**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А.КОСТЫЧЕВА»**

*На правах рукописи*

**Молоканова Любовь Олеговна**

# ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВСТРЯХИВАТЕЛЯ СЕПАРИРУЮЩЕГО ОРГАНА КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ

Научная специальность:

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

***Рембалович Георгий Константинович***

Рязань – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
1 АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ 9
1.1 Анализ машин, применяемых при уборке картофеля 9
1.2 Способы и средства механизации уборки картофеля 21
1.3 Обзор сепарирующих органов машин для уборки картофеля 27
1.4 Анализ электрических мотор-редукторов 33
1.5 Обзор теоретических исследований в сфере сепарации картофельного вороха 38
Выводы по главе 1 39
1.6 Задачи исследований 40
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСТРЯХИВАТЕЛЯ СЕПАРИРУЮЩЕГО ОРГАНА С ЭКСЦЕНТРИКОВЫМ РОЛИКОМ 41
2.1 Описание технического решения 41
2.2 Теоретические исследования кинематики эксцентриковых роликов сепарирующего органа 45
2.3 Обоснование параметров сепарирующего органа 52
Выводы по главе 2 59
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСТРЯХИВАТЕЛЯ С ЭКСЦЕНТРИКОВЫМ РОЛИКОМ СЕПАРИРУЮЩЕГО ОРГАНА КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ 61
3.1 Программа исследований 61
3.2 Объект исследований и применяемое оборудование 61
3.3 Методика исследований 62
3.4. Результаты исследований 67
Выводы по главе 3 70

4. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ, ОСНАЩЕННОГО ВСТРЯХИВАТЕЛЕМ С ЭКСЦЕНТРИКОВЫМ РОЛИКОМ, И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ЕГО ВНЕДРЕНИЯ 71
4.1 Программа полевых исследований 71
4.2 Объект полевых исследований и применяемое оборудование 71
4.3 Методика полевых исследований 72
4.4 Результаты полевых исследований 72
4.5. Расчет экономического эффекта предлагаемых решений 79
Выводы по главе 4 80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 81
Перспективы дальнейшей разработки темы 82
Рекомендации производству 82
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 83
ПРИЛОЖЕНИЕ 108

# ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования** Картофель является одной из основных мировых сельскохозяйственных культур. В Российской Федерации значительная часть картофеля производится в личных подсобных и крестьянско-фермерских хозяйствах, и характеризуется небольшими площадями производства (до нескольких десятков га). В этих условиях важно применение современных средств механизации, а картофелекопатели как машины, выполняющие самую трудоемкую часть технологического процесса производства картофеля - уборку, являются важным элементом системы машин.

Для повышения эффективности работы картофелекопателей и других картофелеуборочных машин широко применяют встряхиватели сепарирующих органов различной конструкции. Их использование позволяет значительно улучшить сепарацию примесей от клубней, тем самым повысить качество продукции и производительность уборки. Современные сепарирующие органы картофелекопателя в благоприятных условиях обеспечивают выполнение технологического процесса в соответствии с агротехническими требованиями, но при ухудшении условий эффективность уборки снижается. Таким образом, обоснование параметров встряхивателей сепарирующего органа картофелекопателя является актуальной научно-технической задачей.

**Степень разработанности темы.** Различными исследователями, такими как: Баганц К., Байбобоев Н.Г., Борычев С.Н., Бреска Дж., Бышов Н.В., ван Кемпен Ф., Верещагин Н.И., Винкельман Дж., Гаджиев П.И., Дорохов А.С., Ерохин М.Н., Измайлов А.Ю., Колчин Н.Н., Костенко М.Ю., Кухмазов К.З., Ларюшин Н.П., Лобачевский Я.П., Макаров В.А., Паршков А.В., Петров Г.Д., Пономарев А.Г., Пшеченков К.А., Рембалович Г.К., Славкин В.И., Сорокин А.А., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Сибирев А.В., Угланов М.Б., Успенский И.А., Чаткин М.Н., и др. было исследовано значительное

количество технических решений сепарирующих органов, направленных на улучшение показателей работы картофелекопателей в сложных условиях. Но потенциал улучшения качественных показателей работы картофелекопателей далеко не исчерпан. Таким образом, исследования, направленные на совершенствование сепарирующих рабочих органов картофелекопателей, являются актуальными и имеют большое научно-практическое значение.

