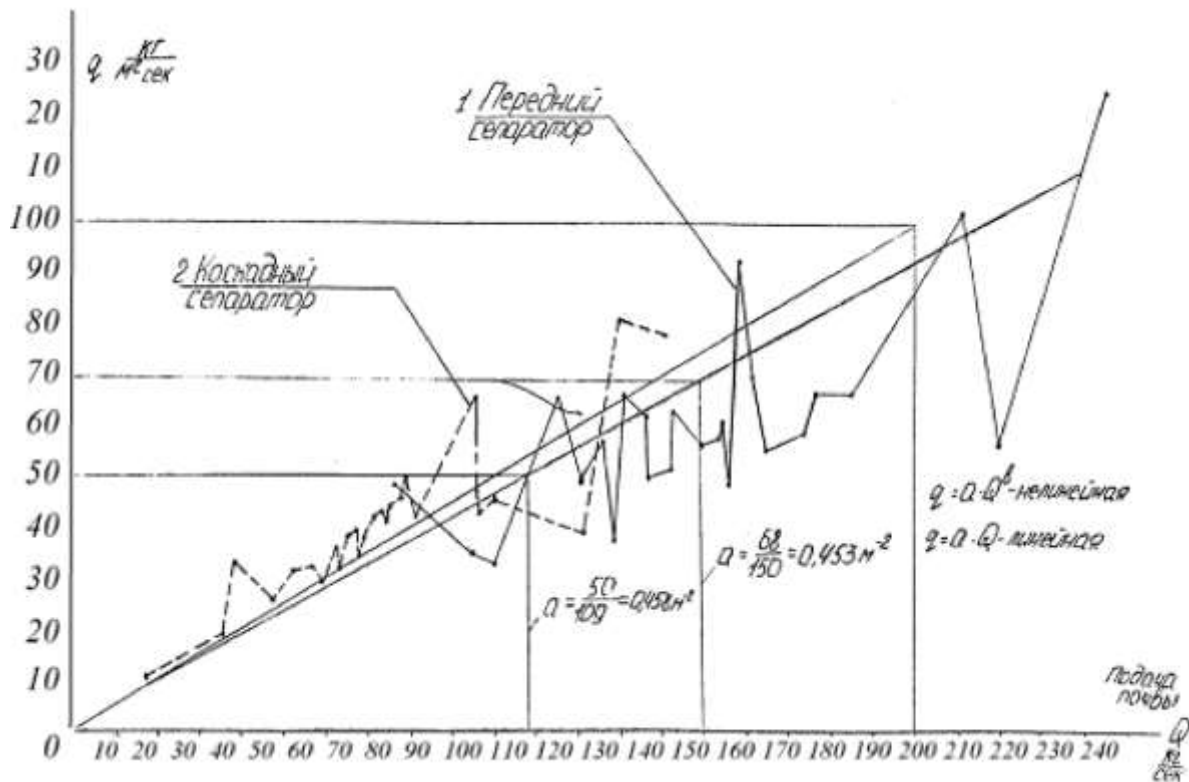


Рисунок 1.20 - Зависимость интенсивности сепарации  $q$  от подачи почвы  $Q$  (экспериментальные данные)

В окончательном виде связь между рабочей длиной сепаратора и подачей вороха выглядит следующим образом [136, 141]:

$$l = \frac{Q_{\max}^{1-b} - Q^{1-b}}{a \cdot B \cdot (1-b)}$$

где:  $Q_{\max}$  – подача вороха в начале сепаратора, кг/с;

$Q$  – подача вороха в конце сепаратора, кг/с;

$l$  – рабочая длина сепаратора, м;

$B$  – рабочая ширина сепаратора, м;

Представленную выше зависимость можно выразить через показатель полноты сепарации  $\varepsilon$  (что весьма целесообразно, так как данный показатель является одним из критериев агротехнической оценки картофелеуборочной техники). Зависимость будет иметь вид:

$$l = \frac{Q_{max}^{1-b} [1 - (1 - \varepsilon)^{1-b}]}{a \cdot B \cdot (1 - b)}$$

Согласно экспериментальным данным [141] полное отсеивание мелкой почвы из картофельного вороха достигается при рабочей длине сепарирующего устройства (или совокупной длине нескольких просеивающих элеваторов картофелеуборочной машины) более 7 м (рис. 1.21) [75]. Если учитывать, что агротехническими требованиями установлен показатель чистоты клубней на уровне 80% и выше [10, 196], то для соблюдения данного требования достаточно  $l \geq 3$  м. К примеру, у комбайна Grimme SE 150-60 суммарная длина просеивающих элеваторов составляет 6,65 м (1 транспортер 2,75 м, 2 транспортер – 3,9 м), а эффективность работы (по показателю чистоты клубней в таре) составляет 100% (согласно государственным испытаниям, протокол № 10-41-17 (6240632)).

Полученные зависимости позволяют определять границы эксплуатационных скоростей картофелеуборочной техники в зависимости от их конструктивных параметров [141].

Выше вопрос определения оптимальной линейной скорости пруткового элеватора рассматривался лишь со стороны качества отделения почвенных примесей. Проанализируем теперь данный вопрос исходя из повреждений клубней.

По мнению Г.Д. Петров [129] клубни получают повреждения при скорости соударения более 3 м/с. Если элеватор картофелеуборочной

машины работает совокупно со встряхивателем, то линейная скорость не должна превышать 2 м/с.

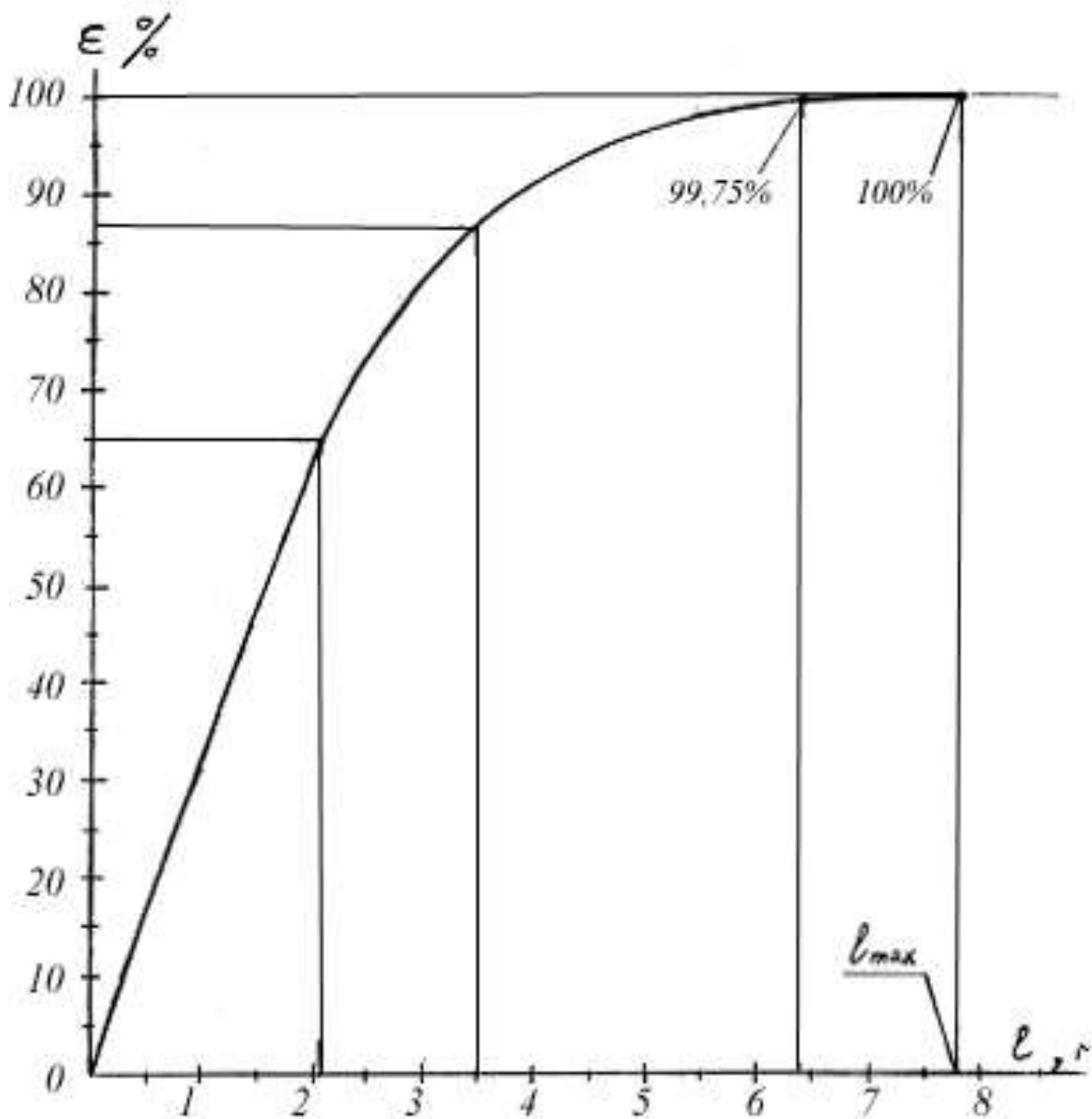


Рисунок 1.21 - Зависимость полноты сепарации от рабочей длины элеватора [141]

На картофелеуборочной технике применяются различные устройства, улучшающие отделения почвенных примесей из картофельного вороха [32, 134]. Для достижения данной цели совокупно с прутковыми элеваторами комбайнов используются интенсификаторы сепарации, классификация которых представлена на рисунке 1.22 [77, 204].

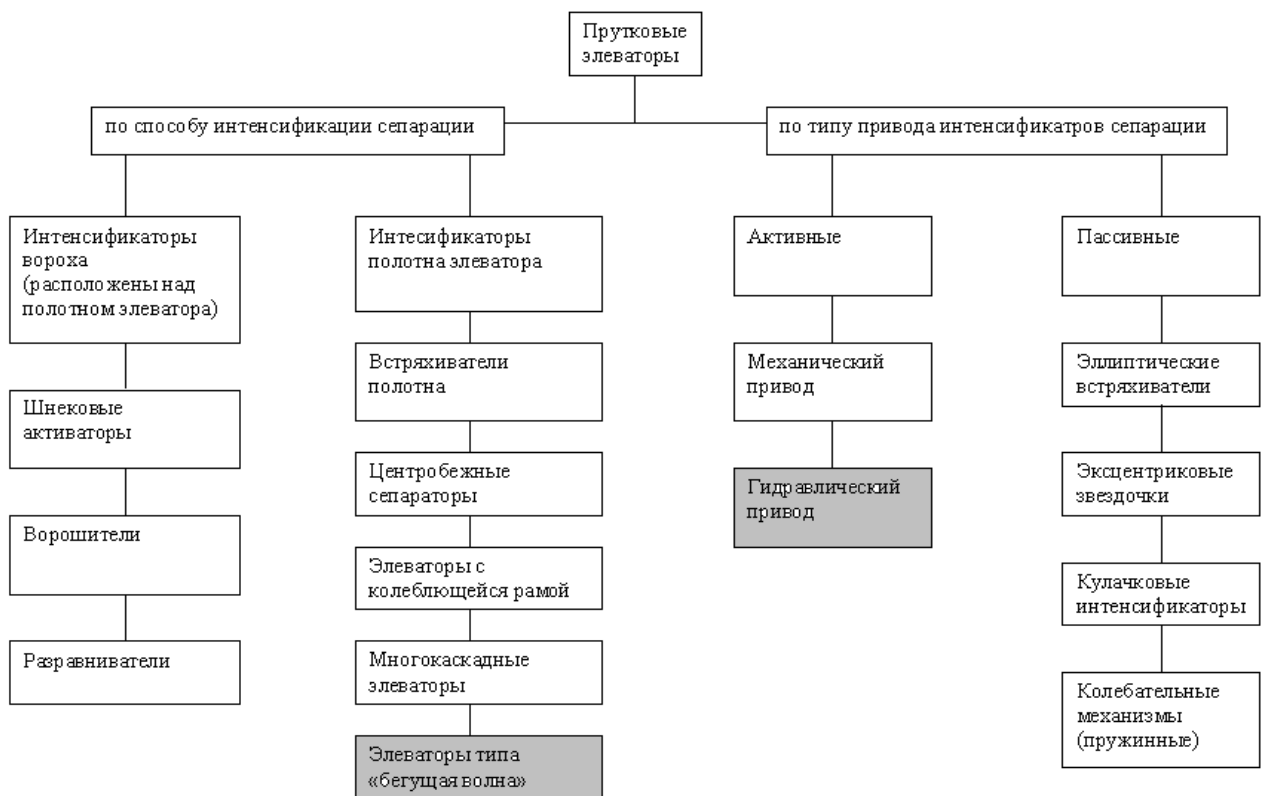


Рисунок 1.22 – Классификация интенсификаторов сепарации [77]

Интенсификаторы сепарации нашли широкое распространение как на технике отечественного, так и зарубежного производства. Так на комбайне AVR 220 BK VARIANT первый транспортер оснащен встряхивателем качающегося типа (рис. 1.23).



Рисунок 1.23 – Общий вид встряхивателя комбайна AVR 220 BK VARIANT

На комбайнах фирмы Grimme в частности GT170 применяются следующие встряхиватели (рис. 1.24). Причем первый вариант поставляется на серийных моделях, а второй – опционально.



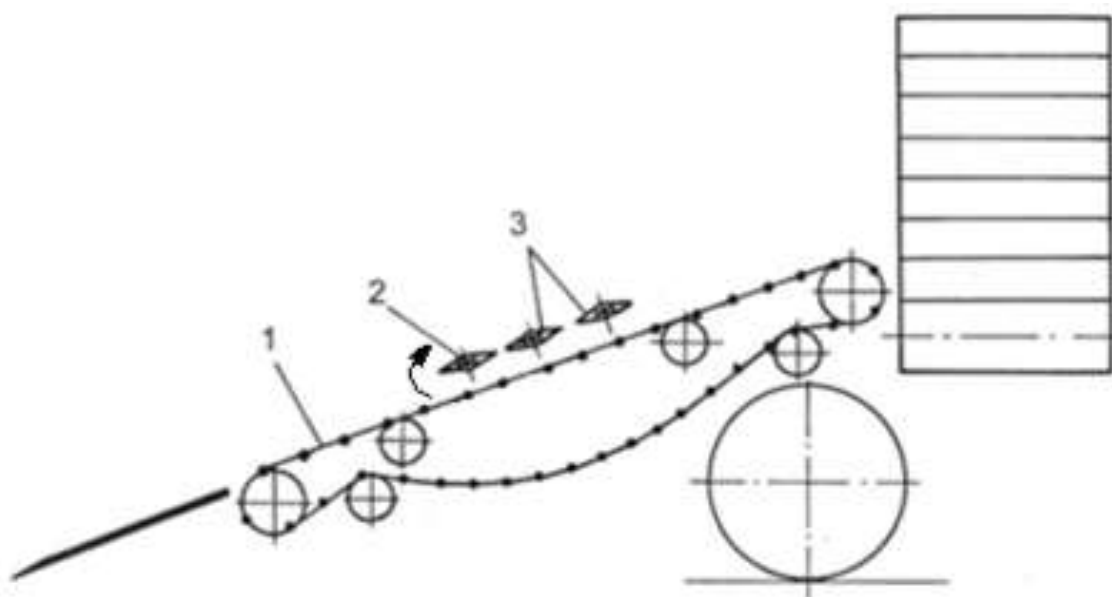
а)

б)

а) – роторный встряхиватель механического действия;  
б) - встряхиватель с гидравлическим приводом.

Рисунок 1.24 - Встряхиватели комбайна Grimme GT170

В рамках научно-исследовательской работы в ФГБОУ ВО РГАТУ было разработано сепарирующее устройство картофелеуборочной машины с интенсификатором сепарации (рис. 1.25-1.26) [118].



1 – элеватор; 2 – приводные валы интенсификатора; 3 – рабочие элементы.

Рисунок 1.25 - Сепарирующее устройство на полевых испытаниях





Рисунок 1.26 - Сепарирующее устройство на полевых испытаниях

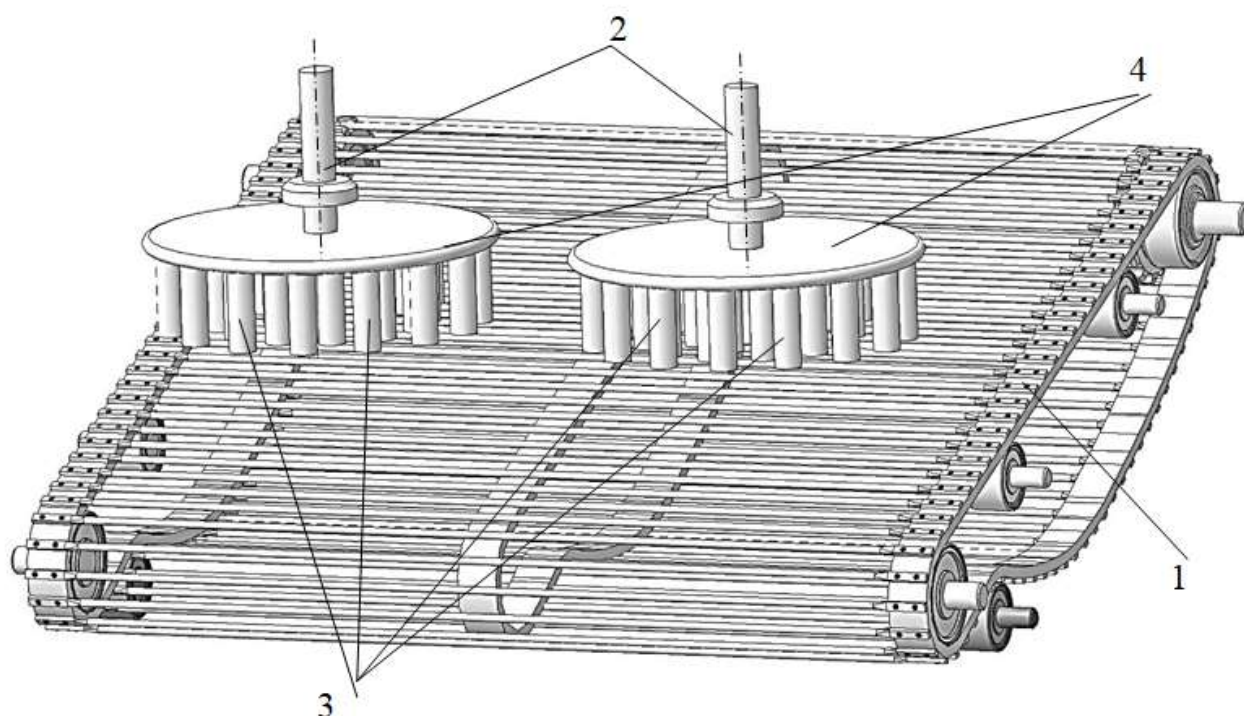
Полевые испытания были проведены в рамках научно-исследовательской работы Н.А. Рязановым [128, 159, 176] на сельскохозяйственных угодьях ООО «Аграрий» Касимовского района и КФХ ИП «Чесноков А.В.» Ухоловского района Рязанской области в 2009-2011 годах. Машины собирали урожай на полях с тяжелым типом почвы (тяжелый суглинок) при влажности 12-24%.

Были получены следующие результаты:

- чистота клубней в таре увеличилась с 84,8% до 90,9% (комбайна DR-1500) и с 78,9% до 85,4% (КПК-2-01);
- потери уменьшились с 5,6% до 2,5% комбайна DR-1500) и с 5,9% до 2,6%.

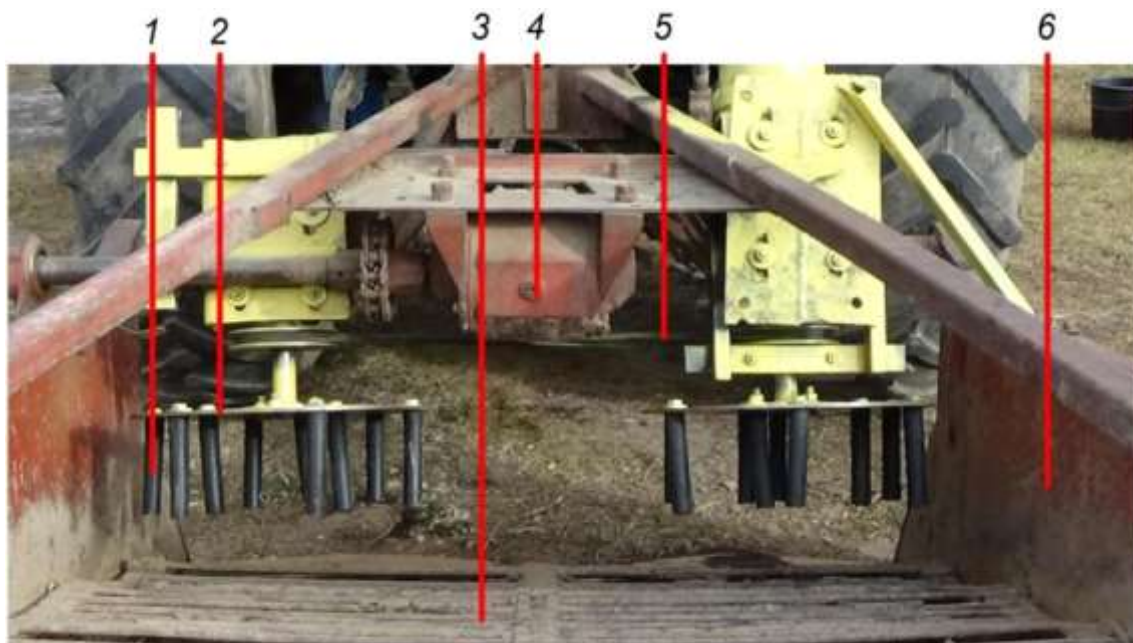
Результаты полевых испытаний подтвердили эффективность разработанного устройства [159].

Еще одним вариантом реализации устройства повышающим его эффективность сепарации стал следующий образец (рис. 1.27-1.28) [116].



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

Рисунок 1.27 – Схема сепарирующего устройства



1 - пальцы; 2 - ворошитель, 3-элеватор, 4 - редуктор, 5 – приводной ремень; 6 – рама картофелекопателя.

Рисунок 1.28 - Сепарирующее устройство на полевых испытаниях

Полученные результаты подтвердили эффективность разработанного интенсификатора сепарации.

Из описанного выше следует, что при неблагоприятных условиях проведения уборочных работ, возможно достичь высоких технологических и эксплуатационных показателей картофелеуборочной техники путем внедрения в их конструкцию дополнительно усовершенствованных рабочих органов [127, 139].

Как уже отмечалось ранее [25, 84], механические повреждения клубней оказывают сильное влияние на лежкость продукта [244]. Так по ГОСТ 28372-93 [40] рекомендуемый срок хранения при естественной вентиляции составляет 6 месяцев, а при искусственной 8 месяцев. Согласно результатам исследований Н.И. Верещагина [25] установлено, что различные виды повреждений оказывают неодинаковое влияние на лежкость клубней. Так, к примеру, потери при длительном хранении составляют:

- 11,2% для клубней со сдиром кожуры до  $\frac{1}{2}$  поверхности;
- 17,4% до 82 % для клубней со сдиром кожуры более  $\frac{1}{2}$  поверхности;
- 58% - 73,4% для раздавленных клубней, с трещинами и вырывами мякоти более 5 мм.

При этом для клубней имеющих один вид механических повреждений потери составляют 34,9%, два - 48% и три - 71,3% [25].

Так при работе картофелеуборочных машин клубни могут получать следующие виды повреждений [41, 153]:

- сдир кожуры от  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{2}$  поверхности клубня;
- сдир кожуры более  $\frac{1}{2}$  поверхности клубня;
- вырыв мякоти глубиной свыше 5 мм;
- трещины длиной более 20 мм;
- разрезы и надрезы клубня;
- раздавленный клубень.
- потемнение мякоти.

Заводнов С.В. в своем диссертационном исследовании [57] привел

пример распределения механических повреждений клубней картофеля по видам (рис. 1.29). Как видно из представленной диаграммы преобладающее большинство – потемнение мякоти. На втором месте идут трещины и на третьем сдир кожуры.



Рисунок 1.29 – Распределение повреждений клубней картофеля по видам

Стоит указать, что для определения такого вида повреждений как потемнение мякоти не подходит органолептический способ, а применяются более трудоемкие стандартные [41, 245] или перспективные методы [74, 183].

При внутрихозяйственных перевозках [130] клубни картофеля преимущественно получают такие повреждения как сдир кожуры, потемнение мякоти и трещины [233].

Для исследования и обобщения причин возникновения повреждений клубней условно разделим процесс уборки картофеля на этапы:

- а) выкапывание клубней, отделение почвенных и растительных примесей, загрузка в транспортное средство;
- б) транспортировка до места хранения или послеуборочной обработки;
- в) послеуборочная обработка (по необходимости) – повторная доочистка клубневого вороха, сортировка, закладка на хранение или фасовка.

Для оценки эффективности работы картофелеуборочных машин необходимо проведение их испытаний в условиях, приближенных к

реальным (полевым испытанием). Критерием являются агротехнические требования [237]. В таблице 1.6 приведены выдержки из нормативного документа, регламентирующего испытания картофелеуборочных машин – СТО АИСТ 1.13-2011 [196].

Таблица 1.6 – Критерии оценивания работы картофелеуборочных машин

| Наименование показателя                     | Характеристика |
|---------------------------------------------|----------------|
| Тип почвы                                   | зоны 1-11      |
| Влажность почвы, %                          | 6-27           |
| Уклон поля:                                 |                |
| в поперечном направлении                    | не более 3°    |
| в продольном направлении                    | не более 6°    |
| Урожайность клубней, т/га                   | до 50          |
| Рабочая скорость агрегата, км/ч             | 2,5-3,8        |
| Полнота выкапывания клубней, %              | 94             |
| Потери клубней, %                           | 3              |
| Чистота вороха клубней, %                   | 80             |
| Наличие земли и примесей в массе клубней, % | до 20          |
| Повреждение клубней по массе, %             | 10             |
| Число резаных клубней, %                    | до 0,5         |
| Наработка на отказ, ч                       | 100            |
| Коэффициент готовности                      | 0,98           |

На территории Российской Федерации для данной цели созданы государственные зональные машиноиспытательные станции (МИС). За время их существования были исследованы следующие образцы картофелеуборочной техники (картофелеуборочные комбайны элеваторного и бункерного типа):

- комбайн картофелеуборочный Grimme SE 150-60;
- комбайн картофелеуборочный AVR Esprit
- комбайн картофелеуборочный AVR Spirit 6200;
- комбайн картофелеуборочный AVR Spirit 8200;
- комбайн картофелеуборочный Grimme BR-150;

комбайн картофелеуборочный Grimme DR 150;  
комбайн картофелеуборочный Grimme GT 170;  
комбайн картофелеуборочный Grimme GT 300;  
комбайн картофелеуборочный Grimme SE-260;  
комбайн картофелеуборочный двухрядный AVR Accent;  
комбайн картофелеуборочный ККР-2.

Сведем результаты проведенных испытаний в таблицу 1.7.

Таблица 1.7 – Результаты испытаний картофелеуборочной техники

| Марка и модель   | Технологические показатели                                                                   | Скорость комбайна, км/ч | Протокол                      |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Grimme SE 150-60 | - потери 1,7 %;<br>- чистота вороха клубней 98,3 %<br>- повреждение клубней 12,5 %           | 5,6                     | № 10-41-17<br>(6240632)       |
| AVR Esprit       | - потери 0,7-0,8 %;<br>- чистота вороха клубней 91,2-91,8 %<br>- повреждение клубней 1,2 %   | 3,9 - 4,6               | № 03-60-06<br>(4090062)       |
| AVR Spirit 6200  | - потери 1,8 %;<br>- чистота вороха клубней 95,4 %<br>- повреждение клубней 1,5 %            | 3,96                    | № 03-70-13<br>(5090052)       |
|                  | - потери 0,1 %;<br>- чистота вороха клубней 99,7 %<br>- повреждение клубней 4 %              | 2,9                     | №03-34-16<br>(2090052)        |
|                  | - потери 0,3 %;<br>- чистота вороха клубней 99 %<br>- повреждение клубней 3,3 %              | 5,8                     | № 03-43-19<br>(5090012)       |
| AVR Spirit 8200  | - потери 1-1,1 %;<br>- чистота вороха клубней 88,4-90,6%<br>- повреждение клубней 1,3-1,4 %  | 3,55-5,6                | № 03-54-06<br>(4090132)       |
| Grimme BR-150    | - потери 0,4 %;<br>- чистота вороха клубней 89,8%<br>- повреждение клубней 5 %               | 5,5                     | № 08 - 20 - 2015<br>(5090022) |
| Grimme DR 150    | - потери отсутствуют;<br>- чистота вороха клубней 80,4%<br>- повреждение клубней отсутствуют | 4,8                     | № 08 - 26 - 2016<br>(5090092) |



| <b>Марка и модель</b> | <b>Технологические показатели</b>                                                                | <b>Скорость комбайна, км/ч</b> | <b>Протокол</b>               |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Grimme GT 170         | - потери 1,5 %;<br>- чистота вороха клубней 87,5%<br>- повреждение клубней 0,35 %                | 4,5                            | № 08-39-2013<br>(5090022)     |
| Grimme GT 300         | - потери 2 %;<br>- чистота вороха клубней 85,7%<br>- повреждение клубней 0,5 %                   | 4,3                            | № 08-37-2013<br>(5090032)     |
| Grimme SE-260         | - потери 1 %;<br>- чистота вороха клубней 86,7%<br>- повреждение клубней 2,6 %                   | 5,3                            | № 08 - 29 - 2015<br>(5090032) |
| AVR Accent            | - потери 0,5-0,8 %;<br>- чистота вороха клубней 86,1-88,6 %<br>- повреждение клубней 2,94-3,25 % | 3,7                            | № 03-53-06<br>(4090052)       |
| ККР-2                 | - потери 0,5 %;<br>- чистота вороха клубней 100 %<br>- повреждение клубней 3,3 %                 | 2,8                            | № 03-91-19<br>(5090022)       |

Как видно из таблицы 1.7, картофелеуборочная техника соответствует агротехническим требованиям, что говорит о высоком инженерно-техническом уровне исследованных моделей.

Кроме государственных испытаний картофелеуборочные машины проходят полевые в рамках частных научно-исследовательских работ. Так объектом исследований Р.В. Безносюка [15] были выбраны бункерные комбайны DR1500 и КПК-2-01 (табл. 1.8).

Таблица 1.8 – Результаты полевых испытаний комбайнов

| <b>Показатели работы</b>           | <b>КПК-2-01</b>  | <b>DR1500</b>    |
|------------------------------------|------------------|------------------|
| Тип почвы                          | тяжелый суглинок | средний суглинок |
| Сорт картофеля                     | «Латона»         | «Ред Скарлетт»   |
| Влажность почвы, %                 | 17-22            | 14-19            |
| Рабочая скорость агрегата, км/ч    | 3,6              | 4,2              |
| Потери клубней (от общей массы), % | 5,9              | 5,6              |
| Повреждения клубней по массе, %    | 9,19             | 8,03             |
| Чистота вороха клубней, %          | 78,9             | 84,8             |

Согласно данным таблицы 1.8 картофелеуборочные машины лишь частично соблюдают агротехнические требования (у КПК-2-01 не выполняется показатели по потерям клубней и чистоте картофельного вороха, а у DR1500 – по потерям). Основной причиной столь невысоких технологических показателей является несовершенство конструкции данных моделей техники (машины разрабатывались под агротехнические требования своего времени).

В своем диссертационном исследовании [152] Г.К. Рембалович оценивал работу картофелеуборочных машин Grimme DR1500 (табл. 1.9) и КПК-2-01 (табл. 1.10). Как видно из представленных данных технологические показатели техники соответствуют агротехническим требованиям (за исключением показателя потери клубней у КПК-2-01) лишь при нормальной влажности почвы (16-23%). В остальных случаях качество работы оставляет желать лучшего.

Таблица 1.9 – Результаты полевых испытаний Grimme DR1500

| Наименование показателя            | Показания        |       |        |
|------------------------------------|------------------|-------|--------|
|                                    | до 16            | 16-23 | св. 23 |
| Влажность почвы, %                 |                  |       |        |
| Тип почвы                          | тяжелый суглинок |       |        |
| Сорт картофеля                     | «Рэд Скарлетт»   |       |        |
| Рабочая скорость машины, м/с       | 4,1              | 4,5   | 3,5    |
| Потери клубней (от общей массы), % | 5,6              | 1,6   | 6,3    |
| Чистота вороха клубней, %          | 76,4             | 84,8  | 69,2   |
| Повреждения клубней по массе, %    | 15,14            | 6,03  | 6,15   |

Таблица 1.10 – Результаты полевых испытаний КПК-2-01

| Наименование показателя            | Показания        |       |        |
|------------------------------------|------------------|-------|--------|
|                                    | до 16            | 16-23 | св. 23 |
| Влажность почвы, %                 |                  |       |        |
| Тип почвы                          | тяжелый суглинок |       |        |
| Сорт картофеля                     | «Латона»         |       |        |
| Рабочая скорость машины, м/с       | 3,3              | 3,6   | 2,8    |
| Потери клубней (от общей массы), % | 6                | 4,9   | 8      |



| Наименование показателя         | Показания |      |      |
|---------------------------------|-----------|------|------|
| Чистота вороха клубней, %       | 73,2      | 81,9 | 67,7 |
| Повреждения клубней по массе, % | 23,32     | 8,87 | 7,95 |

Аналогичные испытания в своей работе проделал Н.А. Рязанов [159]. Их результаты приведены в таблице 1.11. Существенных отличий в технологических показателях выявлено не было.

Таблица 1.11 – Результаты полевых испытаний картофелеуборочных машин

| Показатель                         | Grimme DR-1500   |       | КПК-2-01 |       |
|------------------------------------|------------------|-------|----------|-------|
| Тип почвы                          | тяжелый суглинок |       |          |       |
| Рабочая скорость агрегата, км/ч    | 4,2              |       | 3,6      |       |
| Влажность почвы, %                 | 12-16            | 20-24 | 16-20    | 20-24 |
| Потери клубней (от общей массы), % | 5,6              |       | 5,9      |       |
| Повреждения клубней по массе, %    | 7,79             | 8,27  | 8,98     | 9,40  |
| Чистота вороха клубней, %          | 90,9             | 94,3  | 89,2     | 91,6  |

В рамках собственной научно-исследовательской работы [37] мною были получены следующие результаты (табл. 1.12).

Таблица 1.12 – Результаты полевых испытаний картофелеуборочных машин

| Показатели работы                  | DR-1500          | AVR 220 |
|------------------------------------|------------------|---------|
| Рабочая скорость машины, км/ч      | 4.2              | 4.1     |
| Сорт картофеля                     | «Рэд Скарлетт»   | «Сантэ» |
| Тип почвы                          | тяжелый суглинок |         |
| Влажность                          | 8-9              | 9-12    |
| Потери клубней (от общей массы), % | 1,4              | 1,9     |
| Повреждения клубней по массе, %    | 6,1              | 8,6     |
| Чистота картофельного вороха, %    | 95,5             | 92,8    |

В.А. Павлов в своей работе [102] проводил полевые испытания комбайна AVR 220 ВК Variant в ООО «Агрофирма «Усадьба» Клепиковского района Рязанской области (табл. 1.13).

Таблица 1.13 – Результаты полевых испытаний картофелеуборочных машин

| <b>Показатели работы</b>           | <b>AVR 220 BK Variant</b> |
|------------------------------------|---------------------------|
| Рабочая скорость агрегата, км/ч    | 4,2                       |
| Сорт картофеля                     | «Ред Скарлетт»            |
| Влажность почвы, %                 | 18-21                     |
| Тип почвы                          | Средний суглинок          |
| Потери клубней (от общей массы), % | 5,4                       |
| Повреждения клубней по массе, %    | 7,2                       |
| Чистота вороха клубней, %          | 73,4                      |

Полевые испытания комбайнов КР-2 и GRIMME SE 150-60 были проведены в ООО «Солнечные луга» Луховицкого района Московской области и ООО «Верея» Клепиковского района Рязанской области [80]. Результаты приведены в таблице 1.14.

Представленные результаты полевых испытаний некоторых моделей техники (комбайны AVR 220 BK Variant, КПК-2-01, Grimme DR1500) показывают, что предел их технологических показателей достигнут и лишь в благоприятных условиях проведения уборочных работ, они могут соответствовать агротехническим требованиям.

При отклонении условий проведения уборочных работ от оптимальных возникает серьезная необходимость в совершенствовании отдельных рабочих органов комбайнов.

Таблица 1.14 – Результаты полевых испытаний комбайнов

| <b>Показатель</b>                  | <b>ККР-2</b>     | <b>GRIMME SE 150-60</b>         |
|------------------------------------|------------------|---------------------------------|
| Сорт картофеля                     | Гала, Кроне      | Рэд Скарлет, Лабелла, Инноватор |
| Рабочая скорость агрегата, км/ч    | 3,8              | 4,2                             |
| Влажность почвы                    | 16,2 – 21,3      | 15,6 – 20,0                     |
| Тип почвы                          | средний суглинок |                                 |
| Потери клубней (от общей массы), % | 3,30             | 3,10                            |
| Чистота вороха клубней, %          | 94,6             | 95,8                            |
| Повреждения клубней по массе, %    | 3,71             | 3,62                            |

Как уже было отмечено [129, 183] между эффективностью отделения почвенных примесей сепарирующими устройствами [36, 167] и повреждениями клубней существует обратная зависимость [82].

Следовательно, чем чище картофельный ворох, перемещаемый по цепочке сепарирующих устройств картофелеуборочной машины, тем большее количество клубней в нем получает механические повреждения вследствие соударения с прутками элеватора.

Согласно Г.Д. Петрову [129] для того, чтобы картофелеуборочные машины работали на пределе своей производительности при обеспечении допустимого уровня повреждений клубней (согласно агротехническим требованиям) необходимо выполнение следующих условий:

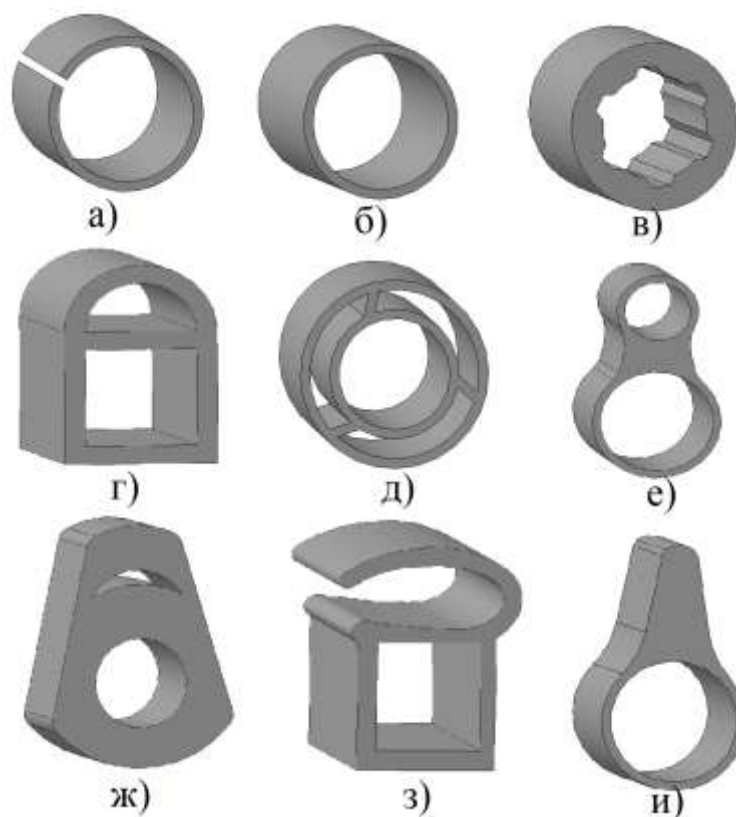
1) полное (максимальное) удаление мелкой почвы из картофельного вороха завершается лишь в конце второго сепарирующего элеватора уборочной машины;

2) на переборочный стол картофелеуборочной машины может поступать такое количество твердых примесей, с которым способен справиться имеющийся персонал.

Установлено [129, 183], что наличие почвы на сепарирующем устройстве картофелеуборочной машины позволяет уменьшить количество клубней, получивших в результате данного технологического процесса (сепарации) механические повреждения. Это связано с тем, что в результате соударения клубней с прутками элеватора часть энергии взаимодействия поглощается примесями (преимущественно почвенными).

Согласно рекомендациям, описанным выше, после второго элеватора картофельный ворох практически не имеет почвенных примесей (при благоприятных условиях проведения работ). На третьем же сепарирующем устройстве (при наличии такого на картофелеуборочной машине) в настоящее время применяется техническое решение, призванное снизить механические повреждения клубней – покрытие прутков демпфирующим материалом.

В настоящее время покрытие прутков сепарирующих элеваторов изготавливается из резины или полимерного материала и имеет различный профиль поперечного сечения (рис. 1.30).



а) - в) – трубки; г) – ж) - многопрофильные покрытия с воздушными полостями; з) – и) – покрытия с гребнем.

Рисунок 1.30 – Покрытие прутков сепарирующих устройств [37]

Демпфирующее покрытие не полностью покрывает пруток сепарирующего устройства. Не менее травмоопасной зоной является место его крепления к ленте полотна транспортера. Примером решения данной проблемы является просеивающий транспортер картофелеуборочного комбайна Grimme (рис. 1.31).

В месте крепления прутка к ленте просеивающего транспортера на последнем имеются высокие выступы, выполненные из демпфирующего материала. Они препятствуют контакту отдельных клубней с металлическими поверхностями рабочего органа, что предотвращает их от механических повреждений.



Рисунок 1.31 – Полотно просеивающего транспортера Grimme SE 75-20

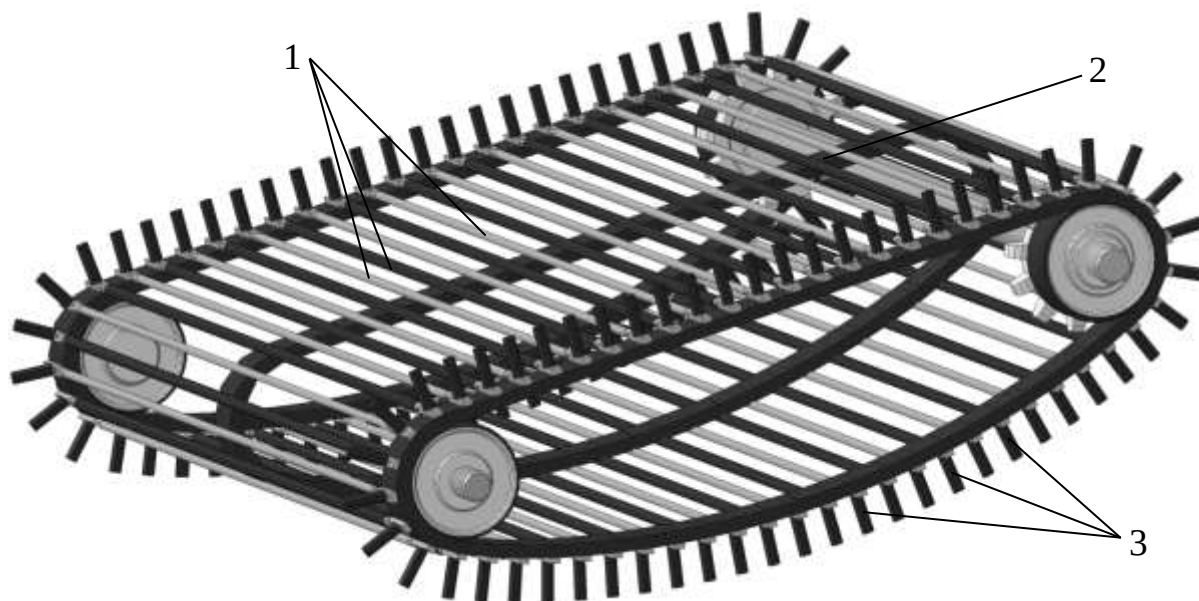
Использование рассмотренного выше технического решения позволило существенно снизить количество клубней, получающих на данном этапе работы картофелеуборочной машины (этап отделения почвенных примесей из картофельного вороха) механические повреждения [37, 129, 183], и создать предпосылки к увеличению линейной скорости пруткового элеватора без ухудшения его технологических показателей.

Помимо соударения клубней картофеля с прутками элеватора (особенно при использовании различных встряхивателей) они активно взаимодействуют и с различными элементами рабочих органов машин [236, 249]. В первую очередь это касается боковин рамы сепарирующего устройства [35]. Для решения выявленной проблемы был разработан ряд технических решений [91, 149, 168, 171, 170].

В первую очередь стоит отметить сепарирующее устройство [62, 108, 125, 128] состоящее из полотна пруткового элеватора 2, на котором консольно закрепленными упругими элементами 3, имеющие профиль поперечного сечения в форме эллипса (рис. 1.32).

В ходе полевых испытаний разработанного сепарирующего устройства был выявлен существенный недостаток [152]. Так как клубни картофеля преимущественно размещаются между прутками транспортера, то в случаях высокой загруженности последнего (единовременного нахождения большого количества клубней на элеваторе) учащаются случаи проскакивания

отдельных корнеплодов в зазор между упругими элементами (прутками) в зону контакта с боковинами рамы машины. В этом случае получение ими механических повреждений неизбежно.



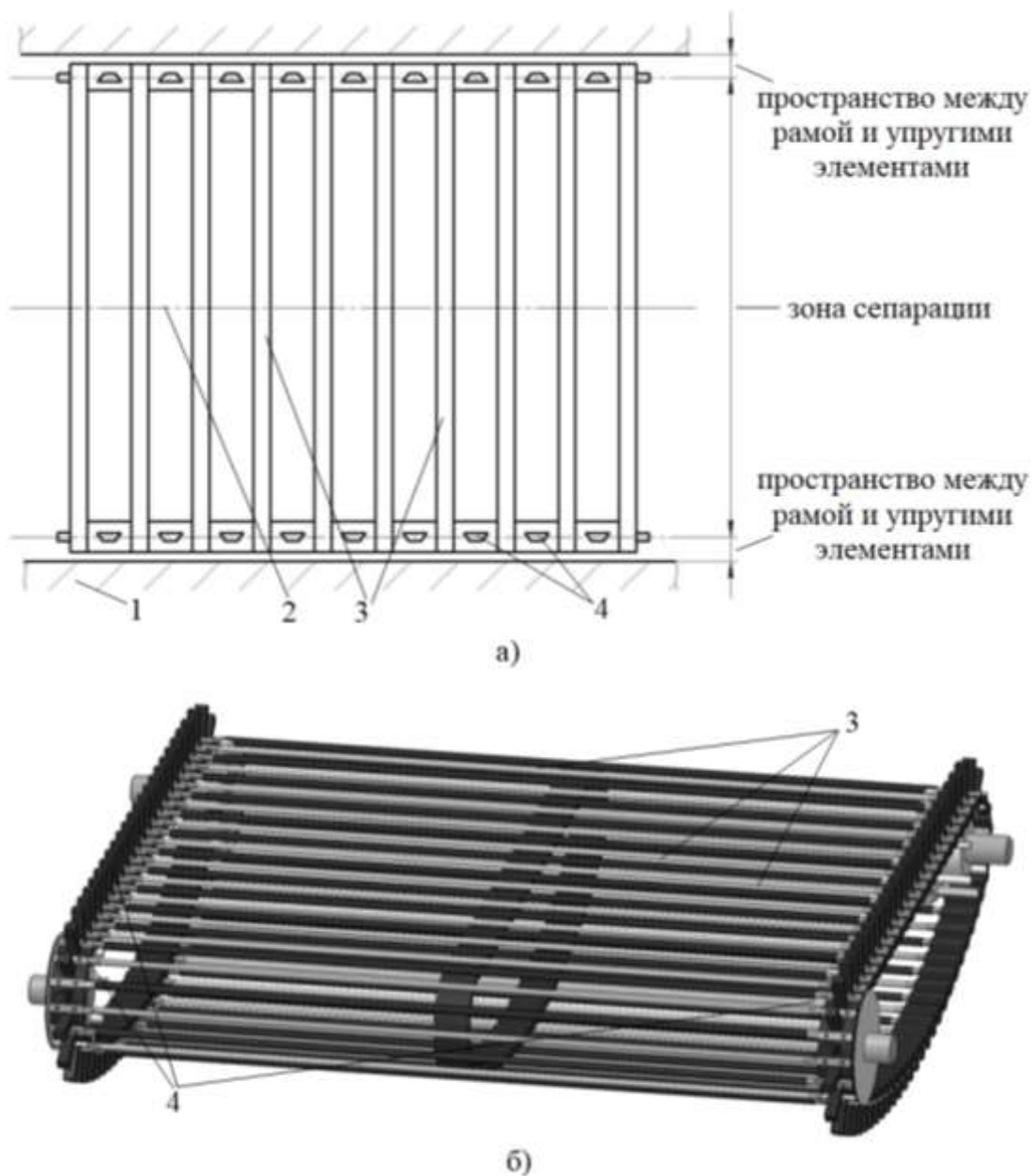
1 – прутки элеватора; 2 – просеивающий элеватор; 3 – упругие элементы.

Рисунок 1.32 - Сепарирующее устройство комбайна

Проанализировав результаты полевых испытаний рассмотренного выше прототипа, было разработано следующее сепарирующее устройство (рис. 1.33). Существенными отличиями которого являются [62, 115, 176]:

- упругие элементы закреплены на ленте элеватора между его прутками;
- поперечный профиль упругих элементов имеет форму равнобедренной трапеции [206].

При всех своих достоинствах существенный недостаток данного сепарирующего устройства заключается в невозможности проведения уборочных работ на почвах с повышенной влажностью. В этом случае происходит налипание примесей (преимущественно почвенных) на ограничители контакта клубней с боковинами рам картофелеуборочных машин до полного прекращения их функционирования.

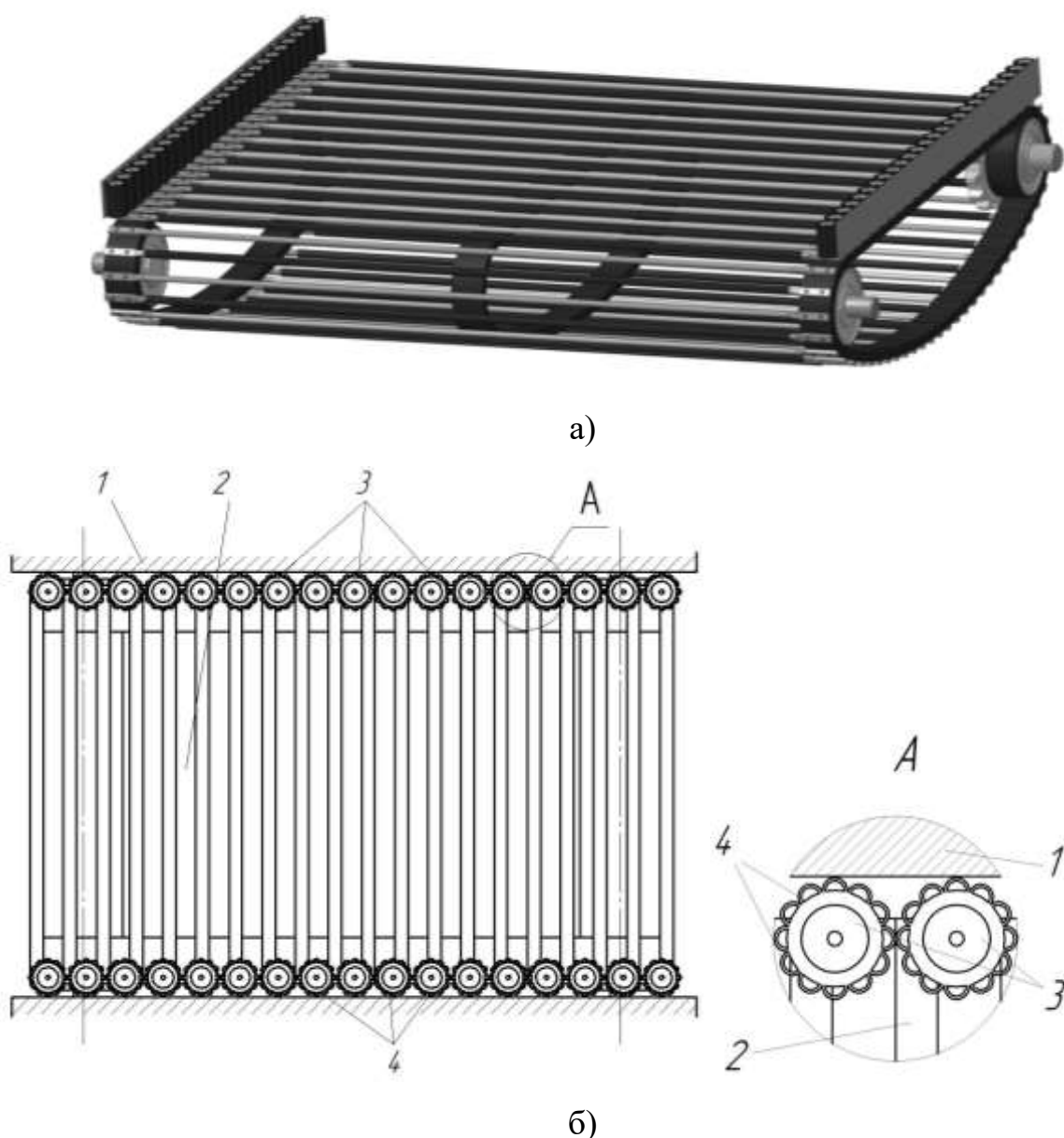


а) технологическая схема; б) общий вид.

1 – боковины рамы; 2 – полотно элеватора; 3 – прутки; 4 – упругие элементы.

Рисунок 1.33 – Сепарирующее устройство [115, 216]

Решением выявленной проблемы было найдено в разработанном сепарирующем устройстве с самоочищающимися ограничителями контакта клубней с боковинами рам картофелеуборочных машин [111]. Общая схема представлена на рисунке 1.34.



а) общий вид; б) технологическая схема.

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

Рисунок 1.34 – Сепарирующее устройство

Также стоит заметить, что представленное выше сепарирующее устройство, выполняя возложенные на него функции (снижения повреждений клубней в процессе их транспортировки по сепарирующему элеватору), не оказывает существенного влияния на энергетические показатели картофелеуборочных машин [138, 172, 214]. В отличие от предшественников (рассмотренных выше) сами ограничители располагаются не на полотне элеватора, а закреплены на раме самой машины. Данный факт



благоприятно сказывается на приводном механизме устройства.

Рассмотренные выше устройства были исследованы в рамках проводимых полевых испытаний на полях Рязанской области в 2015 году (приложение 3). Были получены положительные результаты, а именно снижения количества клубней с механическими повреждениями, что подтверждает правильность выбранного курса совершенствования сепарирующих рабочих органов машин [124, 135].

При этом стоит отметить, что дальнейшее продвижение картофельного вороха к инспекционному столу и дальше в бункер-накопитель или перегрузочное устройство не сопряжено с существенным повреждением клубней. В первую очередь это связано с высокой концентрацией клубней на полотне транспортера (в этом случае клубни обладают меньшей свободой). Кроме того, линейная его скорость регулируется ниже 2 м/с [129].

#### **1.5.2. Анализ вариантов повышения эффективности транспортных работ (при использовании самосвальных кузовов ТС)**

После того как клубненосный ворох прошел все технологические цепочки картофелеуборочной машины наступает этап транспортировки до места хранения либо послеуборочной доработки [99, 120, 122, 163].

При этом ворох уже обладает определенными свойствами – имеет определенную долю травмированных клубней и примесей (почвенных и/или растительных). Причем численная их характеристика будет зависеть от эффективности работы картофелеуборочной машины, а также от почвенных и климатических условий. При соблюдении агротехнических требований будем иметь следующее: доля травмированных клубней не более 10 % [8, 19, 234]; чистота клубней в таре должна быть не менее 80 % [19, 152]. Далее картофельный ворох необходимо перегрузить в транспортное средство. Имеется два базовых варианта реализации: перегрузка клубней из бункера-накопителя или минуя его (принцип работы комбайна элеваторного типа).

В процессе загрузки клубни картофеля падают с достаточно большой

высоты (подразумевается перепад высот между выгрузным устройством картофелеуборочной машины, с которого соответственно сходят клубни и дном кузова транспортного средства). Учитывая геометрические параметры кузовов транспортных средств [150], особенно если речь идет о прицепах и полуприцепах с надставными бортами, то данная ситуация способствует бою отдельных клубней. Имеем перепад высот от 1 метра и более (при предельном его значении: до 0,33 м для поверхности, на которую производится выгрузка стали, до 0,66 м, если на уже лежащие клубни) [161, 219]. На выходе получаем, что к клубням, поврежденным при уборке, добавляются получившие ушибы при загрузке.

Для решения описанной проблемы разработаны и внедрены в производства различные устройства. Так, например, на картофелеуборочных машинах могут быть установлены гасители падения клубней. На рисунке 1.35 представлен вариант реализации подобного технического решения.



Рисунок 1.35 – Комбайн Grimme SE 75-20 с гасителем падения клубней

На картофелеуборочном комбайне Grimme SE 75-20 гаситель падения клубней установлен на донный транспортер бункера-накопителя.

Еще одним вариантом является установка гасителей энергии падения

клубней на перегрузочный элеватор уборочной машины (рис. 1.36).



Рисунок 1.36 – Комбайн элеваторного типа Grimme GT 170 с гасителем падения клубней

Кроме описанных выше решений широкое распространение получили гасители энергии падения клубней устанавливаемые непосредственно в кузов транспортного средства. На рисунке 1.37 показаны несколько вариантов. Применяются два вида: ременные (рис. 1.37 а) и «Stop Shok» (рис. 1.37 б).



а)

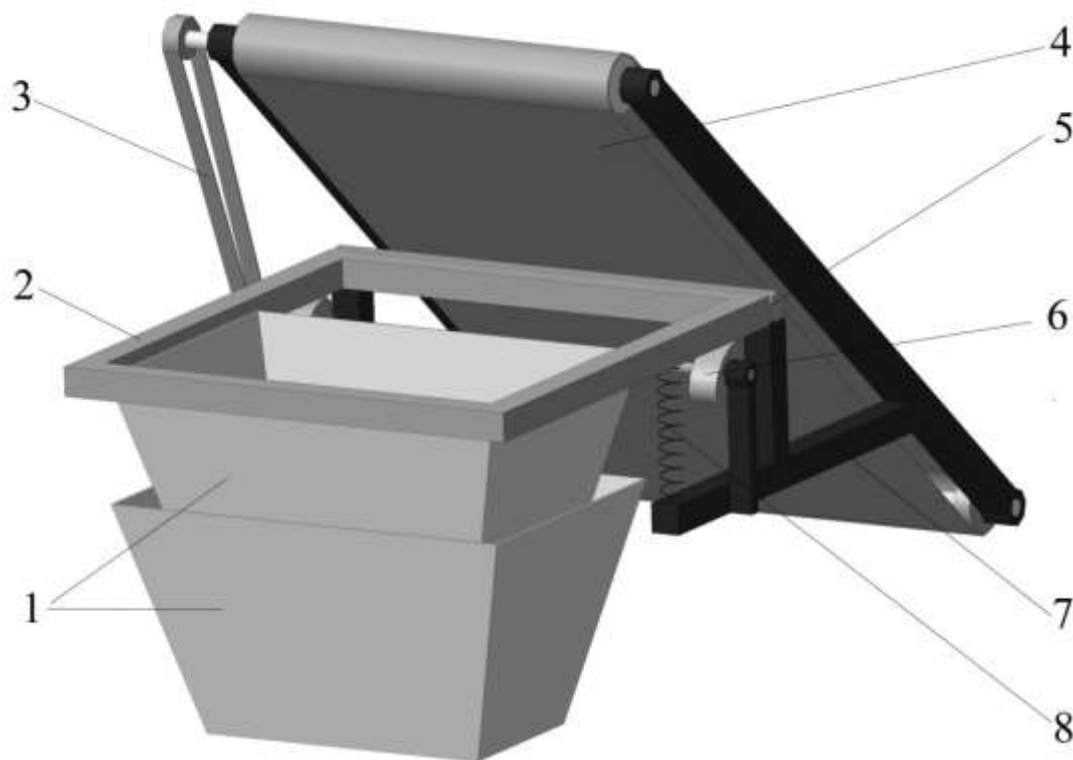


б)

Рисунок 1.37 – Гасители энергии падения клубней, устанавливаемые в кузов транспортного средства

Помимо массово используемых гасителей энергии падения клубней существуют научно-технические разработки. Так для загрузки клубней в

транспортное средство было разработано следующее техническое решение (рис. 1.38) [113, 131].



1 – емкость; 2 – рычаг; 3 – привод; 4 - транспортер; 5 - шарнир; 6 – диск с кулачком; 7 – жесткая рама; 8 – пружина.

Рисунок 1.38 - Устройство для гашения энергии падения клубней

Данное устройство предназначено для установки на перегрузочный элеватор картофелеуборочной машины. Оно служит для снижения боя клубней при их загрузке в кузов транспортного средства.

Отдельно стоит отметить варианты снижения повреждений клубней при загрузке ТС за счет совершенствования конструкции последних. Так, например [219], на прицепе-самосвале JOSKIN Trans-SPACE 9200 левый борт имеет меньшую высоту по сравнению с остальными (рис. 1.39). В этом случае перегрузочный элеватор опускается ниже относительно дна кузова и, следовательно, клубни ударяются при падении (о дно кузова ТС или уже лежащие клубни) с меньшей энергией.

Схожее техническое решение применили на кузове БАЛТ Гранд-Полевик (рис. 1.40). В данном случае верхние секции боковых бортов могут



опускаться благодаря гидроприводу. По мере заполнения кузова (и соответственно поднятия перегрузочного элеватора картофелеуборочной машины) они (верхние секции боковых бортов) поднимаются, и производится дозагрузка клубней [178].



Рисунок 1.39 - Прицеп-самосвал JOSKIN Trans-SPACE 9200

Данный способ, как и рассмотренный выше позволяет сократить перепад высот при загрузке клубней в кузов транспортного средства и следовательно снизить бой последних.



Рисунок 1.40 – Кузов БАЛТ Гранд-Полевик

Рассмотрев вопрос боя клубней при их загрузке в кузов транспортного средства, следующим этапом является исследование повреждения груза непосредственно в процессе его внутрихозяйственных перевозок [12].

### **1.5.2. Исследование причин возникновения повреждений клубней в процессе их перевозки**

Вопросами перевозки сельскохозяйственных грузов занимались многие ученые: Белю Л.П., Борычев С.Н., Н.В. Бышов, О.Н. Дидманидзе, А.В. Заводнов, В.С. Заводнов, И.А. Успенский, И.А. Юхин и другие [2, 16, 18, 46, 54, 55, 56, 66, 89, 93, 100, 103, 143, 211, 233]. Общим мнением ученых, работающих в данном направлении, является то, что основной причиной повреждения клубней картофеля при их перевозке навалом в самосвальных кузовах ТС это взаимодействие упругих тел (клубней) с различными объектами (соседними клубнями, или поверхностями кузова ТС) [236].

Соударение клубней (и как следствие их повреждение) в процессе внутрихозяйственных перевозок вызвано колебаниями грузовой платформы транспортных средств. Согласно проведенным исследованиям установлено [56, 69], что при движении ТС по относительно ровной поверхности максимального ускорения колебаний составляет около  $0,25\text{ g}$ . При наезде на отдельные неровности (выбоин или выступов на дорожном полотне) величина ускорения вертикальных колебаний может достигать  $3,57\text{ g}$  при частоте 2 герца, а поперечные -  $1,47\text{ g}$  при тех же условиях. Продольные ускорения кузова ТС имеют ударный характер (в основном за счет трогания с места, либо торможения ТС [233]) и лишь изредка превышают  $1\text{ g}$ .

Из описанного выше можно сделать вывод, что наибольшее влияние на повреждение клубней при их перевозке будут оказывать вертикальные колебания грузовой платформы кузова ТС [174].

При этом следует отметить, что распределение количества клубней с механическими повреждениями будет меняться в зависимости от слоя, в

котором они находятся. А.В. Заводновым были проведены соответствующие исследования [55], результаты которых представлены на рисунке 1.41.

При этом стоит отметить, что увеличение высоты загрузки кузова ТС плодами способствует к снижению количества поврежденных клубней на нижних слоях (за исключением первого слоя) до предельного значения (высоты загрузки, при которой статическая нагрузка на нижние слои приведет к разрушению либо повреждению отдельных клубней).