Диссертационное исследование выполнено в рамках основных направлений научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 гг. по теме «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий» (номер государственной регистрации АААА-А16-116060910025-5), подраздел 1.3.2 «Совершенствование энергосберегающей технологии возделывания и уборки экологически чистого картофеля в условиях Рязанской области».

**Цель исследований** – обоснование параметров встряхивателя сепарирующего органа картофелекопателя.

**Задачи исследований:**

1) провести анализ перспективных направлений исследований;

2) теоретически обосновать параметры встряхивателя сепарирующего органа;

3) экспериментально уточнить обоснованные параметры встряхивателя сепарирующего органа;

4) оценить показатели работы картофелекопателя, оснащенного встряхивателем сепарирующего органа с обоснованными параметрами, в полевых условиях;

5) определить технико-экономический эффект от предложенных решений и дать рекомендации производству.

**Объект исследования -** процесс уборки картофеля картофелекопателем с сепарирующим органом, оснащенным встряхивателем.

**Предмет исследования** зависимости воздействия сепарирующего органа со встряхивателем на компоненты картофельного вороха.

**Научная новизна**

- теоретические зависимости, описывающие кинематику эксцентрикового ролика встряхивателя;

- аналитическая зависимость взаимодействия вороха с сепарирующим органом от параметров эксцентрикового ролика встряхивателя.

**Теоретическая значимость** заключается в получении зависимостей, позволяющих обосновать параметры эксцентрикового ролика встряхивателя сепарирующего органа, снижающего повреждения картофеля.

**Практическая значимость** заключается в получении обоснованных параметров встряхивателя сепарирующего органа, позволяющего снизить повреждения клубней картофеля при уборке.

**Методология и методы исследования.** Исследования проведены с применением методов теоретической механики, теории механизмов и машин, высшей математики и математической статистики. В экспериментальных исследованиях использовались планы и методики факторного эксперимента, а также методики, приведенные в СТО АИСТ 1.13-2011, СТО АИСТ 1.17-2010, ГОСТ 24055-2016, ГОСТ 28713-2018. Для анализа результатов исследований использовали программы «Microsoft Excel», «MathCAD» и «STATISTICA».

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Обоснованные параметры эксцентрикового ролика встряхивателя сепарирующего органа картофелекопателя.

2. Результаты оценки влияния параметров эксцентрикового ролика встряхивателя сепарирующего органа картофелекопателя на повреждения клубней.

**Реализация результатов исследования.** По обоснованным параметрам были изготовлены образцы эксцентрикового ролика встряхивателя сепарирующего органа картофелекопателя КТН-2В, который успешно прошел полевые исследования в учебно-научном инновационном центре «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО РГАТУ в 2023-2024 г. на общей площади 2,0 га.

**Степень достоверности результатов исследований.** Полученные в лабораторных условиях экспериментальные данные соответствуют результатам теоретических исследований (расхождение менее 5%).

**Личный вклад соискателя** заключался в определении цели и задач диссертационной работы; выполнении теоретических и экспериментальных исследований встряхивателя сепарирующего органа с эксцентриковым роликом, анализе и интерпретации полученных данных; обосновании параметров встряхивателя сепарирующих органов картофелекопателя; проведении полевых исследований картофелекопателя, оснащенного встряхивателем с эксцентриковым роликом; определении технико-экономического эффекта; формулировании выводов, перспектив дальнейшей разработки темы, рекомендаций производству, а также в подготовке научных публикаций.

**Апробация работы.** Основные результаты изложенных в диссертации исследований прошли апробацию на 74-й Международной научно-практической конференции «Инновационные научно-технологические решения для АПК: вклад университетской науки» (Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2023); на Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина (Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2023); на Национальной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Бычкова Валерия Васильевича «Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве» (Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2024); на студенческой научной конференции "Научно-исследовательские решения высшей школы» (Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2024).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в печати в 2 научных работах в источниках, 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. Общий объем публикаций составил 2,0 п.л., из них лично соискателю принадлежит 1,0 п.л.