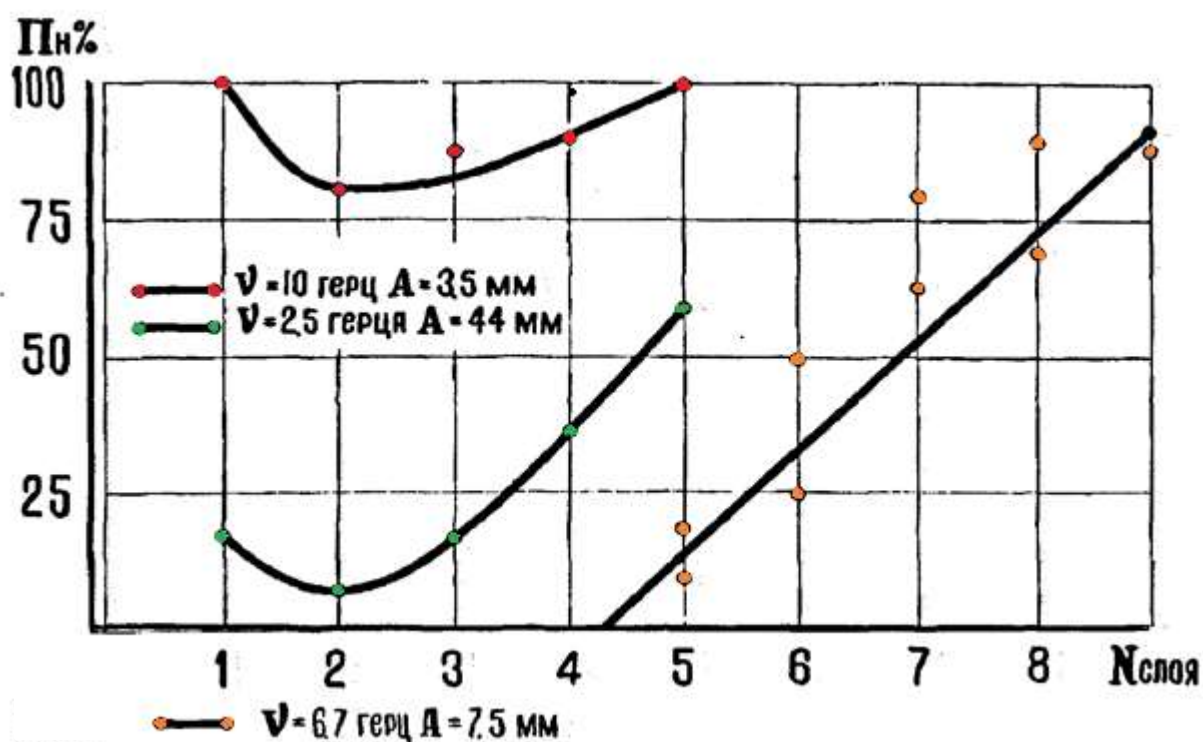


Рисунок 1.41 – Распределение повреждения плодов в зависимости от места расположения (по высоте) [55]

Рассмотрим более подробно вопрос влияние амплитудно-частотных характеристик колебания грузовой ТС платформы на перевозимый груз. Так в работе А.В. Заводнова [55] сказано, что на повреждения клубней картофеля при вибрациях с частотой свыше 20 герц основное влияние оказывает скорость соударения отдельных клубней с различными поверхностями (особенно взаимодействие клубней с неупругими поверхностями кузова ТС) [248, 249].

При диапазоне частот от 1 до 8 герц для свежесобранных клубней

картофеля свойственна следующая зависимость  $A_0 = \frac{P + \sqrt{P^2 + 2\omega^2 H^2}}{\omega^2}$ ,  
 где: коэффициенты Р и Н;  $A_0$  – амплитуда колебаний, м;  $\omega$  – частота колебаний, герц.

Значения коэффициентов для некоторых сельскохозяйственных культур сведены в таблицу 1.15.

Таблица 1.15 – значение Р и Н для различных культур [55]

| Культура и состояние<br>ее зрелости | Эмпирические коэффициенты |                     |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------|
|                                     | Н см/с <sup>2</sup>       | Р см/с <sup>2</sup> |
| Яблоки                              | 30-142                    | 503-522             |
| Помидоры красные                    | 283-430                   | 546-570             |
| Помидоры зеленые                    | 424-700                   | 570-616             |
| Картофель<br>свежеубранный          | 562-700                   | 593-616             |

Заводновым В.С. [56] были получены результаты испытаний яблок и клубней картофеля различных сортов на вибрационном стенде, отраженные на рисунке 1.42.. Как видно из графика, зависимость энергии колебаний от их амплитуды носит линейный характер.

Полученные результаты предназначены для определения оптимальных параметров и режимов работы техники на внутрихозяйственных перевозках легкоповреждаемой продукции.

При действии ударных нагрузок (вследствие колебаний грузовой платформы ТС и соответственно на нем вороха картофеля) на повреждения клубней картофеля действуют два неблагоприятных фактора [55]:

- при наезде на отдельную неровность (выбоину или бугор на дорожном полотне) картофельный ворох совершает отдельный подскок и падение на



дно грузовой платформы самосвального кузова;

- при движении ТС по неровной поверхности дорог груз совершает периодические подскоки [4, 7]. В этом случае наблюдается встречное соударение клубней с неупругой поверхностью дна грузовой платформы самосвального кузова.

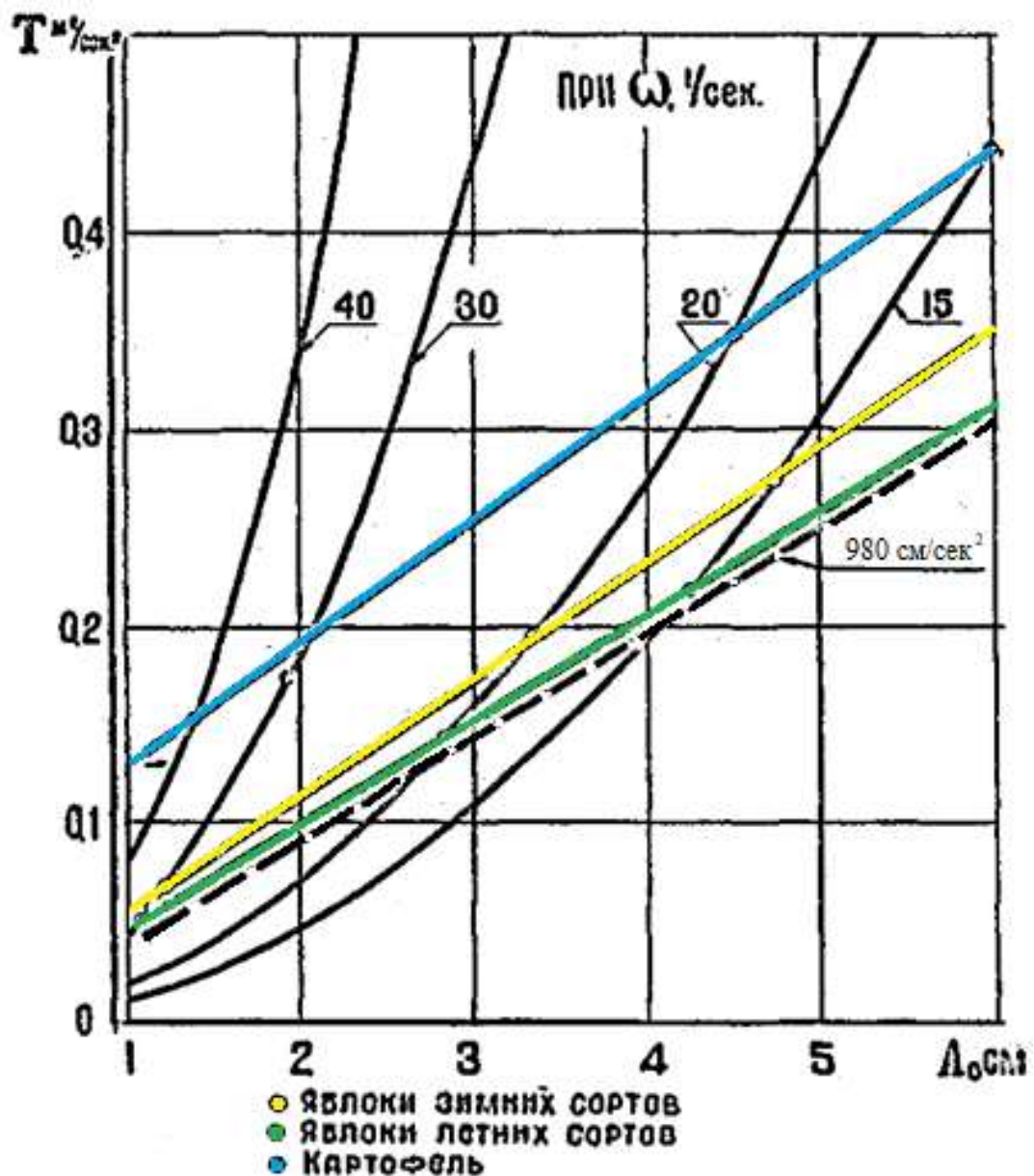


Рисунок 1.42 – График зависимости допустимой энергии колебаний от их амплитуды

Для первого случая скорость соударения  $v_{1к} = A_0 \cdot \mu \cdot \cos(\mu t)$

где:  $A_0$  - амплитуда колебания кузова, м;

$\mu$  - частота колебания кузова, Гц.

Для второго  $\vartheta_{2к} = (1 + \lambda)\vartheta_{1к}$

где:  $\lambda$  - коэффициент восстановления скорости при ударе.

Кроме вышеописанного, имеется следующая зависимость амплитудно-частотных характеристик от предельно-допустимой высоты сбрасывания клубней при внутрихозяйственных перевозках  $A_0 \cdot \mu = \sqrt{2gH/5}$ , где:  $H$  - предельно-допустимая высота сбрасывания клубней, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Учитывая предельную высоту падения клубней [161, 239] можно получить такие величины амплитуды и частоты колебаний груза, при которых будет обеспечено оптимальное соотношение производительности транспортного процесса и количества клубней с механическими повреждениями.

Определение характеристик возмущающих воздействий со стороны неровностей дорожного покрытия на кузов ТС и, следовательно, на перевозимый груз - это весьма сложная задача, решаемая построением математических моделей (моделей для исследования вертикальных колебаний кузова ТС) [28].

Так, по мнению Заводнова С.В. [56] возмущения, вызванные микропрофилем дорожного полотна - случайные функции, следовательно, и колебания самосвальных кузовов ТС также носят случайный характер [13].

При этом для колебательных систем [56], описываемых линейными дифференциальными уравнениями, статистические характеристики колебаний можно описать следующим уравнением  $S_z(\omega) = |\Phi_z(i\omega)|^2 \cdot S_h(\omega)$ , где  $\Phi_z(i\omega)$  - частотная характеристика колебательной системы;  $S_h(\omega)$  - спектральная плотность распределения дисперсии высот микропрофиля дорожного полотна;  $\omega$  - круговая частота колебаний, 1/сек. Для большинства ТС колебательные системы могут быть описаны лишь нелинейными дифференциальными уравнениями.

Сложность разработки подобных колебательных систем состоит в

получении плотности распределения дисперсии высот микропрофиля дорожного полотна [56] (при этом данная плотность будет соответствовать конкретному участку дороги и не применима для общего маршрута движения ТС) [229], так как для этого необходимо проведение соответствующих исследований.

Так, например, в работе И.А. Юхина [233] были проведены исследования характеристик микропрофиля междурядья яблоневого сада прямым методом – при помощи нивелира. Результаты замеров представлены на рисунке 1.43.



Рисунок 1.43 – Результаты исследования микропрофиля междурядья [233]

Полученные в ходе эксперимента дискретные значения величин  $H$  и  $S$  подвергаются статистической обработке – нахождению математического ожидания  $M(H)$ , дисперсии  $D(H)$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma(H)$ .

Как видно из рассмотренного примера, расчеты подобного рода весьма трудозатраты, а их результаты являются математическим приближением, описывающим процесс (движение ТС по дорожному полотну [44]) с определённой достоверностью.

Альтернативный способ изучения амплитудно-частотных характеристик был продемонстрирован в работе И.В. Жука и В.В. Михайлова [26]. Для проверки адекватности математической модели движения ТС по неровностям дорог был проведен следующий эксперимент.

Суть его заключалась в следующем [26]:

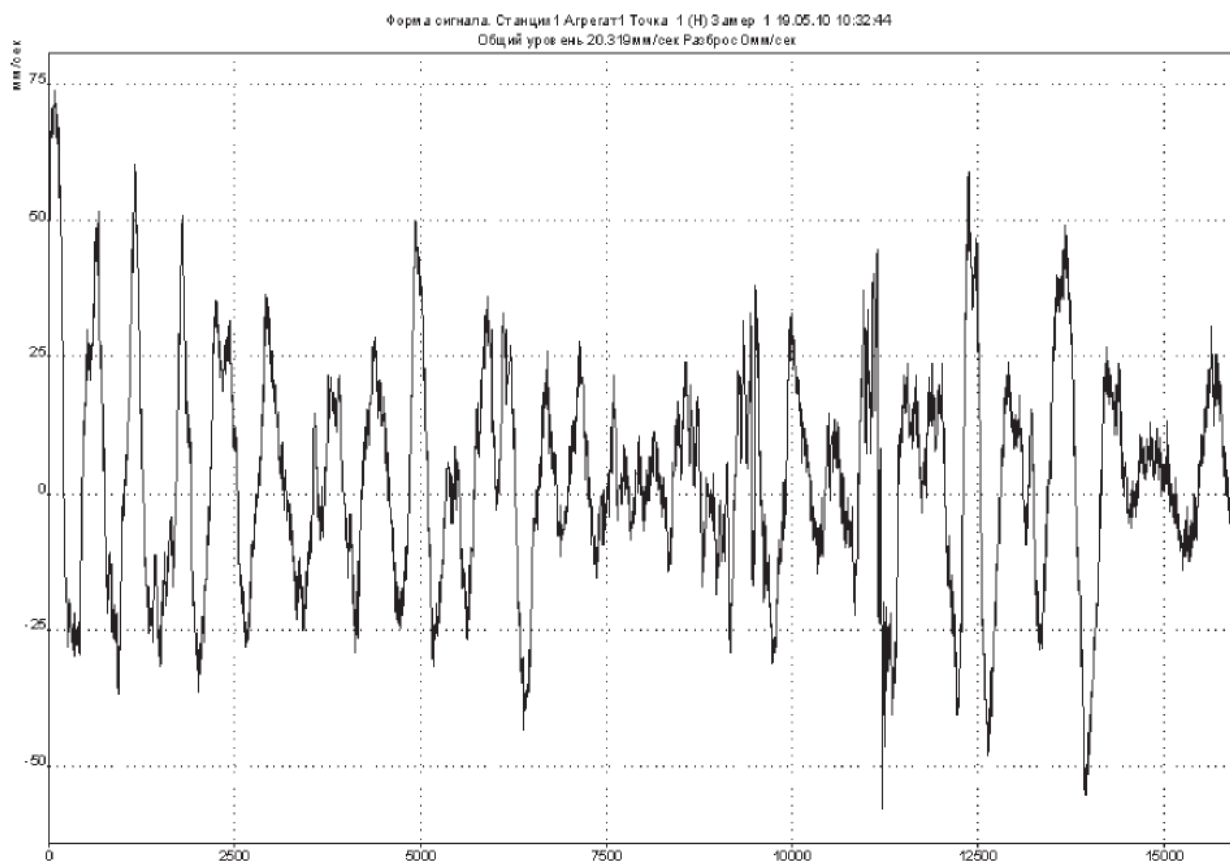
- получение зависимости скорости колебаний центра масс ТС от

скорости его движения [241];

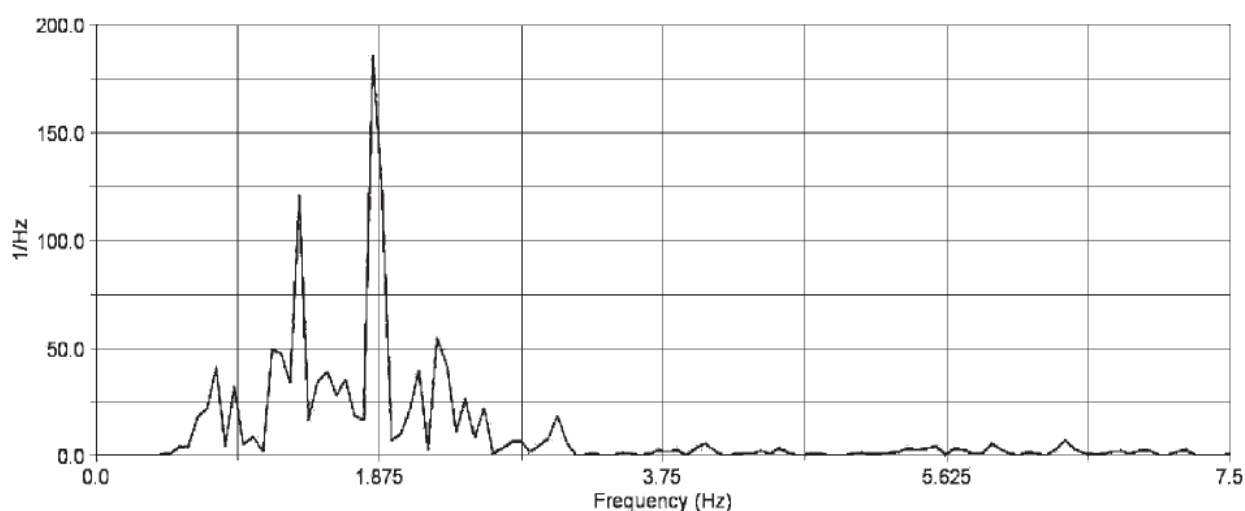
- определение статистических характеристик данных процессов;
- определение амплитуд и частот колебаний.

Для регистрации параметров был использован виброанализатор «Кварц» с датчиком (с магнитным креплением). Результаты обработки полученных экспериментальных данных приведены на графиках рисунка 1.44.

Рассмотренный подход определения параметров колебательной системы позволяет решить ряд проблем. В первую очередь это касается получения амплитудно-частотных характеристик. Например, появляется возможность определения амплитуд колебания плодов, находящихся в различных слоях кузова ТС. При этом точность данных будет определяться погрешностью используемого прибора (для бытовых приборов погрешность может составлять до 10%, для полупрофессиональных – до 4-5%, и профессиональных менее 3%).



а)



б)

а - изменение скорости перемещений центра масс; б - его расчетная амплитудно-частотная характеристика.

Рисунок 1.44 - Результаты эксперимента [26]

В итоге имеем, что для получения точной зависимости амплитудно-частотных характеристик от скорости движения ТС не требуется проведение сложных математических вычислений (подбор оптимальных значений параметров колебательной системы ТС). Достаточно лишь провести соответствующие испытания конкретных моделей груженых транспортных средств на различных режимах работы (скоростях движения), передвигающихся по конкретным маршрутам (по картофельным полям и местам предварительного/постоянного хранения картофеля, которые имеют постоянное местоположения, то и маршрут следования остается практически неизменным).

В дальнейших исследованиях наиболее целесообразным и эффективным будет являться рассмотренный выше способ определения амплитудно-частотных характеристик колебания груза в кузове ТС [224].

Рассмотрим более подробно вопрос влияния различных факторов [16] на организацию и осуществление внутрихозяйственных перевозок свежесобранного картофеля (рис. 1.45)

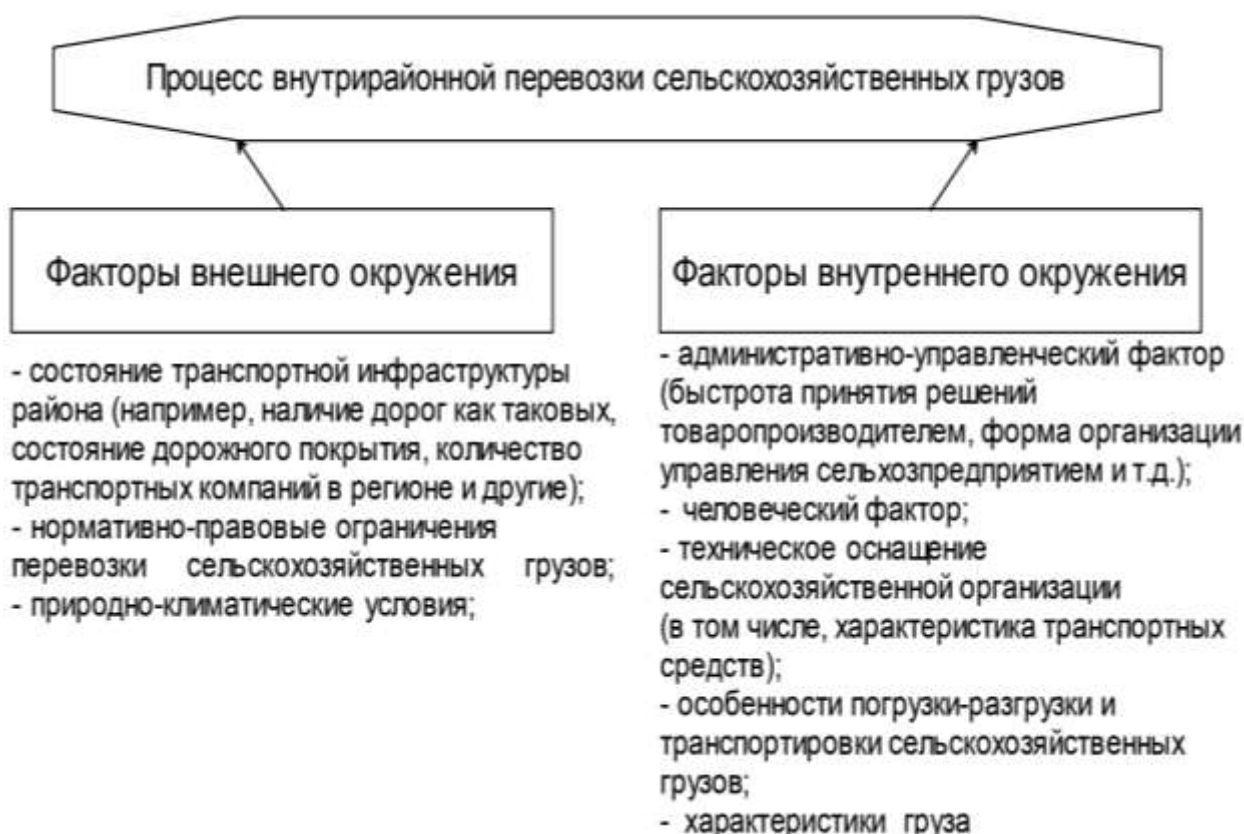


Рисунок 1.45 – Факторы, оказывающие влияние на процесс организации внутрихозяйственных перевозок свежесобранного картофеля

Согласно представленной выше схеме, все факторы разбиты на две группы: факторы внешнего и внутреннего окружения. Детальное описание факторов представлено в таблице 1.16.

Таблица 1.16 – Характеристика факторов внешнего и внутреннего окружения [16]

| Фактор                                | Содержание фактора                | Ограничение                                               |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Состояние транспортной инфраструктуры | Состояние дорожного покрытия [44] | Скорость движения ТС                                      |
|                                       | Протяженность дорог               | Расстояние между пунктом отправления и пунктом назначения |
| Нормативно-правовые                   | нормативы перевозки               | Скорость движения                                         |

| <b>Фактор</b>                                                                                 | <b>Содержание фактора</b>                                                | <b>Ограничение</b>                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| ограничения грузоперевозки                                                                    | определенного типа груза                                                 | ТС, максимальная масса груженного ТС                   |
| Природно-климатические условия                                                                | длительность сезона сбора/посадки                                        | Установленные сроки сбора урожая                       |
|                                                                                               | погодные условия в процессе перевозки                                    | Скорость движения ТС, режим движения ТС                |
|                                                                                               | Рельеф местности                                                         | Скорость движения ТС                                   |
| административно-управленческий                                                                | Форма организации деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя | Схема организации транспортных работ                   |
|                                                                                               |                                                                          | механизация погрузо-разгрузочных работ                 |
| человеческий                                                                                  | влияние человеческого фактора на процесс перевозки                       | режим движения ТС                                      |
| Техническое оснащение организации (особенности погрузки-разгрузки и транспортировки продукта) | Наличие ТС                                                               | количество, эксплуатационно-технологические показатели |
|                                                                                               |                                                                          | Средства механизации погрузки-разгрузки                |

Рассмотренные в данной таблице 1.16 факторы имеют различную природу, степень влияния на технологические показатели работы транспортных средств и весь процесс перевозки свежесобранного картофеля в целом, но при этом в адаптивной модели уборки картофеля они должны быть учтены (особенно в системе ограничений модели).

Далее следует рассмотреть этап разгрузки самосвальных кузовов ТС. Здесь можно выделить две ситуации, способствующие получению механических повреждений отдельными клубнями:

- клубни расположены у заднего откидного борта. В этом случае они падают с максимальной высоты (от дна грузовой платформы самосвального

кузова ТС до поверхности на которую производится разгрузка) и на различные поверхности, такие как земля, дощатый пол, прорезиненное подвижное дно приемного бункера и т.д. (и только по истечению некоторого промежутка времени клубни начинают падать на уже лежащий внизу картофель).

- клубни расположены у переднего борта самосвального кузова ТС, так как при перемещении вдоль грузовой платформы картофельный ворох получает дополнительное ускорение, следовательно, растет энергия контактного взаимодействия.

Рассмотрим первый вариант более подробно. Для описания рассматриваемого процесса воспользуемся задачей Генриха Герца о контакте двух упругих тел с искривлёнными поверхностями [161, 243]. При этом нас будут интересовать следующие варианты [219]:

- удар клубней о неупругие поверхности;
- удар клубней об обрезиненные поверхности.
- удар клубней о ранее упавшие (клубни).

Для начала найдем максимальное контактное давление при ударе клубня о плоскую поверхность [161]:

$$p_{\max} = \left( 40\rho \cdot \vartheta^2 \left( \frac{E^*}{\pi} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}} \quad (1)$$

где:  $p_{\max}$  - максимальное давление, Па;

$\vartheta$  – скорость клубня в момент его удара, м/с;

$\rho$  – плотность клубня, кг/м<sup>3</sup>. (табл. 1.17).

$E^*$  - приведенный модуль упругости, Па.

Рассчитаем приведенный модуль упругости по формуле [60, 79]:

$$E^* = \frac{2E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \quad (2)$$

где:  $E_1$  - модуль Юнга поверхности, на которую падает клубень, Па.

Для стали  $E_1 = 1,95 - 2,06 \cdot 10^{11}$  Па; дерева (сосна)  $E_1 = 8,8 \cdot 10^9$  Па, резины  $E_1 = 5 \cdot 10^6$  Па [201].

$E_2$  - модуль Юнга клубня, Па.



Таблица 1.17 – Характеристики клубней картофеля

| Сорт         | Плотность клубня* ( $\rho$ ), кг/м <sup>3</sup> |
|--------------|-------------------------------------------------|
| «Романе»     | 1100,9                                          |
| «Санта»      | 1107,5                                          |
| «Рубин»      | 1042                                            |
| «Андретта»   | 1127                                            |
| «Невский»    | 1127                                            |
| «Гатчинская» | 1035                                            |

\* усредненное значение для всего клубня

Исследованиями физико-механических свойств клубней занимались такие ученые как А.В. Брусенков, С.М. Ведищев, А.В. Прохоров [20], С.В. Заводнов [57], Н.Р. Андреев, В.Г. Жуков, А.А. Михайленко, Д.В. Безруков [45] и др. [223] В расчетах для свежееубранных клубней будем использовать  $E_1 = 2 \cdot 10^6$  Па ( $E_1 = 3,2 \cdot 10^6$  Па после зимнего хранения).

Так как в начальный момент (сразу после открытия заднего откидного борта) клубни находились в неподвижном состоянии, то скорость центра масс клубня в момент удара найдем [21]:

$$v = \sqrt{2g \cdot h} \quad (3)$$

где:  $g$  – ускорение свободного падения.  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;

$h$  - высота падения клубней (от дна грузовой платформы самосвального кузова ТС до поверхности на которую производится разгрузка).

Окончательно формула (1) примет вид:

$$p_{\max} = \left( 40\rho \cdot 2g \cdot h \cdot \left( \frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}} \quad (4)$$

Учитывая, что  $\sigma_{\max} = 0,62 \cdot p_{\max}$  [161] получим следующее:

$$\sigma_{\max} = 0,62 \cdot \left( 40\rho \cdot 2g \cdot h \cdot \left( \frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}} \quad (5)$$

При падении клубней на уже лежащие внизу, максимальное контактное давление определяется [161]:

$$p_{max} = \left( 40(k+1)^3 \rho \cdot 2g \cdot h \cdot \left( \frac{E^*}{\pi} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}} \quad (6)$$

где:  $k$  – коэффициент, характеризующий форму соударяющихся клубней [161].

$$k = \frac{R_1}{R_2} \quad (7)$$

$R_1$  – радиус падающего клубня, м;

$R_2$  – радиус несвободного клубня, м.

Так как калибровка клубней не производится (из бункера комбайна в ТС перегружаются клубни различных размеров и форм в зависимости от возделываемого сорта [37, 152]), то сделаем допущение, что  $R_1 = R_2$  и, следовательно,  $k = 1$ .

Подставив формулу (7) в (6) получим:

$$\sigma_{max} = 0,62 \cdot \left( 320\rho \cdot 2g \cdot h \cdot \left( \frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}} \quad (8)$$

В работе Н.Р. Андреева и В.Г. Жукова [45] приводятся данные о пределе прочности клубней  $\sigma_{пред} \approx 0,5 - 0,55$  МПа, схожие данные можно встретить и в работах Н.Р. Саврасовой [160, 161]. При этом на данный показатель будет оказывать существенное влияние сорт картофеля, а также продолжительность хранения клубней.

Воспользовавшись формулами (5) и (8) найдем безопасные перепады высот, при падении с которых клубни не получают травмы (табл. 1.18).

Таблица 1.18 – Безопасные высоты падения клубней

|                         |                       | Сталь | Дерево | Резина | Клубни |
|-------------------------|-----------------------|-------|--------|--------|--------|
| Предельная<br>высота, м | $\sigma_{доп} = 0,4$  | 0,048 | 0,048  | 0,184  | 0,096  |
|                         | $\sigma_{доп} = 0,5$  | 0,146 | 0,146  | 0,563  | 0,293  |
|                         | $\sigma_{доп} = 0,55$ | 0,236 | 0,236  | 0,906  | 0,47   |

Как видно из данных таблицы 1.18 при разгрузке ТС без использования устройств компенсирующих перепад высот (приемных бункеров или гасителей падения клубней) высок риск боя груза. Например, для ТТА 2ПТС-

4,5 плоскость дна грузовой платформы возвышается над уровнем поверхности земли на 1320 мм, прицепа ТОНАР 85792 – 1490мм, SPC16 «UMEGA» - 1500 мм и так далее.

Зная предельные значения перепада высот необходимо проанализировать сам процесс выгрузки картофельного вороха из кузова ТС. Это необходимо для определения количества клубней, которое может получить механические повреждения. В своей работе для этой цели Рябчиков Д.С. [154] разработал программу для ЭВМ [162]. Результат симуляции представлены на рисунке 1.46. Как видим, клубни картофеля при разгрузке образуют ворох по форме близкой к половине эллипсоида [97].

Перечисленные выше расчеты касались только картофельного вороха, расположенного непосредственно возле заднего откидного борта. В этом случае начальная скорость падения клубней  $\vartheta_0 = 0$ . Та же часть груза, которая располагалась на удалении от заднего откидного борта, при перемещении по кузову ТС (по мере опрокидывания грузовой платформы) приобретет определенную скорость  $\vartheta_0 > 0$ , а, следовательно, максимальное контактное давление при ударе будет достигаться при падении с меньшей высоты.

Найдем количество картофеля, выгружаемое на первом этапе (рис. 1.47). Условный полный объем кузова ТС составляет:

$$V_{\text{куз}} = l \cdot h \cdot b \quad (9)$$

где:  $b$  – ширина кузова, м.

Объем груза составляет:

$$V_1 = b \cdot \frac{1}{2} \cdot h \cdot l_{AB} = b \cdot \frac{1}{2} \cdot h \cdot h \cdot \operatorname{tg}(90 - a) = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h^2 \cdot \operatorname{tg}(90 - a) \quad (10)$$

Согласно исследованиям [209] угол естественного скатывания клубней принимает значение от 30,26 до 35,15 град. Получаем  $\operatorname{tg}(90 - a) = 1,42 - 1,71$ . Найдем объемную долю продукции, выгружаемую без опрокидывания кузова ТС:

$$K = \frac{V_{\text{куз}}}{V_1} = \frac{\frac{1}{2} b \cdot h^2 \cdot \operatorname{tg}(90 - a)}{l \cdot h \cdot b} \cdot 100\% = \frac{(1,42 \dots 1,71) \cdot h}{2 \cdot l} \cdot 100\% \quad (11)$$

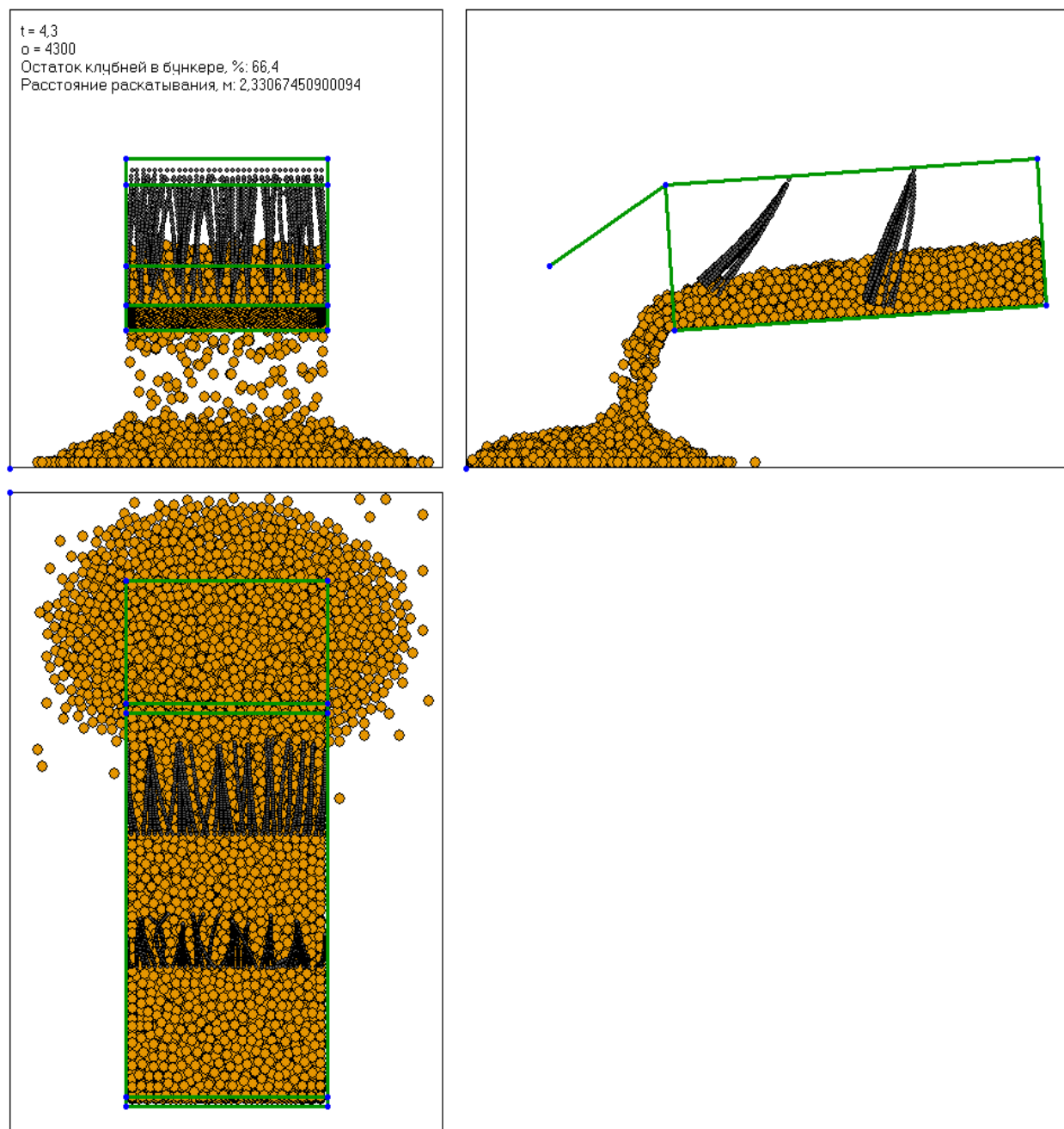
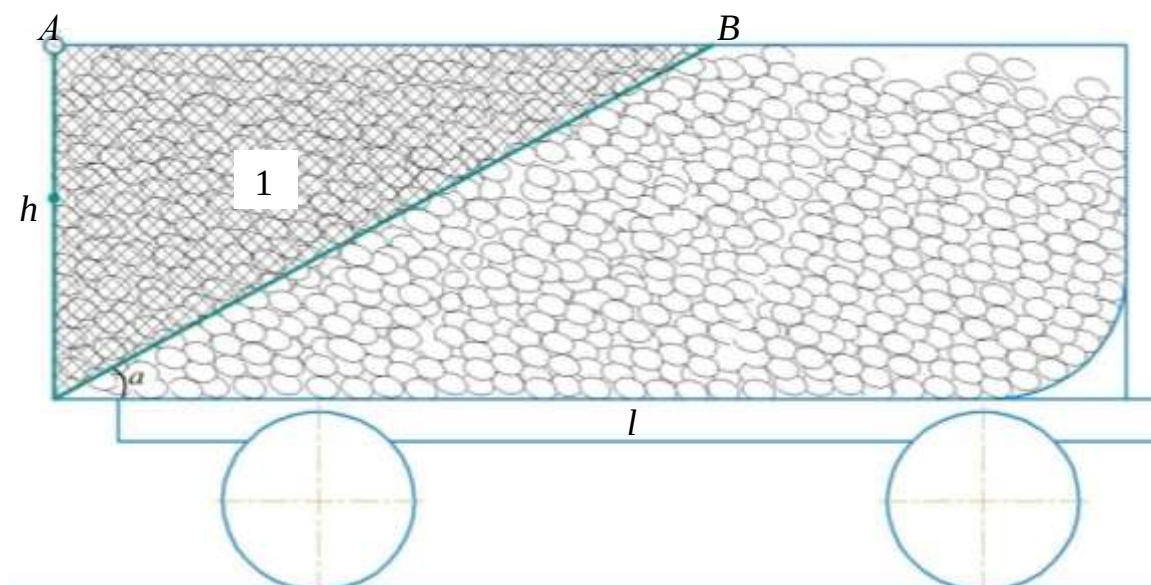


Рисунок 1.46 – Схема разгрузки картофельного вороха из кузова ТС [154]

Как видно из формулы (11) данный показатель зависит от геометрических параметров самосвального кузова ТС, а следовательно для каждой модели будет различен. Например, для ТТА 2ПТС-4,5 составит около 20-24% с надставными бортами и 12-13% без них, ТОНАР 85792 - 16,7-20,1%, SPC16 «UMEGA» - 18,77-22,61%.

Рассмотрим этап разгрузки клубней, располагавшихся у переднего борта ТС.



1 – объем выгружаемой продукции до начала подъема кузова ТС;  
 $l$  – длина кузова ;  $h$  – высота кузова;  $a$  - угол естественного скатывания клубней.

Рисунок 1.47 – Условная схема загрузки самосвального кузова ТС

Скорость клубней в момент удара (о плоскую поверхность или о плотно лежащие клубни) найдем по формуле:

$$\vartheta_k = \sqrt{\vartheta_n^2 + 2g \cdot h} \quad (12)$$

где:  $\vartheta_n$  – скорость клубней в момент схода с грузовой платформы ТС, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения.  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;

$h$  – высота падения клубней.

Для нахождения скорости клубней в момент их схода с грузовой платформы ТС воспользуемся следующей формулой [58]:

$$\vartheta_n = \sqrt{2 \cdot g \cdot l \left[ \sin \beta - f_1 \cdot \cos \beta \cdot \left( 1 + \frac{n \cdot h_0}{b} \right) \right] + \vartheta_0^2} \quad (13)$$

где:  $l$  – длина грузовой платформы, м;

$\beta$  – угол опрокидывания платформы назад, град;

$f_1$  – коэффициент трения груза о борта и платформу.  $f_1 = 0,32 - 0,45$  [49] (коэффициент трения качения клубня по стали);

$\vartheta_0$  – начальная скорость клубней, располагавшихся у переднего борта ТС, м/с.  $\vartheta_0 = 0$  м/с;

$n$  – коэффициент бокового давления.  $n \approx 1$  [58];

$b$  – ширина грузовой платформы, м;

$h_6$  – высота заднего откидного борта, м.

Стоит заметить, что задний откидной борт самосвальных кузовов ТС может открываться по разным схемам (рис. 1.48).

Воспользовавшись формулами (12), (8) и (5) можно найти предельную величину перепада высот, при которой клубни не получают повреждения после падения. Для примера рассмотрим разгрузку самосвального кузова ТТА 2ПТС 4,5 (с основными бортами и с надставными). Исходными данными послужат:

ускорение свободного падения  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;

высота дна кузова над уровнем поверхности дороги  $h = 1,28$  м;

длина кузова  $l = 4,08$  м;

угол опрокидывания назад  $\beta = 50$ ;

коэффициент трения клубня о дно кузова ТС  $f_1 = 0,4$ ;

начальная скорость клубней  $\vartheta_0 = 0$  м/с;

коэффициент бокового давления  $n \approx 1$ ;

ширина кузова  $b = 2,22$  м;

высота кузова  $h_6 = 0,62$  м с основным бортом и  $h_6 = 1,15$  м с надставными.



а)



б)



в)

а - полное открытие заднего откидного борта (основного); б – полное открытие заднего откидного борта (основного и надставного); в - частичное открытие заднего откидного борта.

Рисунок 1.48 – Варианты открытия откидного борта самосвальных кузовов

Воспользовавшись формулой (13) получим следующие результаты:

$$\vartheta_{\text{н}} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 4,08 \left[ \sin 50 - 0,4 \cdot \cos 50 \cdot \left( 1 + \frac{1 \cdot 0,62}{2,22} \right) \right] + 0} = 5,91 \text{ м/с}$$

и для второго варианта:

$$\vartheta_{\text{н}} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 4,08 \left[ \sin 50 - 0,4 \cdot \cos 50 \cdot \left( 1 + \frac{1 \cdot 1,15}{2,22} \right) \right] + 0} = 5,48 \text{ м/с}$$

Окончательная скорость клубней в момент удара будет равна:

$$\vartheta_{\text{к}} = 7,75 \text{ м/с и } \vartheta_{\text{к}} = 7,43 \text{ м/с соответственно.}$$

Из расчетов следует, что скорость падения клубней зависит от полноты заполнения кузова (у кузова только с основными бортами скорость падения клубней выше на 4,3% чем у кузова с надставными). При этом полученные значения значительно превышают допустимые уровни (табл. 1.19).

Исходя из вышеописанного, следует что при стандартной разгрузке самосвальных кузовов ТС велик риск травмирования клубней при падении. Поэтому целесообразным решением является модернизирование



существующей серийной техники, выполняющей транспортную работу по внутрихозяйственным перевозкам плодоовощной продукции.

Таблица 1.19 – Допускаемые скорости удара клубня [161]

| Поверхность          | Скорость удара $v_k$ , м/с |
|----------------------|----------------------------|
| сталь, дерево        | 1,9-2,5                    |
| Резина               | 5,6-7,5                    |
| свободный клубень    | 3,8-5                      |
| не свободный клубень |                            |
| $k=2$                | 2,7-3,6                    |
| $k=1$                | 2,7-3,6                    |
| $k=0,5$              | 4,1-5,2                    |

Рассмотрев суть возникшей проблемы (а именно причины повреждения клубней при их выгрузке из самосвальных кузовов транспортных средств) [6, 242], перейдем к анализу технических решений, предназначенных для ее устранения. В первую очередь рассмотрим перегрузочные устройства, устанавливаемые непосредственно на транспортные средства.

Так компания Fliegl выпускает прицеп-вагон ASW с транспортером «POM-Over» (рис. 1.49), который может быть установлен опционально на базовую модель ТС [175, 179, 238, 239] и благодаря этому появляется возможность щадящей выгрузки картофельного вороха из кузова.



Рисунок 1.49 – Прицеп ASW с лентой-транспортером «POM-Over»



В данном прицепе подача вороха к выгрузному устройству осуществляется посредством специальной выдвигающейся системы (рис. 1.50), а не опрокидыванием кузова транспортного средства или при помощи донного транспортера. Это не приводит к дополнительному повреждению клубней (как например, в случае с опрокидыванием кузова, когда клубни получают дополнительное ускорение при скатывании и, следовательно, большую энергию соударения [218]).



Рисунок 1.50– Выдвигающаяся система Fliegl

В дополнение к вышесказанному прицеп ASW приобретает еще одну функцию — возможность перегрузки картофельного вороха в другое транспортное средство или тару (контейнер) [177].

Компания Brettmeister пошла другим путем, разработав тракторный прицеп модели КЗ, в передней части которого установлено перегрузочное устройство (рис. 1.51). При этом в полном объеме сохраняются функциональные возможности, рассмотренные ранее. Ко всему изложенному следует добавить, что конструкция перегрузочного устройства позволяет производить дополнительно доочистку картофельного вороха от почвенных примесей (полотно элеватора выполнено из сетчатого полотна).

На прицепе Brettmeister КЗ подача картофельного вороха к перегрузочному устройству осуществляется при помощи донного транспортера. Схожим в техническом плане является отечественная разработка - картофелевоз БАЛТ. В продаже имеется:

- автомобиль БАЛТ длиной 6 м;
- прицеп БАЛТ длиной 6 м;
- полуприцепы БАЛТ длиной 12 м.



Рисунок 1.51 – Тракторный прицеп Brettmeister K3

Опционально данная техника может быть оснащена специальными устройствами (рис. 1.52), предназначенными для бережной разгрузки клубней из кузова ТС.



Рисунок 1.52 – Автомобиль БАЛТ «ГРАНД-ПОЛЕВИК»

На рисунке 1.53 представлено устройство донного транспортера кузова БАЛТ «ГРАНД-ПОЛЕВИК» (аналогичная схема используется на прицепе Brettmeister K3).

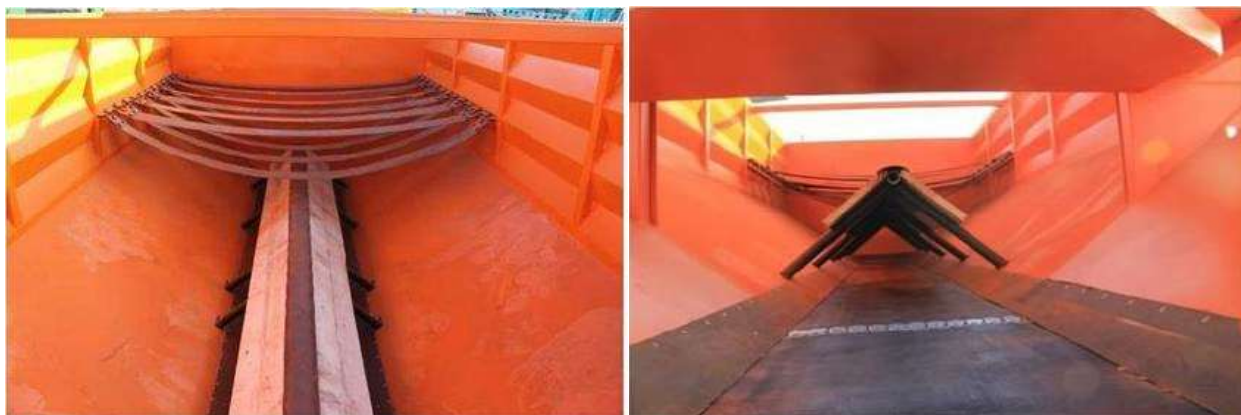


Рисунок 1.53 – Автомобиль БАЛТ «ГРАНД-ПОЛЕВИК»

Еще одним производителем, массово выпускающим подобную технику, является машиностроительный завод «Тонар». На рисунке 1.54 прицеп Тонар ПТ-4. Используемое перегрузочное устройство также как и на зарубежных аналогах (например, на прицепе Brettmeister K3) имеет возможность отделения остаточных почвенных примесей из картофельного вороха [52].

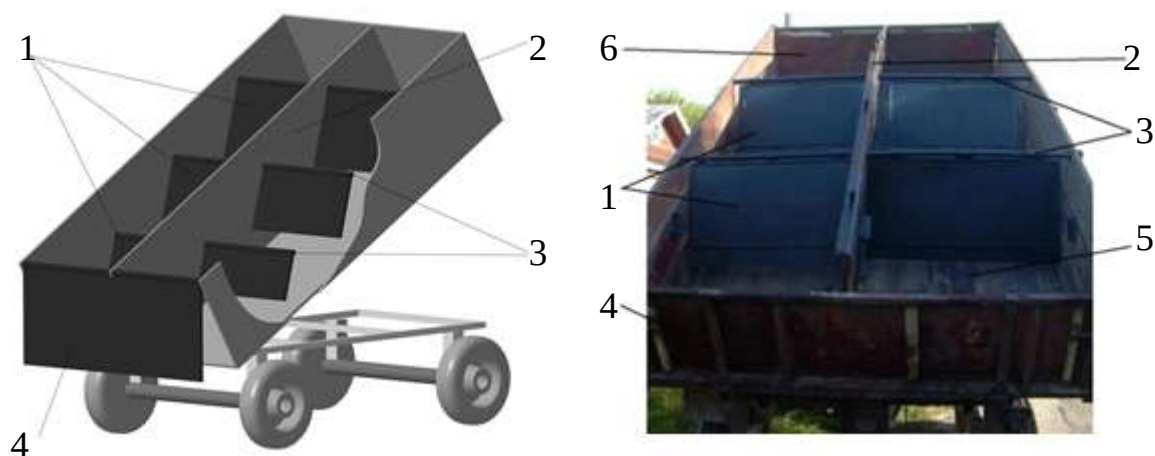


Рисунок 1.54 – Прицеп Тонар ПТ-4



Все рассмотренные выше модели оборудованы подающими устройствами: донным транспортером или выдвигающей системой. Разгрузка же серийных самосвальных ТС производится путем опрокидывания их кузовов [14, 65]. В результате чего клубни картофеля получают дополнительное ускорение (как отмечалось ранее) [219, 239] и как следствие взаимодействуют с различными поверхностями (элементами кузова ТС или поверхностью на которую производится разгрузка) либо другими клубнями с большей энергией [161]. В связи с этим возникла потребность в техническом решении данной проблемы.

В первую очередь стоит отметить [114, 131] самосвальный кузов транспортного средства (рис. 1.55) оснащенный одной продольной перегородкой 2 и шестью попарно симметричными поперечными 1. За основу был взят ТТА 2ПТС-4. В ходе лабораторно-полевых испытаний устройство показало свою состоятельность. Был получен положительный экономический эффект от его использования [233].



1 – поперечные перегородки (подвижные); 2 – продольная перегородка; 3 – оси вращения перегородок; 4 - задний откидной борт; 5 – дно кузова, 6 – передний борт.

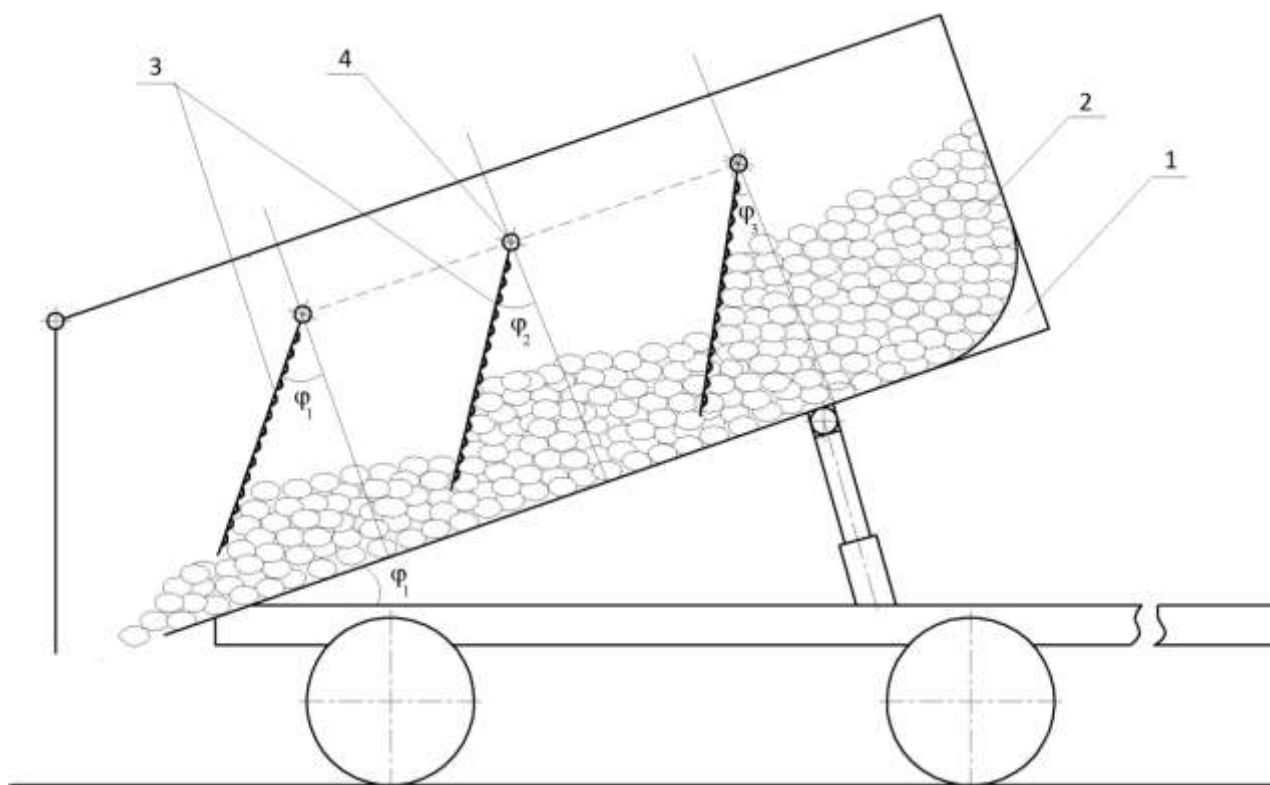
Рисунок 1.55 – Модернизированный кузов ТТА 2 ПТС-4 [114]

При этом в ходе испытаний были выявлен существенный недостаток - отсутствие возможности контроля степени открытия поперечных перегородок 1. Так при опрокидывании кузова, под тяжестью картофельного

вороха, они попорачивались относительно своих осей 3 на максимально допустимый угол (ограничителем служили упоры на боковых бортах транспортного средства). В результате чего было реализовано лишь частичное ограничение потока выгружаемого вороха картофеля.

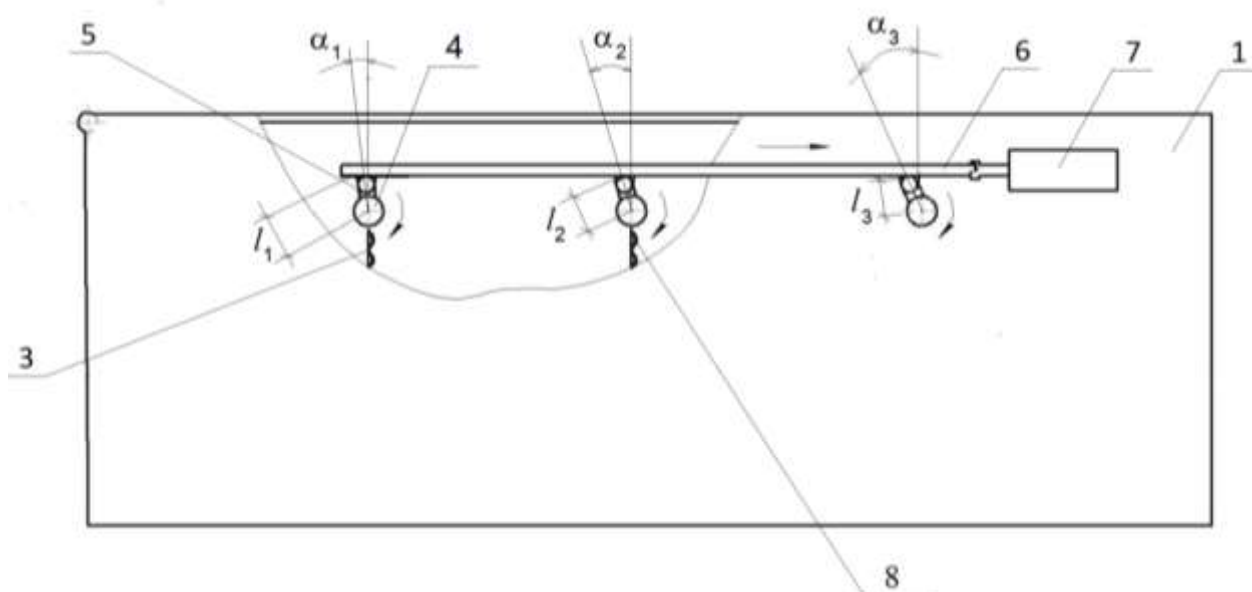
Учитывая первичный опыт, был разработан следующий самосвальный кузов для перевозки легкоповреждаемой сельскохозяйственной продукции [110] (рис. 1.56-1.58).

Применение на внутрихозяйственных перевозках подобной конструкции транспортного средства [110, 240] позволяет решить выявленные и описанные ранее проблемы. В первую очередь, поперечные перегородки 3 (рис. 1.56) разделяют на зоны внутреннее пространство кузова (на четыре зоны) и приводится в действие при помощи гидропривода (что позволяет открывать их не только своевременно, но и на заданный угол). Благодаря этому обеспечивается равномерность выгрузки продукции и снижается вероятность боя отдельных клубней.



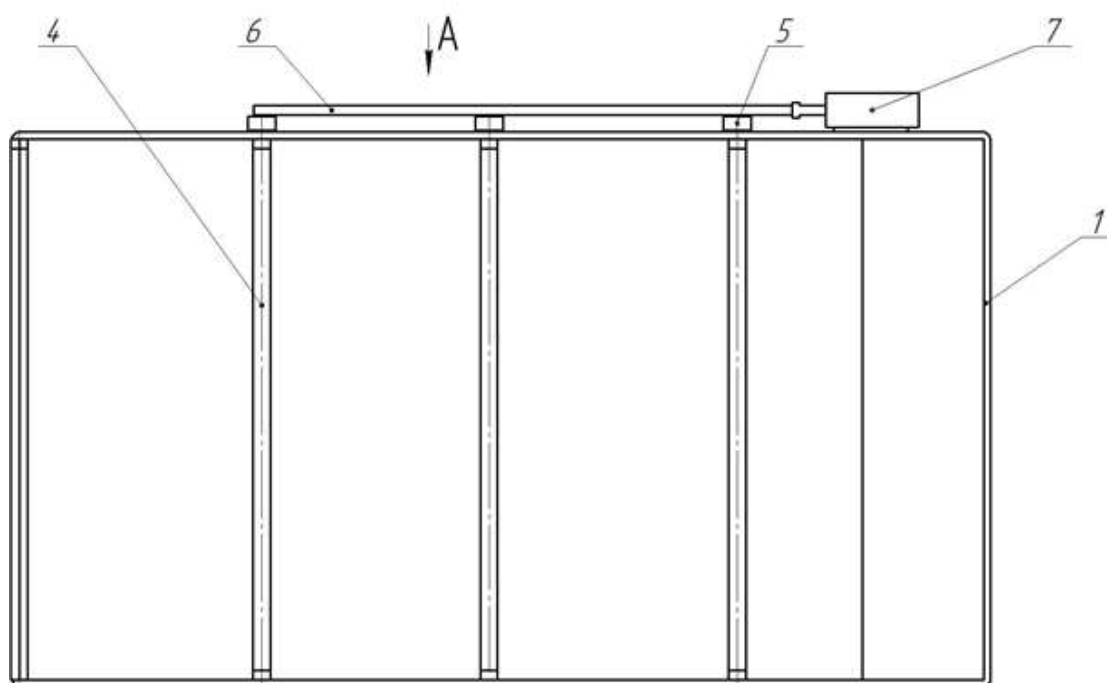
1 – кузов; 2 – груз; 3 – перегородка; 4 – ось перегородки.

Рисунок 1.56 – Схема выгрузки картофеля из самосвального кузова ТС



1 – кузов; 3 – перегородка; 4 – ось перегородки; 5 – консоль; 6 – шток гидроцилиндра; 7 – корпус гидроцилиндра; 8 – не жесткое противоскользящее покрытие;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  – углы наклона консолей 5 к вертикальной оси;  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  – длины соответствующих консолей.

Рисунок 1.57 – Вид А самосвального кузова ТС



1 – кузов; 4 – ось перегородки; 5 – консоль; 6 – шток гидроцилиндра; 7 – корпус гидроцилиндра.

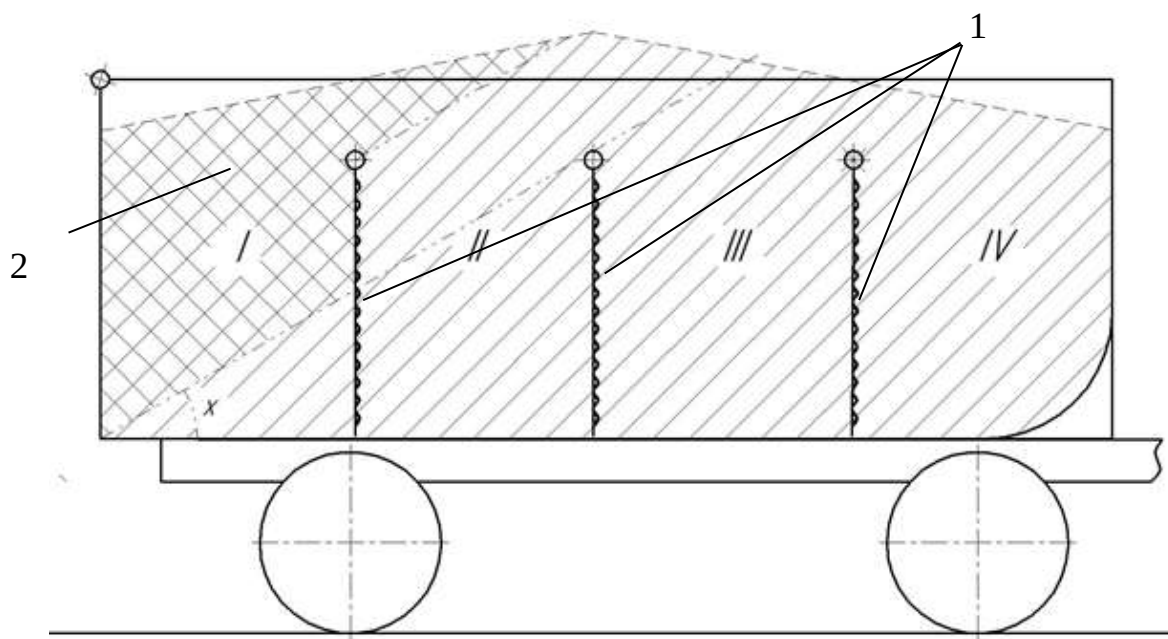
Рисунок 1.58 – Вид сверху самосвального кузова ТС

Во вторых, за счет зонирования пространства уменьшается объем продукции, выгружаемой на первом этапе - при открытии заднего откидного борта (рис. 1.59), ведь в этом случае клубни получают больше повреждений.

Как видно из рисунка 1.59, объем продукции, выгружаемый при открытии заднего откидного борта значительно меньше, чем у серийного ТС, и, следовательно, уменьшена доля клубней потенциально способных получить повреждения.

Также было разработано следующее техническое решение - навесное перегрузочное устройство для самосвального кузова транспортного средства [104, 238], к отличительным особенностям которого следует отнести:

- универсальность – возможность установки на широкий ассортимент самосвальных прицепов и полуприцепов;
- возможность перегрузки продукции из транспортного средства в контейнер (накопитель) или сортировальный пункт без привлечения дополнительных технических средств.

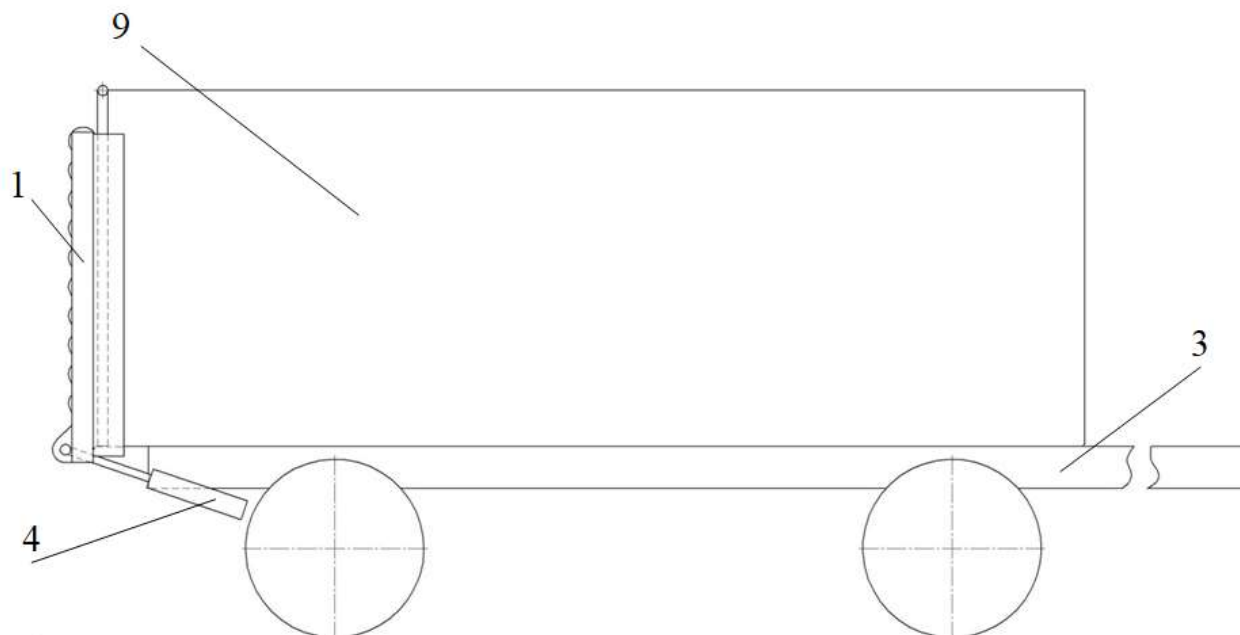


$x$  - угол естественного скатывания клубней; I,II,III,IV – зоны;  - объем кузова ТС заполненный картофелем;  - объем кузова ТС, опустошаемый при открытии заднего откидного борта; 1 – перегородки; 2 – задний откидной борт.

Рисунок 1.59 – Поперечный разрез самосвального кузова ТС

Принцип действия самосвального кузова ТС с навесным устройством следующий (рис. 1.60-1.63). Перед началом разгрузки оператор приводит машину в рабочее состояние: в том числе привод навесного устройства подключается к гидросистеме ТС, а управление выведено на отдельный пульт, а перегрузочное устройство занимает необходимое положение в зависимости от места выгрузки картофеля (на землю либо в тару) (рис. 1.61). После этого оператор открывает задний откидной борт самосвального кузова, и картофельный ворох подается на транспортер.