**Структура и объем работы.** В целом диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения (общих выводов), списка литературы из 159 наименований, приложения, изложена на 112 страницах, включает 46 рисунков, 8 таблиц и 38 формул.

# 1. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ

Успешность процесса уборки урожая картофеля, а также эффективность всего цикла возделывания культуры существенно зависит от множества факторов. К ним относятся метеорологические условия [25], характеристики почвы [71,95,108,136] и производственные параметры [74,84,132,133,135,141,142]. Процесс сепарации в том числе зависит от правильности подбора машины.

## 1.1 Анализ машин, применяемых при уборке картофеля

Уборку картофеля осуществляют картофелеуборочными комбайнами: Unia BOLKO, Колнаг AVR-220B Variant, ККР-2, самоходным GRIMME VARITRON 270 Platinum и тд. Картофелекопателями: Krukowiak PYRUS II, однорядный Wirax, Z-653, КТП-1, КСТ-1.4М, КТН-2В.

Картофелеуборочный комбайн Unia BOLKO (рисунок 1.1) предназначен для уборки картофеля, а также лука и моркови (как дополнительная опция). Он производит выкапывание корнеплодов, их очистку от земли и ботвы с одновременной сортировкой от камней в специальный бункер объёмом 100 кг.

Рисунок 1.1 Картофелеуборочный комбайн Unia BOLKO (фото из открытых источников)

Подборщик комбайна BOLKO обладает доступом к регулировке ножей и глубине копания. Качающееся крепление ножей, лемех из 3 частей, боковые

стенки оснащены роликами, втягивающими ботву. Отсеиватель оснащён прутками, покрытыми резиной, что позволяет избегать повреждений картофеля. Регулируемый встряхиватель и расположенные под отсеивателем резиновые элементы очищают картофель и разбивают комки земли, не позволяя клубням скатываться вперёд [1].

На конце сортировочного стола расположены ряды дисков, которые чистят картофель и отсеивают маленькие комки земли и небольшие камни. Управление гидравликой комбайна можно осуществлять вручную или при помощи электромагнитного блока из кабины трактора (доп. опция).

Стандартная комплектация включает дышло с гидравлическим управлением, бункер для камней и твердых частиц, гидравлически поднимаемый и опускаемый подборщик, осветительную установку, вал отбора мощности (ВОМ)

Технические характеристики:

- рабочая ширина: 0,625 - 0,75 м;
- производительность: до 0,15 га/ч;
- количество рядов: 1 шт.;
- грузоподъёмность платформы: 500 кг;
- ёмкость бункера для картофеля: 1250 кг;
- габаритные размеры:
  Bolko: 5950 x 2420 x 2690 мм.
  Bolko S: 5950 x 2420 x 1900 мм.
  Bolko T: 5950 x 2420 x 2950 мм.
- потребность мощности: 40 л. с. (Bolko), 30 л. с. (Bolko S и Bolko T);
- вес: 1971 кг (Bolko), 1531 кг (Bolko S), 2090 кг (Bolko T)

Картофелеуборочный комбайн AVR 220BK Variant от компании «КОЛНАГ» — это двухрядный комбайн бункерного типа, который представляет собой альтернативную разработку модели 220B (рисунок 1.2).

Рисунок 1.2 Картофелеуборочный комбайн Колнаг AVR 220BK Variant (фото из открытых источников)

Качественная и щадящая очистка картофельного вороха за счёт трёх широких транспортёров с малыми перепадами высот при большой площади сепарации. Имеет систему встряхивателей и мягкое покрытие контактных поверхностей. Оснащен подкапывающей секцией и эргономичным джойстиком, аналог узлов класса Spirit или Puma.

Технические характеристики:

- габаритные размеры:

длина — 9,2 м, ширина — 4,8 м, высота — 3,4 м;

- объём бункера: 5500 кг;
- масса: 7030 кг;
- потребная мощность трактора: не менее 80 л. с.;
- рабочая скорость на основных операциях: до 6 км/ч.