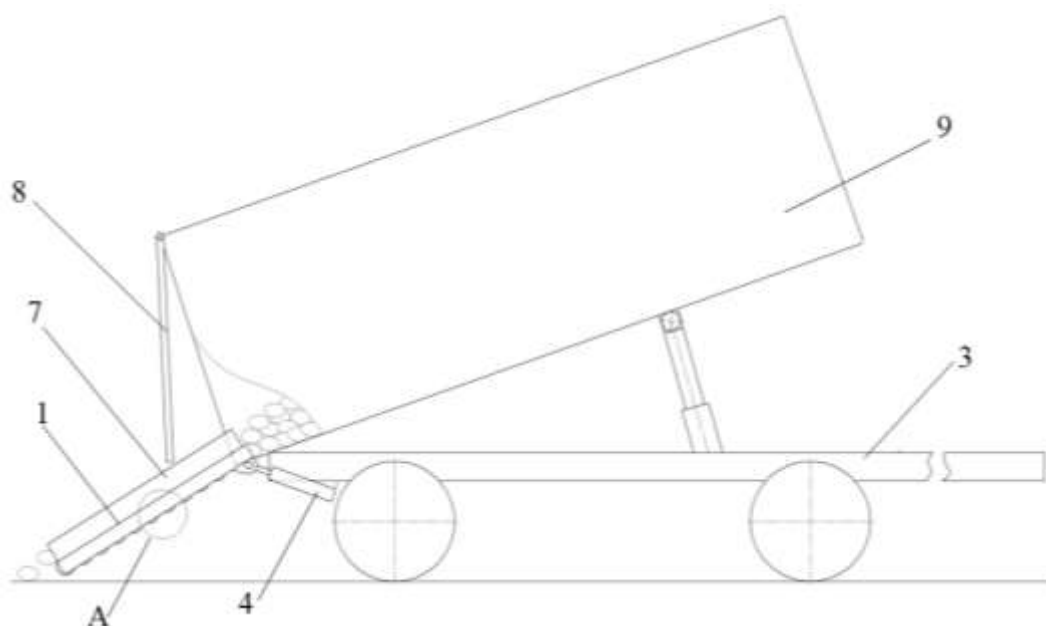
Клубни картофеля, попав на транспортёр, начинают скатываться вниз. Вследствие отсутствия перепада высот их скорость не превышает предельные значения [161, 239]. Для предотвращения эффекта сгуживания ролики совершают вращательные движения, продвигая тем самым лежащие на нем клубни. Самосвальный кузов ТС постепенно опрокидывается назад, способствуя выгрузке оставшейся продукции. После окончания данного этапа все манипуляции выполняются в обратной последовательности.



1 - транспортер с приводом; 3 - рама базовой машины;  
4 - гидроцилиндр подъема; 9 – кузов ТС.

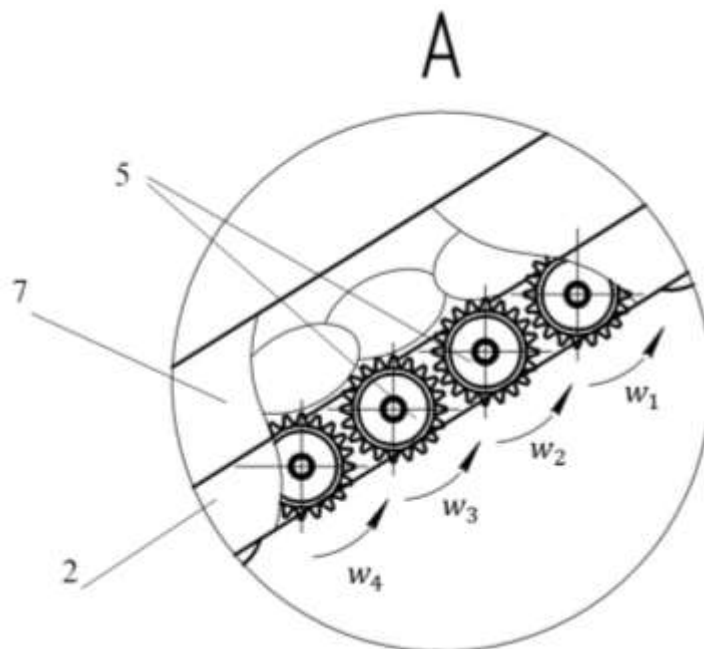
Рисунок 1.60 – Общий вид самосвального кузова с навесным перегрузочным устройством в транспортном положении





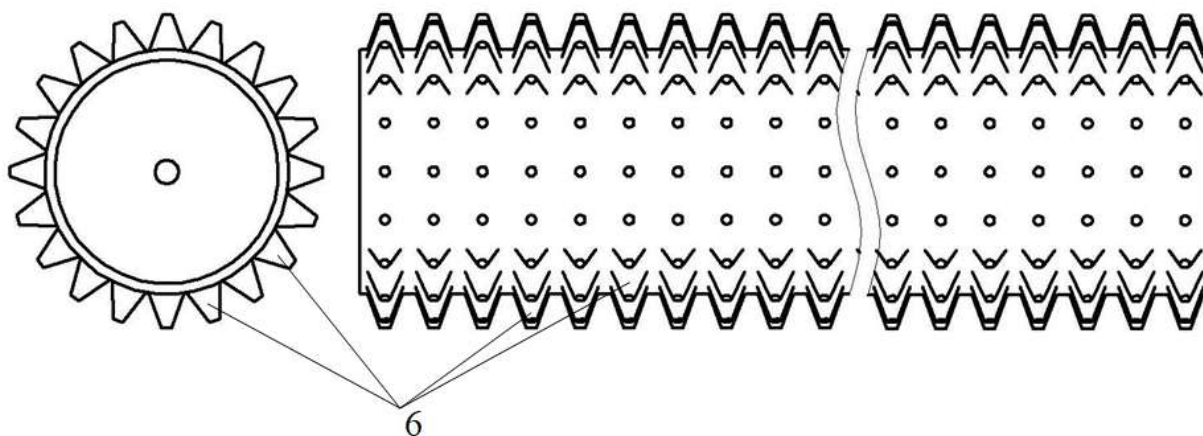
1 - транспортер с приводом; 3 - рама базовой машины;  
4 - гидроцилиндр подъема; 7 - упругие боковины; 8 - задний откидной борт;  
9 – кузов ТС.

Рисунок 1.61 – Общий вид самосвального кузова с навесным перегрузочным устройством при разгрузке



$w_1, w_2, w_3, w_4$  - частоты вращения роликов; 2 - рама транспортера;  
5 - ролики; 7 - упругие боковины.

Рисунок 1.62 – Местный вид роликового транспортера навесного перегрузочного устройства



6 – выступы из упругого материала.

Рисунок 1.63 – Общий вид ролика транспортера навесного перегрузочного устройства

При проведенных лабораторно-полевых испытаниях (рис. 1.64) разработанного навесного перегрузочного устройства было установлено, что на этапе разгрузки самосвального кузова ТС не были зарегистрированы механические повреждения клубней (приложение 3).



Рисунок 1.64 – Испытание навесного перегрузочного устройства

Для установления данного показателя, в кузов ТС средства были заложены исключительно неповрежденные клубни. Разгрузка самосвального кузова (а именно самосвального ТТА 2ПТС-4) производилась в штатном режим и без применения специализированной техники (как видно на

рис. 1.64). Результаты испытаний подтвердили эффективность применения разработанного перегрузочного устройства.

Рассмотренные в данном разделе технические средства, направлены на повышение эксплуатационно-технологических показателей уборочной и транспортной техники. Это особенно важно при выполнении работ в неблагоприятных условиях [127]. Поэтому их применение в комплекс картофелеуборочной и транспортной техники позволит добиться высокого качества производимой продукции.

### **1.6. Постановка научной проблемы и гипотезы**

Проведенный анализ научных работ, позволил определить основные факторы, влияющие на эффективность и качество производства картофеля.

Постоянно растущее стремление к повышению производительности технологических процессов не приносит должных результатов. Для объяснения данной проблемы необходимо рассмотреть весь цикл возделывания картофеля как непрерывный поток отдельных операций. Увеличение производительности на одном участке, например при работе картофелеуборочной машины приведет к тому, что транспортная техника не будет справляться с вывозом продукции с поля, или как вариант будет эксплуатироваться на скоростях, при которых будет наблюдаться рост количества клубней с механическими повреждениями.

В итоге собранный урожай будет иметь непрезентабельный товарный вид и способность к длительному хранению, что непременно скажется на рыночной стоимости продукта.

При этом не стоит забывать об отдельных операциях в рамках уборочно-транспортных работ, например выгрузка клубней из транспортного средства. При использовании универсальных самосвальных кузовов обеспечивается сравнительно высокий уровень повреждения клубней. Более эффективное и дорогостоящее решения – использование специализированной техники с одной стороны решает данную проблему, но

с другой открывает другую. Учитывая, что период уборки урожая весьма короток, то степень использования подобного транспорта будет невысока, что весьма нецелесообразно с экономической точки зрения.

Научная проблема – организация эффективного взаимодействия уборочной и транспортной техники при промышленном производстве картофеля с соблюдением всех установленных нормативной документацией агротехнических требований.

В существующих рыночных условиях конечный потребитель диктует требования к качеству возделываемой сельскохозяйственной культуры, и следовательно, ее стоимости. На рисунке 1.65 приведена схема совершенствования уборки картофеля.



Рисунок 1.65 – Блок-схема совершенствования уборки картофеля

Проблема состоит в том, что потери продукции при выполнении технологических процессов уборки картофеля зависят от целого ряда факторов: размерно-массовых характеристик клубней; урожайности картофеля, скоростей движения уборочной и транспортной техники; технологии возделывания, почвенно-климатических условий, период

проведения уборочных работ, конструктивно-эксплуатационных особенностей машин и их количества, удаленности полей от мест хранения. Всесторонний анализ факторов, влияющих на потери картофеля при его уборке, позволил сформулировать научную гипотезу.

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

### **1.7. Выводы по главе 1**

Результаты проведенного анализа вопроса уборки картофеля позволили сформулировать следующие выводы:

1. Эффективность уборки картофеля в первую очередь зависит от согласованности каждого отдельного элемента (комбайна, транспортного средства или пункта послеуборочной доработки клубней) со всем комплексом используемых технических средств. Организация столь сложной организационно-управленческой структуры требует тщательного научно-аналитического подхода. В противном случае увеличение производительности отдельных элементов и соответственно снижение их технологических показателей приведёт не к росту эффективности комплекса в целом, а к простоям и задержкам у других.

2. Одним из основных технологических показателей работы комплекса уборочно-транспортных машин является степень повреждения продукции. В первую очередь это касается организации процесса вывоза с поля свежееубранного картофеля. При этом основная доля клубней получает механические повреждения при загрузке и выгрузке из ТС, или при превышении допустимых значений их эксплуатационных скоростей. Существующие в настоящее время решения данной проблемы в основном сводятся к применению специализированной транспортной техники, что весьма нецелесообразно с точки зрения оптимизации и повышения рентабельности

картофелеводческих хозяйств.

### **1.8. Задачи исследований**

На основании проведенного анализа проблемы производства картофеля были сформулированы следующие задачи исследований.

#### **Задачи исследований:**

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

## **ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ**

### **2.1. Разработка адаптивной модели уборки картофеля**

Основой рассмотренной в первой главе диссертационного исследования идеи послужила адаптированная к процессу уборки картофеля теория массового обслуживания. Суть которой заключалась в разработке математической модели определения оптимальных режимов работы отдельных элементов комплекса технических средств (уборочных машин, транспортных средств и т.д.) обеспечивающих максимальный в эксплуатационном смысле результат.

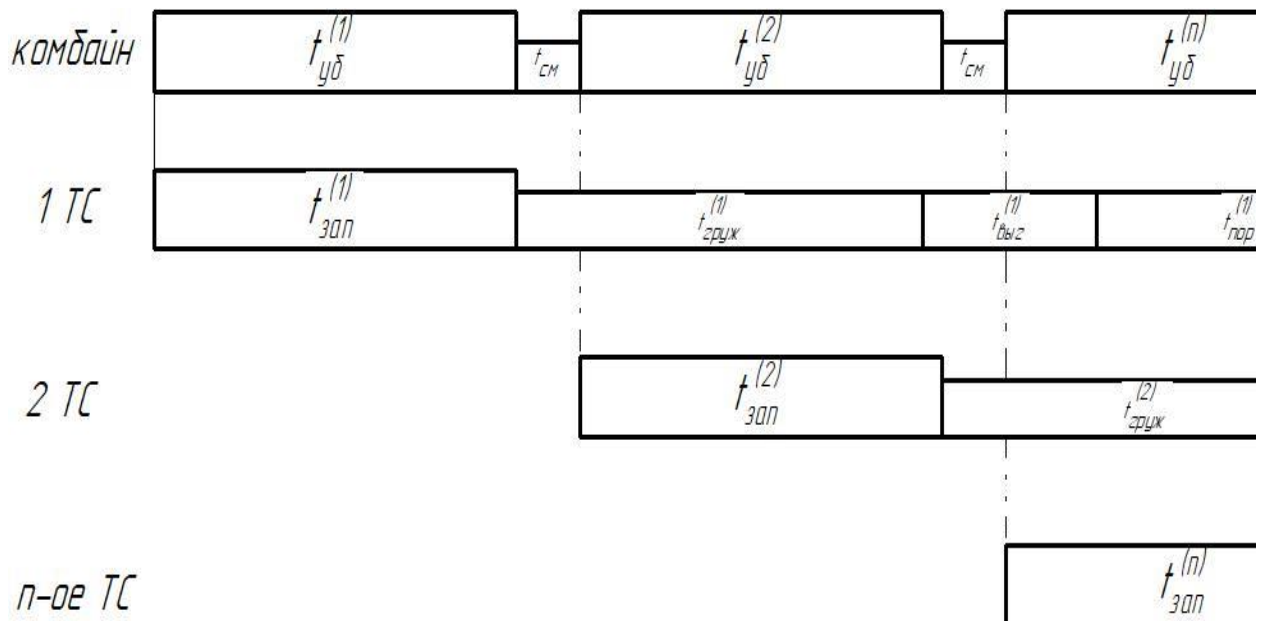
При этом в классическом смысле теория массового обслуживания позволяет свести к минимуму задержки вызванные отсутствием порожних ТС (если применяются элеваторные картофелеуборочные машины, процесс останавливается до появления ТС, а если бункерные – пока не заполнятся накопители), или наоборот продолжительные их простои. Причем данного результата можно добиться на всем диапазоне эксплуатационных показателей задействованной техники (от работы на минимальных скоростях до максимальных).

Не следует забывать, что с ростом эксплуатационных скоростей, как уборочной, так и транспортной техники увеличивается доля поврежденной при данных операциях продукции. Поэтому нахождение баланса между производительностью процесса уборки картофеля в целом и его эффективностью является сложной научно-технической задачей.

Из вышеописанного следует, что возможность использования в адаптивной модели уборки картофеля алгоритма оптимизации уровня повреждения клубней при снижении затрат энергии требует тщательного дальнейшего рассмотрения.

Если рассматривать в общем виде процесс уборки картофеля

комбайном элеваторного типа, то схема выглядит следующим образом (рис. 2.1) [232].



$t_{уб}^1, t_{уб}^2, t_{уб}^n$  – время работы комбайна по заполнению кузова ТС;  
 $t_{см}$  – технологический простой;  $t_{зап}^{(1)}, t_{зап}^{(2)}, t_{зап}^{(n)}$  – время заполнения картофельным ворохом кузова ТС;  $t_{груз}^{(1)}, t_{груз}^{(2)}, t_{груз}^{(n)}$  – время ездки ТС с грузом от комбайна до места разгрузки;  $t_{выг}^{(1)}, t_{выг}^{(2)}, t_{выг}^{(n)}$  – время разгрузки ТС;  
 $t_{пор}^{(1)}, t_{пор}^{(2)}, t_{пор}^{(n)}$  – время ездки ТС без груза от места разгрузки до комбайна

Рисунок 2.1 - Схема работы комплекса машин для уборки картофеля

При этом количество элементов схемы (а именно транспортных средств) будет зависеть от условий проведения уборки картофеля: удаленности поля от места временного хранения продукции, вместимости кузовов ТС, урожайности картофеля, производительности комбайна и так далее.

Более подробно рассмотрим схему организации процесса уборки картофеля [227], состоящую из одного картофелеуборочного комбайна элеваторного типа и двух самосвальных транспортных средств (использование в данной схеме меньшего количества подвижного состава



нецелесообразно из-за длительного простоя комбайна).

Имеем следующее:  $t_{yb}=t_{zap}^{(1)}$  и  $t_{yb}=t_{zap}^{(2)}$  (данное равенство свойственно комбайнам элеваторного типа). В противном случае процесс уборки не может протекать – комбайн способен работать при наличии рядом идущего ТС со свободным местом в кузове. Исключением будет случай, когда уборочная техника работает по комбинированному способу. Для комбайнов бункерного типа описанное выше равенство может не выполняться (рассмотрим далее).

Подробнее опишем схему, представленную на рис 2.2:

- этап «0-1» - комбайн производит загрузку убранных клубней в первое транспортное средство;

- этап «1-2» - технологический перерыв, т.е. момент времени в который первое транспортное средство отъезжает, а второе подъезжает. Если технологический процесс протекает без сбоев (вследствие человеческого фактора, выхода из строя ТС и т.д.), то  $t_{см}$  стремится к нулю;

- этап «2-3» - выгрузка картофеля производится во второе ТС. К окончанию этапа первое ТС должно уже вернуться в исходную точку и быть готовым продолжить работу;

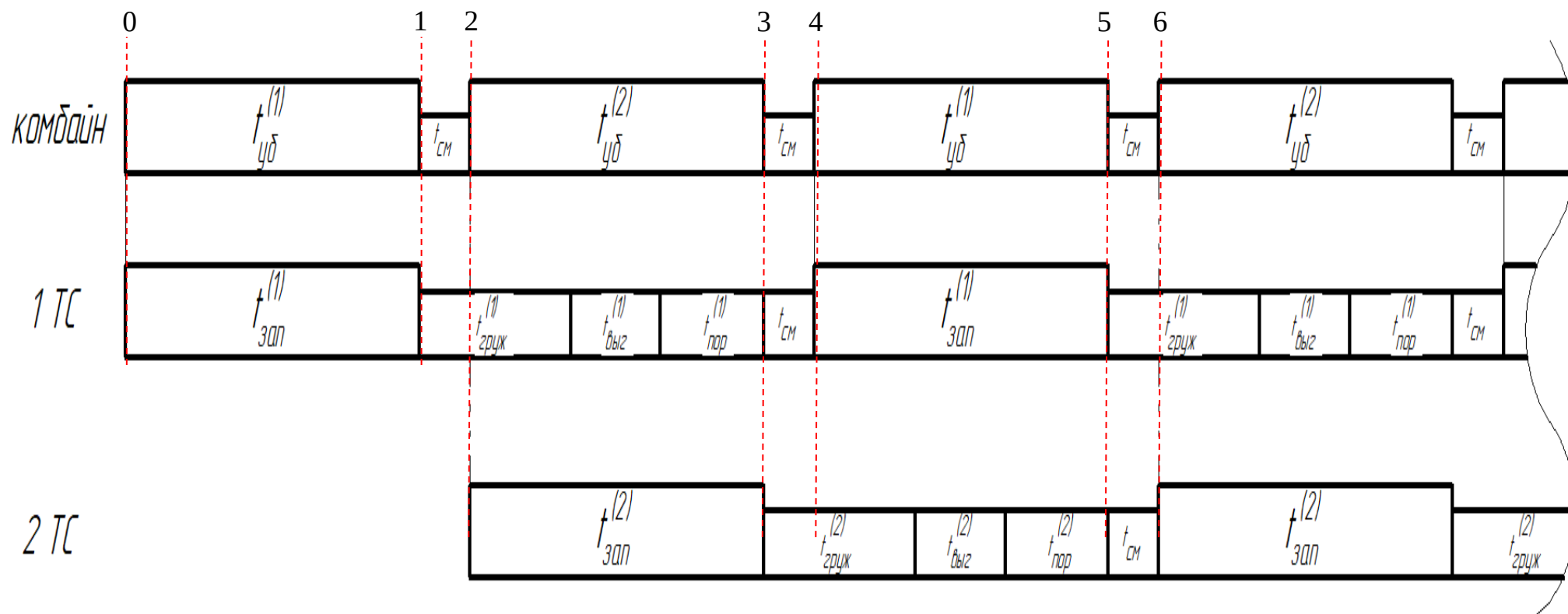
- этап «3-4» - технологический перерыв. Если первое ТС вернулось вовремя, то  $t_{см}$  стремится к нулю, если нет – работа комбайна прекращается. Сбой при работе всего комплекса.

Для организации беспростойной работы всего комплекса машин необходимо соблюдение следующего условия [227]:

$$\begin{cases} t_{yb}^1 = t_{zap}^{(1)} \geq t_{цикл}^{(2)} + t_{см} \\ t_{yb}^2 = t_{zap}^{(2)} \geq t_{цикл}^{(1)} + t_{см} \end{cases} \quad (1)$$

где:  $t_{zap}^{(1)}$ ,  $t_{zap}^{(2)}$  – время заполнения кузовов первого и второго транспортного средства;

$t_{цикл}^{(1)}$ ,  $t_{цикл}^{(2)}$  – время, затраченное первым и вторым ТС на езду с грузом до места хранения, разгрузку и возвращение обратно.



----- - границы этапов;  $t_{\text{уб}}^1$ ,  $t_{\text{уб}}^2$  – время работы комбайна по заполнению кузова первого и второго ТС;

$t_{\text{см}}$  – технологический простой;  $t_{\text{зап}}^{(1)}$ ,  $t_{\text{зап}}^{(2)}$  – время заполнения картофельным ворохом кузова первого и второго ТС;

$t_{\text{грж}}^{(1)}$ ,  $t_{\text{грж}}^{(2)}$  – время ездки первого и второго ТС с грузом от комбайна до места разгрузки;  $t_{\text{выг}}^{(1)}$ ,  $t_{\text{выг}}^{(2)}$  – время разгрузки первого и второго ТС;  $t_{\text{пор}}^{(1)}$ ,  $t_{\text{пор}}^{(2)}$  – время ездки первого и второго ТС без груза от места разгрузки до комбайна

Рисунок 2.2 - Схема организации уборки картофеля при помощи элеваторного комбайна [227]

При отсутствии непредвиденных ситуаций вследствие выхода из строя технических средств или иных внештатных ситуаций  $t_{см}$  можно пренебречь:

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

Общее время цикла каждого  $i$ -го ТС найдем:

$$t_{цикл}^{(1)} = t_{груз}^{(1)} + t_{выг}^{(1)} + t_{пор}^{(1)} = \frac{S}{v_{груз}^{(1)}} + t_{выг}^{(1)} + \frac{S}{v_{пор}^{(1)}} \quad (3)$$

или

$$t_{цикл}^{(2)} = t_{груз}^{(2)} + t_{выг}^{(2)} + t_{пор}^{(2)} = \frac{S}{v_{груз}^{(2)}} + t_{выг}^{(2)} + \frac{S}{v_{пор}^{(2)}}$$

где:  $S$  – путь от комбайна до места выгрузки, м;

$v_{груз}^{(1)}$ ,  $v_{груз}^{(2)}$  – скорости движения груженого первого и второго транспортного средства, м/с;

$v_{пор}^{(1)}$ ,  $v_{пор}^{(2)}$  – скорости движения порожнего первого и второго транспортного средства, м/с.

Время заполнения кузова первого транспортного средства найдем по формуле [227]:

$$t_{зап}^{(1)} = \frac{m_{пер}^{(1)}}{Y \cdot P} = \frac{V_{пер}^{(1)} \cdot \rho}{Y \cdot P} = \frac{V_{куз}^{(1)} \cdot \rho}{Y \cdot P}$$

или

$$t_{зап}^{(2)} = \frac{m_{пер}^{(2)}}{Y \cdot P} = \frac{V_{пер}^{(2)} \cdot \rho}{Y \cdot P} = \frac{V_{куз}^{(2)} \cdot \rho}{Y \cdot P} \quad (4)$$

где:  $Y$  – урожайность картофеля, кг/м<sup>2</sup>;

$m_{пер}^{(1)}$ ,  $m_{пер}^{(2)}$  – масса картофеля, которую перевозит первое и второе ТС за одну езду, кг;

$V_{пер}^{(1)}$ ,  $V_{пер}^{(2)}$  – объем картофеля, который перевозит первое и второе ТС за одну езду, м<sup>3</sup>;

$P$  – производительность комбайна, м<sup>2</sup>/с;

$\rho_0$  – объемная масса клубней, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{\text{куз}}^{(1)}, V_{\text{куз}}^{(2)}$  – объем кузова первого и второго ТС, м<sup>3</sup>;

$$P = \vartheta_{\text{комб}} \cdot B \quad (5)$$

где:  $\vartheta_{\text{комб}}$  – скорость движения комбайна, м/с. Стоит учесть, что  $\vartheta_{\text{комб}}$  при работе с 1 и 2 транспортными средствами может быть различна;

$B$  – ширина захвата комбайна, м.

В случае, когда используются два одинаковых ТС (одинаковые трактора и самосвальные ТТА) то  $t_{\text{зап}}^{(1)} \approx t_{\text{зап}}^{(2)}$  и  $t_{\text{цикл}}^{(1)} \approx t_{\text{цикл}}^{(2)}$ .

Подставив выражение (3) и (4) в (2), получаем систему, выполнение условий которой обеспечивает бесперебойную работу всех звеньев технологической цепочки [227]:

$$\begin{cases} \frac{V_{\text{куз}}^{(1)} \cdot \rho_0}{y \cdot \vartheta_{\text{комб}}^{(2)} \cdot B} \geq \frac{S}{\vartheta_{\text{груз}}^{(2)}} + t_{\text{выг}}^{(2)} + \frac{S}{\vartheta_{\text{пор}}^{(2)}} \\ \frac{V_{\text{куз}}^{(2)} \cdot \rho_0}{y \cdot \vartheta_{\text{комб}}^{(1)} \cdot B} \geq \frac{S}{\vartheta_{\text{груз}}^{(1)}} + t_{\text{выг}}^{(1)} + \frac{S}{\vartheta_{\text{пор}}^{(1)}} \end{cases} \quad (6)$$

Распределим параметры, входящие в выражение (6) на несколько категорий:

1-я – статические (неизменны в процессе уборки) -  $B, V_{\text{куз}}^{(1)}$  и  $V_{\text{куз}}^{(2)}, \vartheta_{\text{пор}}^{(1)}$  и  $\vartheta_{\text{пор}}^{(2)}, t_{\text{выг}}^{(1)}$  и  $t_{\text{выг}}^{(2)}$

2-я – условно-статические (возможны изменения в процессе уборки) -  $\rho, y, S$ .

3-я – динамические (параметры, которые изменяются в процессе уборки картофеля), такие как  $\vartheta_{\text{комб}}^{(1)}, \vartheta_{\text{комб}}^{(2)}, \vartheta_{\text{груз}}^{(1)}$  и  $\vartheta_{\text{груз}}^{(2)}$ .

Все показатели первой категории сопряжены с конкретными моделями техники. Так ширина захвата  $B$  для однорядных уборочных машин – 0,75 м, для двухрядных – 1,5 м и т.д.

Показатели  $\vartheta_{\text{пор}}^{(1)}$  и  $\vartheta_{\text{пор}}^{(2)}$ , а также  $t_{\text{выг}}^{(1)}$  и  $t_{\text{выг}}^{(2)}$  могут изменяться в некотором диапазоне. Например, транспортная скорость порожнего транспортного средства ограничена рекомендациями завода изготовителя. Так как данный

показатель не влияет на качество уборки картофеля (повреждение или потери перевозимой продукции), то в системе следует использовать максимально допустимые его значения (для большинства прицепов и полуприцепов согласно ТУ транспортная скорость составляет 30-35 км/ч).

Скорости  $t_{\text{выг}}^{(1)}$  и  $t_{\text{выг}}^{(2)}$  для серийных самосвальных кузовов рассчитываются как сумма времени подъема и опускания грузовой платформы (указываются в буклетах заводов-изготовителей техники) или находится расчетным путем (например, для кузовов БАЛТ «ГРАНД-ПОЛЕВИК»).

Ко второй категории отнесено всего три параметра. При этом с одной стороны они могут быть определены до начала выполнения уборки (плотность клубней и средняя урожайность соответствуют возделываемому сорту картофеля, а расстояние от поля до места складирования является практически неизменным), но с другой могут варьироваться в некотором диапазоне (так уборка картофеля в разных частях одного поля будет сказываться, хоть и незначительно, на длине пути ТС до пункта выгрузки, а один и тот же сорт картофеля на двух рядом расположенных делянках может дать разную урожайность). В конечном счете имеем, что данные параметры требуют некоторой корректировки в процессе работы.

Параметры  $\vartheta^{\text{комб}}$ ,  $\vartheta_{\text{груз}}^{(1)}$  и  $\vartheta_{\text{груз}}^{(2)}$  имеют лишь верхний предел своих значений, так как они непосредственно влияют на качество выполнения технологического процесса (например, повышенная скорость работы комбайна приводит к снижению чистоты клубней в таре и повышенному количеству корнеплодов, имеющих механические повреждения [129]).

При осуществлении уборки картофеля комбайнами бункерного типа будет реализовано одно из следующих условий:

$$\begin{aligned} V_{\text{бунк}} &< \sum V_{\text{куз}}^{(i)} \\ V_{\text{бунк}} &= \sum V_{\text{куз}}^{(i)} \\ V_{\text{бунк}} &\gg \sum V_{\text{куз}}^{(i)} \end{aligned} \quad (7)$$

где:  $V_{\text{бунк}}$  – объем бункера картофелеуборочного комбайна,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{куз}}^{(i)}$  – объем кузова  $i$  –го транспортного средства,  $\text{м}^3$ .

Учитывая приведённые выше варианты, для беспростойного процесса уборки картофеля по данному способу необходимо соблюдение следующего условия:

$$\vartheta_{\text{зап.бунк}} \leq \vartheta_{\text{выв}} \quad (8)$$

где:  $\vartheta_{\text{зап.бунк}}$  – скорость заполнения бункера комбайна картофелем,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\vartheta_{\text{выв}}$  – скорость вывоза картофеля с поля транспортными средствами,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

$$\vartheta_{\text{зап.бунк}} = \frac{Y}{\rho_0} \cdot P = \frac{Y \cdot \vartheta_{\text{комб}} \cdot B}{\rho_0} \quad (9)$$

где:  $Y$  – урожайность картофеля,  $\text{кг}/\text{м}^2$ ;

$\rho_0$  – объемная масса клубней  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\vartheta_{\text{комб}}$  – скорость движения комбайна,  $\text{м}/\text{с}$ .

$B$  – ширина захвата комбайна,  $\text{м}$ .

$$\vartheta_{\text{выв}} = \sum \vartheta_{\text{выв.}i} \quad (10)$$

$\vartheta_{\text{выв.}i}$  – скорость вывоза картофеля с поля  $i$  –м транспортным средством,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$i$  – количество ТС участвующих в уборке, ед.

$$\vartheta_{\text{выв.}i} = \frac{V_{\text{куз}}^{(i)}}{t_{\text{выв}}^{(i)}} = \frac{V_{\text{куз}}^{(i)}}{t_{\text{зап}}^{(i)} + t_{\text{груз}}^{(i)} + t_{\text{выг}}^{(i)} + t_{\text{пор}}^{(i)}} \quad (11)$$

где:  $t_{\text{зап}}^{(i)}$  – время заполнения  $i$  – го транспортного средства,  $\text{с}$ ;

$t_{\text{груз}}^{(i)}$  – время ездки груженого  $i$  – го транспортного средства,  $\text{с}$ ;

$t_{\text{выг}}^{(i)}$  – время разгрузки  $i$  – го транспортного средства,  $\text{с}$ ;

$t_{\text{пор}}^{(i)}$  – время движения порожнего  $i$  – го транспортного средства,  $\text{с}$ .

Стоит учесть, что во время загрузки транспортного средства в большинстве случаев картофелеуборочная машина находится в неподвижном

состоянии (за исключением случаев, когда картофелеуборочные машины оборудованы системами «non stop»), следовательно,  $t_{\text{зап}}^{(i)}$  можно принять равным нулю.

Окончательно получим следующую зависимость:

$$\frac{y \cdot \vartheta_{\text{комб}} \cdot B}{\rho_o} \geq \sum \left( \frac{V_{\text{куз}}^{(i)}}{t_{\text{груз}}^{(i)} + t_{\text{выг}}^{(i)} + t_{\text{пор}}^{(i)}} \right) \quad (12)$$

Данная зависимость будет использоваться для системы ограничений адаптивной модели уборки картофеля при использовании комбайнов бункерного типа.

## 2.2. Параметризация адаптивной модели уборки картофеля

Определившись с системой (6) можно переходить к этапу оптимизации уборки картофеля. Выделим два приоритетных режима:

- 1) максимальная производительность уборки (при соблюдении, соответственно, агротехнических требований);
- 2) максимальная сохранность продукции.

Для воплощения первого режима необходимо следующее:

- скорость движения комбайна максимально приближена к  $\vartheta_{\text{комб}}^{\text{доп}}$  (скорость комбайна при которой соблюдаются агротехнические требования [129, 196]). При этом процесс уборки должен протекать при выполнении вышеописанных условий (6);

- скорости движения груженых транспортных средств соответствуют поставленным условиям (6), но не превышают величины, установленной заводом-изготовителем.

Реализация второго режима сводится к следующему, а именно транспортные средства перевозят груз на скоростях  $\vartheta_{\text{груз}}^{(1)}$  и  $\vartheta_{\text{груз}}^{(2)}$ , при которых гарантируется минимальный бой клубней, а  $\vartheta_{\text{комб}}$  комбайна удовлетворяет условиям системы (6) и обеспечивает соблюдение агротехнических требований (по потерям, повреждениям и чистоте клубней в

таре).

Из перечисленного выше следует, что в случае благоприятных природно-климатических условий во время уборки урожая и достаточном запасе времени на их выполнение приоритетным будет являться второй режим. Первый же необходим в случае, каких либо ограничений (задержка по срокам проведения уборки картофеля, выход из строя части техники для их проведения и так далее).

Разработаем систему ограничений для полученной адаптивной модели уборки картофеля (для второго режима). В первую очередь необходимо определиться с максимально допустимой скоростью движения картофелеуборочного комбайна  $\vartheta_{\text{комб}}$ .

Согласно исследованиям Г.Д. Петрова [129] полное разрушение клубня происходит при скорости его соударения с неупругими поверхностями 10 м/с и более. При скоростях менее 3 м/с повреждений мякоти не наблюдается.

Для исключения сгруживания подкопанного пласта почвы с содержащимися в нем клубнями, при его поступлении на первый элеватор линейная скорость последнего (имеется в виду элеватора) должна превышать скорость движения самой картофелеуборочной машины, т.е. должно быть  $k = \frac{v_{\text{эл}}}{\vartheta_{\text{комб}}} > 1,2 - 1,5$  [141]. При не соблюдении данного условия эффективность работы картофелеуборочной машины резко снизится [129].

Из описанного вытекает, что максимальная скорость движения комбайна (если рассматривать задачу относительно повреждения клубней) не может превышать 3 м/с (10,8 км/ч). При этом не учитывается воздействие встряхивателя на картофельный ворох, движущийся по полотну элеватора. Следовательно, скорость движения комбайна должна быть значительно ниже.

Согласно результатам научных работ Г.Д. Петрова, И.А. Успенского, М.Ю. Костенко и других [19, 77, 129, 217]  $\vartheta_{\text{комб}} \leq 5,2$  км/ч (для обеспечения минимального уровня повреждения клубней на сепарирующих



элеваторах машины).

Теперь рассмотрим вопрос ограничения скорости движения картофелеуборочной машины со стороны обеспечения требований по качеству отделения почвенных примесей из картофельного вороха.

Так А.А. Сорокиным и Н.В. Бышовым [141] была получена следующая зависимость, отражающая связь между необходимой длиной элеватора и подачей почвы:

$$l = \frac{Q_{max}^{(1-b)} - Q^{(1-b)}}{a \cdot B \cdot (1-b)} \quad (13)$$

где:  $Q_{max}$  - подача вороха с подкапывающего рабочего органа на первый элеватор машины, кг/с;

$Q$  – остаточная подача (после схода вороха с элеватора), кг/с;

$b$  – показатель степени.  $b = 0,72$  [141];

$a$  - коэффициента линейности,  $\frac{\kappa z^{1-b}}{m^2 c^{1-b}}$ .  $a = 1,74 \frac{\kappa z^{1-b}}{m^2 c^{1-b}}$ .

$l$  – длина элеватора, м;

$B$  – ширина элеватора машины, м.

Найдем  $Q_{max}$  следующим образом:

$$Q_{max} = v_{комб} \cdot n_{ряд} \cdot S_{гр} \cdot \rho_{поч} \quad (14)$$

где:  $n_{ряд}$  – количество убираемых рядков, шт;

$\rho_{поч}$  – плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>;

$S_{гр}$  – площадь профиля подкапываемой грядки, м<sup>2</sup>.

Подставив значения выражения (14) в (13) получим:

$$l = \frac{(v_{комб} \cdot n_{ряд} \cdot S_{гр} \cdot \rho)^{0,28} - Q^{0,28}}{0,28 a \cdot B} \quad (15)$$

Зная конструктивные особенности картофелеуборочной машины, значение  $l$  будет рассчитываться:

$$l = \sum l_i \quad (16)$$

где:  $l_i$  – длина  $i$  – го элеватора машины, м.

Согласно исследованиям ученых [77, 129] полное отсеивание

почвенных примесей из картофельного вороха должно происходить лишь в конце второго элеватора. Это необходимо для снижения повреждений клубней, при их перемещении по полотну сепарирующего элеватора. Для современных уборочных машин  $l$  будет равен:

$$l = l_1 + l_2 \quad (17)$$

Добавим в выражение (16) выражение (15) получим:

$$\sum l_i = \frac{(\vartheta_{\text{комб}} \cdot n_{\text{ряд}} \cdot S_{\text{гр}} \cdot \rho_{\text{поч}})^{0,28} - Q^{0,28}}{0,28a \cdot B} \quad (18)$$

Выразим из выражения (18)  $v_{\text{маш}}$ :

$$v_{\text{маш}} = \frac{0,28 \sqrt{0,28a \cdot B \cdot \sum l_i + Q^{0,28}}}{n_{\text{ряд}} \cdot S_{\text{гр}} \cdot \rho_{\text{поч}}} \quad (19)$$

При этом в работе М.Б. Угланова [212] профиль картофельной грядки имеет форму синусоиды (рис. 2.3), а, следовательно, рассчитывается как [37]:

$$S_{\text{гр}} = \int_{l_0}^{l_1} (f(x) - g(x)) \quad (20)$$

где  $l_0 = -\frac{\pi}{2}$ ;

$l_1 = \frac{3\pi}{2}$ ;

$f(x) = \sin x$ ;

$g(x) = -1$ .

Преобразовав выражение (20), получим:

$$S_{\text{гр}} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} (\sin x + 1) dx \quad (21)$$

При переходе от безразмерных величин к реальным размерам получим:

$$S_{\text{гр}} = \frac{H_{\text{гр}}}{2} \int_{-\frac{B}{4}}^{\frac{3B_{\text{гр}}}{4}} \left( \sin \frac{2\pi \cdot x}{B} + 1 \right) dx \quad (22)$$

где:  $H_{\text{гр}}$  – высота грядки, м;

$B_{\text{гр}}$  – ширина грядки, м.

При этом  $H_{\text{гр}}$  в процессе работы картофелеуборочной машин не что иное, как глубина подкапывания клубненоносного пласта лемехом  $H_{\text{под}}$ .

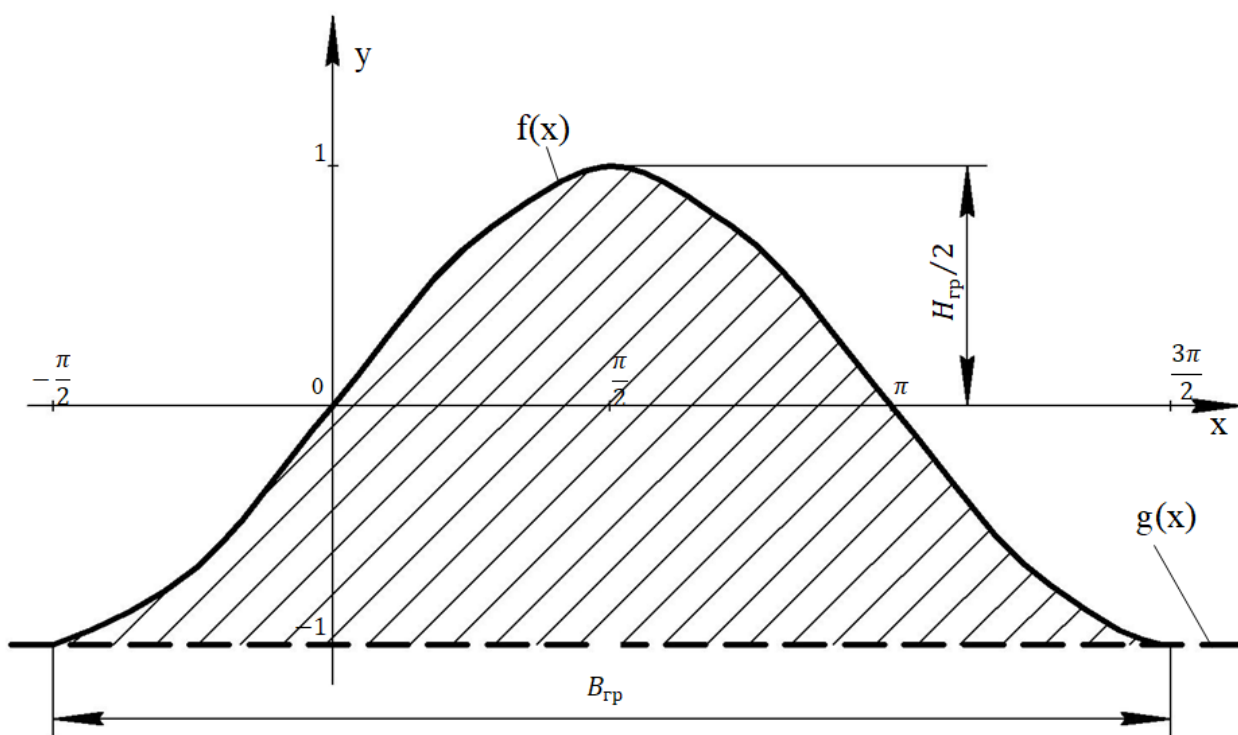


Рисунок 2.3 – Профиль подкапываемой грядки

После интегрирования выражения (22) получим:

$$S_{гр} = \frac{1}{2} H_{под} \cdot B_{гр} \quad (23)$$

Учитывая, что агротехническими требованиями [196] установлен показатель чистоты картофельного вороха 80% ( $\kappa_{min} = 0,2$ ) и выше ( $\kappa_{max} = 0$ ). Учитывая, что связь между  $\vartheta_{комб}$  и  $Q$  обратная (чем выше скорость подачи, тем хуже интенсивность сепарации), то  $v_{маш}$  минимальна при  $Q_1 = 0$  и максимальна при  $Q_2 = \kappa_{min} \cdot Q_{max} = 0,2 \cdot Q_{max}$ .

Минимальная скорость комбайна будет находиться как:

$$\vartheta_{комб} \geq \frac{0,28 \sqrt{0,28a \cdot B \cdot \sum l_i}}{n_{ряд} \cdot \frac{1}{2} H_{под} \cdot B_{гр} \cdot \rho_{поч}} \quad (24)$$

Максимальная скорость комбайна (по показателю качества сепарации) будет находиться как:

$$\vartheta_{комб} \leq \frac{0,28 \sqrt{0,772a \cdot B \cdot \sum l_i}}{n_{ряд} \cdot \frac{1}{2} H_{под} \cdot B_{гр} \cdot \rho_{поч}} \quad (25)$$

Добавим полученные ограничения в систему (6):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_{\text{куз}}^{(1)} \cdot \rho}{y \cdot \vartheta_{\text{комб}}^{(2)} \cdot B} \geq \frac{S}{\vartheta_{\text{груз}}^{(2)}} + t_{\text{выг}}^{(2)} + \frac{S}{\vartheta_{\text{пор}}^{(2)}} \\ \frac{V_{\text{куз}}^{(2)} \cdot \rho}{y \cdot \vartheta_{\text{комб}}^{(1)} \cdot B} \geq \frac{S}{\vartheta_{\text{груз}}^{(1)}} + t_{\text{выг}}^{(1)} + \frac{S}{\vartheta_{\text{пор}}^{(1)}} \\ \vartheta_{\text{комб}}^{(1,2)} \leq 5,2 \\ \vartheta_{\text{комб}}^{(1,2)} \geq \frac{0,28 \sqrt{0,28a \cdot B \cdot \sum l_i}}{n_{\text{ряд}} \cdot \frac{1}{2} H_{\text{под}} \cdot B_{\text{гр}} \cdot \rho_{\text{поч}}} \\ \vartheta_{\text{комб}}^{(1,2)} \leq \frac{0,28 \sqrt{0,772a \cdot B \cdot \sum l_i}}{n_{\text{ряд}} \cdot \frac{1}{2} H_{\text{под}} \cdot B_{\text{гр}} \cdot \rho_{\text{поч}}} \end{array} \right. \quad (26)$$

Как уже отмечалось ранее предел скорости движения груженого транспортного средства, при котором обеспечивается не высокий уровень повреждения перевозимого свежесобранного картофеля, не ограничивается агротехническими требованиями, но зависит от большого количества факторов [233]. Это способ перевозки (тарный или навалом), способ погрузки/выгрузки, технические характеристики самого ТС, состояние дорожного покрытия, скорость движения и удаленность до места складирования груза. В связи с чем, целесообразным решением будет воспользоваться рекомендациями заводов-изготовителей (согласно ТУ на конкретную модель техники). В большинстве случаев  $\vartheta_{\text{груз}} \leq 29$  км/ч (или 8,056 м/с) [16, 233].

Добавим полученные ограничения в систему (26):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_{\text{куз}}^{(1)} \cdot \rho}{y \cdot \vartheta_{\text{комб}}^{(2)} \cdot B} \geq \frac{S}{\vartheta_{\text{груз}}^{(2)}} + t_{\text{выг}}^{(2)} + \frac{S}{\vartheta_{\text{пор}}^{(2)}} \\ \frac{V_{\text{куз}}^{(2)} \cdot \rho}{y \cdot \vartheta_{\text{комб}}^{(1)} \cdot B} \geq \frac{S}{\vartheta_{\text{груз}}^{(1)}} + t_{\text{выг}}^{(1)} + \frac{S}{\vartheta_{\text{пор}}^{(1)}} \\ \vartheta_{\text{комб}}^{(1,2)} \leq 5,2 \\ \vartheta_{\text{комб}}^{(1,2)} \geq \frac{0,28 \sqrt{0,28a \cdot B \cdot \sum l_i}}{n_{\text{ряд}} \cdot \frac{1}{2} H_{\text{под}} \cdot B_{\text{гр}} \cdot \rho_{\text{поч}}} \\ \vartheta_{\text{комб}}^{(1,2)} \leq \frac{0,28 \sqrt{0,772a \cdot B \cdot \sum l_i}}{n_{\text{ряд}} \cdot \frac{1}{2} H_{\text{под}} \cdot B_{\text{гр}} \cdot \rho_{\text{поч}}} \\ \vartheta_{\text{груз}}^{(2)} \leq 29 \\ \vartheta_{\text{груз}}^{(1)} \leq 29 \end{array} \right. \quad (27)$$

В случаях, когда при проведении уборки картофеля в хозяйстве применяется приемный бункер пункта послеуборочной доработки, то необходимо учитывать его производительность при оптимизации адаптивной модели.

Так как суть поставленной задачи заключается в минимизации количества клубней, имеющих механические повреждения, то целевая функция примет вид:

$$F = y_k (V_{\text{куз}}^{(1)} + V_{\text{куз}}^{(2)}) + y_1 \cdot V_{\text{куз}}^{(1)} + y_2 \cdot V_{\text{куз}}^{(2)} \rightarrow \min \quad (28)$$

$y_k$  – повреждения клубней в процессе работы картофелеуборочной машины, безразм.;

$y_1$  – повреждения клубней при их перевозке первым ТС, безразм.;

$y_2$  – повреждения клубней при их перевозке вторым ТС, безразм..

В общем виде (для  $i$  – го количества транспортных средств) целевая функция примет вид:

$$F = y_k \cdot \sum V_{\text{куз}}^{(i)} + \sum (y_i \cdot V_{\text{куз}}^{(i)}) \rightarrow \min \quad (29)$$

Для упрощения последующих вычислений сделаем допущение, что при уборке задействованы два однотипных транспортных средства. Преобразуем выражение (28) следующим образом:

$$F = 2V_{\text{куз}}^{(i)}(y_k + y_i) \rightarrow \min \quad (30)$$

Показатель  $y_1$  в расчетах будем принимать на основании результатов государственных (на машиноиспытательных станциях) и/или полевых испытаний (из главы 1 диссертационного исследования).

В протоколах государственных испытаний техника выполняла возложенные на нее функции при различных условиях:

- влажностью от 6 до 27 %;
- урожайностью картофеля от 15 до 60 т/га;
- на почвах, различных по механическому составу;
- при оптимальной температуре окружающей среды.

Эксплуатационная скорость машин не превышала предельных

значений, установленных в системе ограничений (27). В итоге полученные значения количества повреждений клубней по массе можно считать усредненными и соответствующими конкретным маркам техники.

Рассмотрим теперь показатели повреждения клубней при транспортировке их транспортными средствами. В общем виде они могут быть записаны как:

$$y_i = z_1 + z_2 + z_3 \quad (31)$$

где:  $z_1$  - повреждение клубней при их загрузке в ТС, безразм.;

$z_2$  - повреждение клубней при транспортировке, безразм.;

$z_3$  - повреждение клубней при выгрузке из ТС, безразм.

Рассмотрим показатель  $z_1$  – повреждения клубней при их загрузке в транспортное средство. В случаях, когда будут использоваться специальные устройства – гасители (например, рассмотренные в первой главе диссертационного исследования), то можно сделать допущение, что  $z_1 \cong 0$ . В противном случае  $z_1 > 0$ .

На этапе разгрузки комбайна клубни картофеля совершают падение с большой высоты (с поверхности выгрузного транспортера картофелеуборочной машины в кузов ТС), причем величина будет определяться преимущественно геометрическими параметрами кузова ТС. В случаях, когда используется высокопроизводительная техника, перепад высот может составить 1,5 метра и более [219].

В своих работах В.Г. Жуков, Н.Р. Андреев [45], Н. Р. Саврасова [160, 161] исследовали вопрос повреждения клубней, при их падении с высоты на различные поверхности. Воспользовавшись полученными результатами и адаптировав вычисления под поставленную задачу (повреждения клубней при их перегрузке из картофелеуборочного комбайна в транспортное средство) получили некоторые зависимости [219]. Наибольший интерес представляло значение высоты с которой клубень может упасть не получив механические повреждения.

При падении клубня на дно кузова ТС (без демпфирующего покрытия) воспользуемся следующей зависимостью [219]:

$$h_{\text{доп}} \leq \frac{\left(\frac{\sigma_{\text{пред}}}{0,62}\right)^5}{\left(\frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)}\right)^4 \cdot 40 \rho \cdot 2g} - \frac{v_{\text{в.т.}}^2}{2g} \quad (32)$$

где:  $\sigma_{\text{пред}}$  – предельное контактное напряжение, возникающее при падении клубня, Па;

$v_{\text{в.т.}}$  – линейная скорость выгрузного транспортера картофелеуборочного комбайна, м/с;

$\pi$  – постоянная,  $\pi = 3,14$ ;

$g$  – ускорение свободного падения.  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$h_{\text{доп}}$  – перепад высот (высота от перегрузочного транспортера картофелеуборочного комбайна до днища кузова транспортного средства), при котором клубень не получает повреждения;

$E_1$  – модуль Юнга поверхности, на которую падает клубень, Па. Для стали  $E_1 = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ ;

$E_2$  – модуль Юнга клубня, МПа.  $E_2 = 2 \cdot 10^6 \text{ Па}$  [45];

$\rho$  – плотность клубня, кг/м<sup>3</sup>. Усредненное значение для различных сортов картофеля  $\rho = 1140 \text{ кг/м}^3$  [161].

Согласно диссертационному исследованию С.Б. Прямова [144] линейная скорость выгрузного транспортера находится в пределах  $v_{\text{в.т.}} = 0,65v_{\text{комб}}$  или  $v_{\text{в.т.}} \approx 1 \text{ м/с}$ . При этом в современных картофелеуборочных машинах данный параметр может быть изменен оператором, работающим на инспекционной площадке.

При падении клубней на уже уложенные в кузов (клубни), предельное контактное напряжение рассчитывается следующим образом [219]:

$$h_{\text{доп}} \leq \frac{\left(\frac{\sigma_{\text{пред}}}{0,62}\right)^5}{\left(\frac{E_2}{\pi}\right)^4 \cdot 320 \cdot \rho \cdot 2g} - \frac{v_{\text{в.т.}}^2}{2g} \quad (33)$$

Как уже отмечалось в первой главе диссертационного исследования,

предельные значения перепада высот составляют [239]:

- падение на стальное дно кузова ТС – до 0,33 м;
- при падении на клубни – до 0,66 м.

Основываясь на работе Р.Л. Зенкова [58] схема загрузки кузова ТС выглядит следующим образом (рис. 2.4). На начальном этапе клубни картофеля складываются фигурой в виде полуэллипсоида. Ее объем – та часть груза, которая с высокой долей вероятности, получит механические повреждения. Объем эллипсоида находится как:

$$V = \frac{4}{3} \pi \cdot a \cdot z \cdot c \quad (34)$$

Для нашего случая необходимо найти объём половины эллипсоида, у которого  $z = 2b_{\text{в.тр}}/2$ ;  $c = \frac{b_{\text{в.тр}}}{2}$ . тогда формула (34) примет вид:

$$V_{\text{повр}}^{\text{загр}} = \frac{4}{6} \pi \cdot a \cdot \frac{b_{\text{в.тр}}^2}{2} \quad (35)$$

где:  $b_{\text{в.тр}}$  – ширина выгрузного транспортера, м.

Величину  $a$  найдем как:

$$a = H_{\text{куз}} + h_{\text{тр}} - h_{\text{доп}} \quad (36)$$

Окончательно  $V_{\text{повр}}$  будет рассчитываться:

$$V_{\text{повр}}^{\text{загр}} = \frac{4}{6} \pi \cdot \left( H_{\text{куз}} + h_{\text{тр}} - \left( \frac{\left( \frac{\sigma_{\text{пред}}}{0,62} \right)^5}{\left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4 \cdot 320 \cdot \rho \cdot 2g} - \frac{\vartheta_{\text{в.т.}}^2}{2g} \right) \right) \cdot \frac{b_{\text{в.тр}}^2}{2} \quad (37)$$

Зная общий объем клубней в кузове ТС можем найти долю клубней с механическими повреждениями. Так  $V_{\text{общ}}$  найдем:

$$V_{\text{общ}} = H_{\text{куз}} \cdot b_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}} \quad (38)$$

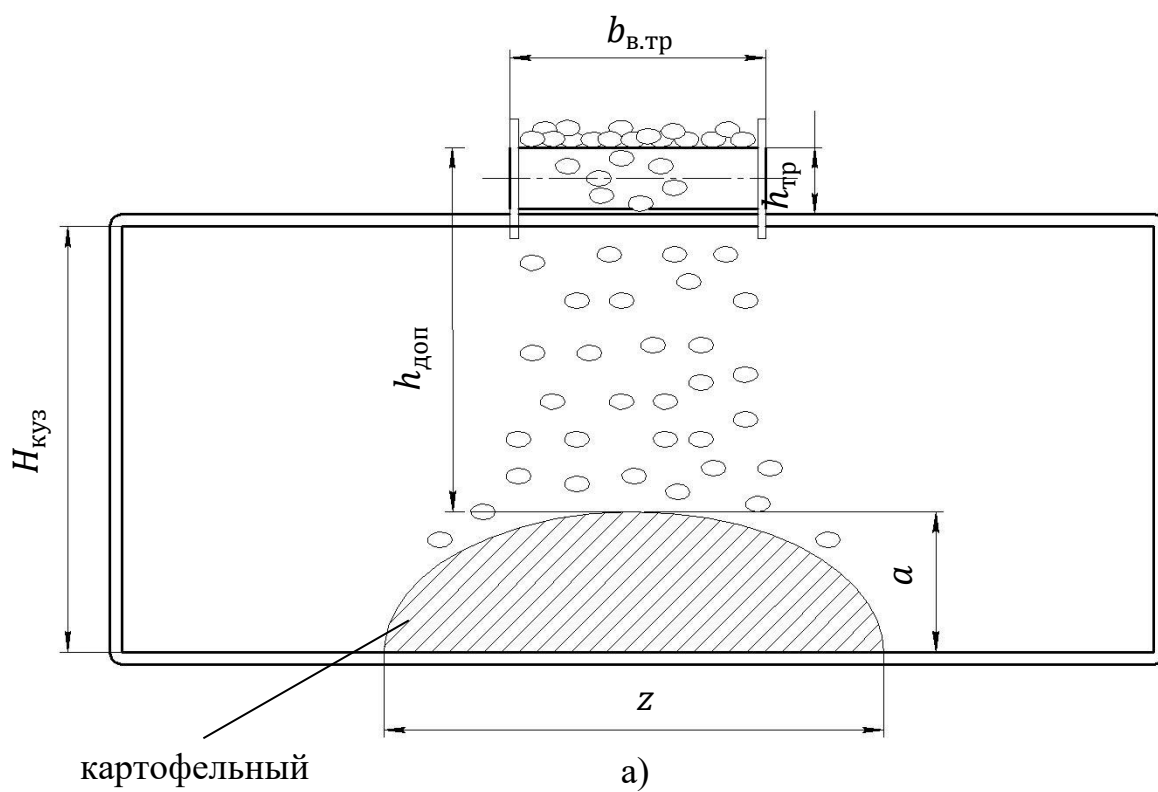
где:  $b_{\text{куз}}$  – внутренняя ширина кузова ТС, м;

$L_{\text{куз}}$  – внутренняя длина кузова ТС, м.

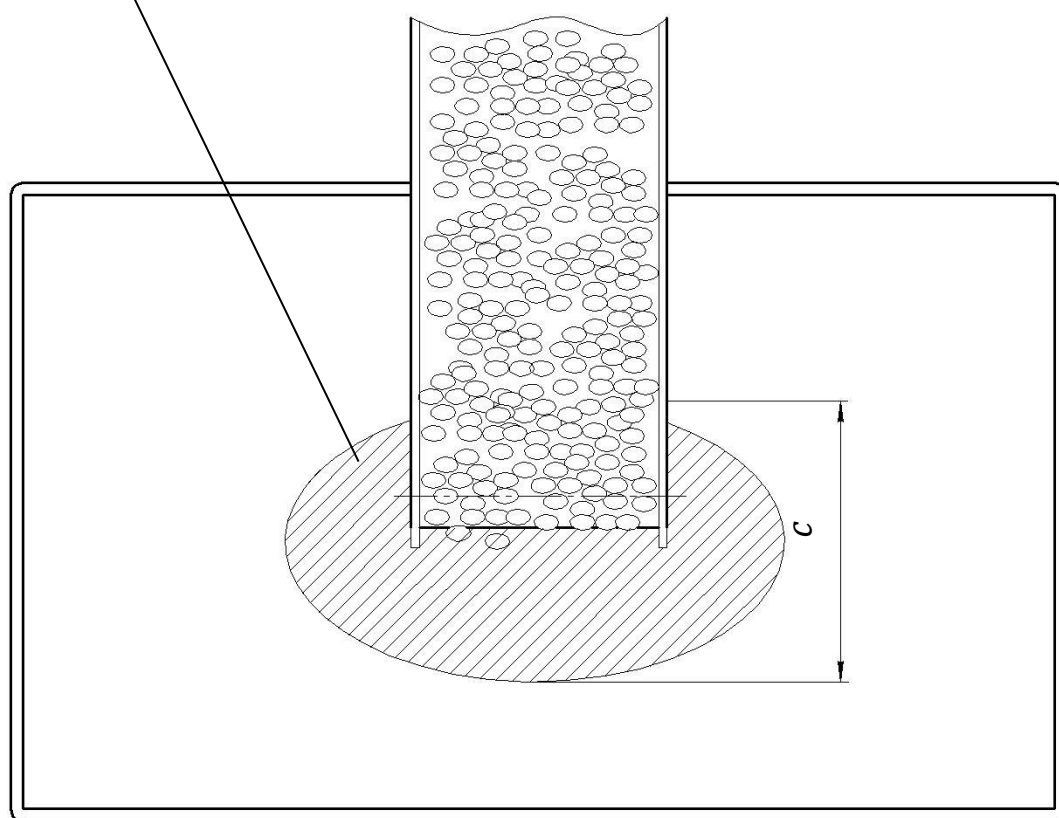
Тогда  $p(z_1)$  найдем как:

$$z_1 = \frac{V_{\text{повр}}^{\text{загр}}}{V_{\text{общ}}} = \frac{\left( \frac{4}{6} \pi \cdot \left( H_{\text{куз}} + h_{\text{тр}} - \left( \frac{\left( \frac{\sigma_{\text{пред}}}{0,62} \right)^5}{\left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4 \cdot 320 \cdot \rho \cdot 2g} - \frac{\vartheta_{\text{в.т.}}^2}{2g} \right) \right) \cdot \frac{b_{\text{в.тр}}^2}{2} \right)}{H_{\text{куз}} \cdot b_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}}} \quad (39)$$





картофельный  
ворох



а) вид сбоку; б) вид сверху

$b_{в.тр}$  – ширина выгрузного транспортера;  $H_{куз}$  – высота кузова ТС;

$h_{тр}$  – высота полотна транспортера;  $a$  – высота вороха.

## Рисунок 2.4 – Схема загрузки кузова ТС

Как было отмечено в работах А.В. Заводнова [53, 55] при внутрихозяйственных перевозках сельскохозяйственных грузов навалом или транспортной таре на клубни действует не только статические нагрузки (от вышележащих клубней), но и динамические (соударение клубней с днищем кузова ТС или между собой). Причем наибольшему воздействию подвергаются самый нижний и самый верхний слои картофеля [53].

Согласно исследованиям И.Я. Штаермана [230] для нижнего слоя (удар клубней о днище кузова ТС) максимальное контактное давление рассчитывается как:

$$p_{\max} = \left( 40\rho \cdot \vartheta_c^2 \left( \frac{E^*}{\pi} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}} \quad (40)$$

где:  $E^*$  - приведённый модуль упругости, Па [79].

$\vartheta_c$  – скорость соударения, м/с;

$\rho$  – плотность клубня, кг/м<sup>3</sup>.

$$E^* = \frac{2E_1 \cdot E_2}{(E_1 + E_2)} \quad (41)$$

где:  $E_1, E_2$  - модули упругости соударяющихся тел, Па.

Найдем максимальное контактное напряжение как [161]:

$$\sigma_{\max} = 0,62 p_{\max} \quad (42)$$

Если  $\sigma_{\text{пред}} \geq \sigma_{\max}$  то клубень не получит механическое повреждение.

Учитывая, что  $\sigma_{\text{пред}}$  для многих сортов картофеля известно [45, 160, 161], то из выражения (40), (41) и (42) получим следующую зависимость:

$$\sigma_{\text{пред}} \geq 0,62 \left( 40\rho \cdot \vartheta_c^2 \left( \frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}} \quad (43)$$

Выразим плотность клубней  $\rho$  через массу клубня  $m_{\text{кл}}$  и его объем  $V_{\text{кл}}$  (объем эллипсоида):

$$\rho = \frac{m_{\text{кл}}}{V_{\text{кл}}} = \frac{3m_{\text{кл}}}{4\pi \cdot a_{\text{кл}} \cdot b_{\text{кл}} \cdot c_{\text{кл}}} \quad (44)$$

где:  $a_{\text{кл}}$  – длина клубня, м.

$b_{\text{кл}}$  – ширина клубня, м.

$c_{\text{кл}}$  – толщина клубня, м.

$m_{\text{кл}}$  – масса клубня, кг.

Принимая во внимания, что величины  $a_{\text{кл}}$ ,  $b_{\text{кл}}$ ,  $c_{\text{кл}}$ ,  $m_{\text{кл}}$  характерны для определенного сорта картофеля и имеют определенный диапазон варьирования, то примем допущение, что  $a_{\text{кл}} = M(a_{\text{кл}})$ ,  $b_{\text{кл}} = M(b_{\text{кл}})$ ,  $c_{\text{кл}} = M(c_{\text{кл}})$ , где  $M(a_{\text{кл}})$ ,  $M(b_{\text{кл}})$ ,  $M(c_{\text{кл}})$  – моменты ожиданий искомых величин (для конкретного сорта картофеля моменты ожиданий будут установлены в ходе лабораторных исследований), м.

Неравенство (43) с учетом (44) примет вид:

$$\sigma_{\text{пред}} \geq 0,62 \left( 40 \left( \frac{3 \cdot m_{\text{кл}}}{4\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}})} \right) \cdot \vartheta_c^2 \left( \frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}} \quad (45)$$

Стоит учесть, что при внутрихозяйственных перевозках клубни картофеля испытывают серию ударных воздействий (на протяжении маршрута следования транспортного средства). Следовательно, значение  $\sigma_{\text{пред}}$  должно быть в меньше 5-8 раз, чем для единичного случая (удара) [56]. Тогда неравенство (45) примет вид:

$$\frac{\sigma_{\text{пред}}}{5} \geq 0,62 \left( 40 \left( \frac{3 \cdot m_{\text{кл}}}{4\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}})} \right) \cdot \vartheta_c^2 \left( \frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}}$$

или

$$\sigma_{\text{пред}} \geq 3,1 \left( 40 \left( \frac{3 \cdot m_{\text{кл}}}{4\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}})} \right) \cdot \vartheta_c^2 \left( \frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}} \quad (46)$$

Скорость  $\vartheta_c$  определяется опытным путем при помощи портативного виброметра (например, Вибротест-МГ4.01), устанавливаемого на кузов ТС, осуществляющего внутрихозяйственные перевозки.

Согласно расчетам, приведенным в первой главе диссертационного исследования, предельная скорость соударения клубней, расположенных на дне кузова ТС слоя, будет равна  $\vartheta_c = 38$  мм/с или  $\vartheta_c = 0,038$  м/с (в самом верхнем слое картофельного вороха  $\vartheta_c = 54,5$  мм/с или  $\vartheta_c = 0,0545$  м/с).

Выразим  $M(m_{\text{кл}})$  из (46) подставив значение  $\vartheta_c$ :

$$m_{\text{кл}} \leq \frac{\left(\frac{\sigma_{\text{пред}}}{3,1}\right)^5 \cdot (4\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}}))}{120 \cdot \vartheta_c^2 \cdot \left(\frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)}\right)^4}$$

или

$$m_{\text{кл}} \leq \frac{\sigma_{\text{пред}}^5 \cdot \pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}})}{8588,75 \cdot \vartheta_c^2 \cdot \left(\frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)}\right)^4} \quad (47)$$

Полученное неравенство (47), характеризует массу отдельного клубня, который в процессе транспортировки не получит механические повреждения, при  $\sigma_{\text{пред}}$ .

Рассчитаем объем груза в нижнем слое, который получит повреждения в процессе транспортировки.

В обобщенном виде массу 1 слоя найдем как:

$$m_{\text{н.сл}} = \rho \cdot V_{1\text{сл}} = \rho \cdot b_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}} \cdot c_{\text{ср}} \quad (48)$$

где:  $b_{\text{куз}}$  – внутренняя ширина кузова ТС, м;

$L_{\text{куз}}$  – внутренняя длина кузова ТС, м.

$c_{\text{ср}}$  – усредненный размер клубня для конкретного сорта картофеля, м.

Для определения доли клубней получивших механические повреждения используем график плотности распределения масс отдельных клубней (рис. 2.5) исследуемого сорта картофеля.

Функция Гаусса (нормального распределения случайной величины) имеет вид [33, 34]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-M(x))^2}{2\sigma^2}} \quad (49)$$

где:  $M(x)$  - математическое ожидание (среднее значение);

$\sigma$  - среднеквадратическое отклонение.

Принимая во внимание, что  $\sigma = \sqrt{D(x)}$  [34] получим следующее выражение:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot D(x)}} e^{\frac{-(x-M(x))^2}{2D(x)}} \quad (50)$$

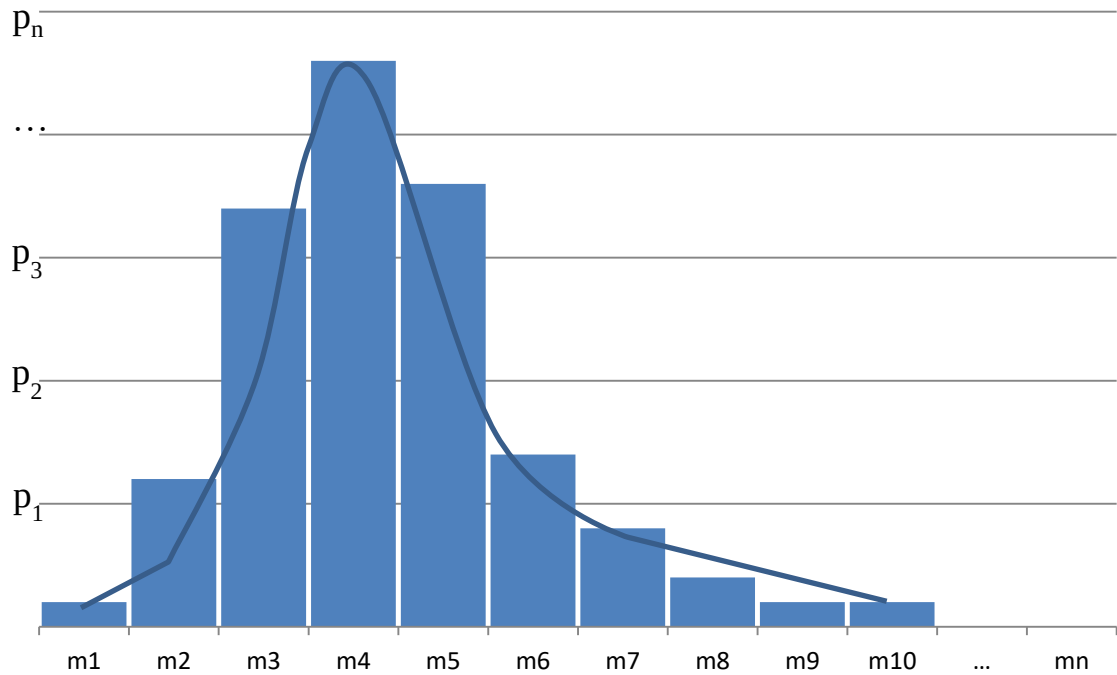


Рисунок 2.5 – График плотности распределения масс клубней картофеля

Тогда определённый интеграл от функции (50) на отрезке  $[a; b]$ , где  $a$  – минимальная масса клубня исследуемого сорта картофеля ( $a = m_{\text{кл.мин}}$ ),  $b$  – максимальная ( $b = m_{\text{кл.макс}}$ ) примет вид:

$$F(m_{\text{кл}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot D(m_{\text{кл}})}} \int_{m_{\text{кл}}}^{m_{\text{кл.макс}}} e^{\frac{-(x-M(m_{\text{кл}}))^2}{2D(m_{\text{кл}})}} dx \quad (51)$$

Результат вычислений выражения (51) характеризует долю клубней картофеля с механическими повреждениями от общего количества.

Тогда масса клубней в нижнем слое кузова транспортного средства, имеющих механические повреждения будет равна:

$$m_{\text{п.н.сл}} = \frac{\rho \cdot b_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}} \cdot c_{\text{ср}}}{\sqrt{2\pi \cdot D(m_{\text{кл}})}} \cdot \left( \int_{m_{\text{кл}}}^{m_{\text{кл.макс}}} e^{\frac{-(x-M(m_{\text{кл}}))^2}{2D(m_{\text{кл}})}} dx \right) \quad (52)$$

$$\frac{\sigma_{\text{перед}}^5 \cdot \pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}})}{8588,75 \cdot \vartheta_c^2 \cdot \left( \frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)} \right)^4}$$

Аналогичным образом будет произведен расчет для верхнего слоя клубней. Исключениями будут несколько моментов. Во-первых, верхний слой будет представлен криволинейной поверхностью (а не прямолинейной как для нижнего слоя). Следовательно  $m_{в.сл} \cong (1,2 \sim 1,3)m_{1сл}$  [219].

Максимальное контактное давление рассчитывается как:

$$p_{\max} = \left( 40(k+1)^3 \rho \cdot \vartheta_c^2 \cdot \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}}$$

или (53)

$$p_{\max} = \left( \frac{30 \cdot m_{кл} \cdot (k+1)^3}{\pi \cdot M(a_{кл}) \cdot M(b_{кл}) \cdot M(c_{кл})} \cdot \vartheta_c^2 \cdot \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}}$$

где:  $k$  – коэффициент, характеризующий форму соударяющихся клубней [161].

$$k = \frac{R_1}{R_2} \quad (54)$$

$R_1$  – радиус падающего клубня, м;

$R_2$  – радиус несвободного клубня, м.

Примем, что  $R_1 = R_2$  и, следовательно,  $k = 1$ .

Преобразуем выражение (53) с учетом допущений:

$$p_{\max} = \left( \frac{240 \cdot m_{кл} \cdot \vartheta_c^2}{\pi \cdot M(a_{кл}) \cdot M(b_{кл}) \cdot M(c_{кл})} \cdot \left( \frac{E^*}{\pi} \right)^4 \right)^{\frac{1}{5}} \quad (55)$$

Выразим массу  $m_{кл}$  из выражения (55):

$$m_{кл} \leq \frac{\pi \cdot M(a_{кл}) \cdot M(b_{кл}) \cdot M(c_{кл})}{240 \cdot \vartheta_c^2 \cdot \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4} \cdot \left( \frac{\sigma_{пред}}{3,1} \right)^5 \quad (56)$$

Массу клубней в верхнем слое найдем:

$$m_{в.сл} \cong 1,3m_{н.сл} = 1,3 \cdot \rho \cdot b_{куз} \cdot L_{куз} \cdot c_{ср} \quad (57)$$

Доля клубней в верхнем слое, получивших механические повреждения, будет рассчитываться аналогично как для нижнего (52).

Тогда количество клубней, получивших механические повреждения в

самом верхнем слое  $m_{п.п.сл}$  будет рассчитываться следующим образом:

$$m_{п.в.сл} = \frac{1,3 \cdot \rho \cdot b_{куз} \cdot L_{куз} \cdot c_{ср}}{\sqrt{2\pi \cdot D(m_{кл})}} \cdot \int_{m_{кл.макс}} e^{\frac{-(x-M(m_{кл}))^2}{2D(m_{кл})}} dx \quad (58)$$

$$\cdot \frac{\pi \cdot M(a_{кл}) \cdot M(b_{кл}) \cdot M(c_{кл}) \cdot \left(\frac{\sigma_{пред}}{3,1}\right)^5}{240 \cdot \vartheta_c^2 \cdot \left(\frac{E_2}{\pi}\right)^4}$$

Рассчитаем  $p(z_2)$  как:

$$Z_2 = \frac{m_{п.н.сл} + m_{п.в.сл}}{b_{куз} \cdot L_{куз} \cdot H_{куз} \cdot \rho} \quad (59)$$

$b_{куз}$  – внутренняя ширина кузова ТС, м;

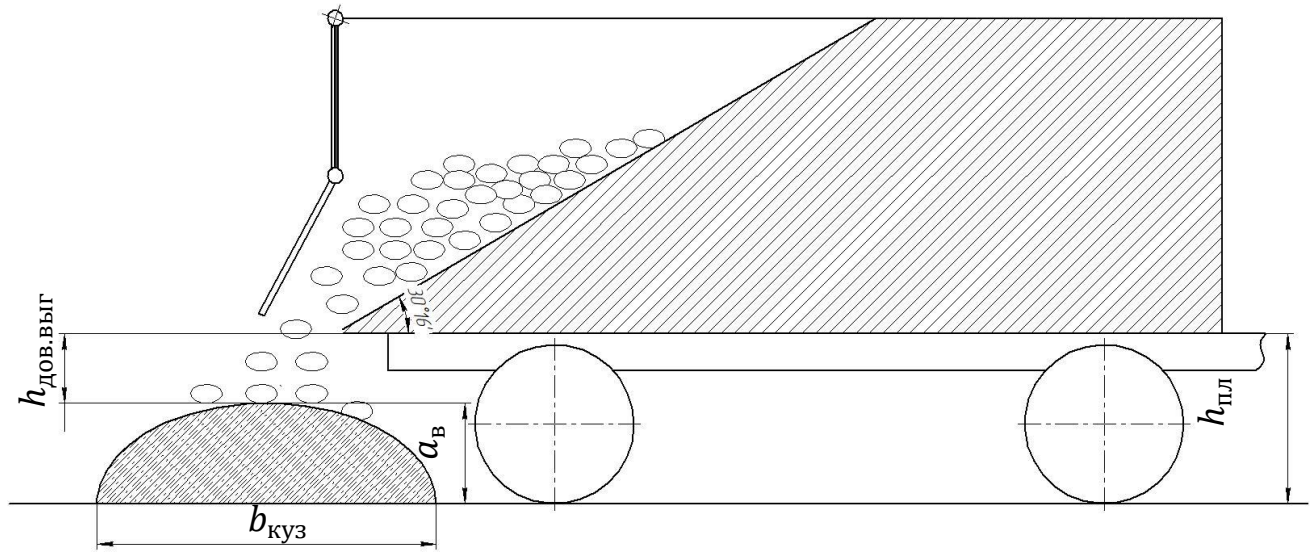
Заменив  $m_{п.н.сл}$  и  $m_{п.в.сл}$  окончательно получим:

$$Z_2 = \frac{m_{п.1сл} + m_{п.п.сл}}{b_{куз} \cdot L_{куз} \cdot H_{куз} \cdot \rho} = \frac{c_{ср}}{H_{куз} \cdot \sqrt{2\pi \cdot D(m_{кл})}} \cdot \left( \int_{m_{кл.макс}} e^{\frac{-(x-M(m_{кл}))^2}{2D(m_{кл})}} dx + \frac{\sigma_{пред}^5 \cdot \pi \cdot M(a_{кл}) \cdot M(b_{кл}) \cdot M(c_{кл})}{8588,75 \cdot \vartheta_c^2 \cdot \left(\frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)}\right)^4} \right) + \frac{1,3 \cdot c_{ср}}{H_{куз} \cdot \sqrt{2\pi \cdot D(m_{кл})}} \int_{m_{кл.макс}} e^{\frac{-(x-M(m_{кл}))^2}{2D(m_{кл})}} dx \cdot \frac{\pi \cdot M(a_{кл}) \cdot M(b_{кл}) \cdot M(c_{кл}) \cdot \left(\frac{\sigma_{пред}}{3,1}\right)^5}{240 \cdot \vartheta_c^2 \cdot \left(\frac{E_2}{\pi}\right)^4} \quad (60)$$

При разгрузке самосвального кузова ТС без специализированных устройств, например донного транспортера кузова БАЛТ Гранд-Полевик или приемного бункера пункта послеуборочной доработки картофеля некоторая часть клубней получает механические повреждения, следовательно,  $z_3 > 0$ .

Проведем соответствующие расчеты.

На рисунке 2.6 представлена схема разгрузки самосвального кузова ТС.



$b_{\text{куз}}$  – ширина кузова ТС;  $h_{\text{дов.выг}}$  – допустимая высота падения клубня;  $a_{\text{в}}$  – высота воронки;  $h_{\text{пл}}$  – высота дна кузова ТС относительно плоскости разгрузки.

Рисунок 2.6 – Схема разгрузки кузова ТС

Воспользовавшись формулой расчета максимального контактного напряжения при  $\vartheta_0 = 0$  выразим из него  $h_{\text{дов.выг}}$ :

$$h_{\text{дов.выг}} \leq \frac{\left(\frac{\sigma_{\text{пред}}}{0,62}\right)^5}{\left(\frac{E_2}{\pi}\right)^4 \cdot 320 \cdot \rho \cdot 2g} \quad (61)$$

Объем продукции [154], получающий механические повреждения при разгрузке самосвального кузова ТС найдем как:

$$V_{\text{повр}}^{\text{выг}} = \frac{4}{6} \pi \cdot a_{\text{в}} \cdot \frac{b_{\text{куз}}^2}{2} \quad (62)$$

Значение  $a_{\text{в}}$  найдем как:

$$a_{\text{в}} = h_{\text{пл}} - h_{\text{дов.выг}} \quad (63)$$

Тогда получим:

$$V_{\text{повр}}^{\text{выг}} = \frac{4}{6} \pi \cdot \left( h_{\text{пл}} - \frac{\left(\frac{\sigma_{\text{пред}}}{0,62}\right)^5}{\left(\frac{E_2}{\pi}\right)^4 \cdot 320 \cdot \rho \cdot 2g} \right) \cdot \frac{b_{\text{куз}}^2}{2} \quad (64)$$

Рассчитаем значение  $z_3$  с учетом всех предварительных вычислений:

$$z_3 = \frac{V_{\text{загр}}^{\text{повр}}}{V_{\text{общ}}} = \frac{\left( \frac{4}{6} \pi \cdot \left( h_{\text{пл}} - \frac{\left(\frac{\sigma_{\text{пред}}}{0,62}\right)^5}{\left(\frac{E_2}{\pi}\right)^4 \cdot 320 \cdot \rho \cdot 2g} \right) \cdot \frac{b_{\text{куз}}^2}{2} \right)}{H_{\text{куз}} \cdot b_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}}} \quad (65)$$



Получим выражение для нахождения  $y_i$ :

$$\begin{aligned}
 y_i = & \left( \frac{\pi \cdot b_{\text{в.тр}}^2}{3H_{\text{куз}} \cdot b_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}}} \left( H_{\text{куз}} + h_{\text{тр}} - \frac{\sigma_{\text{пред}}^5}{58,632 \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4 \cdot \rho \cdot g} - \frac{\vartheta_{\text{в.т.}}^2}{2g} \right) \right) + \\
 & + \frac{c_{\text{ср}}}{H_{\text{куз}} \cdot \sqrt{2\pi \cdot D(m_{\text{кл}})}} \cdot \left( \frac{\int_{\sigma_{\text{пред}}}^{m_{\text{кл.макс}}} \frac{\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}})}{8588,75 \cdot \vartheta_{\text{с}}^2 \cdot \left( \frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)} \right)^4} e^{\frac{-(x-M(m_{\text{кл}}))^2}{2D(m_{\text{кл}})}} dx}{\frac{\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}}) \cdot \left( \frac{\sigma_{\text{пред}}}{3,1} \right)^5}{240 \cdot \vartheta_{\text{с}}^2 \cdot \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4}} \right) + \\
 & + \frac{1,3 \cdot c_{\text{ср}}}{H_{\text{куз}} \cdot \sqrt{2\pi \cdot D(m_{\text{кл}})}} \int_{\frac{\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}}) \cdot \left( \frac{\sigma_{\text{пред}}}{3,1} \right)^5}{240 \cdot \vartheta_{\text{с}}^2 \cdot \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4}}^{m_{\text{кл.макс}}} e^{\frac{-(x-M(m_{\text{кл}}))^2}{2D(m_{\text{кл}})}} dx + \\
 & + \frac{\pi \cdot b_{\text{куз}}}{3H_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}}} \left( h_{\text{пл}} - \frac{\sigma_{\text{пред}}^5}{58,632 \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4 \cdot \rho \cdot g} \right)
 \end{aligned} \tag{66}$$

После соответствующих замен целевая функция (30) примет вид:

$$\begin{aligned}
 F = 2V_{\text{куз}}^{(i)} & \left( y_{\text{к}} + \left( \frac{\pi \cdot b_{\text{в.тр}}^2}{3H_{\text{куз}} \cdot b_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}}} \left( H_{\text{куз}} + h_{\text{тр}} - \frac{\sigma_{\text{пред}}^5}{58,632 \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4 \cdot \rho \cdot g} - \frac{\vartheta_{\text{в.т.}}^2}{2g} \right) \right) \right. \\
 & + \frac{c_{\text{ср}}}{H_{\text{куз}} \cdot \sqrt{2\pi \cdot D(m_{\text{кл}})}} \cdot \left( \frac{\int_{\sigma_{\text{пред}}}^{m_{\text{кл.макс}}} \frac{\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}})}{8588,75 \cdot \vartheta_{\text{с}}^2 \cdot \left( \frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)} \right)^4} e^{\frac{-(x-M(m_{\text{кл}}))^2}{2D(m_{\text{кл}})}} dx}{\frac{\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}}) \cdot \left( \frac{\sigma_{\text{пред}}}{3,1} \right)^5}{240 \cdot \vartheta_{\text{с}}^2 \cdot \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4}} \right) \\
 & + \frac{1,3 \cdot c_{\text{ср}}}{H_{\text{куз}} \cdot \sqrt{2\pi \cdot D(m_{\text{кл}})}} \int_{\frac{\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}}) \cdot \left( \frac{\sigma_{\text{пред}}}{3,1} \right)^5}{240 \cdot \vartheta_{\text{с}}^2 \cdot \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4}}^{m_{\text{кл.макс}}} e^{\frac{-(x-M(m_{\text{кл}}))^2}{2D(m_{\text{кл}})}} dx \\
 & \left. + \frac{\pi \cdot b_{\text{куз}}}{3H_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}}} \left( h_{\text{пл}} - \frac{\sigma_{\text{пред}}^5}{58,632 \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4 \cdot \rho \cdot g} \right) \right) \rightarrow \min
 \end{aligned} \tag{67}$$

Отметим, что в целевой функции  $F$  (67)  $y_{\text{к}}$  есть  $f(\vartheta_{\text{комб}}^{(i)})$ , а  $\vartheta_{\text{с}}$  есть

$f(\vartheta_{\text{гуж}}^{(i)})$ . Данные функциональные зависимости получены в ходе лабораторно-полевых испытаний для конкретных моделей картофелеуборочных машин и транспортной техники.

Получив систему ограничений и целевую функцию адаптивной модели уборки картофеля, перейдем к ее решению.

### 2.3. Алгоритм нахождения переменных адаптивной модели уборки картофеля

Суть решения поставленной задачи (переменных адаптивной модели уборки картофеля) – это нахождение таких переменных (удовлетворяющих условиям системы ограничений), при которых целевая функция стремится к максимуму или минимуму.

В общем виде целевая функция имеет вид:

$$f = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \quad (68)$$

где:  $c_j (i = \overline{1, n})$  - известные коэффициенты;

$x_j (i = \overline{1, n})$  - неизвестных переменные.

Система ограничений представлена как:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \leq b_i, i = \overline{1, m_1} \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \geq b_i, i = \overline{m_1 + 1, m_2} \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j = b_i, i = \overline{m_2 + 1, m} \end{cases} \quad (69)$$

где:  $a_{ij}, b_i$  – известные величины.

При этом значения  $a_{ij}, b_i, x_j$  больше нуля.

Задача состоит в нахождении значений эксплуатационных скоростей комбайна и транспортных средств, при которых целевая функция стремится к минимуму (обеспечивается минимальное количество клубней с механическими повреждениями) то:

$$f = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \rightarrow \min \quad (70)$$

В нашем случае целевая функция стремится к минимуму, следовательно, решение будет сводиться к нахождению максимального

значения  $f'$ . Причем  $f' = -f$ . После преобразования выражение (68) примет вид:

$$f' = -\sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \quad (71)$$

Если в системе ограничений (69) неравенства имеют вид  $\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \leq b_i, i = \overline{1, m_1}$  то после преобразования их в уравнения получим:

[illegible]

Если в системе ограничений (69) неравенства имеют вид  $\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \geq b_i, i = \overline{m_1 + 1, m_2}$  то после преобразования их в уравнения получим:

[illegible]

Приведем систему ограничений (27) согласно вышеописанным требованиям (а также допущение, что первое и второе транспортное средство идентично). При этом совершим переход к кодированным значениям:

$$\vartheta_{\text{КОМБ}}^{(1)} = \vartheta_{\text{КОМБ}}^{(2)} = \vartheta_{\text{КОМБ}}^{(i)} = x_1$$

$$\vartheta_{\text{гpyж}}^{(1)} = \vartheta_{\text{гpyж}}^{(2)} = \vartheta_{\text{гpyж}}^{(i)} = x_2$$

$$\frac{V_{\text{ky}3}^{(1)} \cdot \rho}{V \cdot R} = \frac{V_{\text{ky}3}^{(2)} \cdot \rho}{V \cdot R} = \frac{V_{\text{ky}3}^{(i)} \cdot \rho}{V \cdot R} = a_{11}$$

$$S = a_{12}$$

$$t_{\text{ByT}}^{(2)} + \frac{S}{\vartheta_{\text{non}}^{(2)}} = t_{\text{ByT}}^{(1)} + \frac{S}{\vartheta_{\text{non}}^{(1)}} = t_{\text{ByT}}^{(i)} + \frac{S}{\vartheta_{\text{non}}^{(i)}} = b_1$$

$$\frac{0,28 \sqrt{0,28a \cdot B \cdot (l_1 + l_2)}}{n_{\text{ряд}} \cdot \frac{1}{2} H_{\text{под}} \cdot B_{\text{гр}} \cdot \rho_{\text{поч}}} = b_2$$

$$\frac{0,28 \sqrt{0,772 a \cdot B \cdot \sum l_i}}{n_{\text{ряд}} \cdot \frac{1}{2} H_{\text{под}} \cdot B_{\text{гр}} \cdot \rho_{\text{поч}}} = b_3$$

В систему ограничений мы ввели ряд переменных  $x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ . Это необходимо для перехода от неравенств к равенствам.

Система примет вид (27):

$$\begin{cases} \frac{a_{11}}{x_1} - \frac{a_{12}}{x_2} - x_3 = b_1 \\ x_1 + x_4 = 5,2 \\ x_1 - x_5 = b_2 \\ x_1 + x_6 = b_3 \\ x_2 + x_7 = 29 \end{cases} \quad (74)$$

Сделаем в целевой функции замены на кодированные значения:

$$\begin{aligned} & \left( \frac{\pi \cdot b_{\text{в.тр}}^2}{3H_{\text{куз}} \cdot b_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}}} \left( H_{\text{куз}} + h_{\text{тр}} - \frac{\sigma_{\text{пред}}^5}{58,632 \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4 \cdot \rho \cdot g} - \frac{\vartheta_{\text{в.т.}}^2}{2g} \right) \right) = b_4 \\ & \frac{c_{\text{ср}}}{H_{\text{куз}} \cdot \sqrt{2\pi \cdot D(m_{\text{кл}})}} = b_5 \\ & \frac{1,3 \cdot c_{\text{ср}}}{H_{\text{куз}} \cdot \sqrt{2\pi \cdot D(m_{\text{кл}})}} = b_6 \\ & \frac{\pi \cdot b_{\text{куз}}}{3H_{\text{куз}} \cdot L_{\text{куз}}} \left( h_{\text{пл}} - \frac{\sigma_{\text{пред}}^5}{58,632 \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4 \cdot \rho \cdot g} \right) = b_7 \\ & F = \\ & 2V_{\text{куз}}^{(i)} \left( f(\vartheta_{\text{комб}}^{(i)}) + b_4 + b_5 \cdot \left( \frac{\int_{\sigma_{\text{пред}}^5 \cdot \pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}})}^{m_{\text{кл.макс}}} e^{\frac{-(x-M(m_{\text{кл}}))^2}{2D(m_{\text{кл}})}} dx}{8588,75 \cdot \left( f(\vartheta_{\text{груз}}^{(i)}) \right)^2 \cdot \left( \frac{2E_1 \cdot E_2}{\pi \cdot (E_1 + E_2)} \right)^4} \right) + \right. \\ & \left. b_6 \left( \frac{\int_{\frac{\pi \cdot M(a_{\text{кл}}) \cdot M(b_{\text{кл}}) \cdot M(c_{\text{кл}})}{240 \cdot \left( f(\vartheta_{\text{груз}}^{(i)}) \right)^2 \cdot \left( \frac{E_2}{\pi} \right)^4} \cdot \left( \frac{\sigma_{\text{пред}}}{3,1} \right)^5}^{m_{\text{кл.макс}}} e^{\frac{-(x-M(m_{\text{кл}}))^2}{2D(m_{\text{кл}})}} dx}{\right) + b_7 \right) \rightarrow \min \end{aligned} \quad (75)$$

Для нахождения решения (оптимального значения переменных, удовлетворяющих системе ограничений, при которых целевая функция минимальна) адаптивной модели можно воспользоваться базовыми методами

(например, симплексным методом решения) [59, 78, 173, 203].

Для упрощения процесса нахождения оптимального решения была разработана программа для ЭВМ, алгоритм который представлен ниже.

#### 2.4. Визуализация адаптивной модели уборки картофеля

Алгоритм нахождения оптимального решения адаптивной модели уборки картофеля представлен на рисунке 2.7.

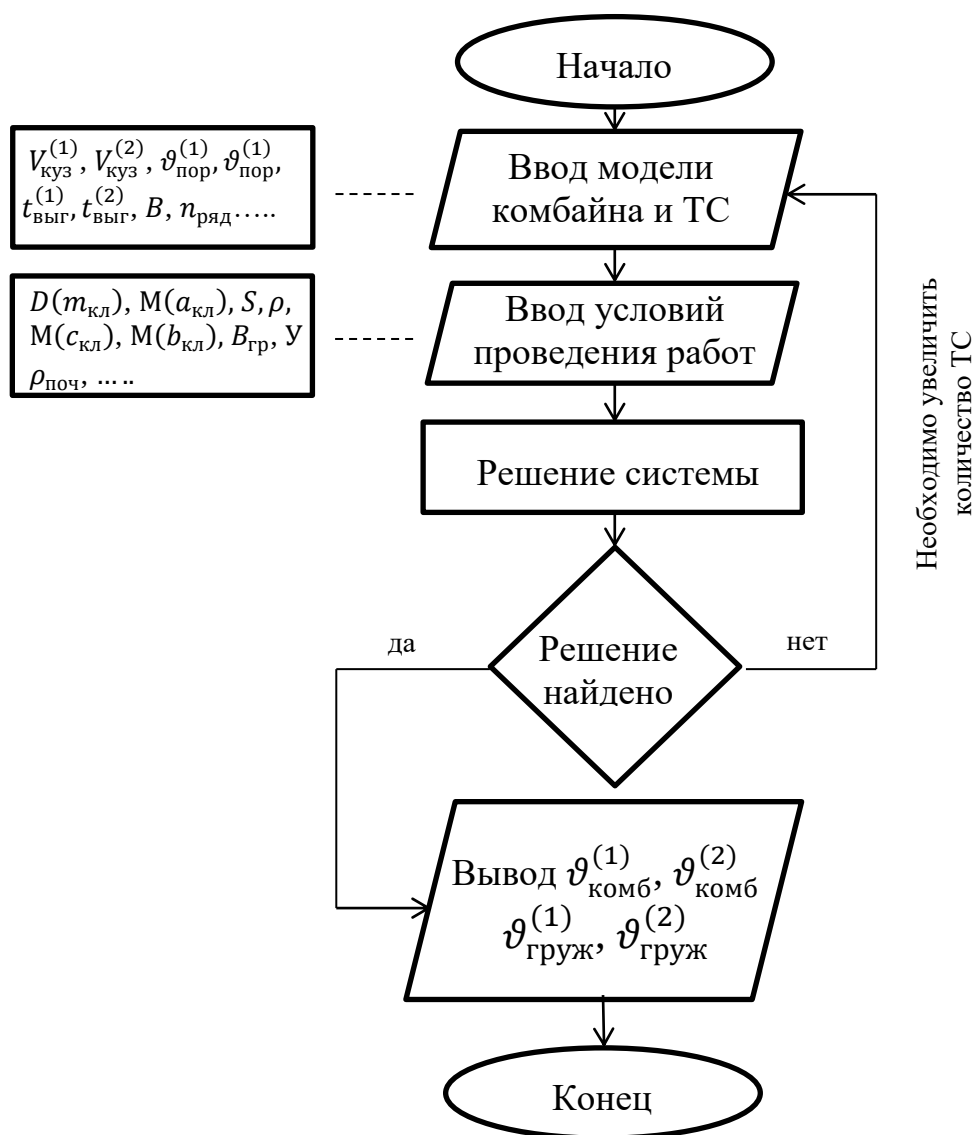


Рисунок 2.7 – Блок-схема

Интерфейс адаптивной модели уборки картофеля приведен на рисунках 2.8-2.10.

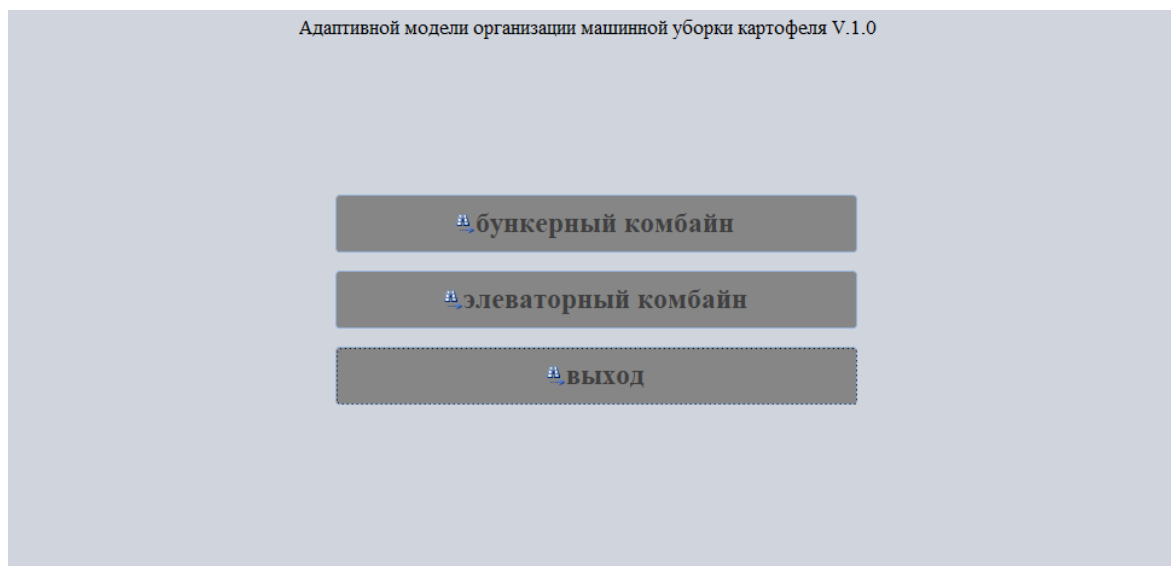


Рисунок 2.8 – Основное меню программы

**Выбор техники**

|           |                           |
|-----------|---------------------------|
| комбайн 1 | <input type="text"/>      |
| комбайн 2 | grimme GT 170<br>AVR Lynx |
| ТС 1      | 2ПТС4,5                   |
| ТС 2      | 2ПТС4,5                   |
| ТС 3      | 2ПТС4,5                   |
| ТС 4      | <input type="text"/>      |

Выход      Назад      Вперед

Рисунок 2.9 – Меню выбора техники

**Условия проведения работ**

|                              |                                                                                          |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| тип почвы                    | легкий суглинок                                                                          |
| сорт картофеля               | Ред Скарлет                                                                              |
| технология посадки картофеля | <input type="text"/>                                                                     |
| удаленность от хранилища, км | традиционная<br>грядово-ленточная<br>grimмовская<br>раннеспелый картофель<br>Голландская |
| урожайность, т/га            |                                                                                          |
| плотность почвы, кг/л        | <input type="text"/>                                                                     |

Выход      Назад      Вперед

Рисунок 2.10 – Меню ввода условий проведения уборка картофеля

| Вывод данных            |           |
|-------------------------|-----------|
| Скорость комбайна 1     | 5,01 км/ч |
| Скорость комбайна 2     | 4,96 км/ч |
| Скорость груженого 1 ТС | 19,2 км/ч |
| Скорость груженого 2 ТС | 19 км/ч   |
| Скорость груженого 3 ТС | 19,5 км/ч |
| Скорость груженого 4 ТС |           |

Выход Назад

Рисунок 2.11 – Вывод данных расчета

## 2.5. Исследование процесса разгрузки самосвальных кузовов ТС

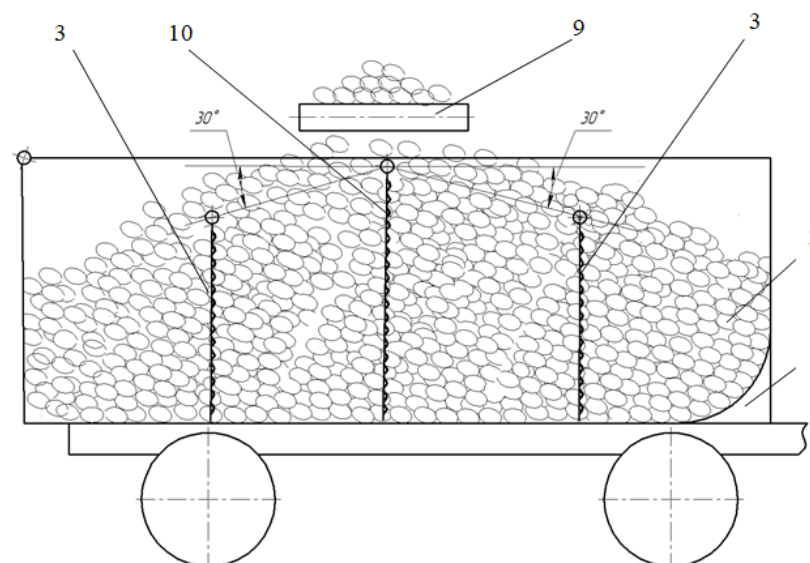
В первой главе диссертационного исследования был рассмотрен вопрос повреждения клубней в процессе разгрузки самосвальных кузовов ТС. Проведенный анализ источников литературы показал целый ряд технических средств, направленных на решение данной проблемы. На основании этого нами была разработана следующая перспективная модель самосвального ТС [107].

Кузов транспортного средства (рис. 2.12-2.15) содержит две боковые и центральную поперечные перегородки, которые соединены с верхними частями боковых бортов и способны отклоняться в вертикальной плоскости за счет гидроцилиндра.

Отличительными особенностями рассматриваемой модели является:

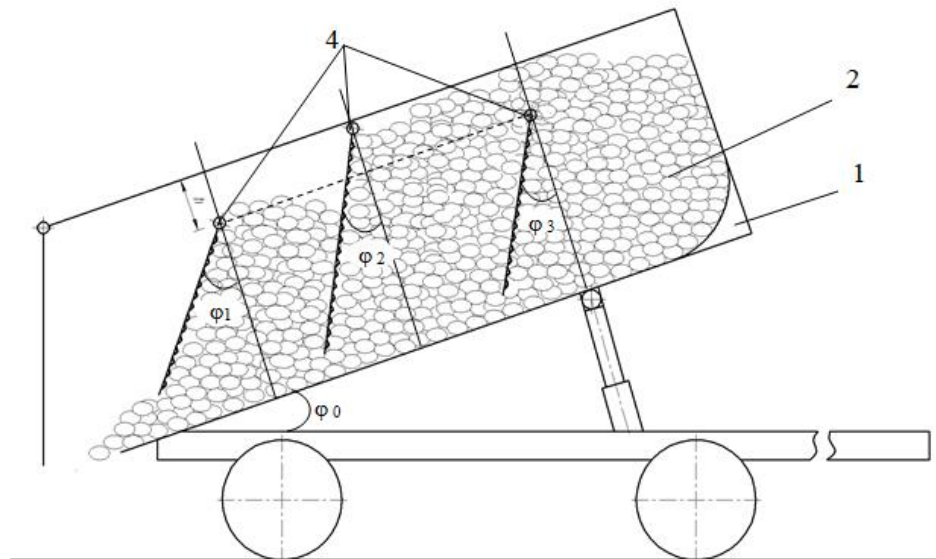
- высота центральной поперечной перегородки равна высоте бортов самосвального кузова,
- боковые поперечные перегородки установлены симметрично относительно центральной и имеют меньшую высоту по сравнению с ней;
- боковые поперечные перегородки установлены на таком уровне и расстоянии от центральной, при котором угол образованный плоскостью, проведенной через ось центральной поперечной перегородки параллельно основанию самосвального кузова и плоскостью проведенной через оси

центральной и одной из боковых поперечных перегородок составляет 30 градусов.



1 – кузов; 2 – груз; 3 – боковые поперечные перегородки; 9 – подающий транспортер картофелеуборочной машины; 10 – центральная поперечная перегородка.

Рисунок 2.12 – Загрузка самосвального кузова ТС [107]



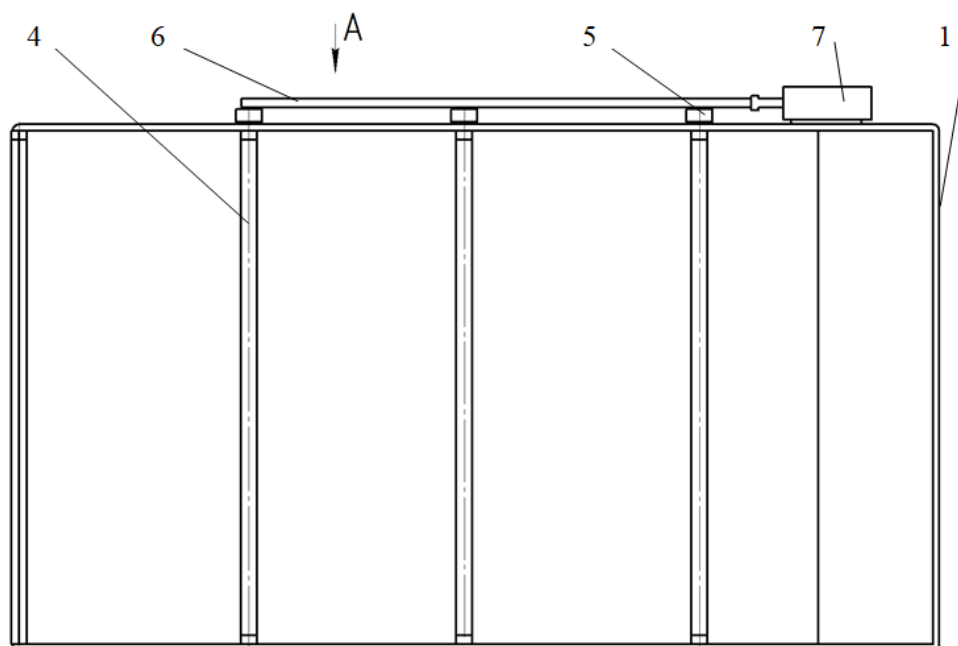
1 – кузов; 2 – груз; 4 – ось перегородок;  $\varphi_1$ ,  $\varphi_3$  – углы отклонения боковых поперечных перегородок;  $\varphi_2$  – угол отклонения центральной поперечной перегородки;  $\varphi_0$  – угол наклона грузовой платформы самосвального кузова;  $h$  – разница высот центральной и боковых поперечных перегородок.

Рисунок 2.13 – Разгрузка самосвального кузова ТС



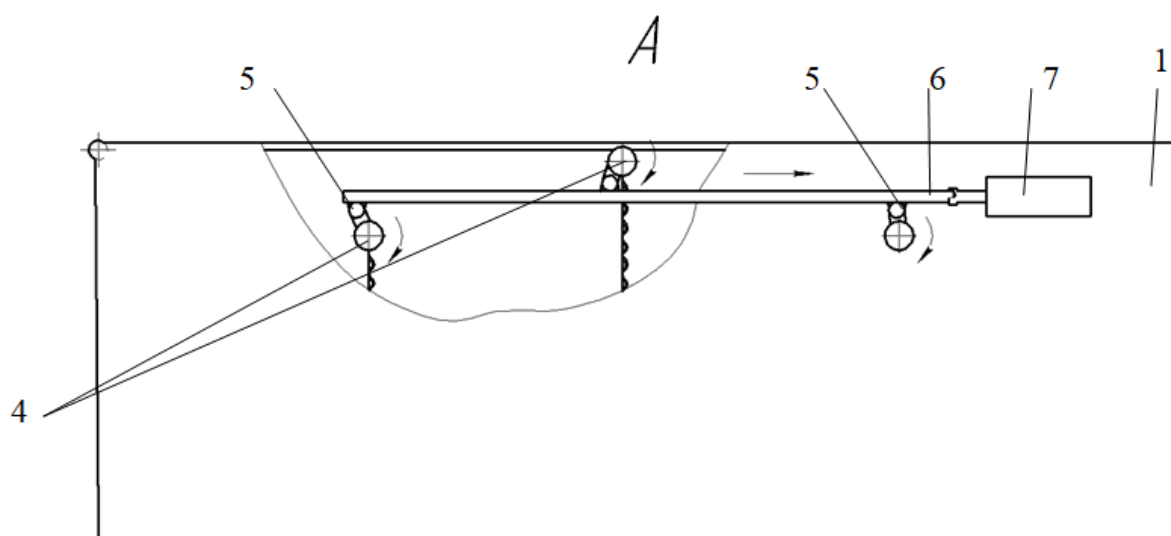
Вышеописанные особенности позволяют упростить процесс загрузки самосвального кузова ТС, убранными при помощи картофелеуборочных машин клубнеплодами и повысить полноту его заполнения [107].

Принцип действия представленного самосвального кузова ТС аналогичен модели рассмотренной в первой главе, поэтому не будем заострять на этом внимание.



1 – кузов; 4 – ось перегородок; 5 - консоль; 6 - шток; 7 - гидроцилиндр.

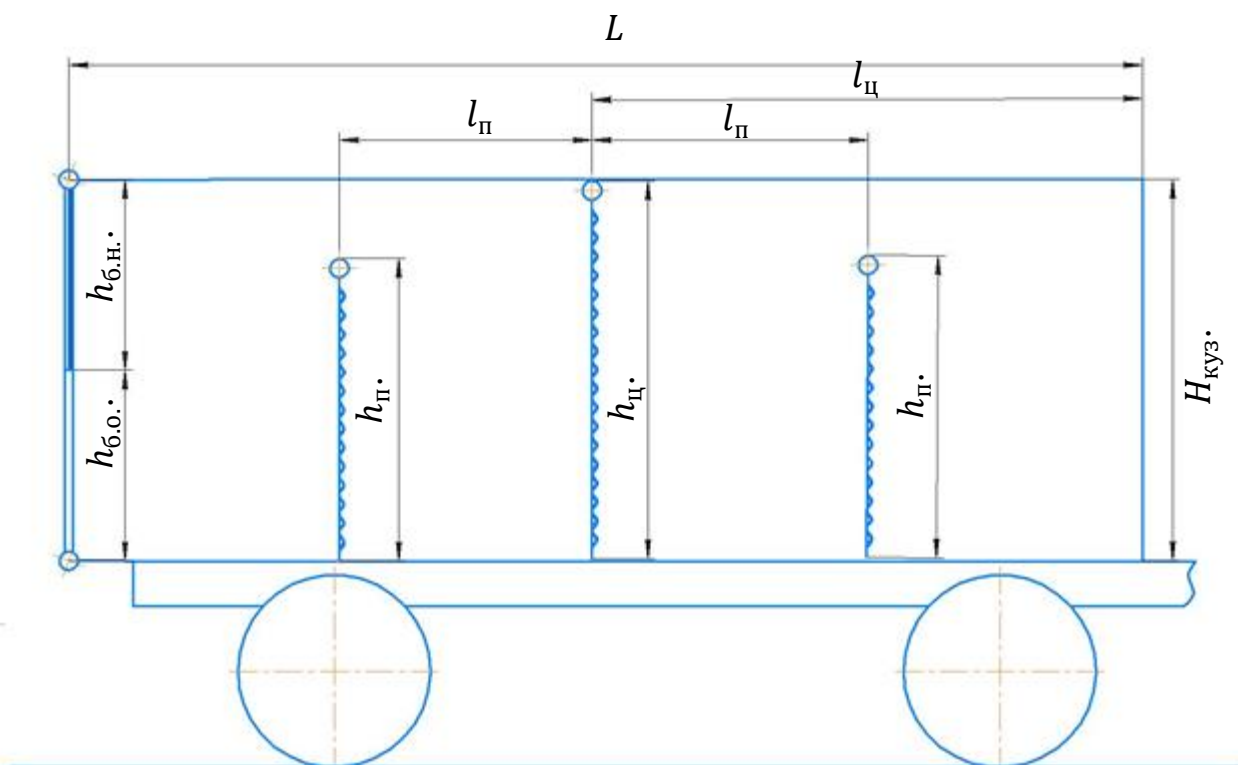
Рисунок 2.14 – Самосвальный кузов ТС – вид сверху



1 – кузов; 4 – ось перегородок; 5 - консоль; 6 - шток; 7 – гидроцилиндр.

Рисунок 2.15 – Самосвальный кузов ТС – вид сбоку

Проведем анализ геометрических параметров самосвальных кузовов ТС, модернизированных в соответствии с рассмотренными выше научными изысканиями [107]. Построим схему (рис. 2.16) и проставим необходимые базовые характеристики.



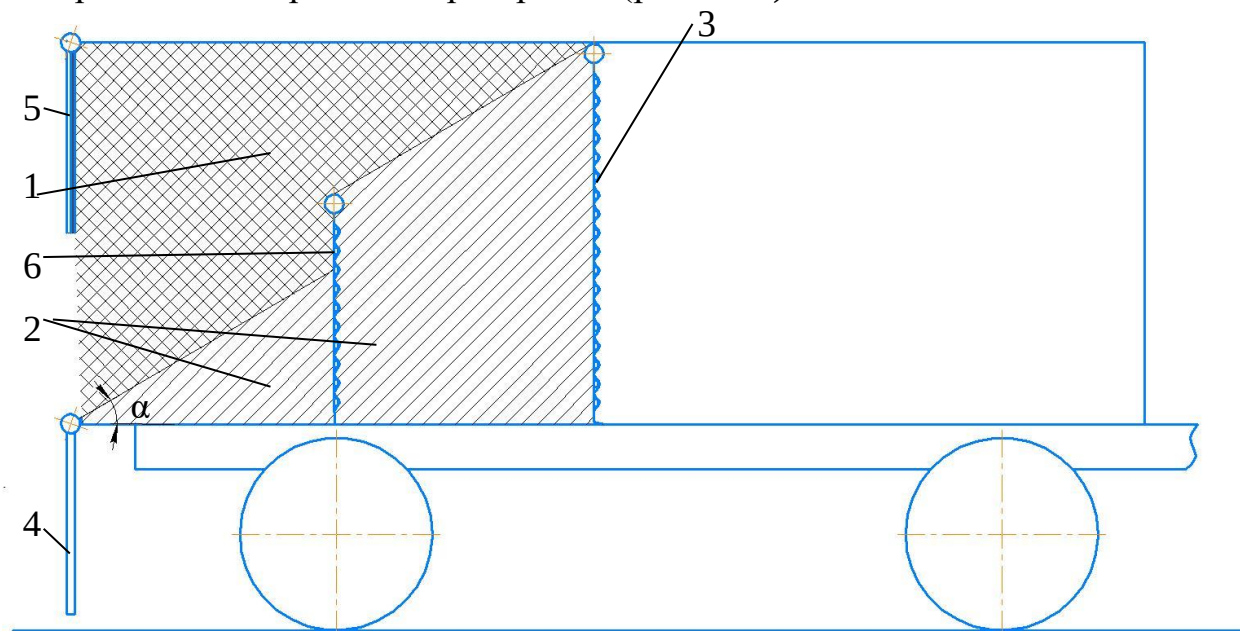
$h_{б.о.}$  — высота основного борта;  $h_{б.н.}$  — высота надставного борта;  $h_{п.}$  — высота боковых поперечных перегородок;  $h_{ц.}$  — высота центральной поперечной перегородки;  $H_{куз.}$  — высота кузова;  $L$  — длина кузова;  $l_{ц.}$  — удаление центральной поперечной перегородки;  $l_{п.}$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

Рисунок 2.16 – Схема самосвального кузова ТС с геометрическими параметрами

Исходя из схемы на рис. 2.16 следует, что геометрические параметры поперечных перегородок по большей части будут зависеть от модели самосвального кузова ТС выбранной для модернизации. В первую очередь это  $b$  (ширина поперечных перегородок – на рис. 2.16 не показана, приблизительно равна внутренней ширине кузова)  $h_{ц.}$  и  $l_{ц.}$  (удаленность от

переднего или заднего борта ТС. Согласно патенту на полезную модель № 194128 [107]  $l_{ц} = L/2$ ). Параметры  $h_{п}$  и  $l_{п}$  получаются расчетным путем в зависимости от  $H_{куз}$  и  $L$ .

Для начала рассмотрим процесс разгрузки самосвального кузова ТС до центральной поперечной перегородки (рис. 2.17).



$\alpha$  – угол естественного скатывания клубней; 1 – объем картофеля, выгружаемый сразу после открытия заднего откидного борта; 2 – объем картофеля, не выгружаемый сразу после открытия заднего откидного борта; 3 – центральная поперечная перегородка; 4 – задний откидной борт; 5 – задний надставной борт; 6 – боковая поперечная перегородка.

Рисунок 2.17 – Схема разгрузки самосвального кузова ТС до центральной поперечной перегородки

При открытии заднего откидного борта, часть груза незамедлительно устремляется наружу. Для определения производительности данного процесса воспользуемся формулой для расчета скорости истечения сыпучих грузов [58]:

$$v_1 = \lambda \sqrt{3,2 \cdot g \cdot R} \quad (76)$$

где:  $R$  – гидравлический радиус, м;

$\lambda$  – коэффициент истечения. Для крупнозернистых, кусковых грузов

$\lambda=0,3\dots0,5$ .

$g$  – ускорение свободного падения.

Для прямоугольного отверстия гидравлический радиус найдем как:

$$R = \frac{(B-a) \cdot (b-a)}{2(b+B-2a)} \quad (77)$$

где:  $b$  – ширина выгрузного отверстия, м;

$B$  – высота выгрузного отверстия, м;

$a$  – размер отдельного сыпучего элемента (в нашем случае клубня картофеля), м.

Для упрощения расчетов можно воспользоваться следующей формулой расчета гидравлического радиуса выгрузного отверстия:

$$R = \frac{B \cdot b}{2(b+B)} \quad (78)$$

Скорость истечения будет рассчитываться относительно самого узкого участка  $B$  (рис. 2.17). Следовательно, размеры выгрузного отверстия будут следующими:

- ширина выгрузного отверстия  $b$  равна  $b_{\text{куз}}$  – внутренней ширине грузовой платформы;

- высота выгрузного отверстия –  $B = h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a$  (согласно рис. 2.18).

Преобразовав выражение (76) в соответствии со схемой на рисунке 2.18 получим следующее:

$$\vartheta_1 = \lambda \sqrt{3,2 \cdot g \cdot \frac{b_{\text{куз}} \cdot h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a}{2(h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a + b_{\text{куз}})}} \quad (79)$$

Рассчитав скорость  $\vartheta_1$ , с которой картофельный ворох сходит с грузовой платформы самосвального кузова ТС найдем скорость  $\vartheta_0$ , с которой клубни ударяются о поверхность в конце разгрузки по формуле [239]:

$$\vartheta_0 = \sqrt{\vartheta_{\text{н}}^2 + 2g \cdot h} \quad (80)$$

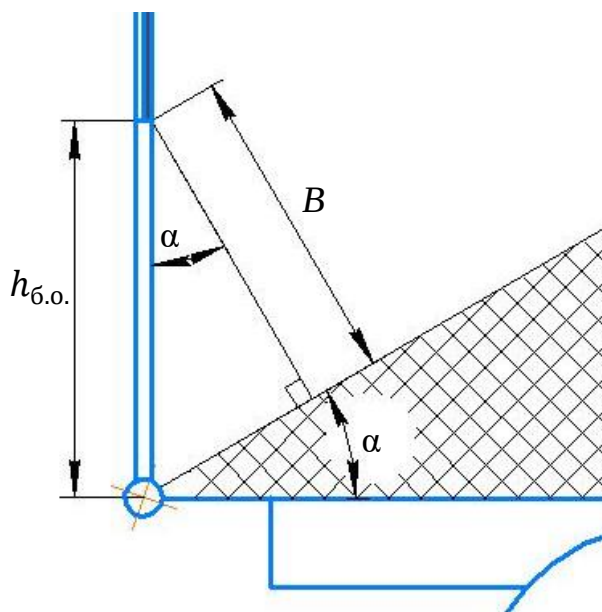
где:  $h$  - перепад высот при разгрузке, м.

При этом стоит отметить, что в случае, когда ворох сгружается в

приемный бункер послеуборочной доработки, то  $h$  значительно ниже и, следовательно, клубни ударяются о поверхность, на которую производится выгрузка с меньшей скоростью.

В качестве примера подставим параметры самосвального ТТА 2ПТС 4,5. Получим  $v_1 \approx 1,04$  м/с – скорость прохождения клубней через выгрузное отверстие.

Она составит  $v_k = 5,12$  м/с, что соответствует допустимому значению при падении на обрезиненную поверхность [161]. В противном случае велик риск получения травмы отдельными клубнями [239].



$\alpha$  – угол естественного скатывания клубней;  $h_{б.о.}$  – высота основного борта;  $B$  – высота выгрузного отверстия.

Рисунок 2.18 – Схема расчета геометрических параметров выгрузного отверстия самосвального кузова ТС

Данная скорость будет свойственна объему клубней, выгружаемых на первом этапе (сразу после открытия заднего откидного борта). Найдем его величину. Построим схему самосвального кузова ТС с поперечными перегородками (рис. 2.19) и проставим соответствующие значения.

Общий объем кузова до центральной поперечной перегородки составляет:

$$V_{\text{общ}} = l_{\text{ц}} \cdot H_{\text{куз}} \cdot b_{\text{куз}} = \frac{L}{2} \cdot H_{\text{куз}} \cdot b_{\text{куз}} \quad (81)$$

где:  $b_{\text{куз}}$  – внутренняя ширина грузовой платформы, м.

$l_{\text{ц}}$  – удаленность центральной поперечной перегородки, м;

$L$  – внутренняя длина грузовой платформы, м;

$H_{\text{куз}}$  – внутренняя высота грузовой платформы, м.

Параметры  $H_{\text{куз}}$  и  $b_{\text{куз}}$  зависят от геометрических параметров самосвального кузова ТС, а  $l_{\text{ц}} = L/2$  [107] (что также соответствует внутренней длине грузовой платформы самосвального ТС).

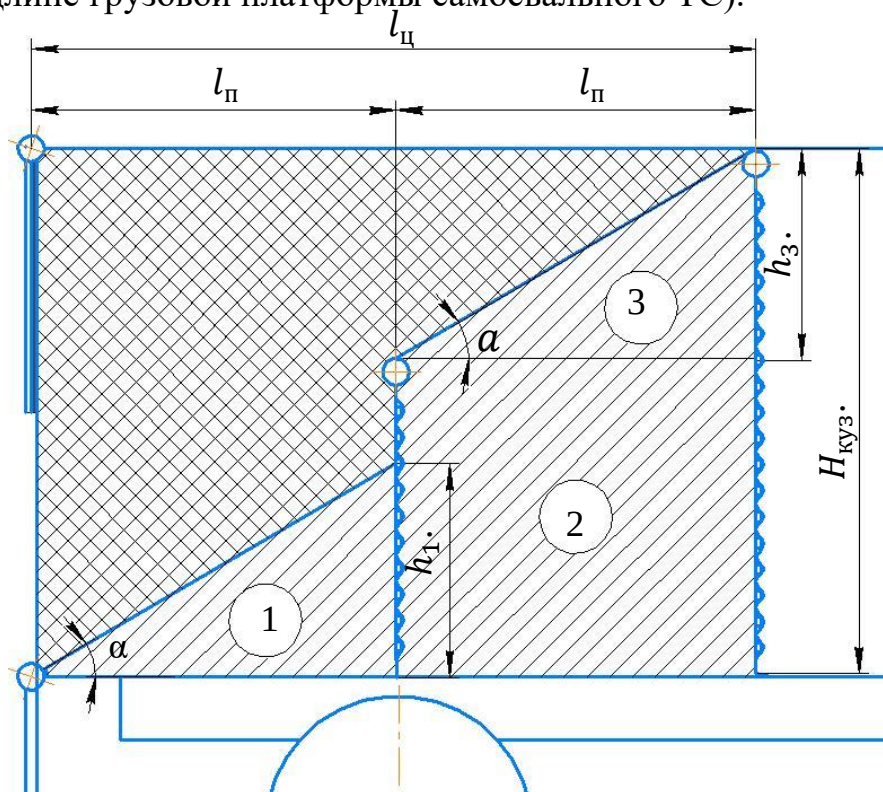


Рисунок 2.19 – Схема расчета объема выгружаемого картофеля при открытии заднего откидного борта ТС

Объем продукции, который остается на начальном этапе разгрузки составляет:

$$V_{\text{ост}} = V_1 + V_2 + V_3 \quad (82)$$

Поэтапно найдем  $V_1, V_2, V_3$ :

$$V_1 = \frac{1}{2} l_{\text{п}} \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_1 \quad (83)$$

где:  $l_{\text{п}}$  – удаленность боковых поперечных перегородок, м.  $l_{\text{п}} = l_{\text{ц}}/2$ ;

$h_1 = l_{\pi} \cdot \tan a$  (согласно рис. 2.19) или

$$h_1 = \frac{L}{4} \cdot \tan a \quad (84)$$

где:  $\alpha$  – угол естественного скатывания клубней, град.

Окончательно получаем:

$$V_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{L}{4} \cdot b_{\text{куз}} \cdot \frac{L}{4} \cdot \tan a = \frac{L^2}{32} \cdot b_{\text{куз}} \cdot \tan a \quad (85)$$

$$V_3 = \frac{1}{2} l_{\pi} \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_3 \quad (86)$$

где:  $h_3 = l_{\pi} \cdot \tan a$  [107].

Сделаем преобразования и получим:

$$h_3 = \frac{L}{4} \cdot \tan a \quad (87)$$

Тогда:

$$V_3 = \frac{L^2}{32} \cdot b_{\text{куз}} \cdot \tan a \quad (88)$$

И последнее:

$$V_2 = l_{\pi} \cdot b_{\text{куз}} \cdot (H_{\text{куз}} - h_3) = \frac{L}{4} \cdot b_{\text{куз}} \cdot \left( H_{\text{куз}} - \frac{L}{4} \cdot \tan a \right) \quad (89)$$

Формула (66) примет вид:

$$V_{\text{ост}} = \frac{L^2}{32} \cdot b_{\text{куз}} \cdot \tan a + \frac{L}{4} \cdot b_{\text{куз}} \cdot \left( H_{\text{куз}} - \frac{L}{4} \cdot \tan a \right) + \frac{L^2}{32} \cdot b_{\text{куз}} \cdot \tan a \quad (90)$$

Рассчитаем объем клубней, выгружаемых на первом этапе:

$$V_{\text{выг}} = V_{\text{общ}} - V_{\text{ост}} = \frac{L}{2} \cdot H_{\text{куз}} \cdot b_{\text{куз}} - \frac{L^2}{32} \cdot b_{\text{куз}} \cdot \tan a - \frac{L}{4} \cdot b_{\text{куз}} \cdot \left( H_{\text{куз}} - \frac{L}{4} \cdot \tan a \right) - \frac{L^2}{32} \cdot b_{\text{куз}} \cdot \tan a \quad (91)$$

Получили, что объем  $V_{\text{выг}}$  будет выгружаться со скоростью  $\vartheta_1$ .  
Рассчитаем необходимое для этого время. Для начала найдем производительность данного процесса (производительность процесса выгрузки клубней через открытый задний откидной борт ТС):

$$Q_1 = \vartheta_1 \cdot S^* \quad (92)$$

где:  $S^*$  - площадь отверстия истечения с учетом кусковатости груза,  $\text{м}^2$ ;

$$S^* = (B - a) \cdot (b_{\text{куз}} - a) = (h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a - a) \cdot (b_{\text{куз}} - a).$$

где:  $a$  – наибольший размер клубня, м.

Обозначения идентичны формуле (77).

Получим:

$$Q_1 = \lambda \sqrt{3,2 \cdot g \cdot \frac{b_{\text{куз}} \cdot h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a}{2(h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a + b_{\text{куз}})}} \cdot (h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a - a) \cdot (b_{\text{куз}} - a) \quad (93)$$

Время, затрачиваемое на начальный этап разгрузки найдем как:

$$t_1 = \frac{V_{\text{выг}}}{Q_1} = \frac{\frac{L}{2} H_{\text{куз}} \cdot b_{\text{куз}} - \frac{L^2}{32} b_{\text{куз}} \cdot \tan a - \frac{L}{4} b_{\text{куз}} \cdot \left( H_{\text{куз}} - \frac{L}{4} \cdot \tan a \right) - \frac{L^2}{32} b_{\text{куз}} \cdot \tan a}{\lambda \sqrt{3,2 \cdot g \cdot \frac{b_{\text{куз}} \cdot h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a}{2(h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a + b_{\text{куз}})}} \cdot (h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a - a) \cdot (b_{\text{куз}} - a)} \quad (94)$$

К моменту, когда истечет время  $t_1$  (выгрузится объем перевозимой продукции  $V_{\text{выг}}$ ), ближайшая к заднему откидному борту поперечная перегородка должна приоткрыться (между перегородкой и дном грузовой платформы должен образоваться проем, достаточный для прохождения через него клубней из  $V_2$ ). В противном случае клубни из  $V_3$  будут проходить над осями перегородок и при падении травмироваться.

Рассмотрим схему приоткрытия первой (по отношению к заднему откидному борту) боковой поперечной перегородки самосвального кузова ТС (рис. 2.20).

Спроецируем т.  $A^*$  на  $OA$  под прямым углом. Тогда  $OB = OA - h_z$ .

Для того что бы найти угол  $\varphi_1$  рассчитаем его косинус:

$$\cos \varphi_1 = \frac{OB}{OA^*} \quad (95)$$

Тогда угол  $\varphi_1$  получим:

$$\varphi_1 = \arccos \frac{OB}{OA^*} \quad (96)$$

Для предотвращения возможности скопления вороха у заднего откидного борта скорость прохождения через боковую поперечную перегородку должна быть меньше или равна  $\vartheta_1$ .

Скорость истечения сыпучих грузов найдем [58]:

$$\vartheta_2 = \lambda \sqrt{3,2 \cdot g \cdot R_2} \quad (97)$$

где:  $R_2$  - гидравлический радиус отверстия под боковой поперечной перегородкой, м;



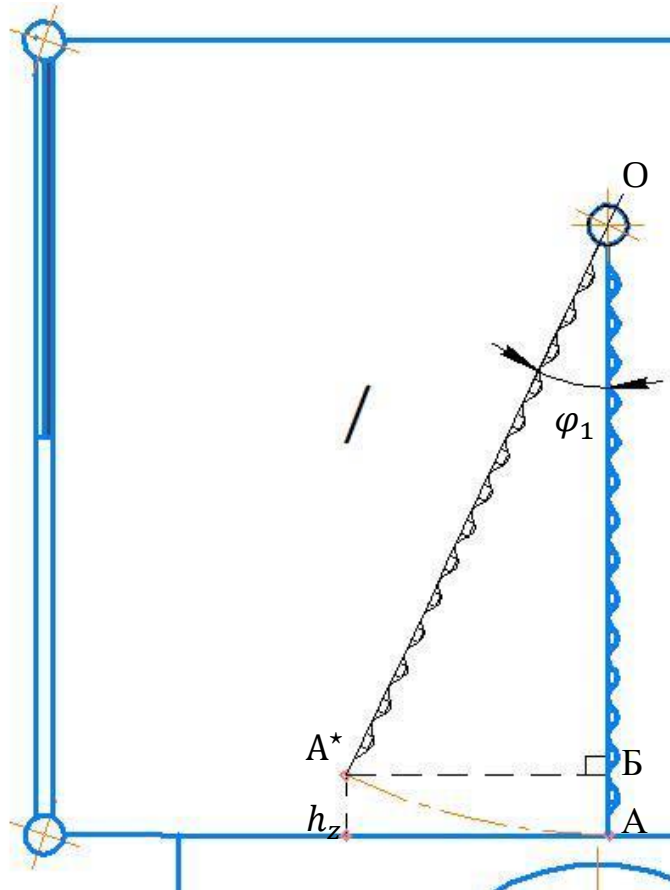
$\lambda$  – коэффициент истечения.