Рисунок 1.3 Картофелеуборочный комбайн ККР-2 (фото из открытых источников)

Уборочная машина ККР-2 совместима с тракторами МТЗ-80-82 и МТЗ-100-102, оснащенными валом отбора мощности со скоростью вращения 545 оборотов в минуту. Конструкция предусматривает смотровую площадку, с которой оператор может осуществлять визуальный контроль за процессом уборки и состоянием корнеплодов в режиме реального времени [128,129,130]. Технические характеристики картофелеуборочного комбайна ККР-2 (рисунок 1.3) представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 Технические характеристики картофелеуборочного комбайна ККР-2

| **№п/п** | **Характеристика** | **Значение** |
|---|---|---|
| 1 | Рабочая ширина междурядья | 75 м; |
| 2 | Ширина захвата | 1,5 м; |
| 3 | Производительность | 0,35–0,9 га/ч |
| 4 | Ёмкость бункера | 2000 |

Картофелеуборочный комбайн GRIMME VARITRON 270 Platinum (рисунок 1.4) — это самоходный уборочный комбайн полного цикла, который оснащён различными вариантами сепарирующих устройств. Он имеет колёсную ходовую часть с большими почвосберегающими шинами, что обеспечивает высокую манёвренность.

Рисунок 1.4 Картофелеуборочный комбайн GRIMME VARITRON 270 Platinum (фото из открытых источников)

На данный комбайн предлагается установка различных сепарирующих устройств, таких как MultiSep, роликовый сепаратор и элеватор мелкой ботвы. Оснащение бункером NonstopBunker объёмом 7 тонн, позволяет работать в непрерывном режиме, что значительно повышает производительность. Кабина ErgoDrive обеспечивает комфорт оператору, а система Visual Protect позволяет фиксировать критические состояния, например, засорение в сепарирующем устройстве [151,152].

Технические характеристики:

- двухрядный;
- бункер объёмом 7 тонн ;
- высокая эффективность сепарации;
- колёсный ходовой механизм;

- мощность двигателя 354 л. с.

Картофелекопатель однорядный Krukowiak PYRUS II (рисунок 1.5) с платформой предназначен для уборки картофеля на лёгких и среднетяжёлых почвах с закаменением до 5 т/га, на площади с наклоном до 5 градусов и на плантациях с междурядной шириной от 62,5 до 75 см.

Рисунок 1.5 Картофелекопатель однорядный Krukowiak PYRUS II (фото из открытых источников)

Картофелекопатель оборудован площадкой для рабочего персонала и собранного картофеля, переборочным столом и устройствами для наполнения мешков.

Технические характеристики:

- количество рядов: 1;
- рабочая ширина: 0,625–0,75 м;
- ширина междурядий: 62,5–75 см;
- производительность: 0,05–0,1 га/ч;
- рабочая скорость: 0,7–1 км/ч;
- масса: 1500 кг;
- габаритные размеры: 6790 х 2320 х 1770 мм

Картофелекопатель Wirax (рисунок 1.6) — это однорядная навесная машина транспортерного типа, предназначенная для уборки урожая корнеклубнеплодов.

Рисунок 1.6 Картофелекопатель Wirax (фото из открытых источников)

Преимуществами картофелекопателя являются высокая манёвренность за счёт транспортировочных колёс, эффективная очистка клубней от почвы благодаря специальной конструкции транспортёрной ленты, простота в обслуживании и эксплуатации.

Технические характеристики:

- тип: навесная, однорядная;
- мощность двигателя, с которой возможна работа от 22 л. с.;
- производительность: 0,1–0,3 га/ч ;
- рабочая глубина: до 250 мм (от вершины борозды);
- габаритные размеры: 2350 х 1100 х 1240 мм;
- масса: 235 кг;
- скорость рабочая: 1,8–8 км/ч;
- скорость транспортировочная: до 20 км/ч

Z-653/2 (рисунок 1.7) функционирует как однорядное оборудование с возможностью полунавесного монтажа. Конструктивно машина оборудована двумя транспортёрными механизмами с прутковым исполнением. За привод отвечает вал отбора мощности (ВОМ) используемого трактора.