$g$  – ускорение свободного падения.

$$R_2 = \frac{h_z \cdot b_{\text{куз}}}{2(b_{\text{куз}} + h_z)} \quad (98)$$

где:  $h_z$  – зазор, между первой поперечной перегородкой и дном грузовой платформы, м;

$b_{\text{куз}}$  – внутренняя ширина грузовой платформы, м.



$h_z$  – зазор, между первой поперечной перегородкой и дном грузовой платформы, м;  $OA$  – высота первой поперечной перегородки, м. ( $OA = OA^*$ );  $\varphi_1$  – угол отклонения (открытия) первой поперечной перегородки, град.

Рисунок 2.20 – Схема открытия первой поперечной перегородки

Тогда получим:

$$\vartheta_2 = \lambda \sqrt{3,2 \cdot g \cdot \frac{h_z \cdot b_{\text{куз}}}{2(b_{\text{куз}} + h_z)}} \quad (99)$$

Из условия выше следует:

$$\vartheta_1 \geq \vartheta_2 \quad (100)$$

Имеем следующее неравенство:

$$\lambda \sqrt{3,2 \cdot g \cdot \frac{b_{\text{куз}} \cdot h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a}{2(h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a + b_{\text{куз}})}} \geq \lambda \sqrt{3,2 \cdot g \cdot \frac{h_z \cdot b_{\text{куз}}}{2(b_{\text{куз}} + h_z)}} \quad (101)$$

Выразим величину  $h_z$ :

$$\frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a}{h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \geq h_z \quad (102)$$

Зная величину  $h_z$  найдем  $\varphi_1$  используя формулы (94) и некоторые вводные обозначенные ранее ( $OB = OA - h_z$ ;  $OA = OA^*$ ):

$$\varphi_1 = \arccos \frac{OB}{OA^*} = \arccos \left( \frac{OA - h_z}{OA} \right) = \arccos \left( \frac{h_{\text{п}} - h_z}{h_{\text{п}}} \right) = \arccos \left( 1 - \frac{h_z}{h_{\text{п}}} \right) \quad (103)$$

где:  $h_{\text{п}}$  – высота боковых поперечных перегородок, м.

Ранее мы уже рассматривали  $h_{\text{п}}$  (рис. 2.19) и получили  $h_{\text{п}} = H_{\text{куз}} - h_3$ .

Учитывая, что  $h_3 = \frac{L}{4} \cdot \tan a$  согласно формуле (86), и значение  $h_z$  (101) получим:

$$\varphi_1 = \arccos \left( 1 - \frac{\left( \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a}{h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \right)}{H_{\text{куз}} - \frac{L}{4} \cdot \tan a} \right) \quad (104)$$

Стоит отметить, что за время  $t_1$  грузовая платформа ТС опрокинется на некоторый угол  $\varphi_{t_1}$ , а значит  $V_1$  и  $V_3$  уменьшатся на некоторую величину.

Зная технические характеристики самосвального кузова ТС (максимальный угол опрокидывания грузовой платформы и время, затрачиваемое на данную операцию) найдем скорость опрокидывания грузовой платформы:

$$\delta_{\text{пл}} = \frac{\varphi_{\text{max}}}{t_{\text{max}}} \quad (105)$$

где:  $\varphi_{\text{max}}$  – максимальный угол опрокидывания грузовой платформы ТС, град;

$t_{\text{max}}$  – максимальное время опрокидывания грузовой платформы, с.

Получается, что по истечению  $t_1$  грузовая платформа поднимется на угол равный произведению  $\delta_{\text{пл}} \cdot t_1$ , но принимая во внимание что

продолжительность данного этапа невелика, то корректировкой  $V_1$  и  $V_3$  можно пренебречь (согласно исследованиям [209] угол естественного скатывания клубней находится в диапазоне от 30,26 до 35,15 град и поэтому незначительный подъем грузовой платформы существенного влияния на разгрузку не окажет).

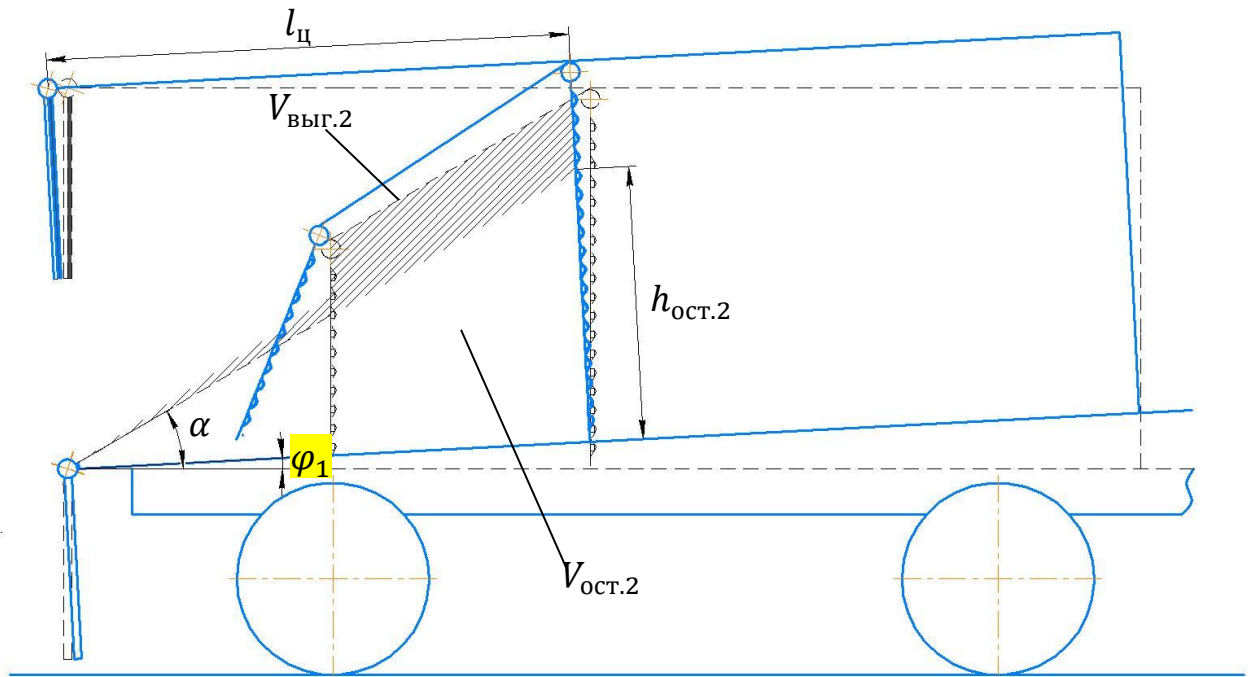
Как показано на схеме (рис. 2.21) на данном этапе выгружается ограниченное количество продукции ( $V_{\text{выг.2}}$ ). Найдем его как:

$$V_{\text{выг.2}} = V_{\text{ост}} - V_{\text{ост.2}} \quad (106)$$

$$V_{\text{ост.2}} = b_{\text{куз}} \cdot \frac{1}{2} \cdot l_{\text{ц}} \cdot (\tan \alpha \cdot l_{\text{ц}}) \quad (107)$$

где:  $b_{\text{куз}}$  – внутренняя ширина кузова ТС, м;

$\alpha$  – угол естественного скатывания клубней, град.



$V_{\text{выг.2}}$  – объем выгружаемой продукции на данном этапе.

Рисунок 2.21 – Схема открытия первой поперечной перегородки и выгрузки части продукции

Тогда выражение (106) примет вид:

$$V_{\text{выг.2}} = \left( \frac{L^2}{32} \cdot b \cdot \tan \alpha + \frac{L}{4} \cdot b \cdot \left( H_{\text{куз}} - \frac{L}{4} \cdot \tan \alpha \right) + \frac{L^2}{32} \cdot b \cdot \tan \alpha \right) - b_{\text{куз}} \cdot \frac{1}{2} \cdot l_{\text{ц}} \cdot (\tan \alpha \cdot l_{\text{ц}}) \quad (108)$$

Времени  $t_2$  выгрузки следующей части груза (после открытия первой боковой поперечной перегородки) найдем по формуле:  $t_2 = \frac{V_{\text{выг.2}}}{Q_2}$ .

Найдем  $Q_2$  по формуле:

$$Q_2 = v_2 \cdot S_1^* \quad (109)$$

где:  $S_1^*$  - приведенный радиус выгрузного отверстия (зазор образованный днищем кузова ТС и боковой поперечной перегородкой),  $\text{м}^2$ .

$v_2$  – скорость прохождения вороха,  $\text{м/с}$ .

Скорость  $v_2$  найдем как:

$$v_2 = \lambda \sqrt{3,2 \cdot g \cdot \left( \frac{\frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \cdot b_{\text{куз}}}{2(b_{\text{куз}} + \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}})} \right)} \quad (110)$$

Приведенный радиус  $S_1^*$  рассчитаем:

$$S^* = \left( \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} - a \right) \cdot (b_{\text{куз}} - a) \quad (111)$$

Тогда  $Q_2$  найдем как:

$$Q_2 = \lambda \sqrt{3,2 \cdot g \cdot \left( \frac{\frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \cdot b_{\text{куз}}}{2 \left( b_{\text{куз}} + \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \right)} \right)} \cdot \left( \left( \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} - a \right) \cdot (b_{\text{куз}} - a) \right) \quad (112)$$

Время  $t_2$  рассчитаем:

$$t_2 = \frac{1}{\left( \left( \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} - a \right) \cdot (b_{\text{куз}} - a) \right)} \quad (113)$$

Зная  $t_1$  и  $t_2$ , найдем угол, на который поднимется платформа:

$$\varphi_{1-2} = \delta_{\text{пл}} \cdot (t_1 + t_2) \quad (114)$$

Переходим к моменту открытия центральной поперечной перегородки.

Произведем расчет режима ее срабатывания.

Полное опустошение кузова произойдет при его опрокидывании на

угол от 30,26 до 35,15 град [209]. При этом в конструкцию ТС заложен угол в 50-60 град. Следовательно, этап разгрузки завершается задолго до полного опрокидывания кузова. При этом остатки груза приобретают конечную скорость (скорость удара о поверхность разгрузки) свыше 5 м/с. Согласно исследованиям ученых в этом случае клубень непременно получает механическое повреждение [129, 161, 218, 239].

В этом случае скорость движения насыпного груза рассчитывается по следующей формуле [58, 239]:

$$\vartheta_{\text{гр}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot l_{\text{ц}} \cdot \left[ \sin \beta - f_1 \cdot \cos \beta \cdot \left( 1 + \frac{n \cdot h_{\text{ц}}}{b_{\text{куз}}} \right) \right]} + \vartheta_0^2 \quad (115)$$

где:  $l_{\text{ц}}$  – длина платформы, м.  $l_{\text{ц}} = \frac{L}{2}$ ;

$\beta$  – угол опрокидывания платформы, град;

$f_1$  – коэффициент трения груза о борта и платформу.  $f_1 = 0,56$  (коэффициент трения скольжения клубня о сталь);

$\vartheta_0$  – начальная скорость груза, м/с.  $\vartheta_0 = 0$  м/с (груз находится в состоянии покоя);

$n$  – коэффициент бокового давления.  $n = 1$ ;

$b_{\text{куз}}$  – внутренняя ширина кузова ТС, м;

$h_{\text{ц}}$  - высота выгрузного отверстия (высота зазора между днищем кузова и центральной поперечной перегородкой), м.

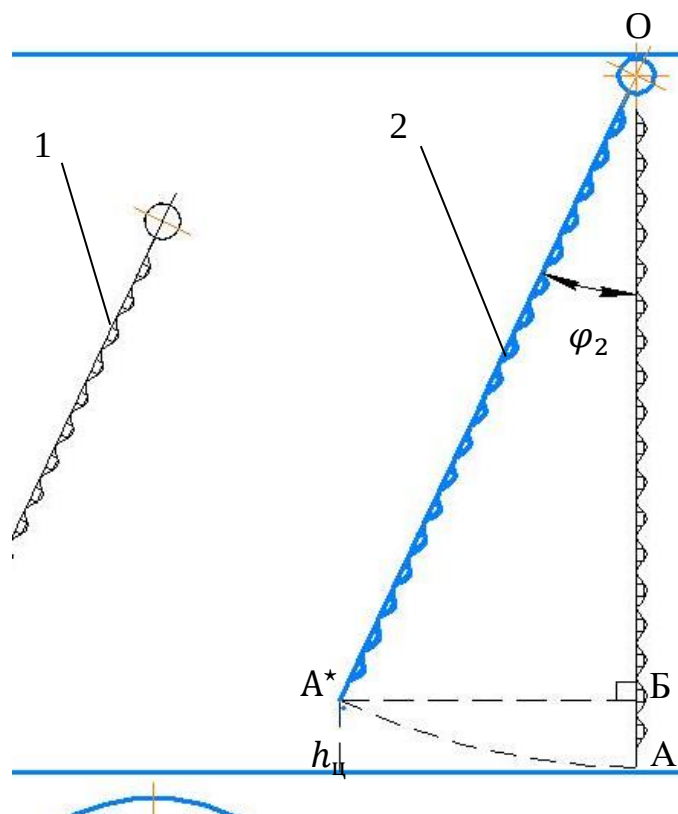
Для предотвращения рассмотренной ситуации зададим следующее условие:  $\vartheta_2 \leq \vartheta_3$ . Тогда получим следующее неравенство:

$$\lambda \sqrt{3,2 \cdot g \cdot \frac{\frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a}{h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \cdot b_{\text{куз}}}{2 \left( b_{\text{куз}} + \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a}{h_{\text{б.о.}} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \right)}} \leq \sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{L}{2} \cdot \left[ \sin \varphi_{1-2} - 0,56 \cdot \cos \varphi_{1-2} \cdot \left( 1 + \frac{h_{\text{ц}}}{b_{\text{куз}}} \right) \right]} \quad (116)$$

Выразим из выражения (116) необходимую высоту отверстия, образованного центральной поперечной перегородкой и днищем кузова ТС:

$$h_{\text{ц}} \leq \frac{b_{\text{куз}}}{0,56 \cdot \cos \varphi_{1-2}} \left( \sin \varphi_{1-2} - \frac{0,8\lambda^2}{L} \cdot \frac{\left( \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36 \cdot \cdot) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \right) \cdot b_{\text{куз}}}{\left( b_{\text{куз}} + \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36 \cdot \cdot) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \right)} \right) - b_{\text{куз}} \quad (117)$$

Определим угол  $\varphi_2$ , на который должна отклониться центральная поперечная перегородка (рис. 2.22), чтобы образовался зазор между ней и днищем кузова ТС равный  $h_{\text{ц}}$ .



1- боковая поперечная перегородка; 2 – центральная поперечная перегородка;  $h_{\text{ц}}$  – зазор, между центральной поперечной перегородкой и дном грузовой платформы, м; OA – высота центральной поперечной перегородки, м. ( $OA = OA^* = H_{\text{куз}}$ );  $\varphi_2$  – угол отклонения (открытия) центральной поперечной перегородки, град.

Рисунок 2.22 – Схема открытия центральной поперечной перегородки

Тогда угол  $\varphi_2$  получим:

$$\varphi_2 = \arccos \frac{OB}{OA^*} = \arccos \frac{(H_{\text{куз}} - h_{\text{ц}})}{H_{\text{куз}}} \quad (118)$$

ИЛИ

$$\varphi_2 = \arccos \left( \frac{\left( H_{\text{куз}} - \left( \frac{b_{\text{куз}}}{0,56 \cdot \cos \varphi_{1-2}} \left( \sin \varphi_{1-2} - \frac{0,8\lambda^2}{L} \cdot \frac{\left( \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \right) \cdot b_{\text{куз}} \right)}{b_{\text{куз}} + \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \right)} - b_{\text{куз}} \right) \right)}{H_{\text{куз}}} \right) \quad (119)$$

Заключительным этапом теоретических расчетов станет нахождение  $\varphi_3$  (угол приоткрытия задней поперечной перегородки кузова ТС).

Учитывая конструктивные особенности поперечных перегородок самосвального кузова ТС, целесообразнее всего принять  $\varphi_3 = \varphi_2$ . Это позволит избежать перемещения картофельного вороха над осями их вращения.

Подведем итоги теоретических расчетов:

- место расположения центральной и боковых поперечных перегородок напрямую зависит от геометрических параметров самосвального кузова

$$(l_{\text{ц}} = \frac{L}{2}; l_{\text{п}} = \frac{L}{4} = \frac{l_{\text{ц}}}{2});$$

- высота центральной перегородки равна высоте кузова ТС ( $h_{\text{ц}} = H_{\text{куз}}$ );

- угол отклонения передней поперечной перегородки:

$$\varphi_1 = \arccos \left( 1 - \frac{\left( \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \right)}{H_{\text{куз}} - \frac{L}{4} \cdot \tan a} \right);$$

- угол отклонения центральной поперечной перегородки:

$$\varphi_2 = \arccos \left( \frac{\left( H_{\text{куз}} - \left( \frac{b_{\text{куз}}}{0,56 \cdot \cos \varphi_{1-2}} \left( \sin \varphi_{1-2} - \frac{0,8\lambda^2}{L} \cdot \frac{\left( \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \right) \cdot b_{\text{куз}} \right)}{b_{\text{куз}} + \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \right)} - b_{\text{куз}} \right) \right)}{H_{\text{куз}}} \right);$$

- угол отклонения задней поперечной перегородки:

$$\varphi_3 = \arccos \left( \frac{\left( H_{\text{куз}} - \left( \frac{b_{\text{куз}}}{0,56 \cdot \cos \varphi_{1-2}} \left( \sin \varphi_{1-2} - \frac{0,8\lambda^2}{L} \cdot \frac{\left( \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \right) \cdot b_{\text{куз}} \right)}{b_{\text{куз}} + \frac{3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}} \cdot h_{6,0} \cdot \cos a}{h_{6,0} \cdot \cos a \cdot (3,2 \cdot g - 31,36) + 3,2 \cdot g \cdot b_{\text{куз}}} \right)} - b_{\text{куз}} \right) \right)}{H_{\text{куз}}} \right);$$

## 2.6. Выводы по главе 2

1. Получена адаптивная модель уборки картофеля, входными параметрами которой являются: конструктивные и эксплуатационные параметры применяемых технических средств, природно-климатические условия проведения уборки и сортовые характеристики культуры, а выходными: скорость движения груженого ТС, рабочая скорость комбайна.

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



## **ГЛАВА 3. ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ**

### **3.1. Программа лабораторно-полевых исследований**

С целью экспериментально уточнить параметры адаптивной модели уборки картофеля и самосвального кузова транспортного средства, разработана программа лабораторно-полевых исследований, содержащая четыре этапа:

1. Изучение размерно-массовых характеристик картофеля;
2. Определение зависимости повреждений клубней от внешних условий и параметров работы картофелеуборочных машин;
3. Определение зависимости виброскорости колебаний клубней картофеля в кузове транспортного средства от независимых факторов;
4. Обоснование основных параметров разработанного самосвального кузова ТС.

Все этапы лабораторно-полевых исследований были проведены на базе ФГБОУ ВО РГАТУ и картофелеводческих хозяйств Рязанской области (приложение 3).

### **3.2. Объекты лабораторно-полевых исследований**

Картофель сорта «Ред Скарлет», «Сантэ», «Невский», «Романо» и «Латона».

Комбайны двухрядные элеваторного типа Grimme GT 170 и AVR Lynx.

Самосвальные тракторные ТТА 2ПТС-4,5 и 2ПТС-5.

Лабораторная установка для определения параметров усовершенствованного самосвального кузова транспортного средства.

### **3.3. Методики лабораторно-полевых исследований**

#### **3.3.1. Методика определения размерно-массовых характеристик картофеля**

Забор проб исследуемых сортов картофеля был произведен согласно

методике, приведенной в ГОСТ 28713-2018 «Машины для уборки картофеля. Методы испытаний» [41].

Проводили замеры длины, ширины, толщины (с точностью  $\pm 1$  мм) и веса (с точностью  $\pm 1$  г) каждого клубня [41].

Результаты замеров были занесены в соответствующую форму (приложение 6). После этого данные подвергли статистической обработке [41].

После получения результатов по всем исследуемым сортам картофеля, была проведена их проверка на соответствие нормальному закону распределения (распределению Гаусса).

Для проверки гипотезы о нормальном законе распределения применялся критерий Колмогорова-Смирнова (при объеме выборки  $\geq 50$ );

Расчет критерия Колмогорова-Смирнова производился при помощи стандартных функций программы Microsoft Excel 2007. По полученным данным были построены гистограммы распределения масс клубней для каждого исследованного сорта картофеля.

Для каждого исследуемого сорта картофеля была получена функция нормального распределения.

### **3.3.2. Методика определения зависимости повреждений клубней от внешних условий и параметров работы картофелеуборочных машин**

Определение факторов, влияющих на повреждения клубней при работе картофелеуборочных машин, было выполнено методом априорного ранжирования [202].

Для проведения испытаний картофелеуборочных машин на участке отмечены пять площадок шириной в два ряда и протяженностью 14,3; 15,3; 18,3 м [41].

После этого были установлены характеристики условия проведения испытаний:

- тип почвы (по механическому составу);

- влажность почвы;
- плотность почвы;
- температура воздуха и почвы на глубине залегания клубней.

Тип почвы (по механическому составу) был установлен согласно почвенной карте хозяйства [41].

Отбор пробы почвы, для определения ее влажности произведен согласно нормативной документации [41].

Абсолютную влажность почвы рассчитывали по формуле [41]:

$$\omega = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{п}}} \quad (3.1)$$

где:  $m_{\text{в}}$  — масса воды, испарившейся из пробы, г;

$m_{\text{п}}$  - масса абсолютно сухой почвы, г.

Результаты расчета заносят в форму (приложение 7).

Согласно нормативной документации [39] для определения плотности почвы был произведен забор пробы в пяти местах.

Для забора пробы использовали специальный бур. В лаборатории взятый образец почвы был высушен и определен его объем по формуле [39]:

$$V_{\text{п}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} h \quad (3.2)$$

где:  $d$  диаметр цилиндра, см;

$h$  - высота почвы в стакане, см.

Плотность почвы рассчитывали по формуле [39]:

$$\rho = \frac{m_{\text{п}}}{V_{\text{п}}} \quad (3.3)$$

Полученные значения объемной массы почвы занесены в форму (приложение 7).

Температуру воздуха и почвы (на глубине залегания клубней) в процессе испытаний замеряли три раза: в начале, середине конце испытаний, с точностью до  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  [41].

Полученные в ходе замеров данные были занесены в форму (приложение 7).

Для анализа эффективности работы машины для уборки картофеля по

показателю «повреждение клубней» в каждом эксперименте производился отбор проб (из клубней, масса которых превышает 50 г) общей массой более 15 кг [41]. Согласно нормативной документации [41] каждый эксперимент был проведен в четырехкратной повторности. Забор клубней производился из кузова ТС.

Отобранные клубни были разделены на целые и травмированные [41]. Для последних также учитывался вид повреждения (по числу случаев).

После взвешивания и подсчета количества клубней в каждой из групп результаты были занесены в форму (приложение 8), а картофель отправлен на десятидневное хранение [41].

По истечении десяти суток произведено определение потемнения мякоти, для чего клубни разрезали поперек на дольки толщиной 5 мм [41].

Фракции клубней с потемнениями и без них взвешивали (погрешность замеров составляет  $\pm 10$  г) [41] и заносили в форму (приложение 9).

Для получения значения повреждений клубней при работе картофелеуборочной машины (в процентах) применяли формулу [41]:

$$П_{\pi} = \frac{n_i}{n_k} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

где:  $n_i$  - число случаев  $i$ -го вида повреждения, шт.;

$n_k$  – общее количество клубней в пробе, шт.

Скорость движения картофелеуборочных машин определяли при помощи установленного на тракторе электронного тахоспидометра КД 8105 МТЗ. Замеры временных отрезков выполняли при помощи секундомера с погрешностью измерений  $\pm 0,2$  с.

Обработка результатов испытаний картофелеуборочных машин производили при помощи метода корреляционно-регрессионного анализа [17].

Для описания взаимосвязи результативного показателя от независимых факторов строили уравнения регрессии следующих видов: линейного, степенного, обратного, экспоненциального, полинома первой степени и квадратов факторов, полинома второй степени, линейное уравнение без свободного члена, степенное без свободного члена.

Коэффициенты уравнения регрессии рассчитывали матричным способом по методу Гаусса [33, 34] при помощи специализированных программ для ЭВМ (Mathcad 15 и т.д.).

Выбор вида уравнения регрессии производили согласно методике, изложенной в СТО АИСТ 1.17–2010 [197].

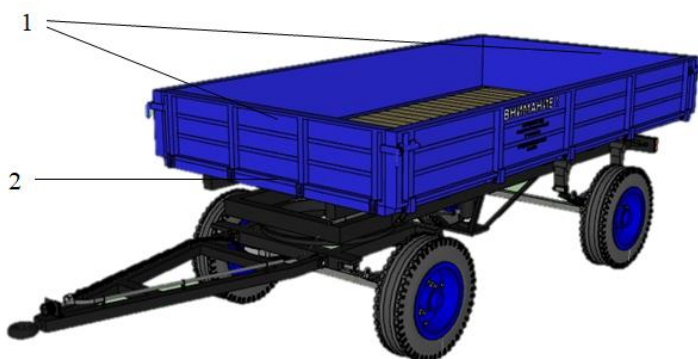
Поиск оптимального решения полученного уравнения регрессии производили графическим методом [38].

### **3.3.3. Методика определения зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в кузове транспортного средства от внешних факторов**

Для определения зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в кузове транспортного средства от независимых факторов был поставлен следующий эксперимент. Два самосвальных ТТА 2ПТС-4,5 и 2ПТС-5 перевозили груз по грунтовой дороге и дороге с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием на различных скоростях.

Показания виброскорости движения клубней в кузове ТС регистрировали при помощи виброметра Вибротест-МГ4.01, технические характеристики которого приведены в приложении 10.

Учитывая, что наибольшее количество повреждений при транспортировке получают клубней, лежащие в нижнем и верхнем уровне, то схема размещения датчиков виброметра имела вид (рис. 3.1).



- 1- место замера виброскорости колебаний клубней в верхнем слое;
- 2 - место замера виброскорости колебаний клубней в нижнем слое.

Рисунок 3.1 – Схема расположения датчиков виброметра

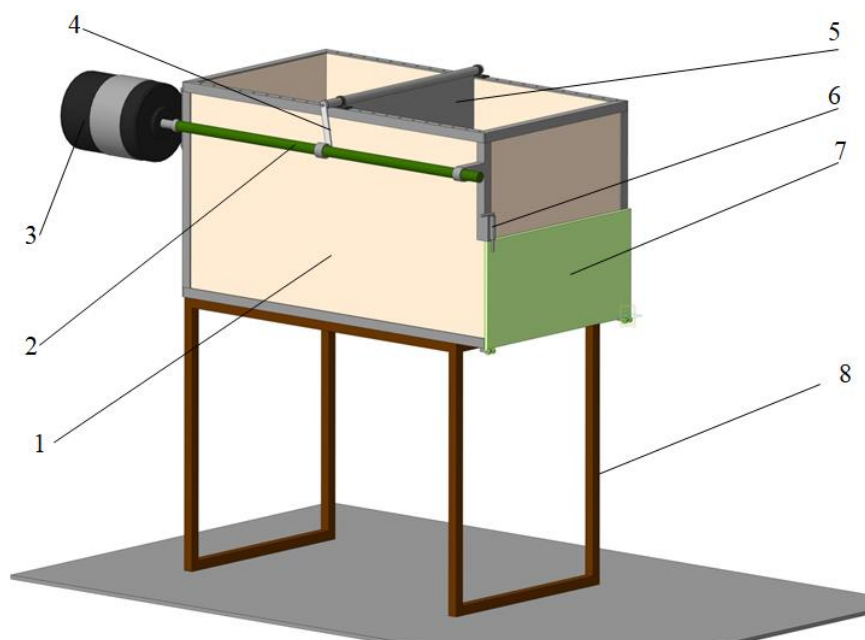
Полученные данные обрабатывали методом корреляционно-регрессионного анализа [17], при помощи специализированных программных продуктов (Mathcad 15).

### **3.3.4. Методика проведения лабораторного эксперимента для обоснования основных параметров разработанного самосвального кузова ТС**

Для проведения лабораторного эксперимента была собрана экспериментальная установка, представленная на рисунке 3.2. Размеры ее бункера в масштабе 1:4 соответствовали габаритным размерам самосвального кузова ТТС 2ПТС-4,5 (длина - 1,02 м, ширина – 0,58 м, высота бункера относительно пола – 1,32 м).

Высота бункера установки относительно пола была сопоставима возвышению дна ТТА 2ПТС-4,5 над поверхностью дороги.

В качестве объекта наблюдений были использованы клубни сорта «Латона».



1 – бункер; 2 – шток гидропривода; 3 – гидропривод; 4 – кулачковый механизм гидропривода; 5 – поперечная перегородка; 6 – запорное устройство; 7 – откидной борт; 8 – опора лабораторной установки.

Рисунок 3.2 – Трехмерная модель лабораторной установки (общий вид)

Последовательность эксперимента была следующая:

- поперечную перегородку 5 устанавливали на необходимом удалении от откидного борта 7;
- задавали угол наклона основания бункера относительно поверхности пола (для этих целей на опоре 8 установлен гидравлический подъемник – на рисунке 3.2. не показан);
- бункер заполнили клубнями;
- открыли запорное устройство 6;
- сначала регистрировали скорость падения клубней, расположенных между откидным бортом 7 и поперечной перегородкой 5 (рис. 3.3);



Рисунок 3.3 – Выгрузка клубней, расположенных у откидного борта бункера

- при помощи гидропривода приоткрывали поперечную перегородку (рис. 3.4) таким образом, чтобы между нижней ее кромкой и дном бункера образовывался зазор необходимой высоты (от 100 до 300 мм);
- регистрировалась скорость падения клубней, прошедших через зазор между поперечной перегородкой 5 и дном кузова 1.

Значение скорости клубней в момент удара о поверхность пола получали расчетным путем. Для этого рядом с лабораторной установкой был смонтирован стенд с нанесенной разметкой (размер ячейки 10x10 см). Падение клубней записывали на видео при помощи Экшн-камера GoPro HERO8.

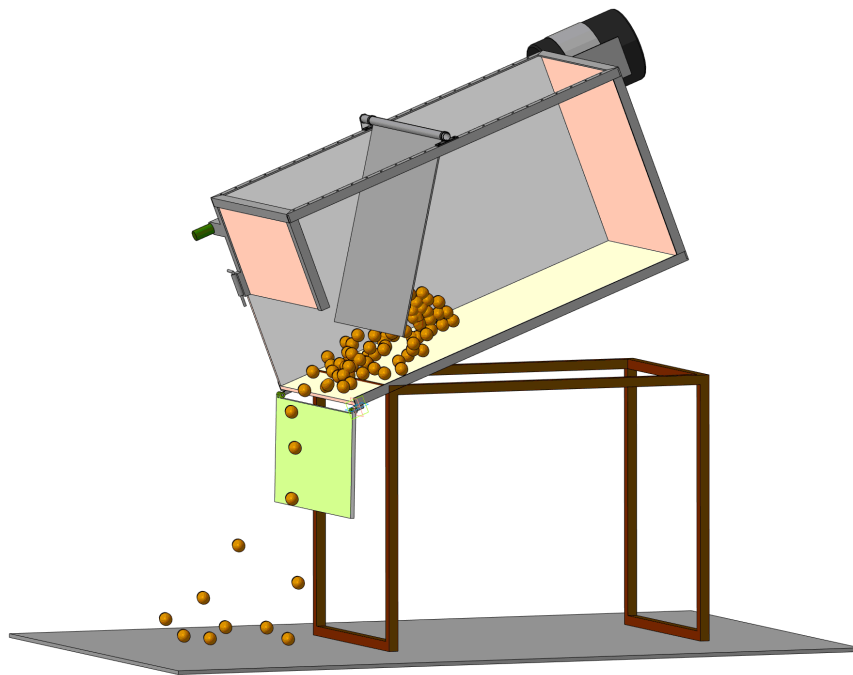
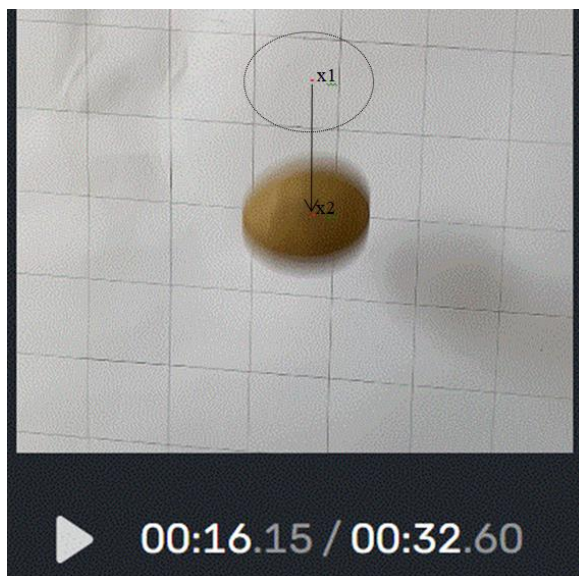


Рисунок 3.4 – Выгрузка клубней, расположенных у заднего борта бункера

С помощью хронометража определяли время, которое требуется клубню для пролета одного сектора стенда (рис. 3.5).



$$v_{\text{пад}} = \frac{x2 - x1}{t}$$

Рисунок 3.5 – Пример съемки падения клубня



Разделив длину пути (согласно разметке на стенде) на затраченное время, получаем скорость клубня в момент удара о поверхность пола. Полученные значения были занесены в таблицу для дальнейшего расчета.

Для построения уравнения регрессии описывающего процесс падения клубня, полученные данные обрабатывали методом корреляционно-регрессионного анализа [17].

### 3.4. Результаты лабораторных исследований

#### 3.4.1. Результаты исследований размерно-массовых характеристик сортов картофеля

По результатам статистической обработки данных построена гистограмма распределения масс клубней сорта «Ред Скарлет» (рис. 3.6).

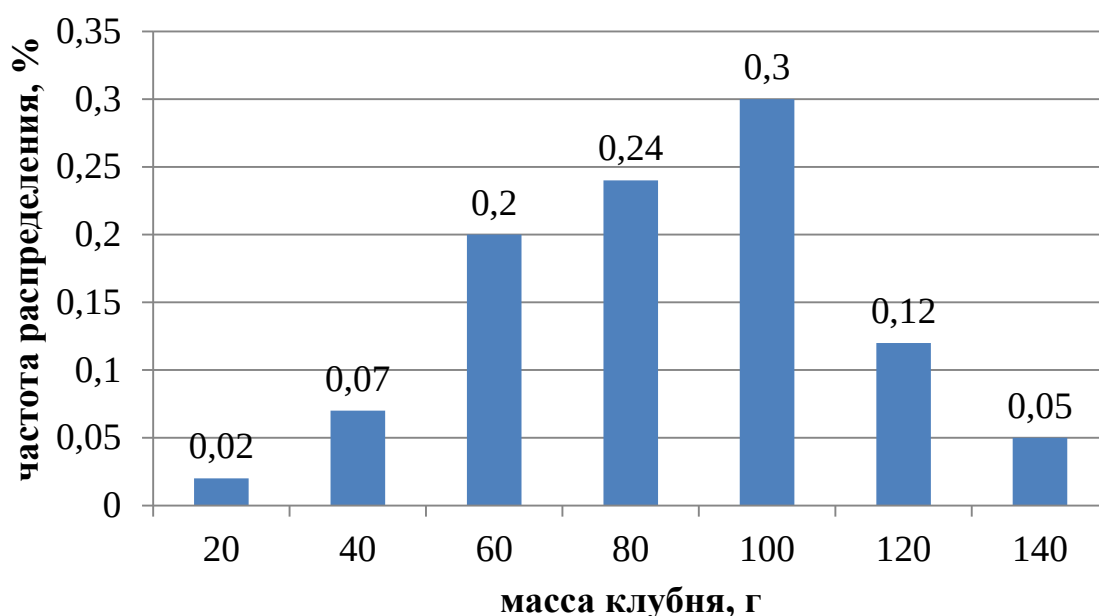


Рисунок 3.6 - Гистограмма распределения масс клубней сорта «Ред Скарлет»

Для проверки выборки (объем которой равен 200 клубням) на нормальность был произведен расчет критерия Колмогорова-Смирнова.

Расчетное значение критерия Колмогорова-Смирнова составило 0,196, что больше критического (0,163) для уровня статистической значимости 0,01. Следовательно, гипотеза о нормальном законе распределения данных

подтверждена.

Функция распределения масс клубней сорта «Ред Скарлет» имеет вид:

$$f(x) = 0,015 \cdot e^{\frac{-(x-85,8)^2}{1444,72}} \quad (3.5)$$

Средние значения длины, ширины, толщины и массы клубней картофеля сорта картофеля «Ред Скарлет» приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Средние значения размерно-массовых характеристик сорта картофеля «Ред Скарлет»

| Сорт          | Длина, мм | Ширина, мм | Толщина, мм | Масса, г |
|---------------|-----------|------------|-------------|----------|
| «Ред Скарлет» | 71,7      | 51,8       | 45,5        | 85,8     |

По результатам статистической обработки данных построен график распределения масс клубней сорта «Сантэ» (рис. 3.73).

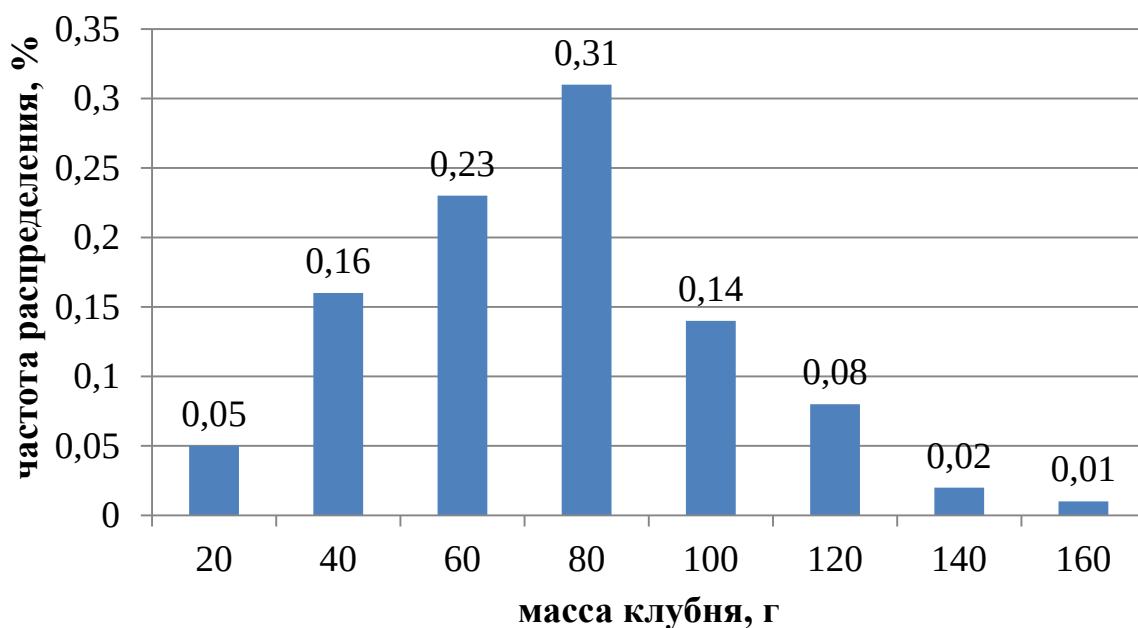


Рисунок 3.7 - Гистограмма распределения масс клубней сорта «Сантэ»

Для проверки выборки (объем которой равен 200 клубням) на нормальность был произведен расчет критерия Колмогорова-Смирнова.

Расчетное значение критерия Колмогорова-Смирнова составило 0,265, что больше критического (0,163) для уровня статистической значимости 0,01.

Следовательно, гипотеза о нормальном законе распределения данных подтверждена.

Функция распределения масс клубней сорта «Сантэ» имеет вид:

$$f(x) = 0,014 \cdot e^{\frac{-(x-74)^2}{1624}} \quad (3.6)$$

Средние значения длины, ширины, толщины и массы клубней картофеля сорта картофеля «Сантэ» приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Средние значения размерно-массовых характеристик сорта картофеля «Сантэ»

| Сорт    | Длина, мм | Ширина, мм | Толщина, мм | Масса, г |
|---------|-----------|------------|-------------|----------|
| «Сантэ» | 64,4      | 52,1       | 43,7        | 74       |

По результатам статистической обработки данных построена гистограмма распределения масс клубней сорта «Невский» (рис. 3.8).

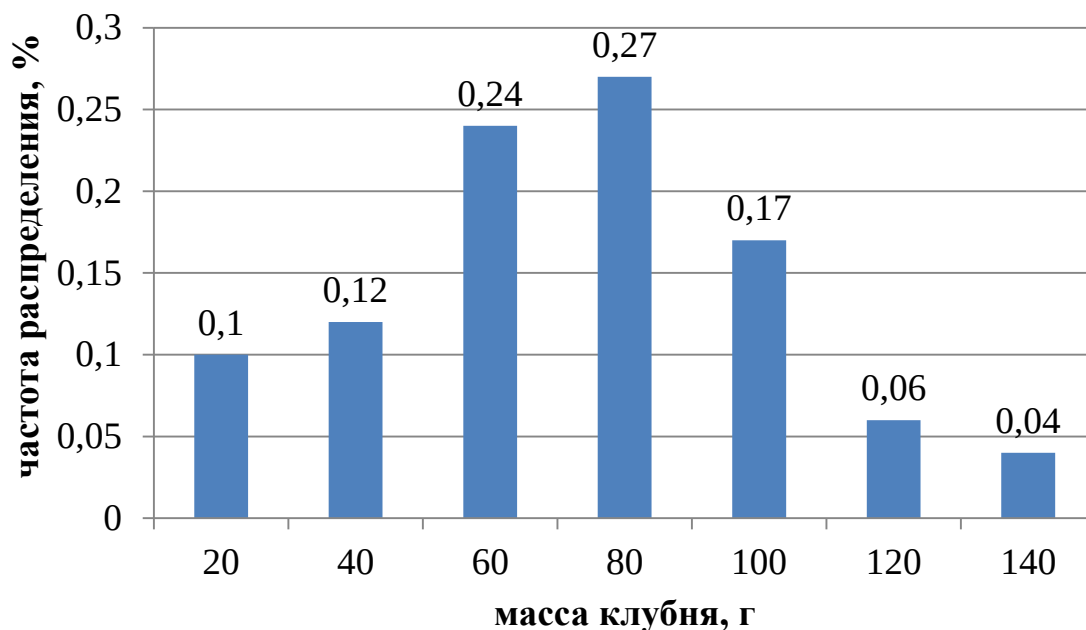


Рисунок 3.8 - Гистограмма распределения масс клубней сорта «Невский»

Для проверки выборки (объем которой равен 200 клубням) на нормальность был произведен расчет критерия Колмогорова-Смирнова.

Расчетное значение критерия Колмогорова-Смирнова составило 0,186,

что больше критического (0,163) для уровня статистической значимости 0,01. Следовательно, гипотеза о нормальном законе распределения данных подтверждена.

Функция распределения масс клубней сорта «Невский» имеет вид:

$$f(x) = 0,013 \cdot e^{\frac{-(x-72,6))^2}{1802,48}} \quad (3.7)$$

Средние значения длины, ширины, толщины и массы клубней картофеля сорта картофеля «Невский» приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Средние значения размерно-массовых характеристик сорта картофеля «Невский»

| Сорт      | Длина, мм | Ширина, мм | Толщина, мм | Масса, г |
|-----------|-----------|------------|-------------|----------|
| «Невский» | 62,3      | 46,7       | 39,1        | 72,6     |

По результатам статистической обработки данных построен гистограмма распределения масс клубней сорта «Романо» (рис. 3.9).

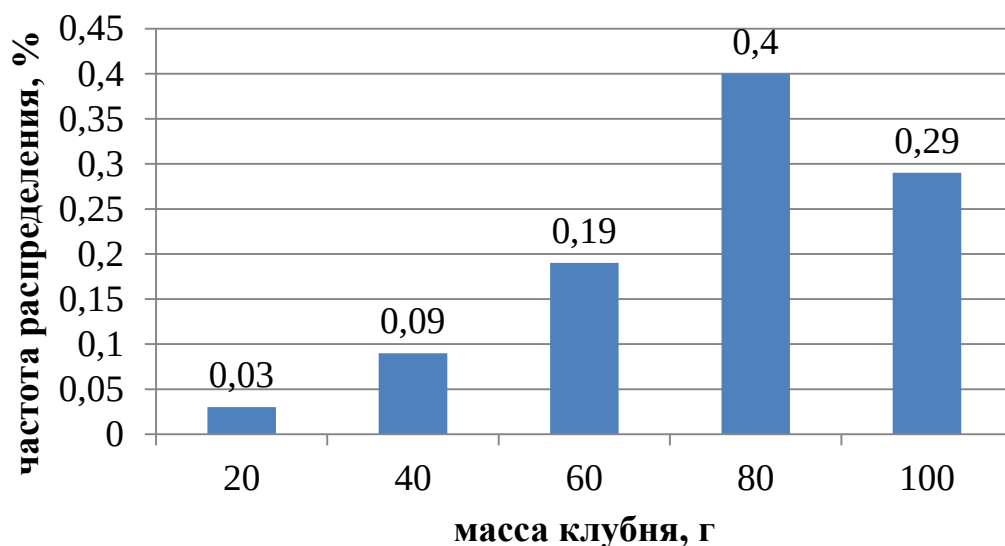


Рисунок 3.9 - Гистограмма распределения масс клубней сорта «Романо»

Для проверки выборки (объем которой равен 200 клубням) на нормальность был произведен расчет критерия Колмогорова-Смирнова.

Расчетное значение критерия Колмогорова-Смирнова составило 0,29, что больше критического (0,163) для уровня статистической значимости 0,01.

Следовательно, гипотеза о нормальном законе распределения данных подтверждена.

Функция распределения масс клубней сорта «Романо» имеет вид:

$$f(x) = 0,019 \cdot e^{\frac{-(x-76,6))^2}{864,88}} \quad (3.8)$$

Средние значения длины, ширины, толщины и массы клубней картофеля сорта картофеля «Романо» приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Средние значения размерно-массовых характеристик сорта картофеля «Романо»

| Сорт     | Длина, мм | Ширина, мм | Толщина, мм | Масса, г |
|----------|-----------|------------|-------------|----------|
| «Романо» | 69,4      | 53,8       | 43,5        | 76,6     |

По результатам статистической обработки данных построен гистограмма распределения масс клубней сорта «Латона» (рис. 3.10).

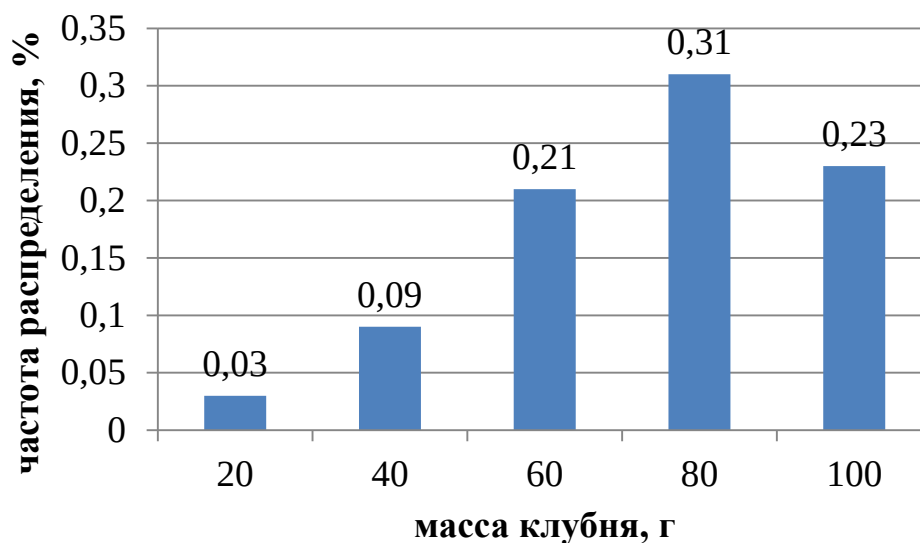


Рисунок 3.10 - Гистограмма распределения масс клубней сорта «Латона»

Для проверки выборки (объем которой равен 200 клубням) на нормальность был произведен расчет критерия Колмогорова-Смирнова.

Расчетное значение критерия Колмогорова-Смирнова составило 0,166, а критическое 0,163 для уровня статистической значимости 0,01. Следовательно, гипотеза о нормальном законе распределения данных

подтверждена.

Функция распределения масс клубней сорта «Латона» имеет вид:

$$f(x) = 0,012 \cdot e^{\frac{-(x-64,6))^2}{2045,68}} \quad (3.9)$$

Средние значения длины, ширины, толщины и массы клубней картофеля сорта картофеля «Латона» приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Средние значения размерно-массовых характеристик сорта картофеля «Латона»

| Сорт     | Длина, мм | Ширина, мм | Толщина, мм | Масса, г |
|----------|-----------|------------|-------------|----------|
| «Латона» | 62,9      | 48,2       | 42,9        | 64,6     |

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

#### **3.4.2. Результаты определения зависимости повреждений клубней от внешних условий и параметров работы картофелеуборочных машин**

В качестве факторов, влияющих на повреждения клубней, были выбраны:

$x_1$  – скорость движения картофелеуборочной машины, км/ч;

$x_2$  – влажность почвы, %.

Испытания картофелеуборочных машин проходили на супесчаных и суглинистых почвах.

Скорость движения картофелеуборочных машин варьировалась в диапазоне от 2,5 до 5,2 км/ч.

Влажность почвы на глубине залегания клубней менялась в диапазоне от 16 до 22%.

Результаты испытаний картофелеуборочной машины Grimme GT 170

на супесчаных почвах представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Результаты испытаний картофелеуборочного комбайна Grimme GT 170

| №   | Повреждения клубней у, % | $x_1$ , км/ч | $x_2$ , % |
|-----|--------------------------|--------------|-----------|
| 1.  | 4,4                      | 2,5          | 16        |
| 2.  | 3,8                      | 3,6          | 16        |
| 3.  | 3,5                      | 4,2          | 16        |
| 4.  | 2,9                      | 5,2          | 16        |
| 5.  | 4,2                      | 2,5          | 17        |
| 6.  | 3,6                      | 3,6          | 17        |
| 7.  | 3,3                      | 4,2          | 17        |
| 8.  | 2,9                      | 5,2          | 17        |
| 9.  | 3,9                      | 2,5          | 21        |
| 10. | 3,3                      | 3,6          | 21        |
| 11. | 3,0                      | 4,2          | 21        |
| 12. | 2,5                      | 5,2          | 21        |

Обработав результаты испытаний, было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 7,0881 - 0,518x_1 - 0,09107x_2 \quad (3.10)$$

Характеристики полученного уравнения регресс приведены ниже.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,992$  говорит о сильной связи между результативным показателем  $y$  и факторами  $x_1$  и  $x_2$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 1,12\%$  свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 661,32$ ) больше  $F_{\text{крит}} = 8,02$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Значимость коэффициентов уравнения регрессии была проверена при помощи t -критерия Стьюдента. Получили, что  $b_0$  ( $t_0 = 51,106 > t_{\text{крит}} = 3,69$ ),  $b_1$  ( $t_1 = 33,902 > t_{\text{крит}} = 3,69$ ),  $b_2$  ( $t_2 = 13,164 > t_{\text{крит}} = 3,69$ ) статистически значимы.

Воспользовавшись полученным уравнением регрессии (3.10) построили график (рис. 3.11).

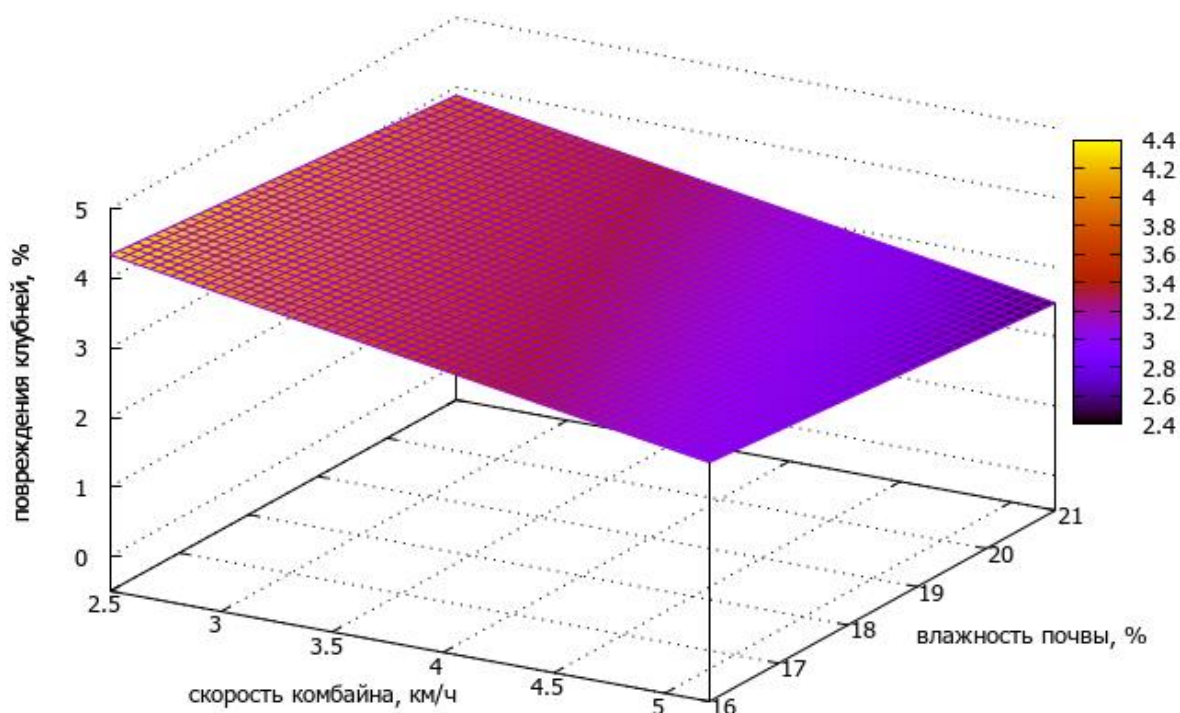


Рисунок 3.11 - График зависимости повреждений клубней от скорости движения Grimme GT 170 и влажности почвы (на супесчаных почвах)

Для определения оптимальных параметров и режимов работы Grimme GT 170 по показателю повреждение клубней были проведены соответствующие математические расчеты.

Для этого был использован графический метод решения задачи линейного программирования.

Была сформулирована задача:

$$\begin{cases} x_1 \geq 2,5 \\ x_1 \leq 5,2 \\ x_2 \geq 16 \\ x_2 \leq 22 \end{cases}$$

$$y = 7,0881 - 0,518x_1 - 0,09107x_2 \rightarrow \min$$

Было получено, что минимальные повреждения  $y = 2,39 \%$  получены при  $x_1 = 5,2$  км/ч и  $x_2 = 22 \%$ .



Результаты испытаний картофелеуборочной машины Grimme GT 170 на суглинистых почвах представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Результаты испытаний картофелеуборочного комбайна Grimme GT 170

| №   | Повреждения клубней $y$ , % | $x_1$ , км/ч | $x_2$ , % |
|-----|-----------------------------|--------------|-----------|
| 1.  | 4,3                         | 2,5          | 16        |
| 2.  | 3,6                         | 3,6          | 16        |
| 3.  | 3,2                         | 4,2          | 16        |
| 4.  | 2,7                         | 5            | 16        |
| 5.  | 4,1                         | 2,5          | 17        |
| 6.  | 3,6                         | 3,6          | 17        |
| 7.  | 3,3                         | 4,2          | 17        |
| 8.  | 2,5                         | 5            | 17        |
| 9.  | 3,5                         | 2,5          | 22        |
| 10. | 3,1                         | 3,6          | 22        |
| 11. | 2,4                         | 4,2          | 22        |
| 12. | 2,1                         | 5            | 22        |

Обработав результаты испытаний, было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 7,671 - 0,6181x_1 - 0,1149x_2 \quad (3.11)$$

Характеристики полученного уравнения регрессии приведены ниже.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9733$  говорит о сильной связи между результативным показателем  $y$  и факторами  $x_1$  и  $x_2$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 2,96\%$  свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 163,87$  больше  $F_{\text{крит}} = 8,02$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Значимость коэффициентов уравнения регрессии была проверена при помощи t -критерия Стьюдента. Получили, что  $b_0$  ( $t_0 = 26,462 > t_{\text{крит}} = 3,69$ ),  $b_1$  ( $t_1 = 15,962 > t_{\text{крит}} = 3,69$ ),  $b_2$  ( $t_2 = 8,541 > t_{\text{крит}} = 3,69$ )

статистически значимы.

Воспользовавшись полученным уравнением регрессии (3.11) построили график (рис. 3.12).

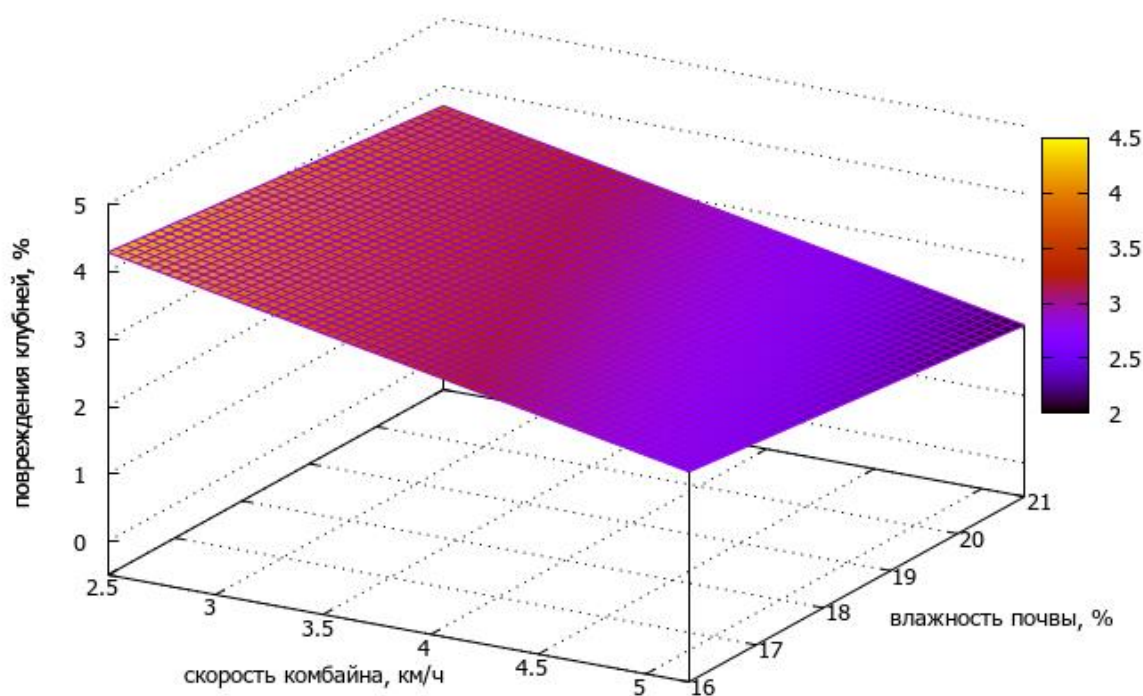


Рисунок 3.12 - График зависимости повреждений клубней от скорости движения Grimme GT 170 и влажности почвы (на суглинистых почвах)

Для определения оптимальных параметров и режимов работы Grimme GT 170 по показателю повреждение клубней были проведены соответствующие математические расчеты.

Для этого был использован графический метод решения задачи линейного программирования.

Была сформулирована задача:

$$\begin{cases} x_1 \geq 2,5 \\ x_1 \leq 5,2 \\ x_2 \geq 16 \\ x_2 \leq 22 \end{cases}$$

$$y = 7,5979 - 0,6106x_1 - 0,1125x_2 \rightarrow \min$$

Было получено, что минимальные повреждения  $y = 1,95$  % получены при  $x_1 = 5,2$  км/ч и  $x_2 = 22$  %.

Результаты испытаний картофелеуборочной машины AVR Lynx на супесчаных почвах представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 - Результаты испытаний картофелеуборочного комбайна AVR Lynx

| №   | Повреждения клубней у, % | $x_1$ , км/ч | $x_2$ , % |
|-----|--------------------------|--------------|-----------|
| 1.  | 4,3                      | 2,5          | 16        |
| 2.  | 3,6                      | 3,6          | 16        |
| 3.  | 3,2                      | 4,2          | 16        |
| 4.  | 3                        | 5,2          | 16        |
| 5.  | 4                        | 2,5          | 18        |
| 6.  | 3,5                      | 3,6          | 18        |
| 7.  | 3,1                      | 4,2          | 18        |
| 8.  | 3                        | 5,2          | 18        |
| 9.  | 3,8                      | 2,5          | 21        |
| 10. | 3,0                      | 3,6          | 21        |
| 11. | 2,7                      | 4,2          | 21        |
| 12. | 2,5                      | 5,2          | 21        |

Обработав результаты испытаний, было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 7,0385 - 0,4553x_1 - 0,1072x_2 \quad (3.12)$$

Характеристики полученного уравнения регресс приведены ниже.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,929$  говорит о сильной связи между результативным показателем  $y$  и факторами  $x_1$  и  $x_2$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 3,75 \%$  свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 58,82$  больше  $F_{\text{крит}} = 8,02$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Значимость коэффициентов уравнения регрессии была проверена при помощи t -критерия Стьюдента. Получили, что  $b_0$  ( $t_0 = 16,66 > t_{\text{крит}} =$

$$3,69), \quad b_1 \quad (t_1 = 9,21 > t_{\text{крит}} = 3,69), \quad b_2 \quad (t_2 = 4,81 > t_{\text{крит}} = 3,69)$$

статистически значимы.

Воспользовавшись полученным уравнением регрессии (3.12) построили график (рис. 3.13).

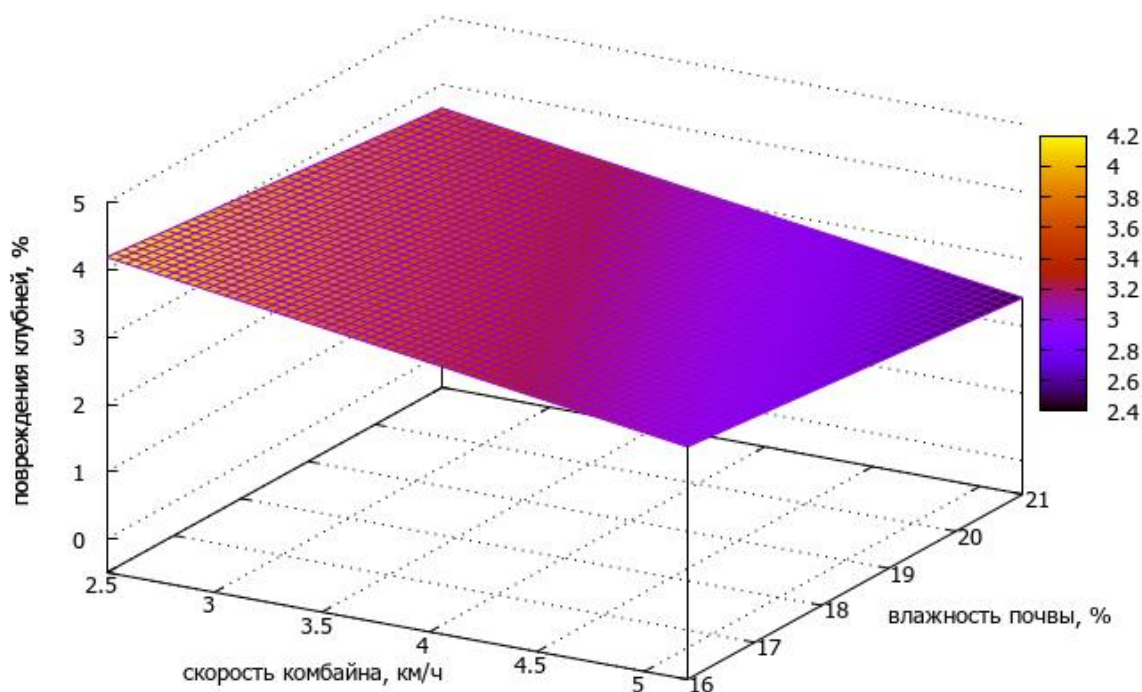


Рисунок 3.13 - График зависимости повреждений клубней от скорости движения AVR Lynx и влажности почвы (на супесчаных почвах)

Для определения оптимальных параметров и режимов работы Grimme GT 170 по показателю повреждение клубней были проведены соответствующие математические расчеты.

Для этого был использован графический метод решения задачи линейного программирования.

Была сформулирована задача:

$$\begin{cases} x_1 \geq 2,5 \\ x_1 \leq 5,2 \\ x_2 \geq 16 \\ x_2 \leq 22 \end{cases}$$

$$y = 7,0385 - 0,4553x_1 - 0,1072x_2 \rightarrow \min$$

Было получено, что минимальные повреждения  $y = 2,31$  % получены при  $x_1 = 5,2$  км/ч и  $x_2 = 22$  %.

Результаты испытаний картофелеуборочных машин AVR Lynx на суглинистых почвах представлены в таблицах 3.9.

Таблица 3.9 - Результаты испытаний картофелеуборочного комбайна AVR Lynx

| №   | Повреждения клубней $y$ , % | $x_1$ , км/ч | $x_2$ , % |
|-----|-----------------------------|--------------|-----------|
| 1.  | 4,4                         | 2,5          | 16        |
| 2.  | 3,6                         | 3,6          | 16        |
| 3.  | 3,1                         | 4,2          | 16        |
| 4.  | 3                           | 5,2          | 16        |
| 5.  | 4                           | 2,5          | 18        |
| 6.  | 3,6                         | 3,6          | 18        |
| 7.  | 3,1                         | 4,2          | 18        |
| 8.  | 2,9                         | 5,2          | 18        |
| 9.  | 3,6                         | 2,5          | 21        |
| 10. | 3,1                         | 3,6          | 21        |
| 11. | 2,7                         | 4,2          | 21        |
| 12. | 2,5                         | 5,2          | 21        |

Обработав результаты испытаний, было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 7,1545 - 0,4624x_1 - 0,1125x_2 \quad (3.13)$$

Характеристики полученного уравнения регресс приведены ниже.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9274$  говорит о сильной связи между результативным показателем  $y$  и факторами  $x_1$  и  $x_2$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 3,67$  % свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 57,31$  больше  $F_{\text{крит}} = 8,02$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Значимость коэффициентов уравнения регрессии была проверена при помощи  $t$ -критерия Стьюдента. Получили, что  $b_0$  ( $t_0 = 15,66 > t_{\text{крит}} = 3,69$ ),  $b_1$  ( $t_1 = 9,53 > t_{\text{крит}} = 3,69$ ),  $b_2$  ( $t_2 = 4,87 > t_{\text{крит}} = 3,69$ ) статистически значимы.

Воспользовавшись полученным уравнением регрессии (3.13) построили график (рис. 3.14).

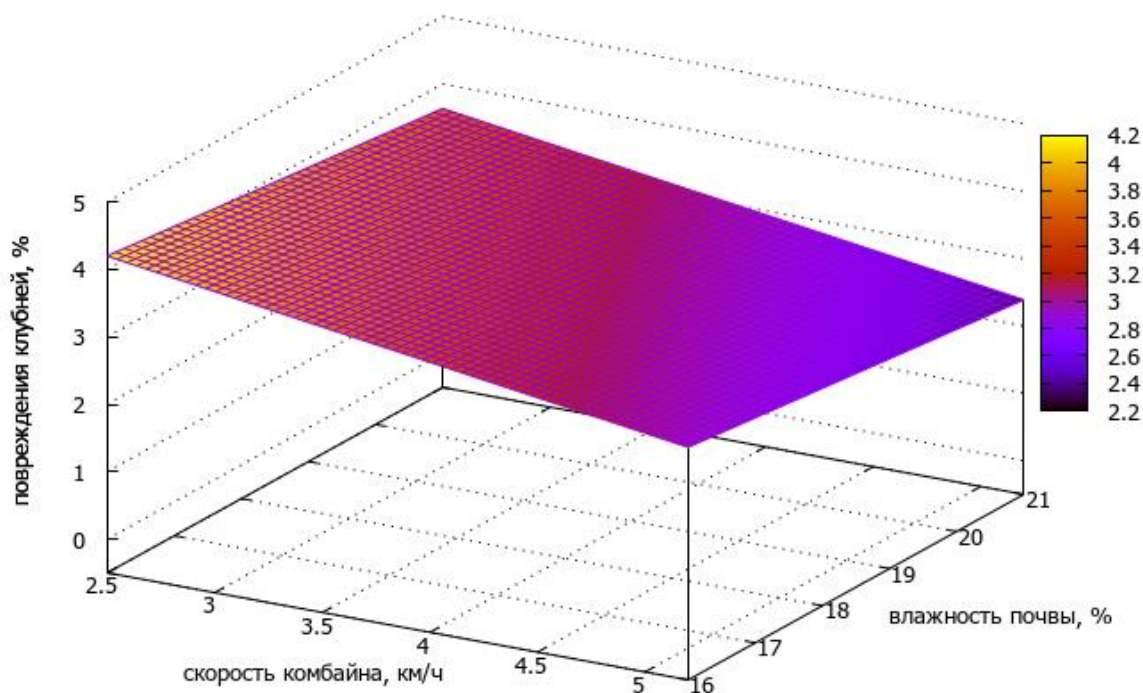


Рисунок 3.14 - График зависимости повреждений клубней от скорости движения AVR Lypx и влажности почвы  
(на суглинистых почвах)

Для определения оптимальных параметров и режимов работы AVR Lypx по показателю повреждение клубней были проведены соответствующие математические расчеты.

Для этого был использован графический метод решения задачи линейного программирования.

Была сформулирована задача:

$$\begin{cases} x_1 \geq 2,5 \\ x_1 \leq 5,2 \\ x_2 \geq 16 \\ x_2 \leq 22 \end{cases}$$

$$y = 7,1545 - 0,4624x_1 - 0,1125x_2 \rightarrow \min$$

Было получено, что минимальные повреждения  $y = 2,28 \%$  получены при  $x_1 = 5,2$  км/ч и  $x_2 = 22 \%$ .

На данном этапе лабораторно-полевых исследований были получены зависимости повреждений клубней от скорости движения комбайнов AVR Lynx и Grimme GT 170 и условий проведения работ (тип и влажность почвы на глубине залегания клубней). Это дает возможность добиться оптимальных технологических показателей сельскохозяйственной техники при соблюдении установленных агротехнических требований.

### **3.4.3. Результаты определения зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в кузове транспортного средства от независимых факторов**

В качестве факторов, влияющих на виброскорости колебания клубней картофеля в верхнем и нижнем слое кузова транспортного средства примем:

$x_1$  – скорость движения транспортного средства, км/ч;

Испытания самосвальных ТТА были проведены на грунтовой дороге и дорогах с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием.

Результаты испытаний самосвального ТТА 2ПТС-4,5 на дороге с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием приведены в таблице 3.10.

Для верхнего слоя клубней в кузове ТС было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 2,0893x - 5,8393 \quad (3.14)$$

Характеристики полученного уравнения регрессии приведены ниже.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9766$  говорит о сильной связи между результативным показателем  $y$  и фактором  $x$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 3,6\%$  свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 250,919$  больше  $F_{\text{крит}} = 13,75$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно

(т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Таблица 3.10 - Результаты испытаний самосвального ТТА 2ПТС-4,5 (на асфальтированной дороге)

| №  | Скорость ТТА ( $x$ ), км/ч | Виброскорость клубней в нижнем слое ( $y_n$ ), мм/с | Виброскорость клубней в верхнем слое ( $y_v$ ), мм/с |
|----|----------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1. | 15                         | 10                                                  | 28                                                   |
| 2. | 17                         | 12                                                  | 30                                                   |
| 3. | 19                         | 15                                                  | 32                                                   |
| 4. | 21                         | 20                                                  | 36                                                   |
| 5. | 23                         | 22                                                  | 41                                                   |
| 6. | 25                         | 25                                                  | 47                                                   |
| 7. | 27                         | 29                                                  | 51                                                   |
| 8. | 29                         | 32                                                  | 56                                                   |

Для нижнего слоя клубней в кузове ТС было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = -14,8631 + 1,6131x \quad (3.15)$$

Характеристики полученного уравнения регрессии приведены ниже.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9938$  говорит о сильной связи между результативным показателем  $y$  и фактором  $x$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 3,22\%$  свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 962,109$  больше  $F_{\text{крит}} = 13,75$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Построим графики зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в нижнем и верхнем слое кузова ТС от скорости его движения по дорогам с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием (рис. 3.15).

Учитывая, предельное значение виброскорости колебания клубней в



верхнем слое ( $v_{\text{крит}}^{\text{вибр}} = 54,5 \text{ мм/с}$ ) кузова ТС выше, чем для нижнего ( $v_{\text{крит}}^{\text{вибр}} = 38 \text{ мм/с}$ ), то была установлена соответствующая граница (вертикальная штрихпунктирная линия на рис. 3.15).

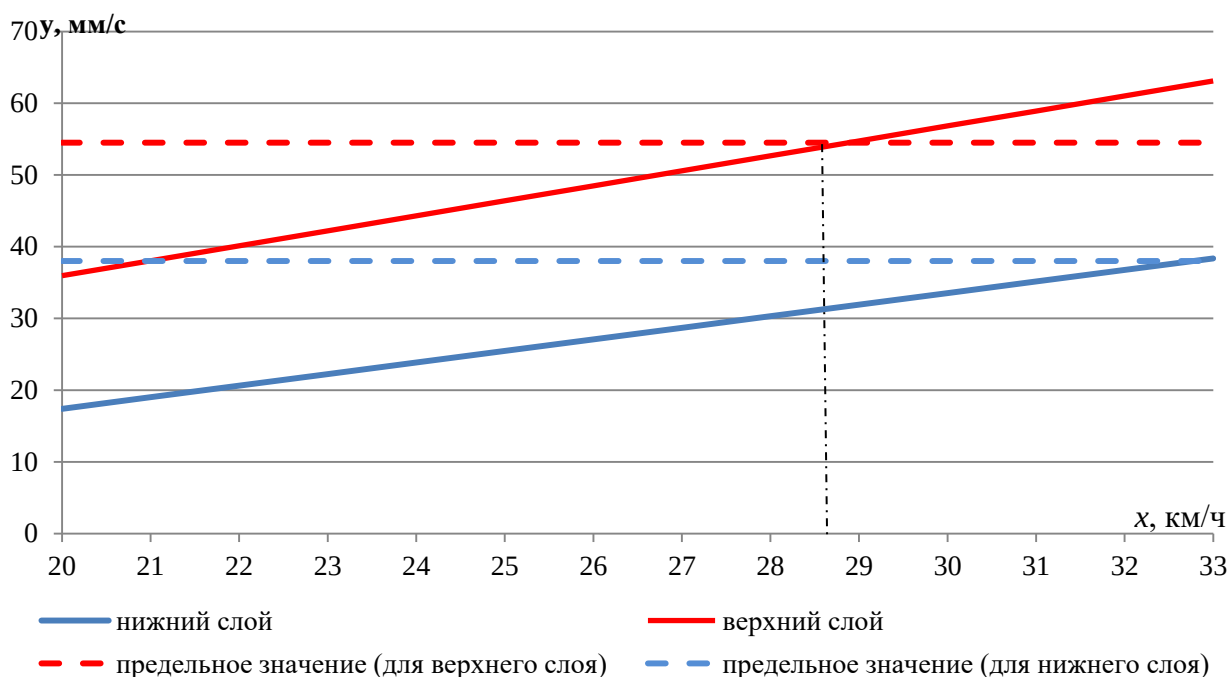


Рисунок 3.15 - Графики зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в нижнем и верхнем слое кузова ТС от скорости его движения (дороги с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием)

Исходя из данных, представленных на рисунке. 3.15, предельное значение скорости движения груженого самосвального ТТА 2ПТС-4,5 по дорогам с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием не должно превышать 28,6 км/ч. В противном случае клубни картофеля будут испытывать такие динамические нагрузки, при которых не будут соблюдаться агротехнические требования.

Результаты испытаний самосвального ТТА 2ПТС-4,5 на грунтовой дороге приведены в таблице 3.11.

Для верхнего слоя клубней в кузове ТС было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 2,0714x + 13,1786 \quad (3.16)$$

Характеристики полученного уравнения регресс приведены ниже.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9567$  говорит о сильной связи между результативным показателем  $y$  и фактором  $x$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 4,07\%$  свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Таблица 3.11 - Результаты испытаний самосвального ТТА 2ПТС-4,5 (на грунтовой дороге)

| №  | Скорость ТТА ( $x$ ), км/ч | Виброскорость клубней в нижнем слое ( $y_n$ ), мм/с | Виброскорость клубней в верхнем слое ( $y_v$ ), мм/с |
|----|----------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1. | 8                          | 12                                                  | 33                                                   |
| 2. | 10                         | 15                                                  | 34                                                   |
| 3. | 12                         | 19                                                  | 36                                                   |
| 4. | 14                         | 22                                                  | 39                                                   |
| 5. | 16                         | 27                                                  | 45                                                   |
| 6. | 18                         | 29                                                  | 51                                                   |
| 7. | 20                         | 30                                                  | 57                                                   |
| 8. | 22                         | 32                                                  | 59                                                   |

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 132,499$  больше  $F_{\text{крит}} = 13,75$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Для нижнего слоя клубней в кузове ТС было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 1,4881x + 0,9286 \quad (3.17)$$

Характеристики полученного уравнения регрессии приведены ниже.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9701$  говорит о сильной связи между результативным показателем  $y$  и фактором  $x$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 4,36\%$  свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 194,502$  больше  $F_{\text{крит}} = 13,75$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Построим графики зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в нижнем и верхнем слое кузова ТС от скорости его движения по грунтовой дороге (рис. 3.16).

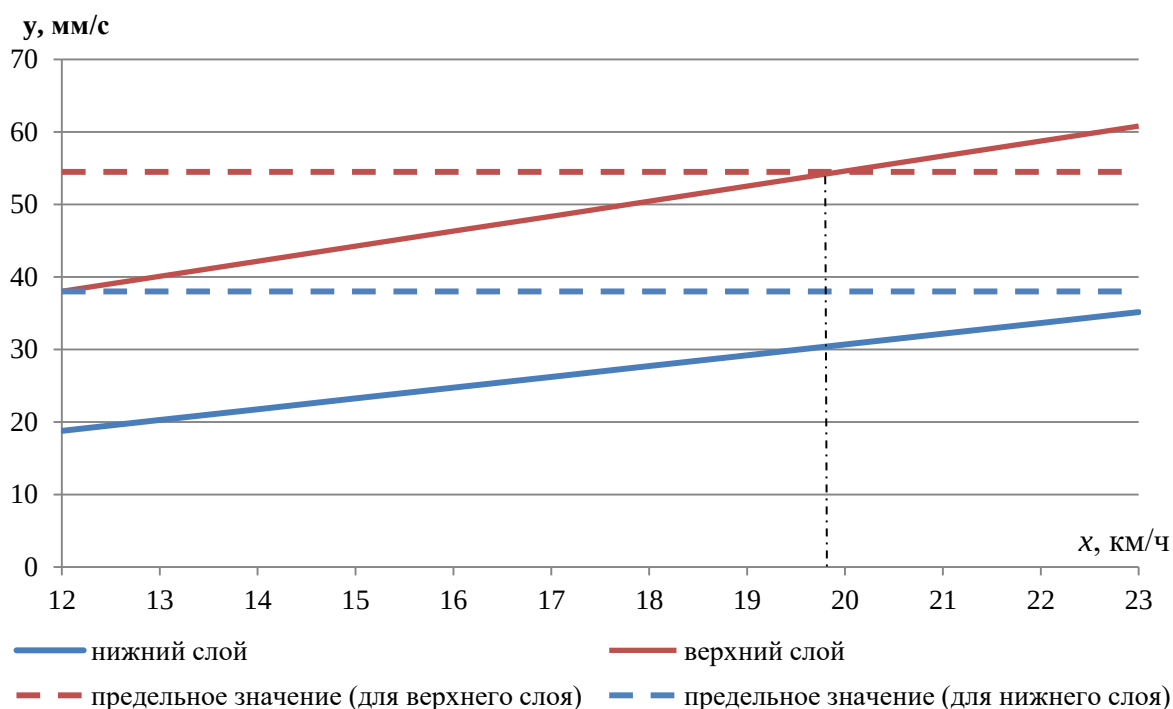


Рисунок 3.16 - Графики зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в нижнем и верхнем слое кузова 2ПТС-4,5 от скорости его движения (по грунтовой дороге)

Исходя из данных, представленных на рисунке 3.16, предельное значение скорости движения груженого самосвального ТТА 2ПТС-4,5 по грунтовой дороге не должно превышать 19,8 км/ч.

Результаты испытаний самосвального ТТА 2ПТС-5 на дорогах с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием приведены в табл. 3.12.

Для верхнего слоя клубней в кузове ТС было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 2,006 x - 4,506 \quad (3.18)$$

Характеристики полученного уравнения регресс приведены ниже.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9799$  говорит о сильной связи между результативным показателем  $y$  и фактором  $x$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 3,01\%$  свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Таблица 3.12 - Результаты испытаний самосвального ТТА 2ПТС-5 (на дорогах с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием)

| №  | Скорость ТТА ( $x$ ), км/ч | Виброскорость клубней в нижнем слое ( $y_n$ ), мм/с | Виброскорость клубней в верхнем слое ( $y_v$ ), мм/с |
|----|----------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1. | 15                         | 8                                                   | 26                                                   |
| 2. | 17                         | 11                                                  | 31                                                   |
| 3. | 19                         | 15                                                  | 32                                                   |
| 4. | 21                         | 19                                                  | 36                                                   |
| 5. | 23                         | 21                                                  | 41                                                   |
| 6. | 25                         | 22                                                  | 48                                                   |
| 7. | 27                         | 26                                                  | 50                                                   |
| 8. | 29                         | 29                                                  | 53                                                   |

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 292,452$  больше  $F_{\text{крит}} = 13,75$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Для нижнего слоя клубней в кузове ТС было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 1,4583x - 13,2083 \quad (3.19)$$

Характеристики полученного уравнения регресс приведены ниже.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,992$  говорит о сильной связи между результативным показателем  $y$  и фактором  $x$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 4,39\%$  свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 383,955$  больше  $F_{\text{крит}} = 13,75$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Построим графики зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в нижнем и верхнем слое кузова ТС от скорости его движения по

дорогам с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием (рис. 3.17).

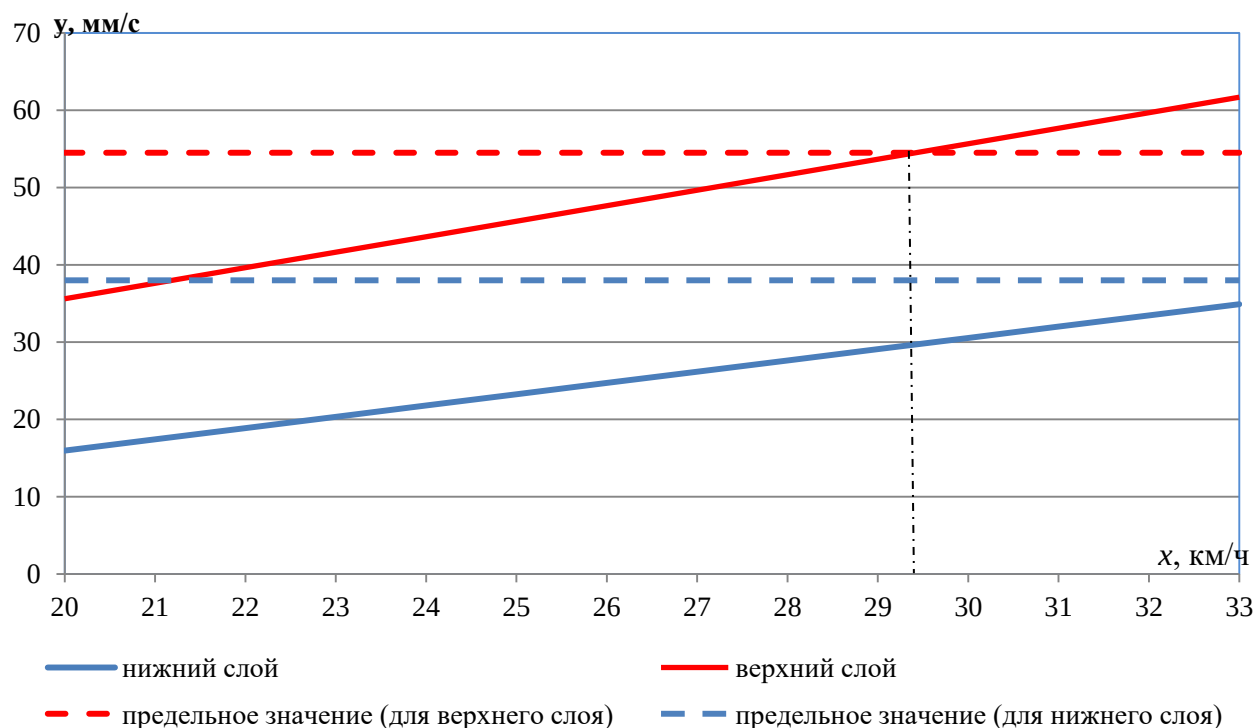


Рисунок 3.17 - Графики зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в нижнем и верхнем слое кузова ТС от скорости его движения (дороги с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием)

Исходя из данных, представленных на рисунке 3.17, предельное значение скорости движения груженого самосвального ТТА 2ПТС-5 по дорогам с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием не должно превышать 29,4 км/ч. В противном случае клубни картофеля будут испытывать такие динамические нагрузки, при которых не будут соблюдаться агротехнические требования.

Результаты испытаний самосвального ТТА 2ПТС-5 по грунтовой дороге приведены в таблице 3.13.

Для верхнего слоя клубней в кузове ТС было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 1,9762 x + 14,1071 \quad (3.20)$$

Характеристики полученного уравнения регресс приведены ниже.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9656$  говорит о сильной связи

между результативным показателем  $y$  и фактором  $x$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 3,5 \%$  свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Таблица 3.13 - Результаты испытаний самосвального ТТА 2ПТС-5 (на грунтовой дороге)

| №  | Скорость ТТА ( $x$ ), км/ч | Виброскорость клубней в нижнем слое ( $y_n$ ), мм/с | Виброскорость клубней в верхнем слое ( $y_v$ ), мм/с |
|----|----------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1. | 8                          | 11                                                  | 32                                                   |
| 2. | 10                         | 14                                                  | 34                                                   |
| 3. | 12                         | 19                                                  | 37                                                   |
| 4. | 14                         | 21                                                  | 39                                                   |
| 5. | 16                         | 26                                                  | 44                                                   |
| 6. | 18                         | 29                                                  | 51                                                   |
| 7. | 20                         | 31                                                  | 56                                                   |
| 8. | 22                         | 33                                                  | 57                                                   |

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 168,195$  больше  $F_{\text{крит}} = 13,75$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Для нижнего слоя клубней в кузове ТС было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 1,631x - 1,4643 \quad (3.21)$$

Характеристики полученного уравнения регрессии приведены ниже.

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9843$  говорит о сильной связи между результативным показателем  $y$  и фактором  $x$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 3,96\%$  свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 376,635$  больше  $F_{\text{крит}} = 13,75$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Построим графики зависимости виброскорости колебания клубней

картофеля в нижнем и верхнем слое кузова ТС от скорости его движения по грунтовой дороге (рис. 3.18).

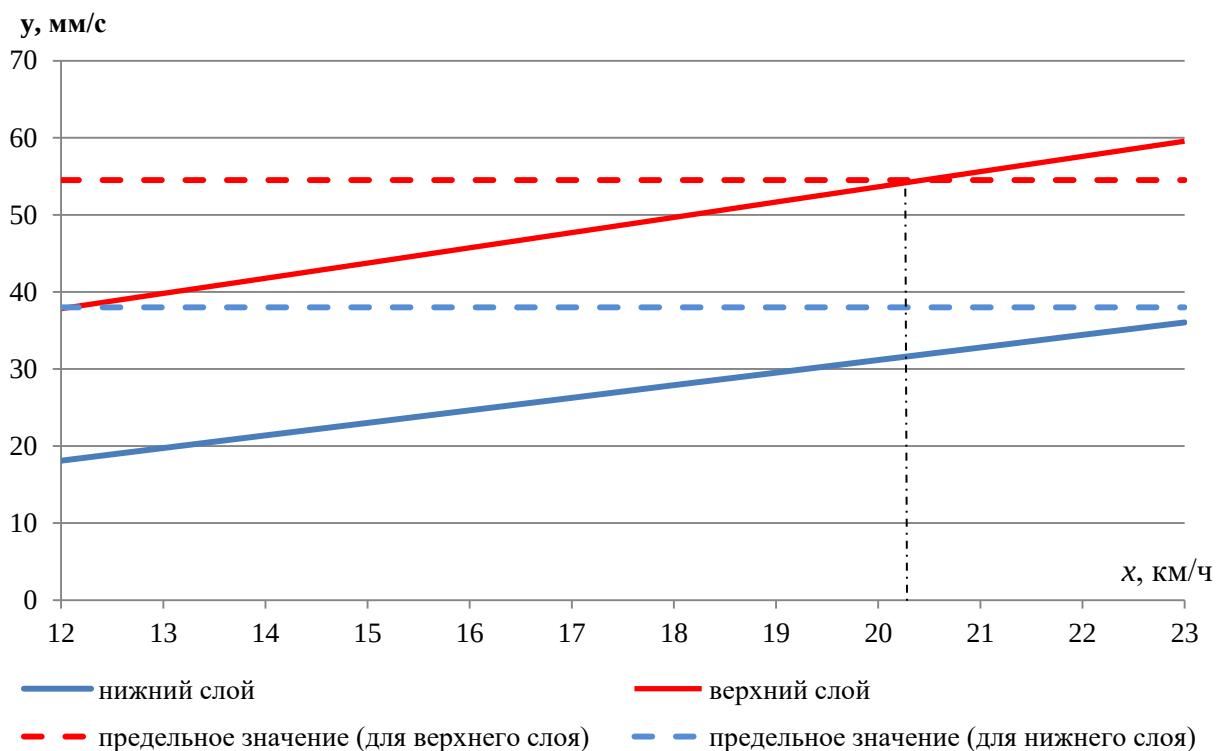


Рисунок 3.18 - Графики зависимости виброскорости колебания клубней картофеля в нижнем и верхнем слое кузова ТС от скорости его движения (по грунтовой дороге)

Исходя из данных представленных на графике (рис. 3.18), предельное значение скорости движения груженого самосвального ТТА 2ПТС-5 по грунтовой дороге не должно превышать 20,3 км/ч.

Проведенные испытания ТТА 2ПТС-5 и 2ПТС-4,5 подтвердили предположения, что основное влияние на виброскорость колебаний клубней оказывает скорость движения ТС, а также дорожные условия, при которых выполняются внутрихозяйственные перевозки (разница в расчетной величине допустимой скорости движения ТС по грунтовой дороге и дороге с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием около 9 км/ч, согласно графикам на рис. 3.15-3.18).

Получены рекомендации по предельным значениям рабочих скоростей рассмотренных выше моделей ТС при осуществлении перевозки

свежеубранного картофеля по грунтовой дороге и дороге с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием.

#### **3.4.4. Результаты обоснования основных параметров разработанного самосвального кузова ТС**

На первой стадии были проведены замеры скорости соударения клубней, расположенных у заднего откидного борта, с поверхностью пола. Результаты представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Результаты замеров скоростей соударения клубней, с поверхностью пола

| <b>№</b> | <b><math>y</math></b> |
|----------|-----------------------|
| 1        | 5,08                  |
| 2        | 5,07                  |
| 3        | 5,06                  |
| 4        | 5                     |
| 5        | 5,11                  |
| 6        | 5,1                   |
| 7        | 5,10                  |
| 8        | 5                     |

Полученные экспериментальным путем данные соответствуют расчетным значениям (скорость соударения клубня с поверхностью, при падении с высоты 1,32 м составляет 5,08 м/с [239]).

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

$x_1$  – удаленность поперечной перегородки от откидного борта, м;

$x_2$  – угол опрокидывания бункера, град;



$x_3$  – высота зазора между поперечной перегородкой и дном бункера, м.

Результаты эксперимента приведены в таблице 3.15.

Обработав результаты испытаний, было получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 4,6819 + 0,1093x_1 + 0,00718x_2 + 1,9407x_3 \quad (3.22)$$

Характеристики полученного уравнения регрессии приведены ниже.

Величина парных коэффициентов корреляции  $r_{yx_1} = 0,92$ ,  $r_{yx_2} = 0,954$  и  $r_{yx_3} = 0,972$  свидетельствует о значительном влиянии  $x_1, x_2, x_3$  на  $y$ .

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9525$  говорит о сильной связи между результативным показателем  $y$  и факторами  $x_1, x_2, x_3$ .

Средняя ошибка аппроксимации  $A = 0,72\%$  свидетельствует о высоком качестве уравнения регрессии.

Таблица 3.15 - Результаты исследований скорости соударения клубней при их выгрузке из разработанного самосвального кузова с поверхностью пола от особенностей его конструкции

| №  | $y$  | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ |
|----|------|-------|-------|-------|
| 1  | 4,9  | 0,1   | 10    | 0,1   |
| 2  | 5    | 0,1   | 10    | 0,1   |
| 3  | 5,11 | 0,15  | 15    | 0,15  |
| 4  | 5,3  | 0,2   | 25    | 0,2   |
| 5  | 5,35 | 0,3   | 30    | 0,25  |
| 6  | 5,3  | 0,2   | 25    | 0,2   |
| 7  | 5,31 | 0,2   | 25    | 0,25  |
| 8  | 5,27 | 0,2   | 22    | 0,2   |
| 9  | 5,5  | 0,25  | 30    | 0,3   |
| 10 | 5,57 | 0,3   | 30    | 0,3   |

Проверка при помощи F-критерий Фишера ( $F_{\text{расч}} = 40,075$  больше  $F_{\text{крит}} = 9,78$ ) показала, что уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты  $b_i$  совместно значимы).

Для определения параметров разработанного самосвального кузова ТС был проведен поиск оптимального решения для полученного уравнения регрессии.

Были рассчитаны следующие параметры:

- зазор между боковой поперечной перегородки и дном кузова ТТА 2ПТС-4,5;
- зазор между центральной поперечной перегородки и дном кузова ТТА 2ПТС-4,5.

Учитывая габаритные размеры кузова ТТА 2ПТС-4,5 были приняты следующие допущения:

- удаленность центральной поперечной перегородки от заднего откидного борта составляла 2,04 м;
- удаленность боковой поперечной перегородки от заднего откидного борта составляла 1,02 м;

Для ТТА 2ПТС-4,5 максимальный угол опрокидывания назад равен 50 град. Стоит заметить, что при достижении данным параметром величины в 35,15 град [209] кузов будет полностью опустошен.

Подставив вышеописанные значения в уравнение (3.22) получим зависимости следующего вида:

для боковой поперечной перегородки

$$y = 5,046 + 1,96x_3 \quad (3.23)$$

для центральной поперечной перегородки

$$y = 5,157 + 1,94x_3 \quad (3.24)$$

Воспользовавшись полученными уравнениями регрессии, были построены графики (рис. 3.19-3.20).

Проанализировав данные на рисунке 3.19 установили, что рекомендуемая высота зазора между боковой поперечной перегородкой и дном кузова ТТА 2ПТС-4,5, обеспечивающая максимально-допускаемую скорость соударения клубня с поверхностью места разгрузки при его выгрузке из самосвального кузова ТС менее 5,6 м/с [161] составляет 0,285 м.

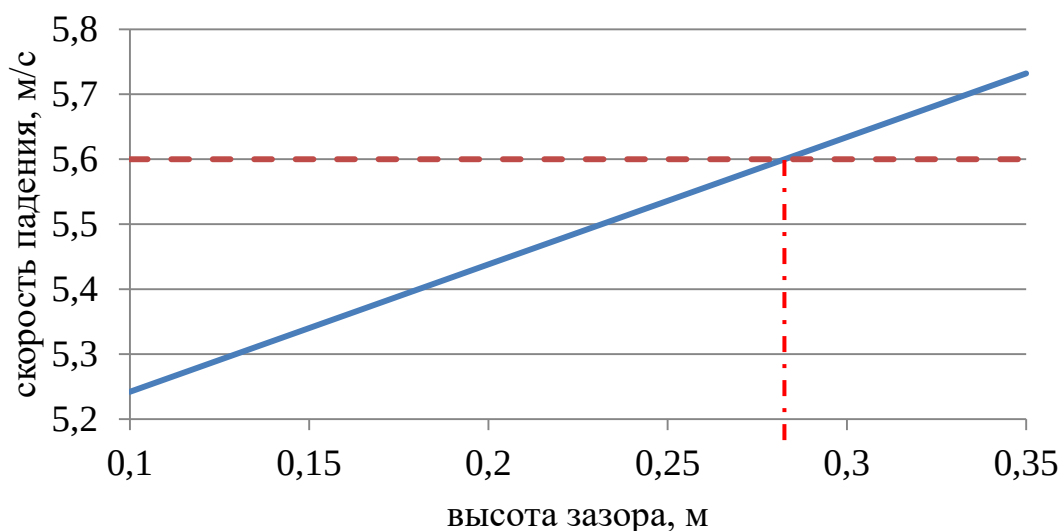


Рисунок 3.19 - График зависимости скорости соударения клубня с поверхностью места разгрузки от величины зазора между боковой поперечной перегородкой и дном кузова ТТА 2ПТС-4,5

Для центральной поперечной перегородки кузова ТТА 2ПТС-4,5 данный показатель, согласно графику на рисунке 3.20 составил 0,228 м.

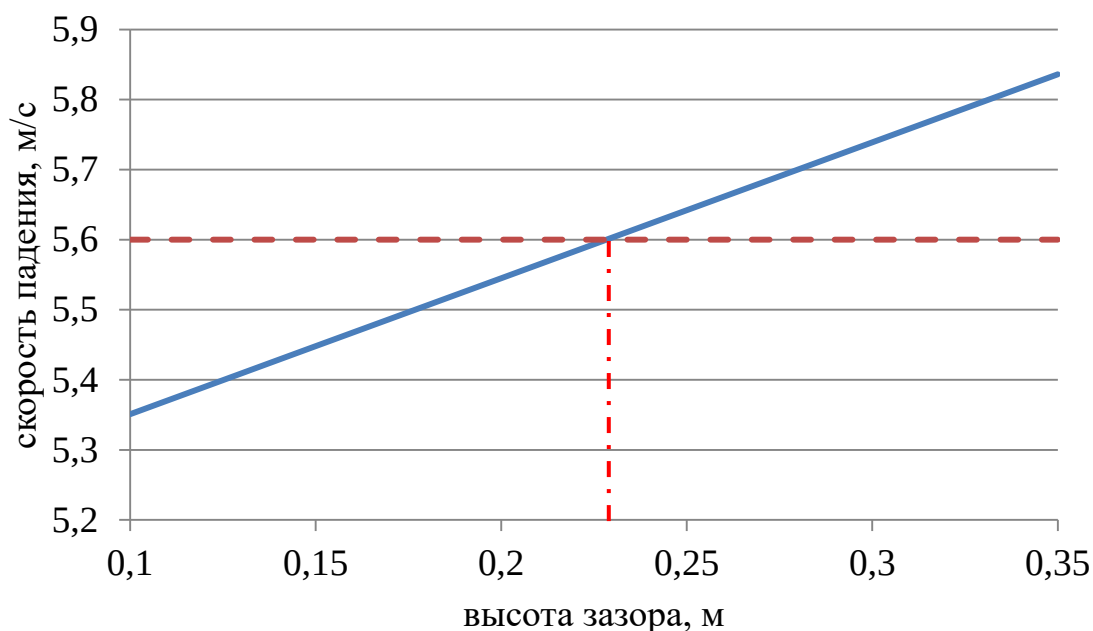


Рисунок 3.20 - График зависимости скорости соударения клубня с поверхностью места разгрузки от величины зазора между центральной поперечной перегородкой и дном кузова ТТА 2ПТС-4,5

### 3.5. Выводы по главе 3

1. В ходе лабораторно-полевого эксперимента получены функции распределения масс клубней исследуемых сортов картофеля. Для «Ред Скарлет» функция имеет вид  $f(x) = 0,015 \cdot e^{\frac{-(x-85,8)^2}{1444,72}}$ ; для «Сантэ»  $f(x) = 0,014 \cdot e^{\frac{-(x-74)^2}{1624}}$ ; для «Невский»  $f(x) = 0,013 \cdot e^{\frac{-(x-72,6)^2}{1802,48}}$ ; для «Романо»  $f(x) = 0,019 \cdot e^{\frac{-(x-76,6)^2}{864,88}}$ ; для «Невский»  $0,012 \cdot e^{\frac{-(x-64,6)^2}{2045,68}}$ ;

2. Получены зависимости повреждений клубней ( $y$ ) от скорости движения комбайнов ( $x_1$ ) и влажности почвы на глубине залегания клубней ( $x_2$ ) на супесчаных и суглинистых почвах согласующиеся с ранее проведенными результатами исследований ученых: Н.В. Бышова, Н.И. Верещагина, Г.Д. Петрова, К.А. Пшеченкова, А.А. Сорокина и др. Установлено, что повышение скорости движения картофелеуборочного комбайна и влажности почвы способствуют снижению повреждений клубней.

3. Получены зависимости линейного вида для виброскорости колебания плодов в кузове ТТА 2ПТС-4,5 и ТТА 2ПТС-5 от скорости движения ТС по грунтовым дорогам и дорогам с асфальтобетонным/цементобетонным покрытием. Установлено, что рекомендуемая транспортная скорость груженого 2ПТС-4,5 в первом случае не должна превышать 28,6 км/ч и 19,8 км/ч во втором. Для ТТА 2ПТС-5 аналогичные показатели составляют 29,4 км/ч и 20,23 км/ч соответственно.

4. Экспериментально установлены зависимости скорости соударения клубней с поверхностью места разгрузки от величины зазоров между боковой и центральной поперечными перегородками и дном кузова ТТА 2ПТС-4,5. Оптимальным значением величины зазора между боковой поперечной перегородкой при угле ее открытия в 15,7 град и дном кузова ТТА 2ПТС-4,5 можно считать 0,285 м. Для центральной поперечной перегородки данные параметры будут иметь значения 36,7 град и 0,228 м соответственно.

## **ГЛАВА 4. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АДАПТИВНОЙ МОДЕЛИ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ**

### **4.1. Программа исследований**

С целью определения эффективности применения адаптивной модели уборки картофеля, была разработана программа исследований, содержащая четыре этапа:

1. Исследования совместной работы комбайна AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5 без использования адаптивной модели уборки картофеля;
2. Исследования совместной работы комбайна AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5 с применением адаптивной модели уборки картофеля;
3. Исследования совместной работы комбайна Grimme GT 170 и ТТА 2ПТС-4,5 без использования адаптивной модели уборки картофеля;
4. Исследования совместной работы комбайна Grimme GT 170 и ТТА 2ПТС-4,5 с применением адаптивной модели уборки картофеля;

Испытания были проведены в картофелеводческих хозяйствах Клепиковского и Михайловского районов Рязанской области (приложение 3).

### **4.2. Объекты исследований**

Комплекс технических средств, включающий картофелеуборочный комбайн Grimme GT 170 (рис. 4.1) и 2 самосвальных ТТА 2ПТС-4,5.

Комплекс технических средств, включающий комбайн AVR Lynx (рис. 4.2) и 2 самосвальных ТТА 2ПТС-5.

### **4.3. Методика исследований**

Условно-статические параметры адаптивной модели уборки картофеля (см. главу 2) определяли в соответствии с ГОСТ 28713-2018 «Машины для уборки картофеля. Методы испытаний» [41].

Скорость движения картофелеуборочных машин и самосвальных ТТА

определяли при помощи электронных тахоспидометров КД 8105 МТЗ [41].

Замеры временных отрезков выполняли при помощи секундомера с погрешностью измерений  $\pm 0,2$  с [41].

Входные параметры адаптивной модели уборки картофеля по результатам замеров заносились в персональный компьютер, а выходные передавались операторам машин.

Сообщение с операторами картофелеуборочных машин и транспортных средств осуществляли при помощи портативных радиостанций, размещённых в их кабинах.

Показатель «повреждение клубней» определяли для всего комплекса технических средств. Забор проб производили в пункте разгрузки самосвальных ТТА в соответствии с нормативной документацией [41].



Рисунок 4.1 – Комбайн Grimme GT 170 в работе



Рисунок 4.2 – Комбайн AVR Lynx в работе

#### 4.4. Результаты исследований

В ходе подготовительных работ к первому и второму этапу испытаний были установлены входные параметры адаптивной модели уборки картофеля. Результаты занесены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Условия проведения уборки картофеля

| Параметр                                       | Значение               |
|------------------------------------------------|------------------------|
| Сорт картофеля                                 | Латона                 |
| Средняя длина клубня $M(a_{\text{кл}})$        | 62,9 мм                |
| Средняя ширина клубня $M(b_{\text{кл}})$       | 48,2 мм                |
| Толщина клубня $M(c_{\text{кл}})$              | 42,9 мм                |
| Средняя масса клубня $M(m_{\text{кл}})$        | 64,6 г                 |
| Масса клубня максимальная $m_{\text{кл.макс}}$ | 100 г                  |
| Плотность клубня $\rho$                        | 1140 кг/м <sup>3</sup> |
| Ширина грядки $B_{\text{гр}}$                  | 70 см                  |
| Урожайность, $У$                               | 220 ц/га               |
| Тип почвы                                      | средний суглинок       |
| Влажность почвы, %                             | 18-20                  |
| Температура почвы, °С                          | 12-13                  |
| Период проведения работ                        | середина октября       |
| Температура воздуха, °С                        | 14-16                  |
| Плотность почвы $\rho_{\text{поч}}$            | 1550 кг/м <sup>3</sup> |

Удаленность поля от места выгрузки свежесобранных клубней составляла 3,2 км (1,5 км по дороге с асфальтобетонным покрытием и 1,7 км по полю и дороге без твердого покрытия).

Учитывая благоприятные почвенно-климатические условия (табл. 4.1) эксплуатационную скорость комбайна AVR Lynx ограничивали значением в 5,2 км/ч. Данный режим работы обеспечивал соблюдение всех агротехнических требований [196] (см. главу 3).

При загрузке входных параметров (см. главу 2) в адаптивную модель уборки картофеля были получены следующие рекомендации для комбайна AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5 (рис. 4.3), которые были использованы при проведении второго этапа исследований.

| Вывод данных                                               |          |
|------------------------------------------------------------|----------|
| Область данных                                             |          |
| Скорость при работе с 1 ТС                                 | 5,2 км/ч |
| Скорость при работе со 2 ТС                                | 5,2 км/ч |
| Скорость груженого 1 ТС<br>(по асфальтобетонному покрытию) | 25 км/ч  |
| Скорость груженого 1 ТС<br>(по грунтовой дороге)           | 15 км/ч  |
| Скорость груженого 2 ТС<br>(по асфальтобетонному покрытию) | 25 км/ч  |
| Скорость груженого 2 ТС (по<br>грунтовой дороге)           | 15 км/ч  |
| Выход                                                      | Назад    |

Рисунок 4.3 – Выходные параметры адаптивной модели уборки картофеля

Сводные результаты первого и второго этапа исследований представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Испытание комплекса технических средств, содержащего комбайн AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5

| Параметр                                  | Без использования адаптивной модели | С использованием адаптивной модели                             |
|-------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Рабочая скорость комбайна, км/ч           | 5,2                                 | 5,2                                                            |
| Скорость 1 ТС (груженого), км/ч           | 29                                  | 25 (по асфальтобетонному покрытию)<br>15 (по грунтовой дороге) |
| Скорость 2 ТС (груженого), км/ч           | 29                                  | 25 (по асфальтобетонному покрытию)<br>15 (по грунтовой дороге) |
| Скорость 1 ТС (порожного), км/ч           | 32                                  | 32                                                             |
| Скорость 2 ТС (порожного), км/ч           | 32                                  | 32                                                             |
| Объем выполненных работ, га               | 16                                  | 16                                                             |
| Производительность сменного времени, га/ч | 0,76                                | 0,76                                                           |



| Параметр                                           | Без использования адаптивной модели | С использованием адаптивной модели |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Производительность эксплуатационного времени, га/ч | 0,78                                | 0,78                               |
| Собрано урожая, т                                  | 348,5                               | 348,5                              |
| Доля клубней с механическими повреждениями, %      | 13,03                               | 10,93                              |

При работе AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5 без применения адаптивной модели было установлено, что ТС имеют запас времени ( $t_{уб}^1 \geq t_{цикл}^{(2)}$  и наоборот  $t_{уб}^2 \geq t_{цикл}^{(1)}$ ) при осуществлении вывоза с поля свежееубранного картофеля на выбранном скоростном режиме ( $t_{груз}^{(1)}$ ,  $t_{груз}^{(2)}$  составляла 29 км/ч, а  $t_{пор}^{(1)}$   $t_{пор}^{(2)}$  – 32 км/ч).

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

В ходе подготовительных работ для третьего и четвертого этапа испытаний были установлены входные параметры адаптивной модели уборки картофеля. Результаты были занесены в таблицу 4.3.

Удаленность поля от места выгрузки свежееубранных клубней составляла 3,3 км (2,1 км по дороге с асфальтобетонным покрытием и 1,2 км по полю и дороге без твердого покрытия).

Учитывая благоприятные почвенно-климатические условия (табл. 4.3) эксплуатационную скорость комбайна Grimme GT 170 ограничивали

значением в 5,2 км/ч. Данный режим работы обеспечивал соблюдение всех агротехнических требований [196] (см. главу 3).

Таблица 4.3 – Условия проведения уборки картофеля

| Параметр                                | Значение               |
|-----------------------------------------|------------------------|
| Сорт картофеля                          | Невский                |
| Средняя длина клубня $M(a_{кл})$        | 62,3 мм                |
| Средняя ширина клубня $M(b_{кл})$       | 46,7 мм                |
| Толщина клубня $M(c_{кл})$              | 39,1 мм                |
| Средняя масса клубня $M(m_{кл})$        | 72,6 г                 |
| Масса клубня максимальная $m_{кл.макс}$ | 100 г                  |
| Плотность клубня $\rho$                 | 1160 кг/м <sup>3</sup> |
| Ширина грядки $B_{гр}$                  | 70 см                  |
| Урожайность, $У$                        | 239 ц/га               |
| Тип почвы                               | супесчаная             |
| Влажность почвы, %                      | 17-18                  |
| Температура почвы, °С                   | 12-14                  |
| Период проведения работ                 | середина октября       |
| Температура воздуха, °С                 | 15-18                  |
| Плотность почвы $\rho_{поч}$            | 1460 кг/м <sup>3</sup> |

При работе Grimme GT 170 и ТТА 2ПТС-4,5 без применения адаптивной модели было установлено, что комплекс технических средств функционировал без существенных простоев ( $t_{уб}^1 = t_{цикл}^{(2)}$  и  $t_{уб}^2 = t_{цикл}^{(1)}$ ). При этом скорость груженных ТС в независимости от типа дорожного покрытия составляла 28 км/ч, что не является оптимальным решением (см. главу 3).

При загрузке входных параметров (см. главу 2) в адаптивную модель уборки картофеля были получены следующие рекомендации для комбайна Grimme GT 170 и ТТА 2ПТС-4,5 (рис. 4.4), которые были использованы при проведении второго этапа исследований.

Благодаря адаптивной модели было установлено, что для бережного вывоза картофеля с поля необходимо снизить скорость груженных ТС при движении по грунтовой дороге до 18 км/ч. Учитывая, что комплекс технических средств функционирует на максимальном режиме ( $t_{уб}^1 = t_{цикл}^{(2)}$  и

$t_{уб}^2 = t_{цикл}^{(1)}$ ), то возникшая проблема может быть решена двумя способами:

- добавить еще одно ТС в комплекс технических средств;
- снизить рабочую скорость картофелеуборочного комбайна.

Учитывая, что в хозяйстве отсутствовали свободные ТС, было принято решение о снижении производительности комбайна (снижение составило 7,04 %).

| Вывод данных                                               |          |
|------------------------------------------------------------|----------|
| Область данных                                             |          |
| Скорость при работе с 1 ТС                                 | 4,9 км/ч |
| Скорость при работе со 2 ТС                                | 4,9 км/ч |
| Скорость груженого 1 ТС<br>(по асфальтобетонному покрытию) | 28 км/ч  |
| Скорость груженого 1 ТС<br>(по грунтовой дороге)           | 18 км/ч  |
| Скорость груженого 2 ТС<br>(по асфальтобетонному покрытию) | 28 км/ч  |
| Скорость груженого 2 ТС (по<br>грунтовой дороге)           | 18 км/ч  |
| Выход                                                      | Назад    |

Рисунок 4.4 – Выходные параметры адаптивной модели уборки картофеля

Сводные результаты третьего и четвертого этапа исследований представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Испытание комплекса технических средств, содержащего комбайн Grimme GT 170 и ТТА 2ПТС-4,5

| Параметр                        | Без использования адаптивной модели | С использованием адаптивной модели                             |
|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Рабочая скорость комбайна, км/ч | 5,2                                 | 4,9                                                            |
| Скорость 1 ТС (груженого), км/ч | 28                                  | 28 (по асфальтобетонному покрытию)<br>18 (по грунтовой дороге) |
| Скорость 2 ТС (груженого),      | 28                                  | 28 (по                                                         |

| Параметр                                           | Без использования адаптивной модели | С использованием адаптивной модели                      |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| км/ч                                               |                                     | асфальтобетонному покрытию)<br>18 (по грунтовой дороге) |
| Скорость 1 ТС (порожного), км/ч                    | 32                                  | 32                                                      |
| Скорость 2 ТС (порожного), км/ч                    | 32                                  | 32                                                      |
| Объем выполненных работ, га                        | 16                                  | 16                                                      |
| Производительность сменного времени, га/ч          | 0,76                                | 0,71                                                    |
| Производительность эксплуатационного времени, га/ч | 0,78                                | 0,72                                                    |
| Собрано урожая, т                                  | 378,6                               | 378,6                                                   |
| Доля клубней с механическими повреждениями, %      | 12,4                                | 10,64                                                   |

Было получено, что при снижении производительности картофелеуборочной машины и скорости груженых ТС общие повреждения клубней сократились на 1,76 % в абсолютном и 16,54 % в относительном исчислении.

#### 4.5. Выводы по главе 4

1. Установлено, что совместная работа картофелеуборочного комбайна AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5 с применением адаптивной модели уборки картофеля обеспечила снижение повреждение клубней на 19,21 % (с 13,03 до 10,93 %) по сравнению с базовым вариантом.

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

## ГЛАВА 5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ. ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

### 5.1. Расчет экономического эффекта от внедрения результатов исследований

Абсолютные экономические показатели универсальной техники на отдельных технологических операциях были определены в соответствии с ГОСТом 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» [42].

Прямые эксплуатационные затраты денежных средств, приходящиеся на выполнение единицы работы определяли как:

$$З_{\text{экс}} = З_{\text{от}} + З_{\text{гсм}} + З_{\text{р}} + А + \Phi \quad (5.1)$$

где:  $З_{\text{от}}$  - затраты на оплату труда обслуживающего персонала, руб./га;

$З_{\text{гсм}}$  - затраты средств на горюче-смазочные материалы, руб./га;

$З_{\text{р}}$  - затраты средств на ремонт и техническое обслуживание техники, руб./га;

$А$  - затраты средств на амортизацию, руб./га;

$\Phi$  - издержки денежных средств на вспомогательные технологические материалы, руб./ед. наработки. Принимали  $\Phi = 0$ .

Затраты средств на оплату труда обслуживающего персонала вычисляли по формуле:

$$З_{\text{от}} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{\text{мех}}} \lambda_k \cdot \tau_k \cdot K_3}{W_{\text{см}}} \quad (5.2)$$

где:  $\lambda_k$  - количество обслуживающего персонала  $k$ -й квалификации, чел. Для комплекса технических средств состоящего из комбайна Grimme GT 170 и 2 самосвальных ТТА 2ПТС-4,5, агрегируемых с тракторами МТЗ-82.1 требуется 3 тракториста и 2 переборщика. Для комплекса технических средств состоящего из комбайна AVR Lynx и 2 самосвальных ТТА 2ПТС-5, агрегируемых с тракторами МТЗ-82.1 требуется лишь 3 тракториста.

$W_{\text{см}}$  – производительность техники за 1 час сменного времени, га/ч. При работе AVR Lynx  $W_{\text{см}} = 0,76$  га/ч, при работе Grimme GT 170 с

использованием адаптивной модели  $W_{\text{эк}} = 0,71$  га/ч, без  $W_{\text{эк}} = 0,76$  га/ч. (см. главу 4);

$\tau_k$  - часовая оплата труда обслуживающего персонала  $k$ -й квалификации, руб./чел. –ч. Для тракториста средняя заработная плата по Рязанской области составляет  $\tau_k = 270,83$  руб/ч, для переборщика  $\tau_k = 161,63$  руб/ч.

$K_3$  - коэффициент, учитывающий уровень социальных отчислений от зарплаты, регламентируемых законодательством конкретного государства.

Согласно налоговому законодательству РФ [221, 222] каждый работодатель должен платить взносы на 4 вида обязательного страхования в размере 30,2 % от заработной платы сотрудника. Следовательно,  $K_3 = 0,302$ .

Результаты расчета занесены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты расчета затрат средств на оплату труда обслуживающего персонала

| Комплекс                 | Без использования адаптивной модели | С использованием адаптивной модели |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| AVR Lynx + MT3-82.1      | 107,62 руб/га                       |                                    |
| MT3-82.1+2ПТС-5          | 215,24 руб/га                       |                                    |
| Grimme GT 170 + MT3-82.1 | 236,07 руб/га                       | 252,69 руб/га                      |
| MT3-82.1+2ПТС-4,5        | 215,24 руб/га                       | 230,4 руб/га                       |

Затраты средств на горюче-смазочные материалы вычисляли по формуле:

$$Z_{\text{гсм}} = \sum_{j=1}^{n_j} \frac{q_{\text{т}}}{W_{\text{см}}} \cdot C_{\text{т}} \tag{5.3}$$

где:  $q_{\text{т}}$  - удельный расход топлива, л/ч. Для связки AVR Lynx + MT3-82.1  $q_{\text{т}} = 13,08$  л/ч, для Grimme GT 170 + MT3-82.1  $q_{\text{т}} = 13,35$  л/ч; MT3-82.1+2ПТС-5  $q_{\text{т}} = 9,81$  л/ч, для MT3-82.1+2ПТС-4,5  $q_{\text{т}} = 9,79$  л/ч;

$C_{\text{т}}$  - цена 1 кг топлива, руб./л. Согласно информации с официального сайта Единой информационной системы в сфере закупок [98] цена 1 литра дизельного топлива составляла 46,42 рублей;

$n_j$  – количество единиц ресурса  $j$  -й техники МТА, ед. (см. главу 4).

Результаты расчета занесены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты расчета затрат средств на горюче-смазочные материалы

| Комплекс                 | Без использования адаптивной модели | С использованием адаптивной модели |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| AVR Lynx + MT3-82.1      | 798,91 руб/га                       |                                    |
| MT3-82.1+2ПТС-5          | 1198,37 руб/га                      |                                    |
| Grimme GT 170 + MT3-82.1 | 815,04 руб/га                       | 872,83 руб/га                      |
| MT3-82.1+2ПТС-4,5        | 1195,41 руб/га                      | 1280,15 руб/га                     |

Затраты средств на ремонт и техническое обслуживание техники по нормам отчислений от цены машины вычисляли по формуле:

$$З_p = \frac{\sum_{j=1}^{n_t} B_j \cdot r_{pj}}{W_{\text{эк}}} \cdot 10^{-4} \quad (5.4)$$

где:  $n_t$  - число техники, входящей в машинно-тракторный агрегат (МТА), шт.

$B_j$  - цена МТА (без НДС), руб. Стоимость комбайна AVR Lynx  $B_1 = 4564327,3$  руб, комбайна Grimme GT 170  $B_2 = 4794611,15$  руб, трактора MT3-82.1  $B_3 = 2400000$  руб. [98];

$r_{pj}$  - значение отчислений на ремонт и техническое обслуживание от цены  $j$  -й техники на 100 ч ее работы, принятый в конкретном государстве, %.  $r_{p1} = 6,67$ ,  $r_{p2} = 6,67$ ,  $r_{p3} = 0,98$  [42];

$W_{\text{эк}}$  - производительность МТА в час эксплуатационного времени, га/ч. При работе AVR Lynx  $W_{\text{эк}} = 0,78$  га/ч, при работе Grimme GT 170 с использованием адаптивной модели  $W_{\text{эк}} = 0,72$  га/ч, без  $W_{\text{эк}} = 0,78$  га/ч.

Результаты расчета занесены в таблицу 5.3.

Затраты средств на амортизацию МТА в хозяйственных субъектах различных организационно-правовых форм вычисляли по формуле:

$$A = W_{\text{эк}} \cdot \sum_{j=1}^{n_t} \frac{B_j}{R_m} \quad (5.5)$$

где:  $R_m$  - значение амортизационного ресурса  $j$  -й техники МТА, ч.  
 $R_{m1} = 1260, R_{m2} = 1260, R_{m3} = 11132$  ч [42].

Результаты расчета занесены в таблицу 5.4.

Таблица 5.3 – Результаты расчета затрат средств на ремонт и техническое обслуживание техники

| Комплекс                 | Без использования адаптивной модели | С использованием адаптивной модели |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| AVR Lynx + MT3-82.1      | 3903,09 руб/га                      |                                    |
| MT3-82.1+2ПТС-5          | 603,08 руб/га                       |                                    |
| Grimme GT 170 + MT3-82.1 | 4100,01 руб/га                      | 4441,67 руб/га                     |
| MT3-82.1+2ПТС-4,5        | 603,08 руб/га                       | 653,33 руб/га                      |

Таблица 5.4 – Результаты расчета затрат средств на амортизацию МТА

| Комплекс                 | Без использования адаптивной модели | С использованием адаптивной модели |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| AVR Lynx + MT3-82.1      | 2993,7 руб./га                      |                                    |
| MT3-82.1+2ПТС-5          | 336,33 руб./га                      |                                    |
| Grimme GT 170 + MT3-82.1 | 3136,25 руб./га                     | 2895 руб./га                       |
| MT3-82.1+2ПТС-4,5        | 336,33 руб./га                      | 310,46 руб./га                     |

Результаты расчета прямых эксплуатационных затрат денежных средств, приходящиеся на выполнение единицы работы приведены в таблице 5.5.

Совокупные затраты денежных средств на выполнение единицы наработки вычисляли по формуле:

$$З_{сов} = З_{экс} + И_{п} + И_{повр} + И_{сем} + И_{ок} \quad (5.6)$$

где:  $И_{п}$  - издержки денежных средств от потерь сельскохозяйственной продукции, руб./га. Для проведенных исследований  $И_{п} = 0$ ;

$И_{повр}$  - издержки денежных средств от повреждения



сельскохозяйственной продукции, руб./га;

$I_{\text{сем}}$  - издержки денежных средств от нерационального использования посевного материала (семян), руб./га. Для проведенных исследований  $I_{\text{сем}} = 0$ ;

$I_{\text{ок}}$  - издержки денежных средств на охрану окружающей среды, руб./га. Для проведенных исследований  $I_{\text{ок}} = 0$ .

Таблица 5.5 - Прямые эксплуатационные затраты денежных средств, приходящиеся на выполнение единицы работы

| Комплекс                 | Без использования адаптивной модели | С использованием адаптивной модели |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| AVR Lynx + MT3-82.1      | 6826,31 руб/га                      | 6826,31 руб/га                     |
| Grimme GT 170 + MT3-82.1 | 10637,43 руб/га                     | 10936,53 руб/га                    |

Издержки денежных средств от повреждения сельскохозяйственной продукции вычисляли по формуле:

$$I_{\text{повр}} = 0,01Y_{\text{сх}} \cdot X_{\text{д}}(C_{\text{сх}} - C_{\text{д}}) \quad (5.7)$$

где:  $Y_{\text{сх}}$  - урожайность сельскохозяйственной продукции, т/га.  $Y_{\text{сх}} = 22$  т/га и  $Y_{\text{сх}} = 23,9$  т/га (согласно данным главы 4);

$X_{\text{д}}$  - повреждение картофеля, %. При работе комплекса технических средств включающего комбайн AVR Lynx  $X_{\text{д}} = 10,93$  % и  $X_{\text{д}} = 13,03$  %. При работе комплекса технических средств включающего комбайн Grimme GT 170  $X_{\text{д}} = 10,64$  % и  $X_{\text{д}} = 12,4$  %. (согласно данным главы 4);

$C_{\text{сх}}$  - рыночная цена полноценного картофеля, руб./т.  $C_{\text{сх}} = 31960$  руб./т [98];

$C_{\text{д}}$  - рыночная цена поврежденного картофеля, руб./т.  $C_{\text{сх}} = 21100$  руб./т [98].

Для комплекса технических средств, включающего комбайн AVR Lynx, издержки денежных средств от повреждения

сельскохозяйственной продукции составили:

- при использовании адаптивной модели:

$$И_{\text{повр}} = 0,01 \cdot 22 \cdot 10,93 \cdot (31960 - 21100) = 26113,96 \text{ руб./га}$$

- без адаптивной модели:

$$И_{\text{повр}} = 0,01 \cdot 22 \cdot 13,03 \cdot (31960 - 21100) = 31131,28 \text{ руб./га}$$

Для комплекса технических средств включающего комбайн Grimme GT 170 издержки денежных средств от повреждения сельскохозяйственной продукции составили:

- при использовании адаптивной модели:

$$И_{\text{повр}} = 0,01 \cdot 23,9 \cdot 10,64 \cdot (31960 - 21100) = 27616,55 \text{ руб./га}$$

- без адаптивной модели:

$$И_{\text{повр}} = 0,01 \cdot 23,9 \cdot 12,4 \cdot (31960 - 21100) = 32184,7 \text{ руб./га}$$

Совокупные затраты денежных средств за годовой объем работы вычисляли по формуле:

$$З_{\text{сов}}^{\Gamma} = З_{\text{сов}} \cdot F^{\Gamma} \quad (5.8)$$

где:  $F^{\Gamma}$  - годовой фактический объем работ МТА, га.  $F^{\Gamma} = 16$  га.

Для комплекса технических средств включающего комбайн AVR Lunx совокупные затраты денежных средств за годовой объем работы составили:

- при использовании адаптивной модели:

$$З_{\text{сов}}^{\Gamma} = 26113,96 \text{ руб} \cdot 16 = 417823,36 \text{ руб.}$$

- без адаптивной модели:

$$З_{\text{сов}}^{\Gamma} = 31131,28 \cdot 16 = 498100,48 \text{ руб.}$$

Для комплекса технических средств, включающего комбайн Grimme GT 170, совокупные затраты денежных средств за годовой объем работы составили:

- при использовании адаптивной модели:

$$З_{\text{сов}}^{\Gamma} = 27616,55 \cdot 16 = 441864,8 \text{ руб}$$

- без адаптивной модели:

$$З_{\text{сов}}^{\Gamma} = 32184,7 \cdot 16 = 514955,2 \text{ руб}$$

Годовую экономию совокупных затрат денежных средств в расчете

на годовой фактический объем вычисляли по формуле:

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{Z}_{\text{сов.б}}^r - \mathcal{Z}_{\text{сов.м}}^r \quad (5.9)$$

где:  $\mathcal{Z}_{\text{сов.б}}^r$  - совокупные затраты денежных средств за годовой объем работы МТА без применения адаптивной модели, руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{сов.м}}^r$  - совокупные затраты денежных средств за годовой объем работы МТА с применением адаптивной модели, руб.

Для комплекса технических средств включающего комбайн AVR Lynx  $\mathcal{E}_r$  составил:

$$\mathcal{E}_r = 498100,48 - 417823,36 = 80277,12 \text{ руб.}$$

Для комплекса технических средств включающего комбайн Grimme GT 170  $\mathcal{E}_r$  составил:

$$\mathcal{E}_r = 514955,2 - 441864,8 = 73090,4 \text{ руб.}$$

Снижение себестоимости выполнения работы вычисляли по формуле:

$$\text{СЕБ} = \left| \frac{\mathcal{Z}_{\text{сов.б}}^r - \mathcal{Z}_{\text{сов.м}}^r}{\mathcal{Z}_{\text{сов.м}}^r} \right| \cdot 100 \quad (5.10)$$

Для комплекса технических средств включающего комбайн AVR Lynx СЕБ составил:

$$\text{СЕБ} = \left| \frac{498100,48 - 417823,36}{417823,36} \right| \cdot 100 = 19,21 \%$$

Для комплекса технических средств включающего комбайн Grimme GT 170 СЕБ составил:

$$\text{СЕБ} = \left| \frac{514955,2 - 441864,8}{441864,8} \right| \cdot 100 = 16,54 \%$$

Проведенные выше расчеты подтвердили целесообразность использования адаптивной модели уборки картофеля.

## 5.2. Пути дальнейшего развития производства картофеля

Современный уровень технологического развития картофелеуборочной техники позволяет производить сбор урожая в соответствии со всеми нормами агротехнических требований (в первую очередь по показателям повреждений, потерь и чистоте клубней в таре) в

широком спектре природно-климатических условий.

Проведенный анализ исследований ученых [2, 18, 179, 181, 233] показал, что наиболее проблемным местом в технологической цепочке производства картофеля является этап внутрихозяйственных перевозок продукции. В хозяйствах РФ для этих целей используют в преобладающем большинстве универсальные самосвалы ТС и реже специализированная техника (например, БАЛТ Гранд-Полевик). В этом случае повреждения картофеля составляют около 10-12 % от общего количества перевозимого груза.