Рисунок 1.7 Картофелекопатель Z-653/2 (фото из открытых источников)

Особенностями Z-653/2 является работа с междурядьями на полях с шириной до 75 см на всех типах почв, кроме тяжелых, с влажностью до 18%

Технические характеристики:

- Рабочая ширина: 62,5–67,5 см.
- Междурядная ширина: 62,5–67,5 см.
- Копающий элемент: двухсоставной лемех.
- Рабочая скорость: 1,5–5 км/ч.
- Производительность: до 0,1 га/час.
- Масса: 320 кг.
- Габаритные размеры:
- ширина: 1200 мм., длина: 2500 мм., высота: 1180 мм.

- Требуемая мощность трактора: 30 л. с.

Картофелекопатель полунавесной однорядный КТП-1 (рисунок 1.8) подходит для работы на лёгких и средних почвах при их влажности до 30%. может использоваться на почвах со средним засорением камнями.

Рисунок 1.8 Картофелекопатель КТП-1 (фото из открытых источников)

Технические характеристики:

- Производительность: 0,08–0,25 га/ч .
- Рабочая скорость: 1,3–4,0 км/ч .
- Рабочая ширина захвата: 0,62 м .
- Глубина хода лемехов: не более 0,22 м .
- Габаритные размеры в рабочем положении: длина — 3800 мм, ширина — 1100 мм, высота — 1050 мм .
- Масса: 420 кг .

Картофелекопатель КСТ-1.4М (рисунок 1.9) оснащён каскадным элеватором и активным битером, который разбивает верхний пласт почвы, тщательно отсеивает посторонние включения и очищает корнеплоды от налипшей земли, предотвращая вынос почвы с поля. Устройство относится к полунавесным двухрядным машинам и единовременно обрабатывает две гряды шириной до 1.4 метров [146].

Рисунок 1.9 Картофелекопатель КСТ-1.4М (фото из открытых источников)

Технические характеристики:

- Тип: полунавесной .
- Производительность за час основного времени: 0,27–0,86 га .
- Рабочая скорость: 1,93–6,5 км/ч .
- Транспортная скорость: 26 км/ч .
- Ширина захвата: 1,4 м .

- Глубина подкапывания: не более 25 см .
- Габаритные размеры в рабочем положении: длина — 5400 мм, ширина — 1900 мм, высота — 1350 мм.
- Масса: 1380 кг [119].

«Картофелекопатель КТН-2В (рисунок 1.10) — это навесной двухрядный агрегат, частично отделяющий клубни картофеля от почвы (в стандартном исполнении) с дальнейшей выгрузкой их на поверхность поля без критических повреждений.» [39,40,60]

Рисунок 1.10 Картофелекопатель КТН-2В [39,40,60]

Картофелекопатель навесной КТН-2В используется на лёгких и средних почвах с показателями влажности не более 27% и твёрдости до 20 кг/см² [60,150]. Технические характеристики картофелекопателя представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 Технические характеристики картофелекопателя КТН-2В

| №п/п | Характеристика | Значение |
|---|---|---|
| 1 | Производительность | 0,25–0,47 га/час |
| 2 | Рабочая скорость | 1,8–3,4 км/час |
| 3 | Транспортная скорость | до 16 км/ч |
| 4 | Ширина захвата | 1,4 м. |
| 5 | Глубина захвата лемехов | 22 см |
| 6 | Радиус поворота агрегата по крайней наружной точке | 6,2 м |
| 7 | Габаритные размеры | 3220 х 1725 х 1250 мм |
| 8 | Масса | 810 кг |

Современные картофелеуборочные машины созданы путем объединения разнообразных сепарирующих элементов, ботвоудаляющих устройств и механических отделителей [104,105,144].

Механические отделители в основном представлены прутковыми элеваторами. Эффективность сепарации почвы на таких устройствах зависит прежде всего от характеристик грунта: его механического состава, влажности и наличия твердых включений [18,116].

Под влиянием внешних нагрузок происходит изменение структуры почвы, которое выражается в её уплотнении и формировании почвенных комков из-за разрушения и сближения грунтовых агрегатов. Повторные междурядные обработки ухудшают аэрацию и водопроницаемость почвы, что влечёт за собой уменьшение её объёма и деформацию структуры. Дальнейшее развитие деформаций вызывает смещение частиц и их фиксацию в нестабильном положении. Наибольшие показатели уплотнения почвы, особенно при не полном восстановлении, фиксируются после многочисленных механических воздействий [22,24,149,150].

Взаимодействие корнеплодов с рабочими элементами картофелеуборочного агрегата в процессе его движения приводит к

повреждению их структуры [17,20,21,143]. Под влиянием статических и динамических нагрузок ухудшается эластичность тканей, разрушаются межклеточные связи, что нарушает целостность клубня. Механическое взаимодействие с элементами уборочной техники, особенно в процессе сепарирования и транспортировки, вызывает травмы, негативно влияющие на качество продукции [106]. На интенсивность и характер повреждений клубней влияют различные параметры: особенности технологии возделывания и конструкции уборочной техники, скорость её работы, свойства почвы (влажность и температура), характеристики растений картофеля [127,131,134,141,150,153,154]. Значительным фактором является и степень зрелости клубней [20,115].

Вопрос сохранности картофеля при уборке и последующем хранении тесно связан с необходимостью изменения конструкции сепарирующих органов уборочных машин [10,65,139,148]. По данным исследований, повреждения клубней в процессе сепарации увеличиваются, что делает эту проблему актуальной для изучения.

## 1.2 Способы и средства механизации уборки картофеля

Для уборки картофеля используются три основных подхода [44,53,56,57,107,120,125,139,140]:

- применение картофелекопателей для выкапывания клубней с последующей их укладкой на поверхность почвы и ручным подбором;
- использование картофелекопателей с переборочными столами, установленными на прицепах;
- работа с комбайнами и копателями-погрузчиками.

Эти варианты уборки картофеля включают прямое комбайнирование, комбинированную уборку и раздельную уборку. Это помогает увеличить производительность комбайна, но такая схема работает лишь при его оптимальном функционировании в условиях прямого комбайнирования.

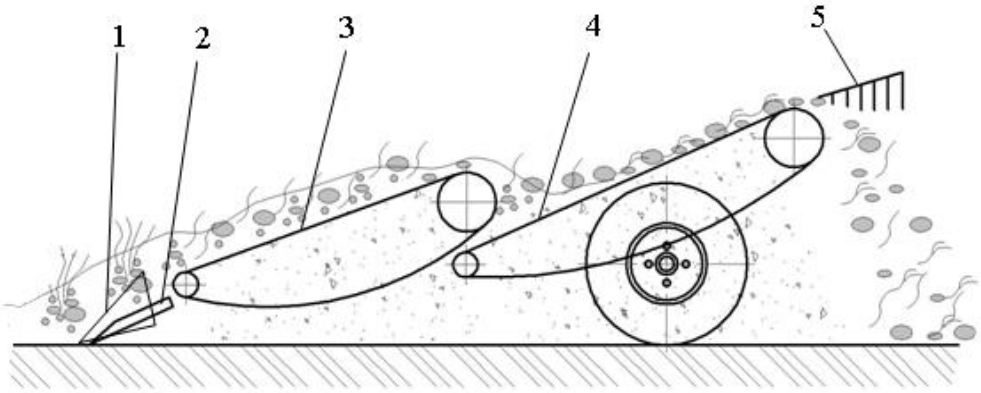
Кроме того, существует технология «зеленая уборка», предназначенная преимущественно для семенных участков. В рамках этой технологии за один проход выполняются следующие операции:

- измельчение ботвы;
- выкапывание клубней;
- отделение клубней от ботвы;
- сбор в валки;
- укладка валка на почву.

После того как валок подсыхает и клубни проходят «световую закалку», проводится подборка валка. Благодаря этому не требуется предварительно удалять ботву, а после «световой закалки» клубни становятся менее подверженными повреждениям от сепарирующих рабочих органов комбайна.