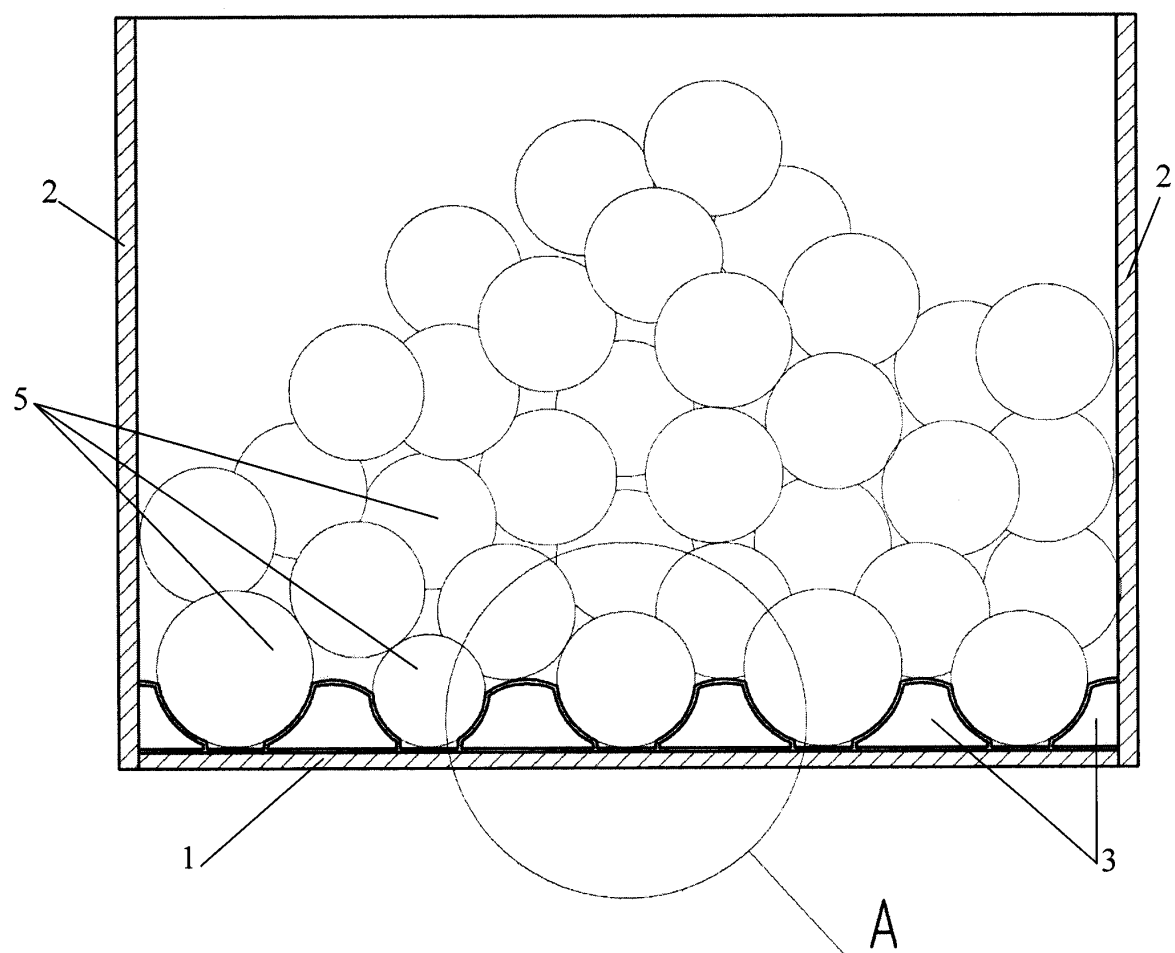
Снижение финансовых издержек при организации транспортных работ в цикле производства картофеля является актуальным направлением и согласуется с доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации [48].

Согласно разделу 2 «Национальные интересы в сфере продовольственной безопасности» доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации [48] требуется создание в сельском хозяйстве высокопроизводительного сектора, развивающегося на основе современных технологий и обеспеченного научными работниками и высококвалифицированными специалистами.

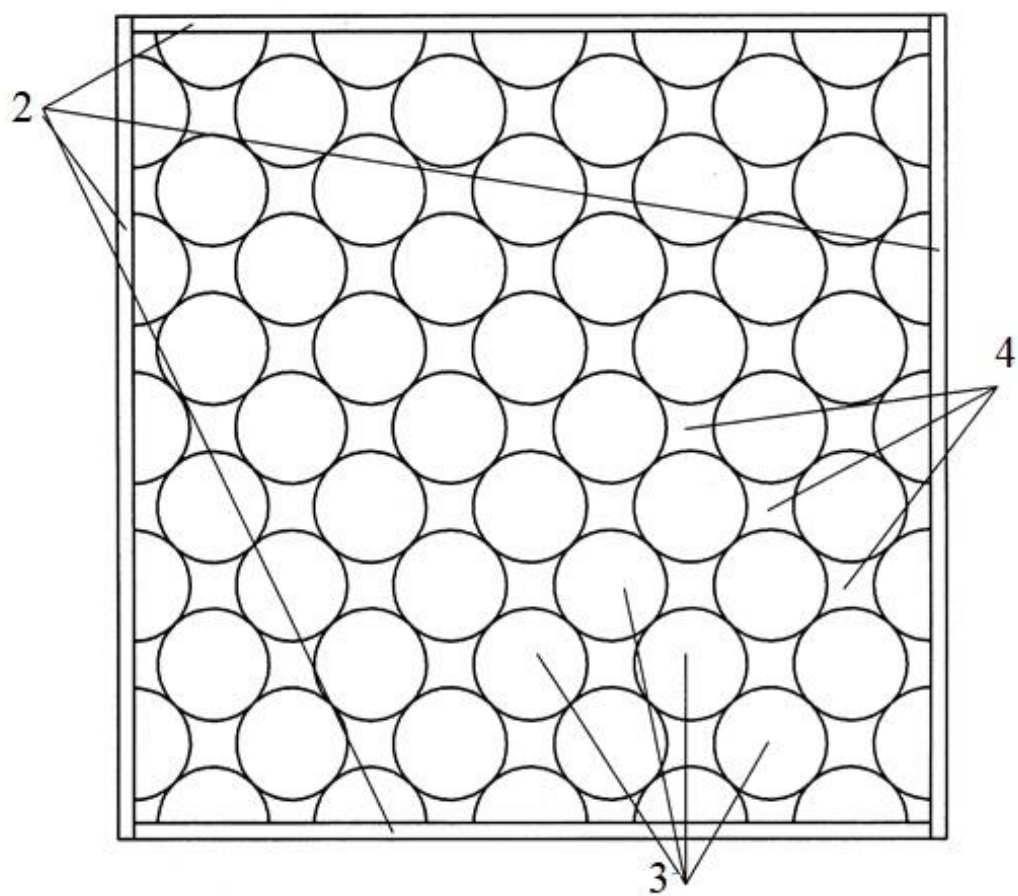
В соответствии с вышеизложенным нами был разработан ряд технических решений, призванных снизить финансовые издержки и повысить производительность отдельных работ при производстве картофеля.

В первую очередь стоит отметить контейнер для перевозки плодоовощной продукции [105], схема которого приведена на рисунке 5.1.

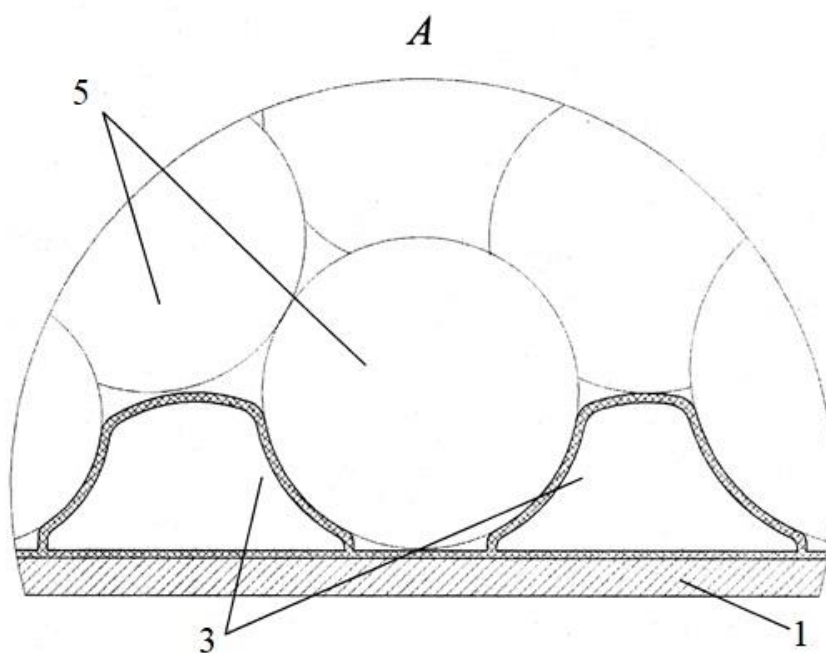
Рассматриваемое конструктивное решение направлено на снижение повреждений клубней картофеля (преимущественно клубней, расположенных непосредственно у дна контейнера) при их перевозке контейнерным способом [105].



a)



b)



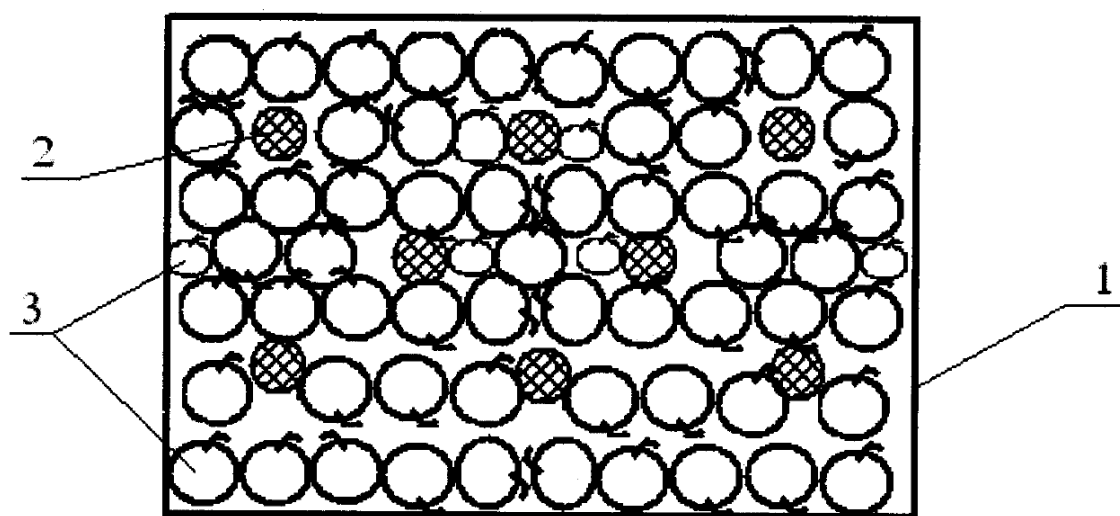
в)

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

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

Рисунок 5.1 - Контейнер для перевозки плодоовощной продукции [105]

Еще одним разработанным техническим решением является устройство для транспортировки легкоповреждаемой плодоовощной продукции [112] (рис. 5.2).

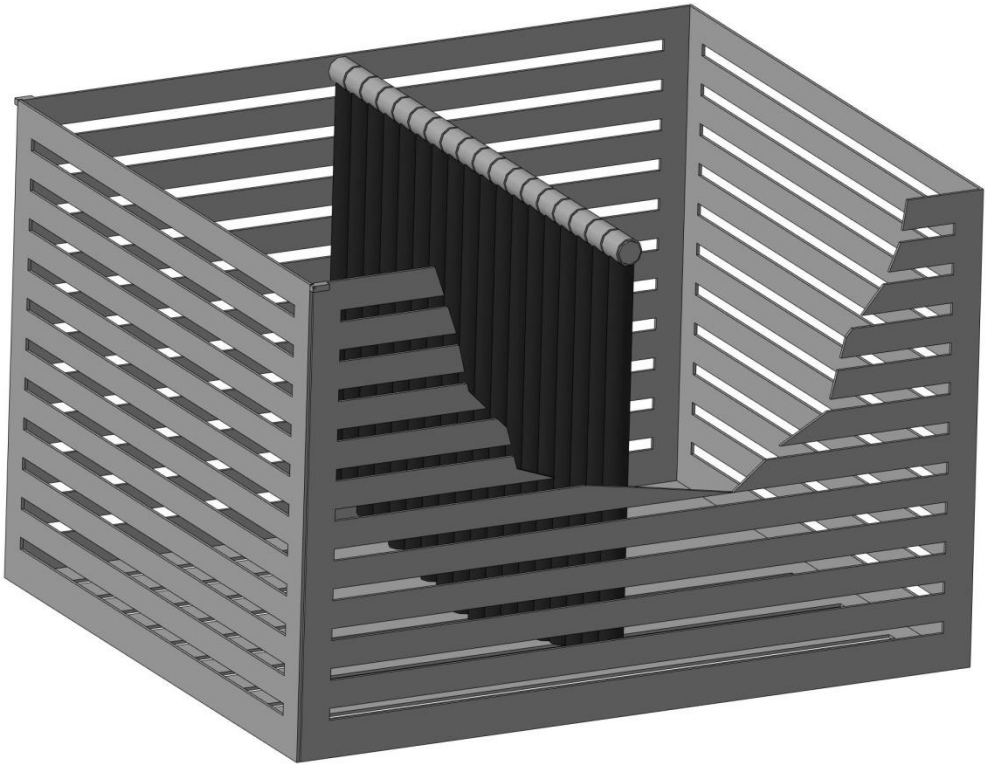


1 - контейнер; 2 - вертикальные гибкие стойки; 3 – клубни картофеля.

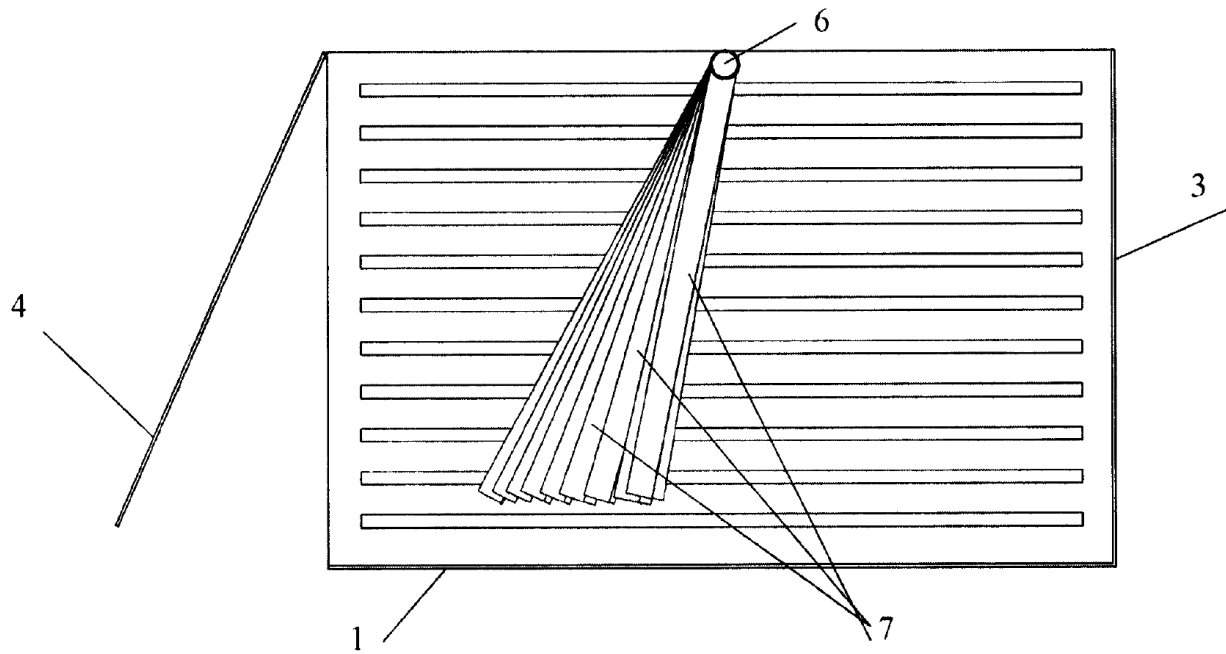
Рисунок 5.2 - Устройство для транспортировки легкоповреждаемой  
плодоовощной продукции [112]

Предлагаемое устройство направлено на снижение повреждений клубней картофеля, за счет минимизации их перемещения во внутреннем пространстве контейнере при внутрихозяйственных перевозках [112].

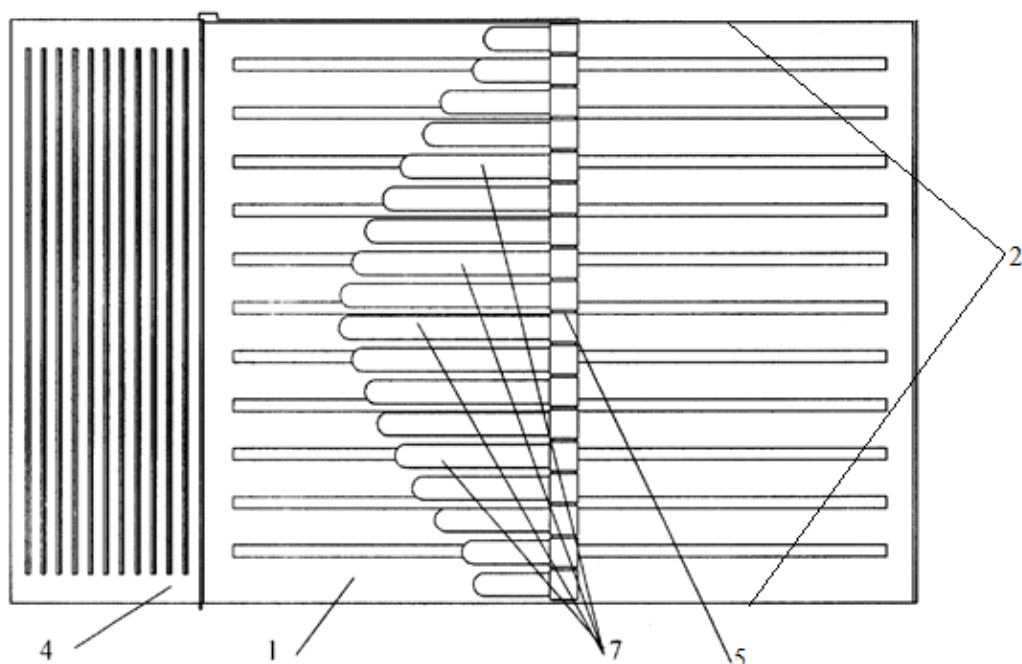
В ходе научно-исследовательской работы коллективом авторов ФГБОУ ВО РГАТУ было разработано устройство для транспортировки корнеклубнеплодов, схема которого приведена на рисунке 5.3 [106].



а)



б)



в)

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

1 - основание контейнера; 2 - боковые стенки контейнера; 3 – задняя стенка контейнера; 4 - откидной борт; 5 - поперечная перегородка; 6 – ось поперечной перегородки; 7 - полая трубка.

Рисунок 5.3 - Устройство для транспортировки корнеклубнеплодов [106]

Рассмотренное техническое решение предназначено для снижения повреждений клубней в процессе их выгрузки из устройства для транспортировки [106].

Использование рассмотренных выше конструктивных решений при осуществлении внутрихозяйственных перевозок клубней картофеля контейнерным способом позволит существенно снизить повреждения последних, что благоприятно отразится на себестоимости возделывания данной культуры в хозяйствах АПК Российской Федерации.

### 5.3. Выводы по главе 5

1 Установлено, что годовой экономический эффект от использования адаптивной модели организации уборки картофеля совместно с комбайном AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5 составил 80277,12 руб, с комбайном Grimme GT



170 и ТТА 2ПТС-4,5 - 73090,4 руб. Объем выполненных работ составлял 16 га. Величина данного экономического эффекта была достигнута за счет снижения себестоимости выполнения работы на 19,21 % для первого комплекса технических средств и 16,54 % для второго.

2. В результате обобщения перспектив развития транспортных работ при производстве картофеля были предложены: устройство для транспортировки легкоповреждаемой плодоовощной продукции (патент на изобретение №2636569); контейнер для перевозки плодоовощной продукции (патент на полезную модель №166384); устройство для транспортировки корнеклубнеплодов (патент на полезную модель №191227).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

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

4. Экспериментально уточнены:

функции распределения масс клубней исследуемых сортов картофеля; зависимости повреждений клубней от скорости движения комбайнов и влажности почвы на глубине залегания клубней на супесчаных и суглинистых почвах.

5. Теоретически обоснованы конструктивные параметры усовершенствованного самосвального кузова на базе ТТА 2ПТС-4,5, такие как: высота центральной поперечной перегородки; удаленность центральной

поперечной перегородки от заднего откидного борта; удаленность боковых поперечных перегородок от центральной; высота боковых поперечных перегородок; угол отклонения первой (относительно заднего откидного борта) боковой поперечной перегородки; угол отклонения центральной поперечной перегородки; угол отклонения второй (относительно заднего откидного борта) боковой поперечной перегородки.

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

7. По результатам проведенных испытаний адаптивной модели уборки картофеля на базе агропредприятий Рязанской области установлено, что: совместная работа картофелеуборочного комбайна AVR Lynx и ТТА 2ПТС-5 с применением адаптивной модели уборки картофеля обеспечила снижение повреждение клубней на 19,21 % (с 13,03 до 10,93 %) по сравнению с базовым вариантом; совместная работа картофелеуборочного комбайна Grimme GT 170 и ТТА 2ПТС-4,5 с применением адаптивной модели уборки картофеля обеспечила снижение повреждение клубней на 16,54 % (с 12,4 до 10,64 %) по сравнению с базовым вариантом.

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

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

картофеля.

### **Предложения производству**

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

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

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

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

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авторское свидетельство № 1644775 СССР. Способ уборки и послеуборочной обработки корнеклубнеплодов / Колчин Н.Н. и др.; заявка № 4466937 от 20.06.1988; опубл. 30.04.1991.
2. Автотранспортные и тракторные перевозки: учебник для студентов сельскохозяйственных вузов / Дидманидзе О.Н., Рыбаков К.В., Митягин Г.Е., и др. – Москва: Учебно-методический центр "Триада", 2005. – 552 с.
3. Аксенов А.Г. Анализ интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сельском хозяйстве / Аксенов А.Г. // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. - 2019. - № 3 (36). - С. 46-51.
4. Анализ влияния вибрационных процессов внутри кузовной части автомобиля на физические свойства груза во время движения с целью повышения качества транспортных услуг / Калинин А.В. // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. - 2015. - № 4. - С. 11-15.
5. Анализ перспектив развития технологий и технических средств для машинной уборки картофеля на период до 2020 г / А.А. Голиков [и др.] // Студенческий научный поиск – науке и образованию 21 века: материалы 5 Международной студенческой научно-практической конференции. – Рязань: НОУ ВПО СТИ, 2013. – С. 346-350.
6. Анализ процесса выгрузки клубней из транспортного агрегата с усовершенствованным самосвальным кузовом / Костенко М.Ю., Успенский И.А., Юхин И.А. и др. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2020. - № 1 (45). - С. 107-114.
7. Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований устойчивости движения тракторного поезда / Бортник А.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Голиков А.А. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного

университета. – 2020. – № 164. - С. 222 – 231.

8. Анализ современного уровня и обоснование эксплуатационно-технологических требований к картофелеуборочным машинам / И.А. Успенский [и др.] // Инновационные направления и методы реализации научных исследований в АПК: материалы научно-практической конференции. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. - С. 35-39.

9. Анализ современных технологий возделывания картофеля / Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Костин С.В. // В сборнике: Перспективы инновационного развития и прогресс в агротехнических и энергетических системах. Материалы межвузовской научно-практической конференции. – Балашиха: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный заочный университет, 2021. - С. 10-14.

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

11. Анищенко А.Н. "Умное" сельское хозяйство как перспективный вектор роста аграрного сектора экономики России / Анищенко А.Н. // Продовольственная политика и безопасность. - 2019. - Т. 6. - № 2. - С. 97-108.

12. Асадуллин Н.М. Современные проблемы использования грузового автотранспорта в сельском хозяйстве / Асадуллин Н.М. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. - 2019. - Т. 14. - № 4-2 (56). - С. 44-48.

13. Афанасьев, В.Л. Методические указания к изучению случайных колебаний автомобиля / В.Л. Афанасьев. – М.: МАДИ, 1984. – 90 с.

14. Безносюк Р.В. Вероятность равномерной загрузки транспортного средства / Безносюк Р.В., Рембалович Г.К., Чернышев А.Д. // Международный технико-экономический журнал. - 2019. - № 3. - С. 16-21.

15. Безносюк Р.В. Совершенствование органа выносной сепарации картофелеуборочных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Безносюк Р.В. - Рязань, 2013. - 168 с.

16. Белю Л.П. Оценка повреждения яблок в таре на автомобильных перевозках агропромышленного комплекса: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Белю Л.П. - Рязань, 2020. - 152 с.

17. Берикашвили, В. Ш. Статистическая обработка данных, планирование эксперимента и случайные процессы: учебное пособие для вузов / В. Ш. Берикашвили, С. П. Оськин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Юрайт, 2022. - 164 с. - Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/493106> (дата обращения: 24.02.2022).

18. Большаков Н.А. Повышение эффективности сельскохозяйственных перевозок / Большаков Н.А., Дидманидзе О.Н. // Международный технико-экономический журнал. - 2021. - № 3. - С. 104-111.

19. Борычев С.Н. Машинные технологии уборки картофеля с использованием усовершенствованных копателей, копателей-погрузчиков и комбайнов: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Борычев С.Н. - Рязань, 2008. - 484 с.

20. Брусенков А.В. Исследование прочностных свойств корнеклубнеплодов / Брусенков А.В., Ведищев С.М., Прохоров А.В. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014. - № 50. – С. 99-102

21. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики // Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д. Р. - 3-е изд. - М.: Наука, 1985. - Т.2. - 496 с.

22. Бышов Н.В. Возможные направления совершенствования машинной уборки картофеля в условиях регулируемого агропромышленного производства / Бышов Н.В., Костенко М.Ю., Успенский И.А. // В сборнике: опыт и проблемы государственного регулирования агропромышленного производства и продовольственного рынка. материалы Межрегиональной научно-практической конференции. - Рязань: ФГОУ ВПО РГСХА, 2002. - С.

328-330.

23. Бышов Н.В. Методика комплексной оценки эффективности использования транспорта в сельскохозяйственном производстве / Бышов Н.В., Ряднов А.И. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2019. - № 1 (41). - С. 104-108.

24. Бышов Н.В. Технологические проблемы работы картофелеуборочных машин и возможные их решения в условиях рынка / Бышов Н.В., Костенко М.Ю., Успенский И.А. // Опыт и проблемы государственного регулирования агропромышленного производства и продовольственного рынка: материалы Межрегиональной научно-практической конференции. – Рязань: ФГОУ ВПО РГСХА, 2002. - С. 331-332.

25. Верещагин Н.И. Снижение повреждений картофеля и яблок на внутрихозяйственных перевозках стабилизацией транспортных средств: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Верещагин Н.И. - Москва, 1991. - 24 с.

26. Верификация математической модели для расчета нагрузок в контакте колес автомобиля с неровной поверхностью дороги / Михайлов В.В., Жук И.В., Вербицкий А.В., Солодкая М.Г. // Механика машин, механизмов и материалов. - 2011. - № 2 (15). - С. 18-23.

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

28. Влияние стабилизации динамических нагрузок на эффективность МТА / Воронцова Е.С., Карсаков А.А., Фомин С.Д., Гапич Д.С. // Стратегия развития сельского хозяйства в современных условиях - продолжение научного наследия Листопада Г.Е., академика ВАСХНИЛ (РАСХН), доктора технических наук, профессора. – Волгоград: Волгоградский государственный



аграрный университет, 2019. - С. 53-58.

29. Гаджиев П.И. Машина для подготовки почвы к посадке и уборке картофеля с автоматическим управлением нагрузкой комкоразрушающего устройства / Гаджиев П.И., Гончаров В.В. // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. - 2009. -№ 7 (12). - С. 126.

30. Гаджиев П.И. Машины для производства картофеля в тяжелых почвах / Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Алексеев А.И. // В сборнике: Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. Материалы X Международной научно-практической Интернет-конференции. – Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2018. - С. 230-234.

31. Гаджиев П.И. Различные технологии возделывания картофеля / Гаджиев П.И., Заикина И.В. // Актуальные вопросы развития аграрного образования и науки. Материалы Международной научно-практической конференции. – Балашиха: Российский государственный аграрный заочный университет, 2010. - С. 118-122.

32. Гаджиев П.И. Усовершенствование сепарирующих рабочих органов комбайна ККУ-2А как средство снижения затрат на производство картофеля / Гаджиев П.И., Перегудов П.А. // В сборнике: Решение проблем инновационного развития сельскохозяйственной техники. Материалы международной заочной научно-практической конференции. – Балашиха: Российский государственный аграрный заочный университет, 2021. - С. 22-25.

33. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учебное пособие для вузов / В. Е. Гмурман. — 11-е изд., перераб. и доп. — Москва: Юрайт, 2022. - 406 с. - Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/488572>

34. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая

статистика : учебник для вузов / В. Е. Гмурман. - 12-е изд. - Москва : Юрайт, 2022. - 479 с. - Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/488573>

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

36. Голиков А.А. Перспективные направления развития сепарирующих устройств корнеклубнеуборочных машин / А.А. Голиков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2013. - № 4 (20). - С. 103-105.

37. Голиков А.А. Совершенствование технологического процесса и рабочего органа сепарации картофелеуборочных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Голиков. - Саранск, 2014. - 138 с.

38. Гончаров В. А. Методы оптимизации : учебное пособие для вузов / В. А. Гончаров. — Москва: Юрайт, 2020. — 191 с. — Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/463500> (дата обращения: 27.02.2022).

39. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. - М.: Стандартинформ, 2020. – 28 с.

40. ГОСТ 28372-93 (ИСО 2165-74) Картофель свежий продовольственный. Руководство по хранению. - М.: Издательство стандартов, 2004. – 12 с.

41. ГОСТ 28713-2018 Машины для уборки картофеля. Методы испытаний. - М.: Стандартинформ, 2020. – 39 с.

42. ГОСТ 34393-2018 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. - М.: Стандартинформ, 2018. – 10 с.

43. ГОСТ 7176-2017. Картофель продовольственный. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2018. – 16 с.

44. ГОСТ Р 59120-2021 Дороги автомобильные общего пользования.

Дорожная одежда.- М.: Стандартиформ, 2021. – 23 с.

45. Деформационно-прочностные свойства картофеля различающейся степени жесткости / Жуков В.Г., Андреев Н.Р., Михайленко А.А., Безруков Д.В. // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т.30. - № 12. – С. 101-103.

46. Дидманидзе О.Н. Моделирование и оптимизация производственных процессов по заготовке картофеля и овощей / Дидманидзе О.Н., Яремко Н.И. – Москва: ООО "УМЦ "Триада", 2016. – 120 с.

47. Дидманидзе О.Н. Разработка методов оптимизации производственных процессов заготовки и реализации картофеля / Дидманидзе О.Н., Плужникова В.А. // Наука без границ. - 2017. - № 4 (9). - С. 5-9.

48. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. – Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 26 с.

49. Долбаненко В.М. Аналитические исследования по определению физико-механических свойств клубнеплодов / Долбаненко В. М. // Проблемы современной аграрной науки: материалы международной заочной научной конференции. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2015. – С. 49-52.

50. Дорохов А.С. Машина для уборки корнеплодов и лука с регулируемым наклоном полотна / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. // Сельский механизатор. - 2020. - № 4. - С. 4-5.

51. Дорохов А.С. Разработка показателей комплексной оценки интеллектуализации машинного производства овощных культур / Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г. // Тракторы и сельхозмашины. - 2020. - № 3. - С. 68-74.

52. Ерохин М.Н. Проблемы и перспективы импортозамещения на автомобильном транспорте / Ерохин М.Н., Дидманидзе О.Н., Митягин Г.Е. // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией

А.Н. Новикова. – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2016. - С. 88-96.

53. Заводнов А.В. Взаимодействие клубней картофеля с рабочими органами, совершающими колебательные движения / Заводнов А.В. // Молодые ученые ВИМ - развитию технического обеспечения растениеводства: научные труды ВИМ. – Москва: ВИМ, 2000. – Т. 134. - Ч. 2. - С. 97-101.

54. Заводнов А.В. Допустимые амплитудно-частотные характеристики колебаний транспортных средств при перевозке картофеля / Заводнов А.В, Заводнов С.В. // Совершенствование технологий и машин в АПК. Сб. науч.тр. МГАУ. - М., 2001. - с. 64-66.

55. Заводнов А.В. Изыскание способов снижения повреждения клубней картофеля при транспортировке в контейнерах: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Заводнов А.В. - Москва, 2004. - 129 с.

56. Заводнов В.С. Исследование физико-механических свойств овощей и фруктов и условий их перевозки в сельском хозяйстве: дис. канд. техн. наук: 05.00.00 / В.С. Заводнов. - Москва, 1967. - 194 с.

57. Заводнов С.В. Исследования взаимодействия клубней картофеля с рабочими органами сельскохозяйственных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / С.В. Заводнов. - М., 2002. – 145 с.

58. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1952. – 218 с.

59. Зенков, А. В. Методы оптимальных решений: учебное пособие для вузов / А. В. Зенков. — Москва: Юрайт, 2021. — 201 с. - Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/473421>

60. Иванов А.С. Конструируем машины. Шаг за шагом. В 2-х частях // А.С. Иванов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – Ч.1. – 328 с.

61. Измайлов А.Ю. Применение системы вимлифт и сменных кузовов на перевозке картофеля и овощей / Измайлов А.Ю., Евтюшенков

Н.Е., Крюков М.Л. // Технология колесных и гусеничных машин. - 2013. - № 5 (9). - С. 33-38.

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

63. Интернет-портал «Агровестник» URL: <https://agrovesti.net> (дата обращения: 21.01.2022).

64. Исследование влияния ширины междурядья на урожайность при возделывании продовольственного картофеля / Старовойтов В.И., Коршунов А.В., Старовойтова О.А. и др. // Наука в центральной России. - 2021. - № 3 (51). - С. 40-47.

65. Исследование выгрузки картофеля с транспортных средств при уборке / Рябчиков Д.С., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю. и др. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2019. - № 3 (43). - С. 136-141.

66. Исследование движения тракторно-транспортного агрегата с устройством стабилизации / Бышов Н.В., Бoryчев С.Н., Успенский И.А., Юхин И.А. // Сельский механизатор. - 2016. - № 11. - С. 8-9.

67. Исследование крошения почвы при её предпосадочной подготовке к последующей комбайновой уборке картофеля / Гаджиев П.И., Шикалов М.С., Рамазанова Г.Г., Алексеев А.И. // Техника и оборудование для села. - 2019. № 4 (262). - С. 20-23.

68. Исследование условий функционирования машин для уборки картофеля / Гаджиев П.И., Славкин В.И., Махмутов М.М., Хисматуллина Ю.Р. // Глобальные вызовы для продовольственной безопасности: риски и возможности. Научные труды международной научно-практической конференции. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. - С. 105-110.

69. К вопросу модернизации транспортных средств для АПК / И.А. Юхин [и др.] // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сборник научных трудов международной конференции. – Саранск: ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва», 2014. – С. 181-187.

70. Кабаков Н.С. Новая машинная технология производства картофеля / Кабаков Н.С., Пономарев А.Г. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1999. - № 12. - С. 13-14.

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

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

73. Конкурентоспособные технологии семеноводства, производства и хранения картофеля / Старовойтова О.А., Жевора С.В., Старовойтов В.И. и др. – Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2018. – 236 с.

74. Костенко М.Ю. Анализ способов определения повреждения картофеля / Костенко М.Ю., Шапошников А.Н. // В сборнике: Сборник научных трудов аспирантов, соискателей и сотрудников Рязанской государственной сельскохозяйственной академии имени профессора П.А.Костычева. – Рязань: ФГОУ ВПО РГСХА, 2001. - С. 348-350.

75. Костенко М.Ю. Обоснование длины сепарирующего элеватора с комбинированными прутками / Костенко М.Ю., Соловкин О.Н. // В сборнике: Сборник научных трудов аспирантов, соискателей и сотрудников Рязанской государственной сельскохозяйственной академии имени профессора П.А. Костычева. – Рязань: ФГОУ ВПО РГСХА, 2001. - С. 350-352.

76. Костенко М.Ю. Сохранность картофеля / Костенко М.Ю., Успенский И.А., Колиденков В.М. // В сборнике: современные энерго- и

ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства. Сборник научных трудов. Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. – Рязань: ФГОУ ВПО РГСХА, 1998. - С. 86-87.

77. 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; 05.20.03 / Костенко М.Ю. - Рязань, 2010. - 464 с.

78. Кудрявцев, К. Я. Методы оптимизации: учебное пособие для вузов / К. Я. Кудрявцев, А. М. Прудников. — 2-е изд. — Москва: Юрайт, 2021. — 140 с. — Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/474784>

79. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теория упругости. – М.: Наука, 1987. – 246 с.

80. Лучкова И.В. Обоснование параметров катка картофелеуборочной машины: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Лучкова И.В. - Рязань, 2021. - 124 с.

81. Манохина А.А. Машины для уборки картофеля / Манохина А.А., Старовойтова О.А., Старовойтов В.И. // В сборнике: АВТОТРАНСПОРТНАЯ ТЕХНИКА XXI ВЕКА. сборник статей III Международной научно-практической конференции. – М.: Общество с ограниченной ответственностью "Мегаполис", 2018. - С. 180-187.

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

83. Машина для формирования, погрузки и транспортировки рулонов сена / Ряднов А.И., Шарипов Р.В., Алмазов И.В., Фандеев С.Ю. // Сельский механизатор. - 2020. - № 8. - С. 10-11.

84. Машинные технологии и техника для производства картофеля / Туболев С.С. и др.; под общ. ред. Н.Н. Колчина. – Москва: Агроспас, 2010. – 311 с.

85. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. // Агроинженерия. - 2022. - Т. 24. - № 1. - С. 12-16.

86. Механизация уборки и хранения клубнеплодов / Старовойтова О.А., Манохина А.А., Старовойтов В.И. и др. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2018. – 102 с.

87. Механизация уборки и хранения продукции растениеводства: учебное пособие / Башкирцев В.И., Гришко К.Р., Старовойтова О.А. и др. – Москва: Российская Инженерная Академия Менеджмента и Агробизнеса, 2018. - Часть 1. – 78 с.

88. Модель цифрового сельского хозяйства / Астахова Т.Н., Колбанев М.О., Романова А.А., Шамин А.А. // International Journal of Open Information Technologies. - 2019. - Т. 7. - № 12. С. 63-69.

89. Морозов Б.И. Поперечные колебания (виляния) автомобильных прицепов / Морозов Б.И., Пчелин И.К., Хачатуров А.А. // В сб.: Применение матмашин при конструировании и испытаниях автомобилей и двигателей. М.: НАМИ-НТО, 1960. - с. 67-68.

90. Обоснование выбора технологии уборки картофеля / Гаджиев П.И., Перегудов П.А. // В сборнике: Перспективы инновационного развития и прогресс в агротехнических и энергетических системах. Материалы межвузовской научно-практической конференции. – Балашиха: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный заочный университет, 2021. - С. 14-18.

91. Обоснование конструктивной схемы пруткового элеватора с



регулируемым углом наклона полотна машины для уборки корнеплодов и лука / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксёнов А.Г., Мосяков М.А. // Агроинженерия. - 2020. - № 4 (98). - С. 4-9.

92. Обоснование параметров комкоразрушающего битерного барабана машины для предпосадочной подготовки почвы к комбайновой уборке картофеля / Гаджиев П.И., Шикалов М.С., Рамазанова Г.Г., Алексеев А.И. // Техника и оборудование для села. - 2019. - № 8 (266). - С. 15-18.

93. Оптимизация грузовых автомобильных перевозок / Дидманидзе О.Н., Пуляев Н.Н., Егоров Р.Н. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Автограф", 2021. – 146 с.

94. Оптический полевой мониторинг в оригинальном картофелеводстве / Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Балабанов В.И., Манохина А.А. // Наука в центральной России. - 2019. - № 6 (42). - С. 91-99.

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

96. Основы разработки автоматизированных машин для возделывания, уборки и послеуборочной обработки овощных культур и картофеля с цифровыми системами управления / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. и др. // Инженерные технологии и системы. - 2022. - Т. 32. - № 1. - С. 145-173.

97. Остроградский М. В. Лекции по аналитической механике / М.В. Остроградский. - М.: Издательство Академии Наук СССР, 1946. – Т.1. - Ч.2. - 288 с.

98. Официальный сайт Единой информационной системы в сфере закупок: [сайт] – URL: <https://zakupki.gov.ru/> (дата обращения: 25.04.2022).

99. Охотников Б.Л. К обоснованию комплекса машин по перевозке урожая картофеля / Охотников Б.Л., Строганов Ю.Н., Обухов А.Л. // Известия Международной академии аграрного образования. - 2016. - № 30. -

С. 53-57.

100. Охотников Б.Л. Повышение производительности транспортных средств при уборке урожая картофеля и овощей / Охотников Б.Л., Строганов Ю.Н., Егоров В.Н. // Известия Международной академии аграрного образования. - 2020. - № 48. - С. 25-28.

101. Оценка перспективной технологической схемы картофелеуборочного комбайна / Успенский И.А., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Безносюк Р.В. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2018. - № 1 (49). - С. 262-269.

102. Павлов В.А. Повышение эффективности функционирования картофелеуборочных машин за счет совершенствования системы выносной сепарации: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Павлов В.А. - Рязань, 2014. - 169 с.

103. Параскевов А.В. Применение показателей транспортной загруженности в работе служб логистики агрохолдингов при организации перевозок сельскохозяйственной продукции / Параскевов А.В., Лойко В.И. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2020. - № 163. - С. 213-227. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2020/09/pdf/17.pdf>

104. Пат. 161488 Российская Федерация, МПК В60R 9/00; В60Р 1/00. Навесное перегрузочное устройство для самосвального кузова транспортного средства / Филюшин О.В. [и др.]. – заявка 2015145901/11 от 26.10.2015. - опубл. 20.04.2016.

105. Пат. 166384 Российская Федерация, МПК В65D 85/34. Контейнер для перевозки плодоовощной продукции: №2016115317/12; заявл. 19.04.2016; опубл. 20.11.2016 / Шафоростов В.А., Юхин И.А., Успенский И.А. [и др.]; патентообладатель ФГБОУ ВО РГАТУ. – 3 с.

106. Пат. 191227 Российская Федерация, МПК В65D 8/14; G01N33/22. Устройство для транспортировки корнеклубнеплодов: №2019116209; заявл.

27.05.2019; опубл. 30.07.2019 / Бoryчев С.Н., Рябчиков Д.С., Колошеин Д.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАТУ – 10 с.

107. Пат. 194128 Российская Федерация, МПК В60Р1/28. СамосвальнЫй кузов для перевозки легкоповреждаемой продукции: №2019100387; заявл. 09.01.2019; опубл. 28.11.2019 / Бышов Н.В., Бoryчев С.Н., Успенский И.А. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАТУ – 9 с.

108. Пат. 2464765 Российская Федерация. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины. / Рембалович Г.К., Волченков Д.А., Бышов Н.В. [и др.]. – заявка №2011105634/02 от 15.02.2011. - опубл. 27.10.2012.

109. Пат. 2479981 Российская Федерация, МПК А01D91/02, А01D17/00. Способ уборки картофеля и устройство для его осуществления: №2011131354/13; заявл. 26.07.2011; опубл. 27.04.2013 / Колчин Н.Н. Рембалович Г.К., Успенский И.А., Голиков А.А.; заявитель патентообладатель ЗАО «Колнаг». – 12 с.

110. Пат. 2584041 Российская Федерация, МПК В60Р 1/28. СамосвальнЫй кузов для перевозки легкоповреждаемой продукции: №2015107218/11; заявл. 02.03.2015; опубл. 20.05.2016 / Успенский И.А., Симдянкин А.А., Юхин И.А. [и др.]; патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАТУ. – 11 с.

111. Пат. 2592111 Российская Федерация, МПК А01D 17/10; А01D 33/08. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины: № 2015104275/13; заявл. 10.02.2015; опубл. 20.07.2016/ Голиков А.А., Успенский И.А., Бышов Н.В. [и др.]; патентообладатель ФГБОУ ВО РГАТУ. - 9 с.

112. Пат. 2636569 Российская Федерация, МПК В65D 85/34; В65D 81/05. Устройство для транспортировки легкоповреждаемой плодоовощной продукции: № 2016120142; заявл. 24.05.2016; опубл. 23.11.2017 / Юхин А.А., Голиков А.А., Симдянкин А.А. [и др.]; заявитель и патентообладатель

ФГБОУ ВО РГАТУ. – 6 с.

113. Пат. № 102171 Российская Федерация. Устройство для гашения энергии падающих клубней плодов картофеля / К.С. Беркасов, С.Н. Борычев, Н.В. Бышов [и др.]. – заявка 2010124021/21 от 2010.06.2011. - опубл. 20.02.2011.

114. Пат. № 105233 Российская Федерация. Самосвальный кузов транспортного средства для перевозки легкоповреждаемой сельскохозяйственной продукции / Г.К. Рембалович, Е.П. Булатов, Г.Д. Кокорев [и др.]. – заявка 2010119314/11 от 13.05.2010. - опубл. 10.06.2011.

115. Пат. № 129345 Российская Федерация, МПК А01D17/00. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины: №2012133070: заявл. 01.08.2012: опубл. 27.06.2013 / Рембалович Г.К., Голиков А.А., Бышов Д.Н. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО РГАТУ. – 3 с.

116. Пат. № 157146 Российская Федерация, МПК А01D 33/08. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины: №2015120963: - заявл. 02.06.2015: опубл. 20.11.2015 / Волченков Д.А., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю. [и др.]; заявитель ФГБОУ ВПО РГАТУ. – 3 с.

117. Пат. № 2362294 Российская Федерация. Способ уборки и послеуборочной обработки корнеклубнеплодов / Рембалович Г.К. и др.; заявка № 2007114219/12 от 16.04.2007; опубл. 27.07.2009.

118. Пат. № 2438289 Российская Федерация. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины / Рязанов Н.А., Успенский И.А., Рембалович Г.К. и др. - заявка: 2009125943/13, 06.07.2009. - опубл. 10.01.2012.

119. Пат. № 2446668 Российская Федерация. Способ механизированной уборки и послеуборочной обработки корнеклубнеплодов и система машин для его осуществления / Туболев С.С. и др.; заявка № 2010142453/02 от 19.10.2010; опубл. 10.04.2012.

120. Пат. № 2703413 РФ. Грузовая платформа транспортного средства

для перевозки рулонов сена / Ряднов А.И. - заявка № 2018143632 от 10.12.2018 выдан 16.10.2019. – 10 с.

121. Пат. № 2728961 РФ. Транспортное средство для погрузки, перевозки и разгрузки рулонов преимущественно из сеносоломистых материалов / Ряднов А.И., Федорова О.А., Шарипов Р.В., Фандеев С.Ю. - заявка № 2019133726 от 22.10.2019 выдан 03.08.2020. – 11 с.

122. Пат. № 2744651 РФ. Прицеп бортовой для транспортировки преимущественно сыпучих сельскохозяйственных грузов / Ряднов А.И., Федоров А.В. - заявка № 2020131143 от 22.09.2020 выдан 12.03.2021. – 15 с.

123. Пат. № 2747569 РФ. Транспортное средство для погрузки, перевозки и разгрузки рулонов сена / Ряднов А.И., Федорова О.А., Шарипов Р.В., Фандеев С.Ю. - заявка № 2020133868 от 14.10.2020 выдан 07.05.2021. – 11 с.

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

125. Перспективное устройство для снижения повреждений клубней при сепарации в картофелеуборочной машине / И.А. Успенский [и др.] // Научные приоритеты в АПК: инновационные достижения, проблемы, перспективы развития: материалы Международной научно-практической конференции. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2013. – С. 203-206.

126. Перспективные направления и технические средства для улучшения качества сепарации почвы при машинной уборке картофеля / Кондауров Д.А., Успенский И.А., Рембалович Г.К. и др. // В сборнике: актуальные вопросы применения инженерной науки. Материалы Международной студенческой научно-практической конференции. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2019. - С. 270-274.

127. Перспективные направления развития сепарирующих устройств картофелеуборочных машины для работы в неблагоприятных условиях

эксплуатации / Голиков А.А., Успенский И.А., Рембалович Г.К., [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2014. - № 6. – С. 7-9.

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

129. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины: 2-е изд., перераб. и доп. / Петров Г.Д. - М.: Машиностроение, 1984. - 320 с.

130. Пискачев И.А. Перевозка картофеля с использованием прицепной и съемной транспортной техники в сельском хозяйстве / Пискачев И.А. // В сборнике: проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта. Материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции. – Тула: Тульский государственный университет, 2017. - С. 126-129.

131. Повышение эксплуатационно-технологических показателей транспортной и специальной техники на уборке картофеля / Рембалович Г.К., Бышов Н.В., Борычев С.Н. и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2013. - № 88. - С. 509-518.

132. Повышение энергоэффективности машинно-тракторного агрегата (МТА) / Фомин С.Д., Аврамов В.И., Новиков А.Е., Воронцова Е.С. // В сборнике: МЕЛИОРАЦИЯ В РОССИИ: ПОТЕНЦИАЛ И СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ: международная научно-практическая интернет-конференция. – Волгоград: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия", 2016. - С. 180-188.

133. Повышение эффективности обработки почвы для комбайновой уборки картофеля / Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Манаенков К.А. // Наука в

центральной России. - 2020. - № 4 (46). - С. 33-40.

134. Повышение эффективности сепарации картофелеуборочных машин с применением дискового ворошителя / Байбобоев Н.Г., Акбаров Ш.Б., Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г. // Агроинженерия. - 2022. - Т. 24. - № 1. - С. 35-39.

135. Повышение эффективности функционирования картофелеуборочной техники путем модернизации сепарирующих рабочих органов / Н.В. Бышов [и др.] // Картофелеводство: история развития и результаты научных исследований по культуре картофеля: сборник научных трудов. – Москва: ФГБНУ ВНИИКХ, 2015. – С. 242-247.

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

137. Пономарев А.Г. Система машинных технологий и машин для картофелеводства / Колчин Н.Н., Пономарев А.Г. // В сборнике: Система технологий и машин для инновационного развития АПК России. Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2013. - С. 269-274.

138. Потребляемая мощность картофелеуборочных машин / Гаджиев П.И., Махмутов М.М., Хисматуллина Ю.Р., Махмутов М.М. // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. - 2021. - № 39 (44). - С. 12-15.

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

140. Применение и развитие машинных технологий производства картофеля / Колчин Н.Н., Зернов В.Н., Аксенов А.Г., и др. // В сборнике:

Картофелеводство. Материалы научно-практической конференции. Под редакцией С.В. Жеворы. – М.: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха", 2017. - С. 89-97.

141. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных машин / Бышов Н.В., Сорокин А.А., Успенский И.А. и др. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2005. – 284 с.

142. Приоритетные направления внедрения интеллектуальных систем на транспорте / Мартынушкин А.Б., Рембалович Г.К., Терентьев В.В. и др. // В сборнике: актуальные вопросы совершенствования технической эксплуатации мобильной техники. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры технической эксплуатации транспорта. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2020. - С. 77-81.

143. Проблемы и технические решения использования высокопроизводительной транспортной сельскохозяйственной техники / Попов А.С. и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2015. - № 114. - С. 949-974.

144. Прямов С.Б. Усовершенствование технологии выращивания, уборки, хранения и товарной подготовки картофеля в условиях крупнотоварного производства при орошении: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Прямов С.Б. - Москва, 2016. - 152 с.

145. Пшеченков К.А. Технология комбайновой уборки картофеля на суглинистых почвах в центральном регионе России / Пшеченков К.А., Мальцев С.В., Смирнов А.В. // Картофель и овощи. - 2018. - № 4. - С. 19-21.

146. Пшеченков К.А. Уборка картофеля / Пшеченков К.А., Мальцев С.В., Смирнов А.В. // Сельский механизатор. - 2018. - № 9. - С. 8-9.

147. Развитие машинных технологий производства картофеля в России / Пшеченков К.А., Старовойтов В.И., Верещагин Н.И., и др. //



Достижения науки и техники АПК. - 2007. № 7. - С. 28-31.

148. Развитие технологий и технических средств для уборки картофеля на тяжелых и каменистых почвах / Гаджиев П.И. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1998. - № 12. - С. 29.

149. Результаты лабораторных исследований просеваемости почвы пруткового элеватора с асимметричным расположением встряхивателей и регулируемым углом наклона полотна / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. // Инженерные технологии и системы. - 2021. - Т. 31. - № 3. - С. 380-402.

150. Рембалович Г.К. К вопросу обоснования геометрических параметров кузовов транспортных средств для транспортировки сельскохозяйственной продукции / Рембалович Г.К., Ляшин М.М., Маликов Е.М. // В сборнике: Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии. Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Николая Владимировича Бышова. – Рязань: ФГБОУ ВО РГТУ, 2021. - С. 445-450.

151. Рембалович, Г.К. Анализ динамики производства картофеля в Рязанской области / Рембалович Г.К., Успенский И.А., Голиков А.А. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2011. - № 3 (11). - С. 67-70.

152. Рембалович, Г.К. Повышение эффективности уборки картофеля на тяжелых суглинистых почвах совершенствованием сепарирующих органов комбайнов: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Г.К. Рембалович. - Рязань, 2014. - 517 с.

153. Русаков С.Г. Модели повреждения клубней картофелеуборочной машиной / Русаков С.Г., Костенко М.Ю. // В сборнике: Сборник научных трудов аспирантов, соискателей и сотрудников Рязанской государственной сельскохозяйственной академии имени профессора П.А. Костычева. – Рязань: ФГОУ ВПО РГСХА, 1998. - С. 177-178.

154. Рябчиков Д.С. Обоснование параметров устройства для транспортировки корнеклубнеплодов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Рябчиков Д.С. - Рязань, 2020. - 113 с.

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

156. Ряднов А.И. Метод выбора транспортных средств при уборке сельскохозяйственных культур / Ряднов А.И. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2020. - № 1 (57). - С. 349-356.

157. Ряднов А.И. Результаты исследований расхода топлива транспортными средствами на перевозках рулонов сена / Ряднов А.И., Алмазов И.В., Федоров А.В. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - 2020. - Т. 13. - № 4 (67). - С. 115-121.

158. Ряднов А.И. Факторы, влияющие на эффективность использования машин по формированию и транспортировке рулонов сена / Ряднов А.И., Фандеев С.Ю. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2020. - № 4 (60). - С. 460-468.

159. Рязанов Н.А. Усовершенствованный технологический процесс и интенсификатор основного элеватора картофелеуборочных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Рязанов Н.А. - Рязань, 2012. - 164 с.

160. Саврасова Н.Р. Результаты экспериментального определения модуля упругости и предела прочности мякоти клубня картофеля / Н.Р. Саврасова // Вестник ЧГАА. - 2012. – Т. 60 – С. 80-82

161. Саврасова Н.Р. Анализ контактного динамического взаимодействия клубня картофеля с поверхностью / Н.Р. Саврасова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. - т.

12. - №1(2). – С. 493-498.

162. Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ №2020614320 Российская Федерация. Программа для транспортировки и выгрузки корнеклубнеплодов / Рябчиков Д.С., Безносюк Р.В., Бышов Н.В. и др. - заявка 2019665200 от 25.11.2019. - опубл. 31.03.2020.

163. Семёнов П.Н. Способы транспортировки плодов и овощей / Семёнов П.Н. // В сборнике: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АПК В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ. Материалы 7-й Международной научно-практической конференции. – Владикавказ: орский государственный аграрный университет, 2017. - С. 168-171.

164. Сибирёв А.В. Анализ технического, технологического и цифрового обеспечения комплексов машин для производства овощных культур / Сибирёв А.В., Мосяков М.А. // В сборнике: Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2021. - С. 184-187.

165. Сибирёв А.В. Интеллектуальная технология уборки корнеплодов и лука / Сибирёв А.В. // В сборнике: Экономико-математические методы анализа деятельности предприятий АПК. сборник трудов III Международной научно-практической конференции. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2019. - С. 316-320.

166. Сибирев А.В. Методика и результаты проведения исследований ударных воздействий сепарирующего модуля корнеплодов и лука / Сибирев А.В., Мосяков М.А. // В сборнике: Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 160-летию В.А. Михельсона. – М.: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. - С. 292-297.

167. Сибирёв А.В. Методика определения частоты вращения приемного и сепарирующих валцов роликового сепаратора отделения луковиц и корнеплодов от почвенных примесей / Сибирёв А.В., Аксенов А.Г.

// Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. - 2019. - № 21. - С. 474-476.

168. Сибирёв А.В. Методика проведения исследований по обоснованию сепарирующего устройства машины для уборки корнеплодов и лука / Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. // В сборнике: Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России. Сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2019. - С. 156-158.

169. Сибирёв А.В. Обоснование конструктивных и технологических параметров сепарирующего пруткового транспортера с асимметричным расположением встряхивателей / Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". - 2018. - № 4 (86). - С. 15-20.

170. Сибирёв А.В. Сепарирующий прутковый транспортер с пружинными встряхивателями / Сибирёв А.В., Дорохов А.С., Аксенов А.Г. // Сельский механизатор. - 2019. - № 8. - С. 8-9.

171. Сибирёв А.В. Способы повышения сепарирующей способности щелевых устройств для очистки корнеплодов / Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. // В сборнике: Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях: материалы Международной научно-практической конференции. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. - С. 216-220.

172. Сибирёв А.В. Энергосберегающая технология уборки корнеплодов и картофеля / Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. // В сборнике: Аграрная наука - сельскому хозяйству. Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции. – Барнаул: Алтайский

государственный аграрный университет, 2021. - С. 34-37.

173. Смагин, Б. И. Экономико-математические методы: учебник для вузов / Б. И. Смагин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Юрайт, 2021. — 272 с. — Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/471903>

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

175. Совершенствование конструкции транспортных средств специального назначения / Черкашин Н.Г., Успенский И.А., Голиков А.А., Кулаков К.В. // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии: материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием. – Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2021. - С. 330-334.

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

177. Совершенствование транспортных и погрузочно-разгрузочных работ при перевозке сельскохозяйственных грузов / Шафоростов В.А. [и др.] // Актуальные вопросы материально-технического снабжения органов и учреждений уголовно-исполнительной системы: сборник материалов Всероссийского научно-практического круглого стола. – Рязань: Академия ФСИН России, 2017. - С. 282-290.

178. Современная техника для АПК и перспективы её модернизации / Верещагин Н.И., Колупаев С.В., Шафоростов В.А. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2016. - № 120. - С. 147-172.

179. Современные технологии и специальная техника для

картофелеводства / Измайлов А.Ю., Колчин Н.Н., Лобачевский Я.П., Кынев Н.Г. // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. - № 3. – 43-47.

180. Сорокин А.А. Конструктивные схемы картофелеуборочных комбайнов в аграрном секторе России / Сорокин А.А., Пономарёв А.Г. // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2013. -№ 6. - С. 22-25.

181. Сорокин А.А. Производство картофеля и овощей в фермерских хозяйствах / Сорокин А.А., Пономарев А.Г. // В сборнике: Ресурсосберегающие технологии и техническое обеспечение производства зерна. Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2010. - С. 134-138.

182. Состояние и перспективы картофелеводства в ЛПХ / Старовойтов В.И., Звягинцев П.С., Старовойтова О.А., Манохина А.А. // В сборнике: Конкурентоспособность и инновационная активность АПК регионов. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. – Тверь: Издательство Тверской ГСХА, 2018. - С. 211-214.

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

184. Становление технологии и механизации картофелеводства в России / Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А., Воронов Н.В. // Картофелеводство: Сборник научных трудов. РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству». – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству», 2018. - С. 308-312.

185. Старовойтов В.И. Инновационное развитие производства картофеля и топинамбура - вектор развития новых продуктов питания / Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А. // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сборник статей по материалам III научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 95-летию Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2017. - С. 606-614.

186. Старовойтов В.И. Научное обеспечение импортозамещения в картофелеводстве / Старовойтов В.И., Звягинцев П.С. // В сборнике: Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. Институт научной информации по общественным наукам Российской академии наук. – М.: Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2018. - С. 385-389.

187. Старовойтов В.И. Перспективы развития производства картофеля и топинамбура в регионах России / Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А. // Актуальные вопросы экономики и агробизнеса: VIII Международная научно-практическая конференция. В 4 частях. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2017. - С. 68-74.

188. Старовойтова О.А. Информационные технологии при возделывании картофеля и топинамбура / Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А. // Агроэкологические и организационно-экономические аспекты создания и эффективного функционирования экологически стабильных территорий: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2017. - С. 432-437.

189. Старовойтова О.А. Использование картофелекопателя с калибратором в органическом земледелии / Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А. // В сборнике: Логистика в АПК: тенденции и

перспективы развития. Сборник статей по материалам Всероссийской научной конференции. – Новосибирск: Издательский Центр Новосибирского государственного аграрного университета "Золотой колос", 2020. - С. 129-132.

190. Старовойтова О.А. Картофелекопатель для уборки раннего картофеля / Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А. // В сборнике: Инновационные технологии в АПК региона: достижения, проблемы, перспективы развития. Сборник научных трудов по материалам Национальной научно-практической конференции. – Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. - С. 306-309.

191. Старовойтова О.А. Картофелекопатель с калибратором в органическом земледелии / Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А. // Агроинженерия. - 2020. - № 2 (96). - С. 4-9.

192. Старовойтова О.А. Картофелекопатель с разделением клубней на фракции для уборки раннего картофеля / Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А. // Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса: сборник материалов Международной научно-практической конференции. - Соленое Займище: Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН. - 2021. - С. 1257-1260.

193. Старовойтова О.А. Машина для уборки раннего картофеля с разделением клубней на фракции / Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А. // Проблемы и перспективы инновационного развития АПК: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2020. - С. 63-66.

194. Старовойтова О.А. Механизированные технологии возделывания картофеля и топинамбура / Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А. // Картофелеводство. Материалы научно-практической конференции. Под редакцией С.В. Жеворы. – Москва: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха", 2017. - С. 203-209.



195. Старовойтова О.А. Транспортировка и послеуборочная доработка клубней картофеля / Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А. // В сборнике: Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. - С. 215-221.

196. СТО АИСТ 1.13-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для внесения удобрений, машины для послеуборочной обработки зерна, машины для уборки картофеля, овощных и бахчевых культур, плодов и ягод, льна, погрузочно-разгрузочные и транспортные средства. Показатели назначения и надежности. - Москва: ФГБНУ "РОСИНФОРМАГРОТЕХ", 2013. - 52 с.

197. СТО АИСТ 1.17–2010. Испытания сельскохозяйственной техники и агротехнологий. Методы сравнительной оценки с использованием многофакторного корреляционно-регрессионного анализа. - Новокубанск: КубНИИТиМ, 2011. – 18 с.

198. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации // Собрание законодательства Российской Федерации от 5 июля 2021 г. N 27 (часть II) ст. 5351

199. Стратегия развития интеллектуальных транспортных систем / Рембалович Г.К., Андреев К.П., Аникин Н.В. и др. // В сборнике: актуальные вопросы совершенствования технической эксплуатации мобильной техники. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры технической эксплуатации транспорта. – Рязань: ФГБОУ ВО РГТУ, 2020. С. 147-152.

200. Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года // Собрание законодательства Российской Федерации, N 20, 15.05.2017, ст.2902.

201. Таблицы физических величин. Справочник / под ред. И.К.

Кикоина. - М.: Атомиздат, 1976. - 1008 с.

202. Тарасов Р.В. Оценка значимости факторов методом априорного ранжирования / Тарасов Р.В., Макарова Л.В., Бахтулова К.М. // Современные научные исследования и инновации. - 2014. - № 4 (36). - С. 46.

203. Татарников О. В. Линейная алгебра и линейное программирование. Практикум : учебное пособие для вузов / Л. Г. Бирюкова, Р. В. Сагитов ; под общей редакцией О. В. Татарникова. — Москва: Юрайт, 2021. - 53 с. — Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/471976>

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

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

206. Теоретические исследования усовершенствованного пруткового конвейера картофелеуборочной машины / А.А. Голиков [и др.] // Наука и образование XXI века: материалы VII-й Международной научно-практической конференции. – Рязань: НОУ ВПО СТИ, 2013. – С. 167-176.

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

208. Технология уборки картофеля в сложных полевых условиях с

применением перспективных решений в конструкции и обслуживании комбайнов / Н.В. Бышов и др. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2015. – 304 с.

209. Торбеев З.С. Работы картофелепосадочных машин на повышенных скоростях. Труды Пермского сельскохозяйственного института. – 1939. - т. 7. вып. 5. - 231 с.

210. Транспортные и транспортно-технологические процессы / Дидманидзе О.Н., Асадов Д.Г., Карев А.М. и др. – Москва: ООО "УМЦ "Триада", 2016. – 163 с.

211. Уборка картофеля / Пшеченков К.А., Белов Г.Л., Мальцев С.В., Смирнов А.В. // Земледелие. - 2018. - № 5. - С. 23-26.

212. Угланов М.Б. Разработка комплекса машин для уборки картофеля на основе совершенствования рабочих органов и рационального их сочетания: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / М.Б. Угланов. – Л., 1991. - 44 с.

213. Улучшение качества обработки почвы для комбайновой уборки картофеля / Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Алексеев А.И. // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. - 2020. - № 5. - С. 46-55.

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

215. Урожайность и качество картофеля зависят от технологии / Мальцев С.В., Зейрук В.Н., Пшеченков К.А., Смирнов А.В. // Картофель и овощи. - 2019. - № 12. - С. 9-11.

216. Усовершенствованное устройство для сепарирования клубней картофеля / Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А. [и др.] // Сельский механизатор. – 2016. – №11. - С. 6 – 7.

217. Успенский И.А. Основы совершенствования технологического

процесса и снижения энергозатрат картофелеуборочных машин: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Успенский И.А. - Москва, 1997. - 396 с.

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

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

220. Федеральная служба государственной статистики «Росстат» – URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 21.01.2022).

221. Федеральный закон N 146-ФЗ от 31 июля 1998 г. «Налогового кодекса Российской Федерации: часть первая» // Собрание законодательства Российской Федерации от 3 августа 1998 г. N 31 ст. 3824.

222. Федеральный закон № 117-ФЗ от 5 августа 2000 г. «Налогового кодекса Российской Федерации: часть вторая» // Собрание законодательства Российской Федерации от 7 августа 2000 г. N 32 ст. 3340.

223. Физико-механические параметры почвы при выращивании картофеля на грядах / Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А., Духанина С.М. // Земледелие. - 2018. - № 5. - С. 16-20.

224. Фомин С.Д. Комплексные показатели эффективности усовершенствований сельскохозяйственной техники / Пындак В.И., Фомин С.Д., Дяшкин А.В. // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. - 2013. - № 2. - С. 81-83.