В ходе изучения особенностей работы копателей просеивающего типа становятся очевидными определённые проблемы, характерные для всех устройств этого типа:

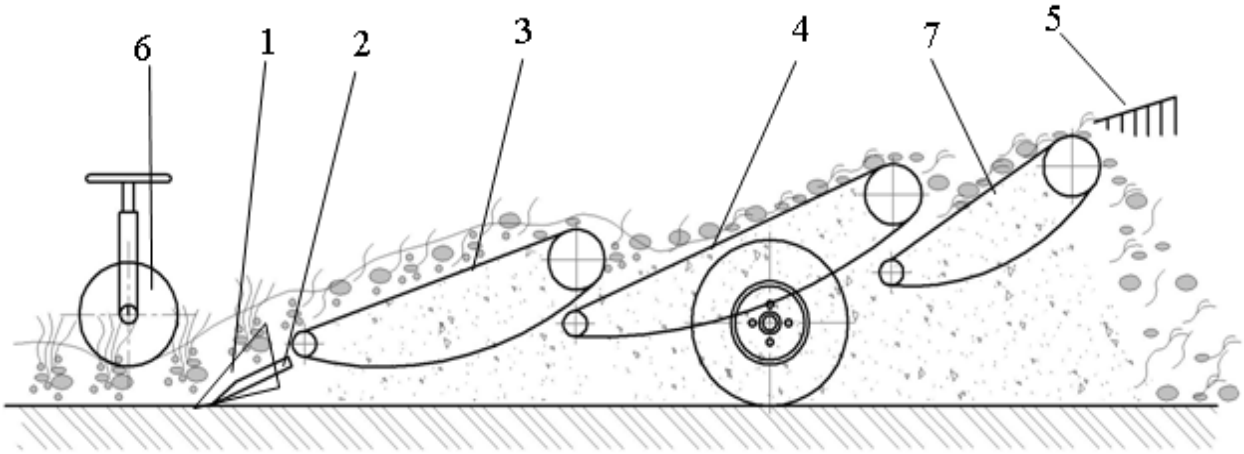
- критическое повреждение картофеля при сравнительно низкой влажности почвы.
- забивание подкапывающих органов земляными остатками [5,6,12,49,83];
- потери клубней из-за некачественного разделения вороха;




1– пассивная боковина; 2–лемех; 3–основной сепарирующий элеватор; 4 – дополнительный сепарирующий элеватор; 5- сужающая гребенка.

Рисунок 1.11 – Технологическая схема картофелекопателя КТН–2В. [68]

Оснащённый активным лемехом и трёхкаскадным элеватором, картофелекопатель КСТ–1,4А (рисунок 1.12) демонстрирует повышенную технологическую надёжность. Тем не менее, отмечается склонность данной модели к значительным травмам клубней, в частности в местах перехода между элеваторами [68].




1 –боковина; 2 – лемех; 3–основной сепарирующий элеватор; 4 – дополнительный сепарирующий элеватор; 5 – сужающая гребенка; 6– копирующий каток; 7– каскадный сепарирующий элеватор.

Рисунок 1.12 –Технологическая схема картофелекопателей КСТ–1,4А. [68]

Работа элеваторов заключается в следующем - при попадании на основной элеватор картофельного вороха, происходит первичный процесс сепарации с удалением крупных комков почвы и зеленых остатков. Затем получившаяся масса картофеля поступает на дополнительный элеватор. На нём происходит подобный процесс сепарации с более тщательным отделением лишних фракций. После этого клубни сбрасываются на почву для их сбора [13,48].

Существуют типы оборудования, оснащенные подрезными дисками. Подрезные диски необходимы для работы с тяжелыми видами влажной почвы, что является одним из типов усложненных операций. Они подрезают почву вокруг гнезда, для улучшения качества сепарации. Однако, работая таким видом техники приходится увеличивать тягу, а соответственно и скорость. Из-

0за этого происходит увеличение тягового сопротивления, что влечет за собой дополнительное налипание грязи на подкапывающие органы [5,6,67,71,76,81,97,98,122].

Картофелекопатели (и картофелекопатели-валкоукладчики) элеваторного типа производят в одно- и двухрядном исполнении. Увеличение ширины захвата — неэффективно, так как это приводит к значительному повышению веса копателя и стоимости копателя, при этом экономия трудозатрат минимальна, поскольку основное влияние определяется рабочими.