225. Фомин С.Д. Повышение эффективности применения транспортных агрегатов на основе стабилизации движения с упругодемпфирующими связями / Фомин С.Д. // Мировые научно-технологические тенденции социально-экономического развития АПК и сельских территорий: материалы Международной научно-практической

конференции. - Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2018. - С. 320-325.

226. Фомин С.Д. Повышение эффективности транспортно-технологических агрегатов / Фомин С.Д. // В сборнике: Интеграция науки и производства - стратегия устойчивого развития АПК России в ВТО. материалы международной научно-практической конференции. - Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2013. - С. 165-169.

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

228. Цифровизация сельского хозяйства в контексте повышения конкурентоспособности отечественного АПК / Айтпаева А.А. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. - 2019. - № 3. - С. 56-63.

229. Шмелев А.В. Колебания автомобиля и нагруженность его рамы при движении по неровной дороге / А.В. Шмелев // Механика машин, механизмов и материалов. - 2009. - № 1(6). - С. 25—30.

230. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости / Штаерман И.Я. - М.: Гостехиздат, 1949. – 120 с.

231. Юрченко И.Ф. Технологический инструментарий эффективного управления агропроизводством на мелиорируемых землях / Юрченко И.Ф. // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. - 2019. - № 7 (125). - С. 26.

232. Юхин И.А. Исследование вопроса организации беспростойного процесса уборки картофеля машинным способом / Юхин И.А., Успенский И.А., Голиков А.А. // Наука молодых - агропромышленному комплексу: материалы 71-й Международной научно-практической конференции. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2020. - С. 237-242.

233. Юхин И.А. Снижение повреждений картофеля и яблок на

внутрихозяйственных перевозках стабилизацией транспортных средств: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Юхин И.А. - Рязань, 2016. - 388 с.

234. Causes of fruit bruising on transport trucks / O'Brien M., Claypool L.L., et. – Hilgardia, 1963. - №6. - vol. 35. - p. 113-124.

235. Comparative study of the force action of harvester work tools on potato tubers / Siberev A., Aksenov A., Dorokhov A., Ponomarev A. // Research in Agricultural Engineering. - 2019. - Т. 65. - № 3. - С. 85-90.

236. Deng W. Collision simulation of potato on rod separator / W. Deng, C. Wang, S. Xie // International Journal of Food Engineering. – 2021. - 17 (6). - DOI:10.1515/ijfe-2020-0233

237. Energy and agrotechnical indicators in the testing of machine-tractor units with subsoiler / Fomin S.D., Pleskachev Y.N., Borisenko I.B. and other// ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - 2017. - Т. 12. № 24. - С. 7150-7160.

238. Improving the performance parameters of vehicles for intrafarm transport in the agro-industrial complex/ N.V. Byshov et al 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 341. - 012145.

239. Improving the performance parameters of vehicles for intrafarm transport in the agro-industrial complex/ N.V. Byshov et al 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 341 012145.

240. Increasing the Safety of Agricultural Products During Its Transportation and Unloading / Byshov N.V., Simdyankin A.A., Borychev S.N. et al 2018 ACM International Conference Proceeding Series. - pp. 176-179.

241. Intra-farm transportation of easily damaged agro food products for sustainable development of agricultures / S N Borychev et al 2022 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. - 965. - 012048.

242. O'Brian M. Bulk handling and transportation of fruits and vegetables / M. O'Brian // Proc. Internat. Hortic. Congress. Tell-Aviv, 1972. - pp.405-411.

243. Popov V.L. Contact Mechanics and Friction / Popov V.L. // Physical Principles and Applications, Springer-Verlag, 2010. - 362 p.

244. Rady A.M. Effect of Mechanical Treatments on Creep Behavior of Potato Tubers / A.M. Rady, S.N. Soliman, A. El-Wersh // Engineering in Agriculture, Environment and Food. – 2017. - Volume 10, Issue 4. – pp. 282-291

245. Rady A.M. Evaluation of Mechanical Damage of Lady Rosetta Potato Tubers Using Different Methods / A.M. Rady, S.N. Soliman // International Journal of Postharvest Technology and Innovation. - 2015. - Vol. 5. - No. 2. - pp. 125-148.

246. Some ways to reduce the dynamic loads of agricultural machine-tractor aggregates / Gapich D.S., Nekhoroshev D.A., Fomin S.D., Ryadnov A.I. and other // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - 2018. - T. 13. - C. 8776.

247. Theoretical studies of the damage process of easily damaged products in transport vehicle body during the on-farm transportation / Kostenko M.Y., Rembalovich G.K., Simdyankin A.A. and other // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - 2018. - T. 13. - № 10. - pp. 3502-3508.

248. Vibrating characteristics of fruits as related, to in transit injury / O'Brien M., I.P. Gentry, Gibsons R.C., ect. // Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers/ - 1965. - vol. 8(2). – pp. 241-243/

249. Xie S. Experimental study on collision acceleration and damage characteristics of potato / S. Xie, W. Deng, C. Wang, // Journal of Food Process Engineering. – 2020. - 43(24). - DOI:10.1111/jfpe.13457.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**



**ДОГОВОР № 6-2015**

на проведение научно-исследовательских работ

г.Рязань

«13» июля 2015 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ), именуемое в дальнейшем «Исполнитель», в лице ректора Бышова Николая Владимировича, действующего на основании Устава ФГБОУ ВО РГАТУ и открытое акционерное общество «Аграрий» (ОАО «Аграрий») именуемое в дальнейшем Заказчик, в лице генерального директора Гамзатова Махмуда Нажмудиновича, действующего на основании Устава ОАО «Аграрий» с другой стороны заключили настоящий договор о нижеследующем:

**1. Предмет договора и общие требования**

1.1. Заказчик поручает (принимает), а Исполнитель принимает на себя (передает): Разработка рекомендаций по повышению эффективности эксплуатации транспортных средств при перевозках технологических и строительных грузов навалом по дорогам в сельском хозяйстве (аграрном секторе)

Научные, технические, экономические и другие требования определены в техническом задании

(техническое задание или другой документ)

1.2. Содержание и сроки выполнения основных этапов определяются календарным планом, составляющим неотъемлемую часть настоящего договора.

**2. Стоимость работ и порядок расчетов**

2.1. За выполненную научно-техническую продукцию согласно настоящему договору Заказчик перечисляет Исполнителю в соответствии с протоколом соглашения о договорной цене:

Триста тысяч рублей

(сумма прописью)

НДС не облагается (ст.149 Налогового Кодекса РФ).

2.2. Оплата производится с авансовым платежом 30% от суммы договора, в течение 20 календарных дней с момента подписания договора.

2.3. Окончательный расчет производится в течение 10 календарных дней с момента подписания акта сдачи-приемки НИР.

**3. Порядок сдачи и приемки работ**

3.1. При завершении работ в целом или отдельных этапов работ Исполнитель представляет Заказчику акт сдачи-приемки научно-технической продукции.

3.2. Заказчик обязан в срок до 30 ноября 2015 г. утвердить и сообщить Исполнителю состав комиссии по проведению приемки выполненной работы.

3.3. Исполнитель обязан в срок до 15 декабря 2015 г. предоставить Заказчику акт сдачи-приемки работ и отчетные документы о выполнении порученной работы.

3.4. Заказчик в течение 10 дней со дня получения акта сдачи-приемки работ и отчетных документов, указанных в п. 3.1. настоящего договора обязан направить Исполнителю подписанный акт сдачи-приемки научно-технической продукции или мотивированный отказ от приемки работ.

#### 4. Ответственность сторон

4.1. За невыполнение или ненадлежащее выполнение обязательств по настоящему договору стороны несут ответственность в соответствии с действующим законодательством РФ.

#### 5. Срок действия договора

5.1. Настоящий договор вступает в силу со дня подписания его сторонами и действует до 31 декабря 2015 г.

5.2. Настоящий договор составлен в двух экземплярах, имеющих одинаковую юридическую силу.

#### 6. Адреса и реквизиты сторон

6.1. Заказчик: Открытое акционерное общество «Аграрий» (ОАО «Аграрий»)

Адрес: 391447, Рязанская область, Сасовский район, с. Чубарово, телефон 8-(49133)-2-44-62

ИНН/КПП 6218004188/621801001, р.счет 40702810858140000003 Рязанский РФ ОАО «Россельхозбанк» г. Рязань, БИК 046126793, ОКПО 44898568, ОГРН 1026201406131

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

Адрес: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, телефон 35-35-01

ИНН/КПП 6229000643/622901001, УФК по Рязанской области (ФГБОУ ВО РГАТУ л.с. 20596X28790, р.счет 40501810700002000002 в ГРКЦ ГУ Банка России по Рязанской области г.Рязань, БИК 046126001, ОКАТО 614 01 000 000, ОКПО 00493480, ОГРН 102 620 107 4998, КБК 000000000000000000130

К настоящему договору прилагаются: протокол соглашения о договорной цене, календарный план работ, техническое задание, смета затрат необходимых для реализации работы.

Заказчик

Генеральный директор  
ОАО «Аграрий»



М.Н. Гамзатов/

Исполнитель

Ректор ФГБОУ ВО РГАТУ



Н.В.Бышов/



## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

**по теме:** Разработка рекомендаций по повышению эффективности эксплуатации транспортных средств при перевозках технологических и строительных грузов навалом по дорогам в сельском хозяйстве (аграрном секторе)

### 1. Руководитель, исполнители (должность, фамилия, имя, отчество)

Научный руководитель: д.т.н., профессор, зав. кафедрой «ТЭТ» Успенский И.А.

Исполнитель: д.т.н., профессор зав. кафедрой «СИСИМ» Борычев С.Н., д.т.н., доцент, профессор кафедры «ТЭТ» Кокорев Г.Д., к.т.н., зав. кафедрой «ЭМТП» Бышов Д.Н., к.т.н., доцент кафедры «ТЭТ» Юхин И.А., к.т.н., ст. преподаватель кафедры «ТЭТ» Голиков А.А.

### 2. Актуальность

Роль транспорта в сельскохозяйственном производстве трудно переоценить. Он является связующим звеном в единой технологической цепи агропромышленного комплекса. Развитие сельскохозяйственного производства неизбежно влечет за собой увеличение объема перевозок и грузооборота. Поэтому вопросы повышения эффективности работы транспорта, снижение себестоимости перевозок и повышение производительности труда приобретают большое значение.

Современное состояние сельскохозяйственного транспорта характеризуется низким техническим уровнем, сильной изношенностью подвижного состава и погрузочных средств, неудовлетворительным состоянием производственной базы. Более 30% транспортных и погрузочных средств эксплуатируются за пределами нормативного срока службы, остальная часть приближается к этому состоянию. В целом же обеспеченность агропромышленного комплекса сельскохозяйственными транспортными средствами ниже нормы.

Снижение темпов пополнения и обновления парка транспортных и погрузочных средств за последние годы привело к значительному ухудшению их технического состояния, работоспособности и транспортного обслуживания производственных процессов в сельском хозяйстве.

Для улучшения транспортного обслуживания сельскохозяйственного производства необходимо совершенствовать технологии перевозок с применением транспортной логистики, пополнять и обновлять имеющийся транспортный парк, но в связи с низкой платежеспособностью сельскохозяйственных предприятий и высокими ценами на автотракторную технику проблема обеспечения сельского хозяйства транспортными средствами приобретает наиболее острый характер.

### 3. Цели и задачи

**Цель работы:** Повышение эффективности использования транспортных и технологических машин при перевозках технологических и строительных грузов навалом по дорогам сельскохозяйственного назначения за счет разработки рекомендаций по их эксплуатации

#### **Задачи работы:**

Провести анализ современного состояния транспортных средств для перевозки технологических грузов

Выявить перспективные пути эволюционного развития системы технической эксплуатации мобильного транспорта в сельском хозяйстве

Составить выводы и рекомендации производству по модернизации транспортных средств и повышению эффективности их эксплуатации.

4. Ожидаемые результаты

Повышение производительности перевозок на 10% - 14%, снижение эксплуатационных затрат на 9,4% - 10,5% по сравнению с серийными транспортными средствами, а так же снижение трудозатрат при подготовке автомобилей к использованию по назначению на 12 - 15%

---

От «Исполнителя»  
Ректор ФГБОУ ВО РГАУ

МП



Н.В.Бышов

от «Заказчика»  
Генеральный директор

ОАО «Аграрий»



М.Н. Гамзатов/

МП

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**

**по теме: Разработка рекомендаций по повышению эффективности эксплуатации транспортных средств при перевозках технологических и строительных грузов навалом по дорогам в сельском хозяйстве (аграрном секторе)**

| № п/п | Наименование работ по договору и этапов его выполнения                                                                                                         | Срок выполнения (начало – окончание) |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1     | 2                                                                                                                                                              | 3                                    |
| 1     | Анализ современного состояния транспортных средств для перевозки технологических грузов                                                                        | Июль 2015 г.<br>Август 2015 г.       |
| 2     | Разработка модернизированного транспортного средства для перевозки технологических грузов по дорогам сельскохозяйственного назначения                          | Август 2015 г.<br>Сентябрь 2015 г.   |
| 3     | Анализ состояния системы технической эксплуатации мобильного транспорта в сельском хозяйстве и перспективы её эволюционного развития                           | Сентябрь 2015 г.<br>Октябрь 2015 г.  |
| 4     | Теоретические исследования процесса технической эксплуатации мобильного транспорта при перевозках технологических грузов навалом в условиях сельской местности | Октябрь 2015<br>Ноябрь 2015          |
| 5     | Оформление научно-технического отчета о НИР                                                                                                                    | Декабрь 2015 г.                      |
|       |                                                                                                                                                                |                                      |
|       |                                                                                                                                                                |                                      |
|       |                                                                                                                                                                |                                      |

От «Исполнителя»

Ректор ФГБОУ ВО РГАТУ

  
 Н.В. Бышов  
 МП

от «Заказчика»

Генеральный директор

  
 М.Н. Гамзатов/  
 МП «АГРАРИЙ»



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2479981

**СПОСОБ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ  
ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

Патентообладатель(ли): *Закрытое акционерное общество "Колнаг" (RU)*

Автор(ы): *Колчин Николай Николаевич (RU), Рембалович Георгий Константинович (RU), Успенский Иван Алексеевич (RU), Голиков Алексей Анатольевич (RU)*

Заявка № 2011131354

Приоритет изобретения **26 июля 2011 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **27 апреля 2013 г.**

Срок действия патента истекает **26 июля 2031 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов







ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011131354/13, 26.07.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.07.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.07.2011

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2013 Бюл. № 4

(45) Опубликовано: 27.04.2013 Бюл. № 12

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2362294 C2, 27.07.2009. SU 1181578 A,  
30.09.1985. WO 0000012 A1, 06.01.2000. DE  
3810602 A1, 19.10.1989.

Адрес для переписки:

390048, г.Рязань, ул. Новоселов, 32, корп.2,  
кв.10, Г.К. Рембаловичу

(72) Автор(ы):

Колчин Николай Николаевич (RU),  
Рембалович Георгий Константинович (RU),  
Успенский Иван Алексеевич (RU),  
Голиков Алексей Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Закрытое акционерное общество "Колнаг"  
(RU)

## (54) СПОСОБ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к сельскохозяйственному производству и может быть использована при машинной уборке картофеля. Способ уборки картофеля включает подкоп клубненосного пласта, отделение примесей, накопление убранных клубней, транспортировку их с поля и послеуборочную обработку. Подачу картофеля в бункер-накопитель повышенной вместимости уборочного комбайна осуществляют рассредоточенным потоком клубней, равномерно накапливая картофель в бункере по всему объему. После его заполнения клубни картофеля транспортируют с поля в комбайне. После установки комбайна к пункту послеуборочной обработки и открытия выгрузного окна бункера осуществляют дозируемую подачу картофеля рассредоточенным потоком клубней из

комбайна в пункт послеуборочной обработки для доочистки, сортировки и затаривания. Устройство для осуществления способа - картофелеуборочный комбайн, включающий подкапывающий орган, сепарирующие элеваторы, разделительную горку, подъемный элеватор и бункер-накопитель повышенной вместимости. Комбайн содержит механизм подачи картофеля рассредоточенным потоком клубней в бункер. Бункер-накопитель содержит горизонтальный передвижной V-образный клубнеотражатель с возможностью регулируемого перемещения в горизонтальной плоскости. Под краями V-образного клубнеотражателя закреплены два каскада эластичных лотков. Обеспечивается снижение интенсивности процессов деградации почвенного покрова поля и повышение качества конечного продукта. 2 н. и 1 з.п. ф-лы, 3 ил.

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2584041

### САМОСВАЛЬНЫЙ КУЗОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕГКОПОВРЕЖДАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015107218

Приоритет изобретения 02 марта 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 18 апреля 2016 г.

Срок действия патента истекает 02 марта 2035 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев







ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015107218/11, 02.03.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.03.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.03.2015

(45) Опубликовано: 20.05.2016 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: UA 24050 A, 31.08.1998. RU 105233 U1,  
10.06.2011. SU 1689150 A1, 07.11.1991. US  
3094359 A1, 18.06.1963.

Адрес для переписки:

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 5, кв. 7,  
Успенский И.А.

(72) Автор(ы):

Успенский Иван Алексеевич (RU),  
Симдянкин Аркадий Анатольевич (RU),  
Юхин Иван Александрович (RU),  
Голиков Алексей Анатольевич (RU),  
Воронкин Николай Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

## (54) САМОСВАЛЬНЫЙ КУЗОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕГКОПОВРЕЖДАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к самосвальным транспортным средствам для легкоповреждаемой продукции. Кузов (1) транспортного средства содержит перегородки (3), неподвижно закрепленные на свободно вращающихся в отверстиях боковых бортов осях (4). С наружной стороны одного из бортов кузова (1) на осях (4) выполнены консоли, угол наклона которых к вертикальной оси и длина увеличиваются от

заднего борта к переднему. Консоли подвижно соединены со штоком гидроцилиндра, корпус которого неподвижно соединен с тем же боковым бортом кузова (1). На внутренние поверхности кузова (1) и поперечные перегородки (3) нанесены нежесткие противоскользящие покрытия 8. Изобретение сокращает повреждения перевозимой продукции и повышает равномерность ее выгрузки. 4 ил.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2592111

**СЕПАРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО  
КОРНЕКЛУБНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ**

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015104275

Приоритет изобретения 10 февраля 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 28 июня 2016 г.

Срок действия патента истекает 10 февраля 2035 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев







ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015104275/13, 10.02.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
10.02.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.02.2015

(45) Опубликовано: 20.07.2016 Бюл. № 20

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 129345 U1, 27.06.2013. RU 2464765  
C1, 27.10.2012. SU 605574 A1, 05.05.1978. US  
3451084 A, 24.06.1969.

Адрес для переписки:

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 5, кв. 7,  
Успенскому И.А.

(72) Автор(ы):

Голиков Алексей Анатольевич (RU),  
Успенский Иван Алексеевич (RU),  
Бышов Николай Владимирович (RU),  
Борычев Сергей Николаевич (RU),  
Рембалович Георгий Константинович (RU),  
Юхин Иван Александрович (RU),  
Лапин Дмитрий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

## (54) СЕПАРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КОРНЕКЛУБНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сельскохозяйственного машиностроения. Устройство содержит установленное на раме полотно просеивающего пруткового элеватора и упругие элементы ограничения контакта корнеклубнеплодов с рамой, которые расположены вдоль полотна элеватора, с его боков параллельно раме и симметрично относительно его центральной оси. Упругие элементы ограничения контакта корнеклубнеплодов закреплены на раме,

выполнены в виде обрезиненных роликов цилиндрической формы и снабжены продольными выступами вдоль всей их длины. Продольные выступы полые и имеют поперечный профиль в виде полукруга. Обеспечивается повышение эксплуатационной производительности сепарирующего устройства, предотвращение сгуживания компонентов клубнеосного вороха по краям сепарирующего пруткового элеватора, а также снижение повреждений клубней об упругие элементы. 3 ил.

RU 2 592 111 C 1

RU 2 592 111 C 1

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 129345

### СЕПАРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КОРНЕКЛУБНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012133070

Приоритет полезной модели 01 августа 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 июня 2013 г.

Срок действия патента истекает 01 августа 2022 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов




 ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

 (12) **ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012133070/13, 01.08.2012

 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 01.08.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.08.2012

(45) Опубликовано: 27.06.2013 Бюл. № 18

Адрес для переписки:

 390048, г.Рязань, ул. Новоселов, 32, корп.2,  
 кв.10, Рембаловичу Г.К.

(72) Автор(ы):

 Рембалович Георгий Константинович (RU),  
 Голиков Алексей Анатольевич (RU),  
 Бышов Дмитрий Николаевич (RU),  
 Успенский Иван Алексеевич (RU),  
 Бышов Николай Владимирович (RU),  
 Бoryчев Сергей Николаевич (RU),  
 Вирабян Гурген Георгиевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

 Федеральное государственное бюджетное  
 образовательное учреждение высшего  
 профессионального образования "Рязанский  
 государственный агротехнический  
 университет имени П.А. Костычева"  
 (ФГБОУ ВПО РГТУ) (RU)

 (54) **СЕПАРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КОРНЕКЛУБНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ**

(57) Формула полезной модели

Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины, содержащее установленное на раме полотно просеивающего пруткового элеватора и упругие элементы ограничения контакта корнеклубнеплодов с рамой, выполненные в виде эластичных прутков, которые расположены вдоль полотна элеватора с его боков параллельно раме и симметрично относительно его центральной оси, отличающееся тем, что упругие элементы ограничения контакта корнеклубнеплодов с рамой, выполненные в виде эластичных прутков, закреплены консольно к внешней стороне элеватора между его прутками и имеют сечение в форме равнобедренной трапеции, причем большее основание трапеции направлено в сторону центральной оси элеватора.

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 157146

### СЕПАРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КОРНЕКЛУБНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015120963

Приоритет полезной модели 02 июня 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 29 октября 2015 г.

Срок действия патента истекает 02 июня 2025 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Извлиев







ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015120963/13, 02.06.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.06.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.06.2015

(45) Опубликовано: 20.11.2015 Бюл. № 32

Адрес для переписки:

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, Голиков А.А.

(72) Автор(ы):

Волченков Дмитрий Александрович (RU),  
Рембалович Георгий Константинович (RU),  
Костенко Михаил Юрьевич (RU),  
Успенский Иван Алексеевич (RU),  
Бышов Николай Владимирович (RU),  
Борычев Сергей Николаевич (RU),  
Голиков Алексей Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) СЕПАРИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КОРНЕКЛУБНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

(57) Формула полезной модели

Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины, содержащее просеивающий элеватор и установленные над ним интенсификаторы сепарации с размещенными на них пальцами, отличающееся тем, что интенсификаторы сепарации выполнены в виде плоских обрезиненных дисков, вращающихся вокруг своих осей в плоскостях, расположенных под острыми углами к плоскости рабочей ветви просеивающего элеватора, а пальцы выполнены упругими и закреплены консольно на нижней стороне дисков.

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 161488

### НАВЕСНОЕ ПЕРЕГРУЗОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ САМОСВАЛЬНОГО КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

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

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015145901

Приоритет полезной модели 26 октября 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 04 апреля 2016 г.

Срок действия патента истекает 26 октября 2025 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Излиев







ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015145901/11, 26.10.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.10.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.10.2015

(45) Опубликовано: 20.04.2016 Бюл. № 11

Адрес для переписки:

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ ВО  
РГАТУ, Голиков А.А.

(72) Автор(ы):

Филюшин Олег Владимирович (RU),  
Полункин Андрей Алексеевич (RU),  
Голиков Алексей Анатольевич (RU),  
Успенский Иван Алексеевич (RU),  
Рембалович Георгий Константинович (RU),  
Юхин Иван Александрович (RU),  
Бышов Николай Владимирович (RU),  
Борычев Сергей Николаевич (RU),  
Кокорев Геннадий Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) НАВЕСНОЕ ПЕРЕГРУЗОЧНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ САМОСВАЛЬНОГО КУЗОВА  
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

(57) Формула полезной модели

Навесное перегрузочное устройство для самосвального кузова транспортного средства, содержащее транспортер с приводом, смонтированным рамой на подвеске в задней части кузова с возможностью поворота в вертикальной плоскости, подвеска транспортера включает раму транспортера, раму базовой машины и гидроцилиндр подъема, отличающееся тем, что транспортер выполнен роликовым, ролики снабжены выступами из упругого материала, размещенными продольными рядами по всем их рабочим поверхностям на равном расстоянии друг от друга и имеющими форму усеченного конуса, причем частота вращения каждого последующего ролика выше частоты вращения предыдущего, а по краям роликового транспортера на раме закреплены упругие боковины.



# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 194128

### САМОСВАЛЬНЫЙ КУЗОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕГКОПОВРЕЖДАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

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

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2019100387

Приоритет полезной модели 09 января 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных  
моделей Российской Федерации 28 ноября 2019 г.

Срок действия исключительного права  
на полезную модель истекает 09 января 2029 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев







ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
B60P 1/28 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019100387, 09.01.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.01.2019

Дата регистрации:  
28.11.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.01.2019

(45) Опубликовано: 28.11.2019 Бюл. № 34

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

(72) Автор(ы):

Бышов Николай Владимирович (RU),  
Борычев Сергей Николаевич (RU),  
Успенский Иван Алексеевич (RU),  
Рембалович Георгий Константинович (RU),  
Костенко Михаил Юрьевич (RU),  
Рябчиков Дмитрий Сергеевич (RU),  
Юхин Иван Александрович (RU),  
Безносюк Роман Владимирович (RU),  
Голиков Алексей Анатольевич (RU),  
Горин Евгений Владимирович (RU),  
Зацепин Александр Николаевич (RU),  
Морозова Екатерина Алексеевна (RU),  
Кондауров Денис Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 105233 U1, 10.06.2011. US 3111346  
A1, 19.11.1963. RU 2584041 C1, 20.05.2016.

## (54) САМОСВАЛЬНЫЙ КУЗОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕГКОПОВРЕЖДАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

(57) Реферат:

Устройство относится к транспортным средствам с самосвальными кузовами и может быть использовано для перевозки легкоповреждаемых сельскохозяйственных грузов. Кузов (1) транспортного средства содержит поперечные перегородки (3), равномерно по его длине неподвижно закрепленные на осях (4), вращаются в отверстиях боковых бортов. С наружной стороны одного из бортов кузова на осях выполнены консоли, угол наклона которых к вертикальной оси и длина увеличиваются от заднего борта к переднему.

Консоли подвижно соединены со штоком гидроцилиндра, корпус которого неподвижно соединен с тем же боковым бортом кузова. На внутренние поверхности кузова (1) и поперечные перегородки (3) нанесены нежесткие противоскользящие покрытия. Высота центральной поперечной перегородки (3) равна высоте бортов кузова, а крайние поперечные перегородки (3) имеют меньшую высоту. Полезная модель повышает равномерность заполнения самосвального кузова транспортного средства легкоповреждаемой продукцией. 4 ил.



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО РГАТУ

Л.Н. Лазуткина

«30» ноября 2015 г.

АКТ

**о внедрении законченной научно-исследовательской,  
опытно-конструкторской и технологической работы**

Мы, нижеподписавшиеся, представитель федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) в лице руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы

научного руководителя научно-образовательного центра

«Лаборатория инжиниринга в механике и энергетике»

д.т.н., доцента Рембаловича Георгия Константиновича

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 технологических процессов, разработка и повышение надежности технических средств возделывания, уборки, транспортировки и хранения сельскохозяйственных культур в условиях ЦФО».

выполненной на: кафедрах технологии металлов и ремонта машин, технической эксплуатации транспорта, эксплуатации машинно-тракторного парка, строительства инженерных сооружений и механики ФГБОУ ВО РГАТУ в 2011...2015 годах внедрены на ОАО «Аграрий»

(предприятие, организация)

Касимовского района Рязанской области

путем сравнительных полевых испытаний серийного и экспериментального

(указать, каким образом внедрена работа)

картофелеуборочных комбайнов DR-1500, последний оснащен усовершенствованным сепарирующим устройством корнеклубне-уборочной машины, оборудованным интенсификатором в виде вращающихся дисков с консольно закрепленными на их нижней стороне упругими пальцами (патент РФ на полезную модель №157146). Общая площадь картофеля, убранная экспериментальной техникой за сезоны 2014-15 гг., составила 112 га.



Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект:

1. Эксплуатационно-технологические и агротехнические показатели работы серийного комбайна DR-1500, полученные при испытаниях:

- средняя производительность машины – 0,41га/ч;
- коэффициент использования сменного времени – 0,68;
- количество клубней, собранных в тару – 97,3%;
- полнота отделения клубней от примесей – 79,5%;
- повреждения клубней – 6,42%.

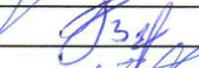
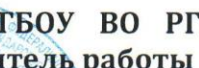
2. Эксплуатационно-технологические и агротехнические показатели работы усовершенствованного комбайна DR-1500, полученные при испытаниях:

- средняя производительность машины – 0,43 га/ч;
- коэффициент использования сменного времени – 0,70;
- количество клубней, собранных в тару – 98,0%;
- полнота отделения клубней от примесей – 95,2%;
- повреждения клубней – 4,73%.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению:

1. Признать усовершенствование картофелеуборочного комбайна DR-1500 целесообразным и экономически обоснованным.
2. Обеспечить оснащение всего парка картофелеуборочных машин предприятия предлагаемым рабочим органом.
3. Продолжить исследования и усовершенствование рабочих органов для работы в различных эксплуатационных условиях.

Исполнители:

|                   |                                                                                     |                |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| профессор         |  | М.Ю. Костенко  |
| доцент            |  | Д.Н. Бышов     |
| ст. преподаватель |  | Р.В. Безносюк  |
| ст. преподаватель |  | А.А. Голиков   |
| аспирант          |  | Д.А. Волченков |

Представитель ФГБОУ ВО РГАТУ,  
научный руководитель работы

Г.К. Рембалович

(подпись)

М.П. «19» 10 2015 г.

Генеральный директор  
ОАО «Аграрий»

Касимовского района  
Рязанской области С.А. Минин

(подпись)

М.П. «19» 10 2015 г.





«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО РГАТУ

Л.Н. Лазуткина

«30» ноября 2015 г.

## АКТ

### о внедрении законченной научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы

Мы, нижеподписавшиеся, представитель федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) в лице руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы

научного руководителя научно-образовательного центра

«Лаборатория инжиниринга в механике и энергетике»

д.т.н., доцента Рембаловича Георгия Константиновича

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 технологических процессов, разработка и повышение надежности технических средств возделывания, уборки, транспортировки и хранения сельскохозяйственных культур в условиях ЦФО».

выполненной на: кафедрах технологии металлов и ремонта машин, технической эксплуатации транспорта, эксплуатации машинно-тракторного парка, строительства инженерных сооружений и механики  
ФГБОУ ВО РГАТУ в 2014...2015 годах внедрены на ОАО «Аграрий»  
(предприятие, организация)

Касимовского района Рязанской области

путем сравнительных полевых испытаний серийного и экспериментального  
(указать, каким образом внедрена работа)

картофелеуборочных комбайнов DR-1500, последний оснащен усовершенствованным сепарирующим устройством корнеклубне-уборочной машины, оборудованным упругими элементами ограничения контакта, закрепленными на раме и выполненными в виде обрезиненных роликов цилиндрической формы с продольными выступами вдоль всей их длины, причем продольные выступы полые и имеют поперечный профиль в виде полукруга (заявка на изобретение РФ №№2015104275 от 10.02.2015). Общая площадь картофеля, убранная экспериментальной техникой за сезон 2015 гг., составила более 60 га.



Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект:

1. Эксплуатационно-технологические и агротехнические показатели работы серийного комбайна DR-1500, полученные при испытаниях:

- средняя производительность машины – 0,41га/ч;

- коэффициент использования сменного времени – 0,68;

- количество клубней, собранных в тару – 97,3%;

- полнота отделения клубней от примесей – 79,5%;

- повреждения клубней – 6,42%.

2. Эксплуатационно-технологические и агротехнические показатели работы усовершенствованного комбайна DR-1500, полученные при испытаниях:

- средняя производительность машины – 0,44 га/ч;

- коэффициент использования сменного времени – 0,68;

- количество клубней, собранных в тару – 97,8%;

- полнота отделения клубней от примесей – 84,1%;

- повреждения клубней – 3,94%.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению:

1. Признать усовершенствование картофелеуборочного комбайна DR-1500 целесообразным и экономически обоснованным.
2. Обеспечить оснащение всего парка картофелеуборочных машин предприятия предлагаемым рабочим органом.
3. Продолжить исследования и усовершенствование рабочих органов для работы в различных эксплуатационных условиях.

Исполнители:

профессор \_\_\_\_\_ М.Ю. Костенко

доцент \_\_\_\_\_ Д.Н. Бышов

ст. преподаватель \_\_\_\_\_ Р.В. Безносюк

ст. преподаватель \_\_\_\_\_ А.А. Голиков

аспирант \_\_\_\_\_ Д.А. Лапин

Представитель ФГБОУ ВО РГТУ,  
научный руководитель работы

Г.К. Рембалович

(подпись)

М.П. «10» 2015 г.



Генеральный директор  
ОАО «Аграрий»

Касимовского района

Рязанской области С.А. Минин

(подпись)

М.П. «10» 2015 г.





«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. проректора по научной работе

Л.Н. Лазуткина

« 28 сентября » 20 21 г.

## АКТ

### о внедрении законченной научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы

Мы, нижеподписавшиеся, представитель федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» в лице научного консультанта научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы

д.т.н., доцента Юхина Ивана Александровича

и представитель ООО «Рассвет» Клепиковского района Рязанской области

(наименование организации, предприятия)

в лице генерального директора Ростилова Александра Михайловича составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы на тему: «Совершенствование уборочно-транспортных работ машинного производства картофеля», выполненной кафедрой (лабораторией): «Техническая эксплуатация транспорта» ФГБОУ ВО РГАТУ в 2021 году внедрены в

ООО «Рассвет»

(предприятие, организация)

Клепиковского района Рязанской области

путем сравнительных полевых испытаний комплекса технических средств, включающего картофелеуборочный комбайн AVR Lynx и 2 самосвальных тракторных прицепа 2ПТС-5, агрегатируемых с тракторами МТЗ-82.1. без использования и с применением адаптивной модели организации машинной уборки картофеля;

(указать, каким образом внедрена работа)

Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект:

Снижение величины повреждений клубней картофеля сорта «Латона» (при организации машинной уборки картофеля) при использовании адаптивной модели по сравнению с принятой в хозяйстве технологией уборки картофеля составило 19,21 %. При этом средняя величина повреждений составляла:

- при организации машинной уборки картофеля с принятой в хозяйстве



технологией – 13,03 %;

- при организации машинной уборки картофеля с применением адаптивной модели – 10,93 %.

Технико-экономический эффект от применения адаптивной модели при организации машинной уборки картофеля за 2021 год составил 41713,056 рублей при средней площади картофельного поля в 16 га и средней урожайности сорта картофеля «Латона» 22 т/га.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению:

1. Совместно с кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта» ФГБОУ ВО РГАТУ продолжить исследование в направлении совершенствования машинного производства картофеля в сельскохозяйственных организациях различных форм с целью снижения повреждений продукции и оптимизации производительности уборочно-транспортной техники.

2. Признать применение адаптивной модели при организации машинной уборки картофеля в хозяйстве, целесообразным.

В научно-исследовательской работе принимали участие:

д.т.н., профессор \_\_\_\_\_ И.А. Успенский  
к.т.н. \_\_\_\_\_ А.А. Голиков



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

д.т.н., доцент \_\_\_\_\_ И.А. Юхин

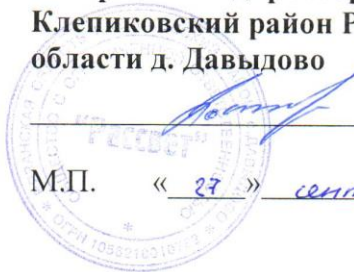
М.П. \_\_\_\_\_ 27 » сентября 20 21 г.



**Генеральный директор ООО «Рассвет»  
Клепиковский район Рязанской  
области д. Давыдово**

\_\_\_\_\_ А.М. Ростиллов

М.П. \_\_\_\_\_ « 27 » сентября 20 21 г.





«УТВЕРЖДАЮ»  
И.о. проректора по научной работе

Л.Н. Лазуткина

«06» февраля 2021 г.

## АКТ

### о внедрении законченной научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы

Мы, нижеподписавшиеся, представитель федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» в лице научного руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы

к.т.н. Голикова Алексея Анатольевича

и представитель ООО «Рассвет» Клепиковского района Рязанской области

(наименование организации, предприятия)

в лице генерального директора Ростилова Александра Михайловича составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы на тему: «Повышение эффективности внутрихозяйственных перевозок усовершенствованным самосвальным кузовом тракторного прицепа», выполненной кафедрой (лабораторией): «Техническая эксплуатация транспорта» ФГБОУ ВО РГАТУ в 2021 году внедрены в ООО «Рассвет»

(предприятие, организация)

Клепиковского района Рязанской области

путем сравнительных полевых испытаний серийного тракторного прицепа 2ПТС-4 и тракторного прицепа 2ПТС-4 с установленным на нем навесным перегрузочным устройством для самосвального кузова (патент на полезную модель №161488 опубл. 20.04.2016 Бюл. №11)

(указать, каким образом внедрена работа)

Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект:

1. Снижение величины повреждений клубней картофеля сорта «Латона» (при перевозке и разгрузке) по сравнению с серийным тракторным прицепом 2ПТС-4 составило 38,46 %. При этом средняя величина повреждений составляла:

- для серийного тракторного прицепа - 9,0%;

- для тракторного прицепа с разработанным навесным перегрузочным



2. Исключение негативного явления сводообразования на разгрузке при использовании на тракторном прицепе 2ПТС-4 разработанной конструкции навесного перегрузочного устройства для самосвального кузова.

3. Технико-экономический эффект от использования на самосвальном тракторном прицепе 2ПТС-4 разработанной конструкции навесного перегрузочного устройства за 2021 год составил 100663,92 рублей при средне годовом объеме ВП картофеля навалом 504 тонн при средней урожайности сорта картофеля «Латона» 21,1 т/га.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению:

1. Совместно с кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта» ФГБОУ ВО РГАТУ продолжить исследование в направлении модернизации ТС для небольших хозяйств, для которых картофелеводство не является единственным видом хозяйственной деятельности с целью снижения повреждений продукции и повышения производительности

2. Признать конструкцию навесного перегрузочного устройства, позволяющего повысить сохранность легкоповреждаемой сельскохозяйственной продукции в процессе выгрузки ее из самосвального транспортного средства, работоспособной.

В научно-исследовательской работе принимали участие:

д.т.н., профессор \_\_\_\_\_ И.А. Успенский

д.т.н., доцент \_\_\_\_\_ И.А. Юхин

соискатель \_\_\_\_\_ О.В. Филюшин

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

к.т.н. \_\_\_\_\_ А.А. Голиков

М.П. \_\_\_\_\_ 2021 г.



**Генеральный директор ООО «Рассвет»  
Клепиковский район Рязанской  
области д. Давыдово**

\_\_\_\_\_ А.М. Ростилев

М.П. \_\_\_\_\_ 2021 г.





«УТВЕРЖДАЮ»  
И.о. проректора по научной работе

Л.Н. Лазуткина

«12» октября 2021 г.

## АКТ

### о внедрении законченной научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы

Мы, нижеподписавшиеся, представитель федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» в лице научного консультанта научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы

д.т.н., доцента Юхина Ивана Александровича

и представитель КФХ Пеньшин С.А. Михайловского района Рязанской области

(наименование организации, предприятия)

в лице главы крестьянского (фермерского) хозяйства Пеньшина Сергея Александровича составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы на тему: «Совершенствование уборочно-транспортных работ машинного производства картофеля», выполненной кафедрой (лабораторией): «Техническая эксплуатация транспорта» ФГБОУ ВО РГАТУ в 2021 году внедрены в КФХ Пеньшин С.А.

(предприятие, организация)

Михайловского района Рязанской области

путем сравнительных полевых испытаний комплекса технических средств, включающего картофелеуборочный комбайн Grimme GT 170 и 2 самосвальных тракторных прицепа 2ПТС-4,5, агрегатируемых с тракторами МТЗ-82.1. без использования и с применением адаптивной модели организации машинной уборки картофеля;

(указать, каким образом внедрена работа)

Внедрение результатов исследований дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект:

Снижение величины повреждений клубней картофеля сорта «Невский» (при организации машинной уборки картофеля) при использовании адаптивной модели по сравнению с принятой в хозяйстве технологией уборки картофеля составило 16,54 %. При этом средняя величина повреждений составляла:

- при организации машинной уборки картофеля с принятой в хозяйстве



технологией – 12,4 %;

- при организации машинной уборки картофеля с применением адаптивной модели – 10,64 %.

Технико-экономический эффект от применения адаптивной модели при организации машинной уборки картофеля за 2021 год составил 37887,25 рублей при средней площади картофельного поля в 16 га и средней урожайности сорта картофеля «Невский» 23,9 т/га.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению:

1. Совместно с кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта» ФГБОУ ВО РГАТУ продолжить исследование в направлении совершенствования машинного производства картофеля в сельскохозяйственных организациях различных форм с целью снижения повреждений продукции и оптимизации производительности уборочно-транспортной техники.

2. Признать применение адаптивной модели при организации машинной уборки картофеля в хозяйстве, целесообразным.

В научно-исследовательской работе принимали участие:

д.т.н., профессор



И.А. Успенский

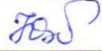
к.т.н.



А.А. Голиков

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

д.т.н., доцент



И.А. Юхин

М.П.

« 12 »

сентября

2021 г.

**Глава КФХ Пеньшин С.А.**

**Михайловский район Рязанской области**

д.т.н., доцент



С.А. Пеньшин

М.П.

« 12 »

сентября

2021 г.



ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА № 1

от 13 сентября 2021 года

заседания Методического совета ФГБОУ ВО РГАТУ

|                                                  |                                                                      |                                |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Председатель<br>Методического совета             | - и.о. первого проректора                                            | Борычев Сергей<br>Николаевич   |
| Заместитель председателя<br>Методического совета | - начальник Методического<br>отдела                                  | Якунин Юрий<br>Викторович      |
| Секретарь<br>Методического совета                | - преподаватель кафедры<br>бухгалтерского учета,<br>анализа и аудита | Стишкова Елена<br>Владимировна |

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

|                                                                                                                                                                                                                         |                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| декан факультета экономики и менеджмента, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.03.02 Менеджмент (Производственный менеджмент, Экономика и управление на предприятиях отрасли)         | Бакулина Галина<br>Николаевна    |
| декан инженерного факультета, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии)                   | Бачурин Алексей<br>Николаевич    |
| декан факультета ветеринарной медицины<br>и биотехнологии, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.04.02 Зоотехния (Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства) | Быстрова Ирина<br>Юрьевна        |
| зам. декана технологического факультета                                                                                                                                                                                 | Вавилова Наталья<br>Владимировна |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.03.01 Экономика (Бухгалтерский учет, анализ и аудит)                                                                                             | Ваулина Ольга<br>Анатольевна     |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.10 Гидромелиорация (Строительство и эксплуатация гидромелиоративных систем)                                                                   | Гаврилина Ольга<br>Петровна      |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (Автомобильный сервис)                                                         | Голиков Алексей<br>Анатольевич   |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.04.01 Технология транспортных процессов (Организация перевозок на автомобильном транспорте)                                                      | Горячкина Ирина<br>Николаевна    |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия (Агрономия)                                                                                                                      | Евсенина Марина<br>Владимировна  |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение (Инновационные экологически безопасные агротехнологии)                                                        | Ерофеева Татьяна<br>Валериевна   |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 06.06.01 Биологические науки (Физиология)                                                                                                           | Каширина Лидия<br>Григорьевна    |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| директор научной библиотеки                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Коваленко<br>Татьяна<br>Александровна |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (Автомобильные дороги)                                                                                                                                                                                               | Колошеин<br>Дмитрий<br>Владимирович   |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.06.01 Ветеринария и зоотехния (Ветеринарная санитария, экология, зоогигиена и ветеринарно-санитарная экспертиза, Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства)                                                    | Кондакова Ирина<br>Анатольевна        |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве (Технологии и средства механизации сельского хозяйства, Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве) | Костенко Михаил<br>Юрьевич            |
| председатель учебно-методической комиссии по специальности 36.05.01 Ветеринария (Ветеринария)                                                                                                                                                                                                                   | Кулаков Виталий<br>Владиславович      |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.04 Агрономия (Адаптивное земледелие)                                                                                                                                                                                                  | Лупова Екатерина<br>Ивановна          |
| председатель учебно-методической комиссии по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (Автомобили и тракторы)                                                                                                                                                                       | Максименко<br>Ольга Олеговна          |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (Электроснабжение, Электрические станции и подстанции)                                                                                                                                          | Морозов<br>Александр<br>Сергеевич     |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции (Технология производства, хранения и переработки продукции животноводства)                                                                                    | Морозова Нина<br>Ивановна             |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.05 Садоводство (Декоративное садоводство, газоноведение и флористика)                                                                                                                                                                 | Назарова Анна<br>Анатольевна          |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение (Агроэкология)                                                                                                                                                                                        | Однодушнова<br>Юлия Викторовна        |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия (Технические системы в агробизнесе, Электрооборудование и электротехнологии)                                                                                                                                         | Олейник Дмитрий<br>Олегович           |
| начальник отдела по работе с инвалидами и лицами с ограниченными возможностями по здоровью                                                                                                                                                                                                                      | Пашканг Наталья<br>Николаевна         |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.04.01 Экономика (Бухгалтерский учет, анализ и аудит)                                                                                                                                                                                     | Поликарпова<br>Елена Петровна         |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.03.02 Зоотехния (Зоотехния)                                                                                                                                                                                                              | Правдина Елена<br>Николаевна          |
| декан автодорожного факультета                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Рембалович<br>Георгий                 |

|                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.03.07 Товароведение (Товароведение и экспертиза в сфере производства и обращения сельскохозяйственного сырья и продовольственных товаров)                         | Константинович<br>Савина Ольга<br>Васильевна |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 36.03.01 Ветеринарно-санитарная экспертиза (Ветеринарно-санитарная экспертиза)                                                                                       | Сайтханов<br>Эльман Олегович                 |
| начальник отдела аспирантуры и докторантуры                                                                                                                                                                                              | Стародубова<br>Татьяна<br>Анатольевна        |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов (Организация перевозок на автомобильном транспорте)                                                                       | Тетерина Ольга<br>Анатольевна                |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (Городское строительство и хозяйство)                                                                                                         | Ткач Татьяна<br>Сергеевна                    |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.06.01 Сельское хозяйство, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.01 Лесное дело (Общее земледелие, растениеводство, Агрохимия) | Фадькин<br>Геннадий<br>Николаевич            |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 35.03.01 Лесное дело (Лесное и лесопарковое хозяйство)                                                                                                               |                                              |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 06.03.01 Биология (Биоэкология)                                                                                                                                      | Федосова Ольга<br>Александровна              |
| декан технологического факультета, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 19.03.04 Технология продукции и организации общественного питания (Технология организации ресторанного дела)                      | Черкасов Олег<br>Викторович                  |
| проректор по развитию и качеству образовательного процесса, председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 38.04.02 Менеджмент (Управленческая деятельность в АПК)                                                  | Шашкова Ирина<br>Геннадьевна                 |
| председатель учебно-методической комиссии по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (Техническая эксплуатация транспорта и автосервис)                                              | Юхин Иван<br>Александрович                   |

#### ПОВЕСТКА СОВЕТА:

3. Разное (рассмотрение учебно-методических пособий, разработанных кафедрами, на предмет рекомендации в печать и использования в учебном процессе).

#### СЛУШАЛИ:

О рассмотрении коллективной монографии «Повышение эффективности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники при выполнении энергоемких процессов (на примере картофеля)» для аспирантов, магистрантов и бакалавров, обучающихся по направлениям подготовки 35.06.04 «Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве»,



35.04.06 Агроинженерия направленность (профиль) «Технические системы в агробизнесе» и 35.03.06 Агроинженерия направленность (профиль) «Технические системы в агробизнесе» на предмет рекомендации использования в учебном процессе и научно-исследовательской деятельности.

Коллективная монография подготовлена кандидатом технических наук, доцентом кафедры техническая эксплуатация транспорта Голиковым Алексеем Анатольевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой строительства инженерных сооружений и механики Борычевым Сергеем Николаевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой техническая эксплуатация транспорта Успенским Иваном Алексеевичем, доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры техническая эксплуатация транспорта Юхиным Иваном Александровичем и др.

#### ПОСТАНОВИЛИ:

Рекомендовать к использованию в учебном процессе коллективную монографию «Повышение эффективности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники при выполнении энергоемких процессов (на примере картофеля)», предназначенную для аспирантов, магистрантов и бакалавров, обучающихся по направлениям подготовки 35.06.04 «Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве», 35.04.06 Агроинженерия направленность (профиль) «Технические системы в агробизнесе» и 35.03.06 Агроинженерия направленность (профиль) «Технические системы в агробизнесе», подготовленную кандидатом технических наук, доцентом кафедры техническая эксплуатация транспорта Голиковым Алексеем Анатольевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой строительства инженерных сооружений и механики Борычевым Сергеем Николаевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой техническая эксплуатация транспорта Успенским Иваном Алексеевичем, доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры техническая эксплуатация транспорта Юхиным Иваном Александровичем и др.

#### ГОЛОСОВАНИЕ – ЕДИНОГЛАСНО.

Председатель Методического совета



С.Н. Борычев

Секретарь Методического совета



Е. В. Стишкова

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
КАРТОФЕЛЯ ИМЕНИ А.Г. ЛОРХА»  
(ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»)**

*140051, Московская обл., г. Люберцы, д.п. Красково, ул. Лорха, д.23, литер В  
тел. (498) 645-03-03, e-mail: [coordinazia@mail.ru](mailto:coordinazia@mail.ru), <http://lorchinstitute.ru>  
ИНН 5027031284 КПП 502701001*

---

**СПРАВКА**

Выдана соискателю ученой степени доктора технических наук федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» Голикову Алексею Анатольевичу в том, что результаты его исследований по снижению повреждений клубней при машинном производстве картофеля, включающие разработанные научно-обоснованные технические решения самосвальных транспортных средств с устройствами для бережной разгрузки и сепарирующие устройства картофелеуборочных машин приняты Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха» (ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», г. Люберцы, дп. Красково, Московская обл.) и будут использованы при разработке модернизированных уборочных и транспортных средств для АПК.

---

Заместитель директора по научной работе



Е.В. Овэс





МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И  
РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«МОРДОВСКИЙ ИНСТИТУТ ПЕРЕПОДГОТОВКИ КАДРОВ АГРОБИЗНЕСА»**  
ФГБОУ МИПКА

Адрес: 430904, Республика Мордовия,  
г. Саранск, р.п. Ялга, ул. Пионерская, 33

факс: (8-8342) 25-37-40  
☎ 25-37-40; 25-37-35  
e-mail: ipka-rm@mail.ru

№ 97 от «06» июня 2022 г.

На №\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

**СПРАВКА**

**о внедрении в учебный процесс  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения дополнительного профессионального образования  
«Мордовский институт переподготовки кадров для агробизнеса»  
результатов научно-исследовательской работы**

Результаты научно-исследовательской работы коллектива авторов: доктора технических наук, профессора Борычева С.Н., доктора технических наук, профессора Успенского И.А., доктора технических наук, доцента Юхина И.А., кандидата технических наук Голикова А.А. и др. направленные на повышение эффективности уборки картофеля используются в учебном процессе ФГБОУ ДПО «Мордовский институт переподготовки кадров для агробизнеса» при подготовке слушателей по следующим программам профессиональной переподготовки и повышения квалификации специалистов сельскохозяйственных предприятий:

- «Организация и функционирование крестьянских (фермерских) хозяйств» (свыше 250 час.);
- «Экономика и управление АПК в условиях цифровой трансформации» (свыше 250 час.);
- «Оптимизация инженерной службы для инновационного развития предприятий АПК (72 час.).

Результаты научно-исследовательской работы, используемые в учебном процессе ФГБОУ ДПО Мордовский институт переподготовки кадров для агробизнеса:

1. Успенский И.А. Снижение травмирования корнеклубнеплодов при их перевозке самосвальным транспортным средством / Успенский И.А.,

Юхин И.А., Голиков А.А. // Техника и оборудование для села. - 2020. - № 6 (276). - С. 22-25.

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

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

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

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

6. Патент на полезную модель № 191227 U1 Российская Федерация, МПК В65D 8/14. Устройство для транспортировки корнеклубнеплодов : № 2019116209 : заявл. 27.05.2019 : опубл. 30.07.2019 / С. Н. Борячев, Д. С. Рябчиков, Д. В. Колошеин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ). – 10 с.

7. Патент на полезную модель № 194128 U1 Российская Федерация, МПК В60Р 1/28. Самосвальный кузов для перевозки легкоповреждаемой продукции : № 2019100387 : заявл. 09.01.2019 : опубл. 28.11.2019 / Н. В. Бышов, С. Н. Борячев, И. А. Успенский [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ). – 9 с.

Проректор по учебной и научной работе  
ФГБОУ ДПО Мордовский институт  
переподготовки кадров для агробизнеса,  
доктор биол. наук, доцент



В.И. Ерофеев



Салон изобретений и инновационных технологий



«АРХИМЕД-2014»

ДИПЛОМ

Решением Международного Жюри  
награждается

**БРОНЗОВОЙ МЕДАЛЬЮ**

Рязанский государственный агротехнологический  
университет им. П.А. Костычева  
за разработку «Сепарирующее устройство  
корнеклубнеуборочной машины»

Председатель  
Международного Жюри,  
Президент Всероссийского  
общества изобретателей  
и рационализаторов

Ю.П. Пимошенко

Президент Салона

Д.И. Зезюлин

Руководитель  
Федеральной службы  
по интеллектуальной  
собственности

Б.П. Симонов

Россия, Москва, 01.04 – 04.04.2014 г.



XVIII Московский международный  
Салон изобретений и инновационных технологий



«АРХИМЕД-2015»

ДИПЛОМ

Решением Международного Жюри  
награждается

**ЗОЛОТОЙ МЕДАЛЬЮ**

Рязанский государственный агротехнологический  
университет имени П.А. Костычева  
за разработку «Сепарирующее устройство  
корнеклубнеуборочной машины»

Председатель  
Международного Жюри,  
Президент Всероссийского  
общества изобретателей  
и рационализаторов

Ю. П. Пимошенко

Президент Салона

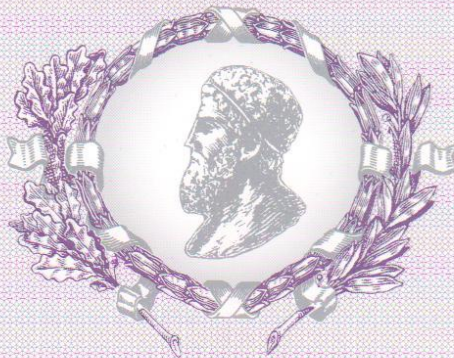
Д. И. Зезюлин

Врио руководителя  
Федеральной службы  
по интеллектуальной  
собственности

Л. Л. Кирий



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



**«АРХИМЕД-2015»**

**ДИПЛОМ**

Решением Международного Жюри  
награждается

**СЕРЕБРЯНОЙ МЕДАЛЬЮ**

Закрытое акционерное общество «Колнаг»,  
г. Рязань  
за разработку «Способ уборки картофеля  
и устройство для его осуществления»

Председатель  
Международного Жюри,  
Президент Всероссийского  
общества изобретателей  
и рационализаторов

А. П. Пичановский

Президент Салона

Д. М. Заславский

Врио руководителя  
Федеральной службы  
по интеллектуальной  
собственности

П. П. Кирый



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



**«АРХИМЕД 2020»**

**ДИПЛОМ**

**Решением Международного Жюри  
награждается**

**ЗОЛОТОЙ МЕДАЛЬЮ**

*Рязанский инновационный клуб и  
ФГБОУ ВО "Рязанский государственный агротехнологический  
университет имени П.А. Костычева"  
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.*



XXIV Московский международный  
Салон изобретений и инновационных технологий



«АРХИМЕД 2021»

ДИПЛОМ

Решением Международного Жюри  
награждается

**ЗОЛОТОЙ МЕДАЛЬЮ**

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

авторы: Борычев Сергей Николаевич, Рябчиков Дмитрий Сергеевич,  
Колошеин Дмитрий Владимирович, Маслов Лилия Александровна,  
Бойко Александр Игоревич, Голиков Алексей Анатольевич,  
Безносюк Роман Владимирович

за проект: «Устройство для транспортировки корнеклубнеплодов»

Председатель  
Международного Жюри,  
академик,  
член президиума РАН

С.М. Алдошин

Президент Салона

Д.И. Зезулин

Руководитель  
Федеральной службы  
по интеллектуальной  
собственности

Г.П. Ивлиев

Россия, Москва, 23.03 - 25.03.2021 г.

Средства измерений

| Учетный клубень                 | Размер клубня, мм |        |         | Масса клубня,<br>г |
|---------------------------------|-------------------|--------|---------|--------------------|
|                                 | Длина             | Ширина | Толщина |                    |
| 1                               |                   |        |         |                    |
| 2                               |                   |        |         |                    |
| 3                               |                   |        |         |                    |
| .....                           |                   |        |         |                    |
| 200                             |                   |        |         |                    |
| Сумма                           |                   |        |         |                    |
| Среднее арифметическое значение |                   |        |         |                    |
| Стандартное отклонение          |                   |        |         |                    |
| Коэффициент вариации, %         |                   |        |         |                    |

Исполнитель \_\_\_\_\_

должность личная подпись инициалы, фамилия

## Условия проведения испытания картофелеуборочных машин

| Наименование показателя                            |  | Значение показателя |
|----------------------------------------------------|--|---------------------|
| Дата                                               |  |                     |
| Место испытаний                                    |  |                     |
| Вид работы                                         |  |                     |
| Тип почвы и название по механическому составу      |  |                     |
| Рельеф (уклон поля, град.):                        |  |                     |
| - поперечный                                       |  |                     |
| - продольный                                       |  |                     |
| Микрорельеф                                        |  |                     |
| Влажность почвы, %, в слое, см:                    |  |                     |
| от 0 до 5 включ.                                   |  |                     |
| от 5 до 10                                         |  |                     |
| от 10 до 15                                        |  |                     |
| от 15 до 20                                        |  |                     |
| от 20 до 25                                        |  |                     |
| Твердость почвы, МПа в слое, см:                   |  |                     |
| от 0 до 5 включ.                                   |  |                     |
| от 5 до 10                                         |  |                     |
| от 10 до 15                                        |  |                     |
| от 15 до 20                                        |  |                     |
| от 20 до 25                                        |  |                     |
| Засоренность участка, т/га:                        |  |                     |
| - сорняками                                        |  |                     |
| - камнями:                                         |  |                     |
| Температура воздуха, С°                            |  |                     |
| Температура почвы на глубине залегания клубней, °С |  |                     |
| Предшествующая обработка                           |  |                     |

**Форма для определения повреждений клубней**

Марка машины \_\_\_\_\_

Место испытаний \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

Культура, сорт \_\_\_\_\_

Режим \_\_\_\_\_

Учетная площадка \_\_\_\_\_

Масса пробы с тарой, кг \_\_\_\_\_

Масса тары, кг \_\_\_\_\_

Чистая масса пробы, кг \_\_\_\_\_

Повреждение клубней:

неповрежденные:

кг \_\_\_\_\_

шт. \_\_\_\_\_

поврежденные:

кг \_\_\_\_\_

шт. \_\_\_\_\_

Вид повреждений, шт.:

содрана кожура:

от 1/4 до 1/2 поверхности клубня \_\_\_\_\_

более 1/2 поверхности клубня \_\_\_\_\_

вырывы мякоти глубиной более 5 мм \_\_\_\_\_

трещины длиной более 20 мм \_\_\_\_\_

резанные клубни и с надрезами \_\_\_\_\_

раздавленные клубни \_\_\_\_\_

Исполнитель \_\_\_\_\_

должность

личная подпись

инициалы, фамилия



## Сводная форма для определения повреждений клубней

Марка машины \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

Место испытаний \_\_\_\_\_

Режим \_\_\_\_\_

Культура, сорт \_\_\_\_\_

Средства измерений \_\_\_\_\_

| Учетная площадка                                  |     | Всего клубней в пробе |     | Неповрежденные клубни |     |                |     | Поврежденные клубни |     |                |     | Число случаев с повр. клубней по видам повр., шт. |     |                        |                       | Повреждения на клубнях всей пробы, шт. |                            |                                      |                  |
|---------------------------------------------------|-----|-----------------------|-----|-----------------------|-----|----------------|-----|---------------------|-----|----------------|-----|---------------------------------------------------|-----|------------------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------|
|                                                   |     |                       |     | в день отбора проб    |     | после хранения |     | в день отбора проб  |     | После хранения |     | Всего повреждено                                  |     | Содрана кожа           |                       | резаные                                | раздавленные               | Потемн. мякоти на глубине более 5 мм |                  |
|                                                   |     |                       |     |                       |     |                |     |                     |     |                |     |                                                   |     |                        |                       |                                        |                            |                                      |                  |
|                                                   |     |                       |     |                       |     |                |     |                     |     |                |     |                                                   |     |                        |                       |                                        |                            |                                      |                  |
| Кг                                                | шт. | Кг                    | шт. | Кг                    | шт. | Кг             | шт. | Кг                  | шт. | Кг             | шт. | Кг                                                | шт. | от 1/4 до 1/2 поверхн. | более 1/2 поверхности | вырыв мякоти глубиной более 5 мм       | трещины длиной более 20 мм | на целых клубнях                     | на повр. клубнях |
| 1                                                 | %   | 100                   | 100 | -                     | -   | -              | -   | -                   | -   | -              | -   | -                                                 | -   | -                      | -                     | -                                      | -                          | -                                    | -                |
| 2                                                 | %   | 100                   | 100 | -                     | -   | -              | -   | -                   | -   | -              | -   | -                                                 | -   | -                      | -                     | -                                      | -                          | -                                    | -                |
| 3                                                 | %   | 100                   | 100 | -                     | -   | -              | -   | -                   | -   | -              | -   | -                                                 | -   | -                      | -                     | -                                      | -                          | -                                    | -                |
| 4                                                 | %   | 100                   | 100 | -                     | -   | -              | -   | -                   | -   | -              | -   | -                                                 | -   | -                      | -                     | -                                      | -                          | -                                    | -                |
| Сумма                                             |     |                       |     |                       |     |                |     |                     |     |                |     |                                                   |     |                        |                       |                                        |                            |                                      |                  |
| Средн.                                            |     |                       |     |                       |     |                |     |                     |     |                |     |                                                   |     |                        |                       |                                        |                            |                                      |                  |
| Число повр., на 100 клубней (степень повреждения) |     |                       |     |                       |     |                |     |                     |     |                |     |                                                   |     |                        |                       |                                        |                            |                                      |                  |

Исполнитель \_\_\_\_\_

должность

личная подпись

инициалы, фамилия



## Технические характеристики виброметра

| Наименование характеристики                                                                                                                                                            | Значение       |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|
|                                                                                                                                                                                        | ВИБРОТЕСТ-МГ 4 | ВИБРОТЕСТ-МГ 4.01 |
| Диапазон измерения частоты механических колебаний, Гц                                                                                                                                  | от 10 до 100   | от 5 до 1000      |
| Диапазон измерения амплитуды виброперемещения, мм                                                                                                                                      | от 0,1 до 3,0  | от 0,01 до 6,00   |
| Диапазон измерения амплитуды виброскорости, мм/с                                                                                                                                       | -              | от 3,3 до 374,0   |
| Диапазон изменения амплитуды виброускорения, м/с <sup>2</sup>                                                                                                                          | -              | от 2,0 до 170,0   |
| Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения частоты механических колебаний, Гц, в диапазоне:<br>- от 10 до 100<br>- от 5 до 100<br>- св. 100 до 1000                 | ±0,5           | ±0,2<br>±1,0      |
| Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения амплитуды виброперемещения во всем диапазоне частот, %                                                                | ±5             |                   |
| Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения амплитуды виброускорения и виброскорости во всем диапазоне частот, %                                                  | -              | ±5                |
| Пределы дополнительной относительной погрешности измерения амплитуды виброускорения и виброскорости, вызванной изменением температуры окружающего воздуха от 20 °С, %, на каждые 10 °С | -              | ±0,2              |
| Пределы дополнительной относительной погрешности измерения амплитуды виброперемещения, вызванной изменением температуры окружающего воздуха от 20 °С, %, на каждые 10 °С               | ±0,2           |                   |

|                                                                                      |                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Напряжение питания, В                                                                | 9                |
| Габаритные размеры, мм, не более:<br>- измерительный блок;<br>- вибропреобразователь | 175x90x30 024x50 |
| Масса, кг, не более                                                                  | 0,35             |
| Наработка на отказ при доверительной вероятности 0,9, ч, не менее                    | 20000            |
| Средний срок службы, лет, не менее                                                   | 10               |



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

# СВИДЕТЕЛЬСТВО

об утверждении типа средств измерений

**RU.C.28.004.A № 50358**

**Срок действия до 04 апреля 2018 г.**

НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ  
**Приборы виброизмерительные ВИБРОТЕСТ-МГ4**

ИЗГОТОВИТЕЛЬ  
**Общество с ограниченной ответственностью "Специальное  
конструкторское бюро Стройприбор" (ООО "СКБ Стройприбор"),  
г. Челябинск**

РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № **36965-13**

ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ  
**ГОСТ Р 8.669-2009**

ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ **1 год**

Тип средств измерений утвержден приказом Федерального агентства по  
техническому регулированию и метрологии от **04 апреля 2013 г. № 343**

Описание типа средств измерений является обязательным приложением  
к настоящему свидетельству.

Заместитель Руководителя  
Федерального агентства



Ф.В.Бульгин

"04" ..... 2013 г.

Серия СИ

№ **009220**