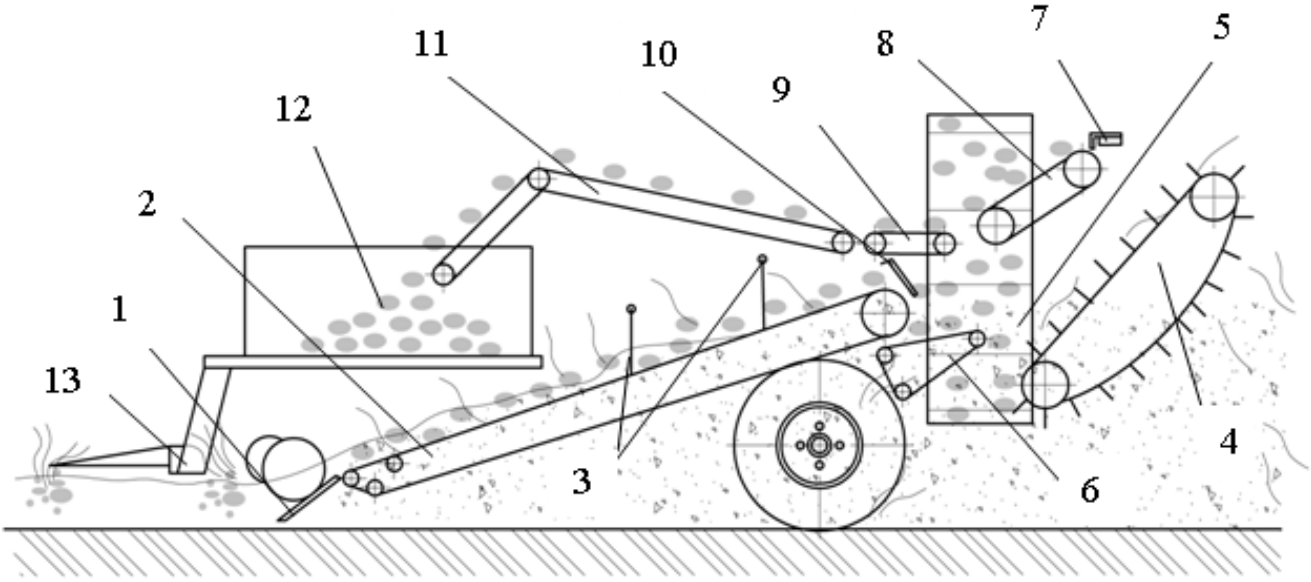
Разработка многорядных комбайнов не всегда эффективна и ограничивается тяговым сопротивлением при работе с колёсными пропашными тракторами. Их выпускают в одно- и двухрядной комплектациях. Вместе с тем, применение гусеничных тракторов, обладающих большей мощностью и тяговым усилием, нецелесообразно для агрегатирования с картофелеуборочными комбайнами т.к. происходит сильное повреждение клубней гусеничными движителями [4,102,103].

При соблюдении технологии работы, оптимальных почвенно-климатических параметрах и внедрении автоматизации процессов возможно использовать копатели-погрузчики эффективно. В России применение такой техники затруднено из-за различных климатических и почвенных условий [7,25,58,111,133,143], необходимости применения специализированного транспорта [41,42], короткого сезона уборки и необходимости дополнительной подготовки урожая [10]. Эти факторы негативно влияют на экономическую эффективность. Автоматические системы контроля качества позволяют получать картофель требуемого стандарта, но существенно увеличивают стоимость оборудования [35,66].

Несмотря на то, что в России картофелеуборочные комбайны производятся в меньших объёмах по сравнению с копателями, их значимость и эффективность подтверждаются мировой практикой, с учетом сложности и стоимости этих агрегатов.

При помощи комбайнов можно добиться значительного улучшения качества картофеля. Возможность эффективного контроля над технологическим процессом делает такие машины привлекательными для масштабных сельскохозяйственных проектов [8,9,34,43,62,113,158].

С помощью современной подкапывающей секции с усовершенствованиями удаётся эффективно подкапывать клубни, минимизируя потери и повреждения. В секции используются пластиковые катки, большие диски с пружинами и настраиваемые лемехи. Такое оборудование предотвращает скопление почвы и способствует быстрому сбору урожая даже во время дождя.



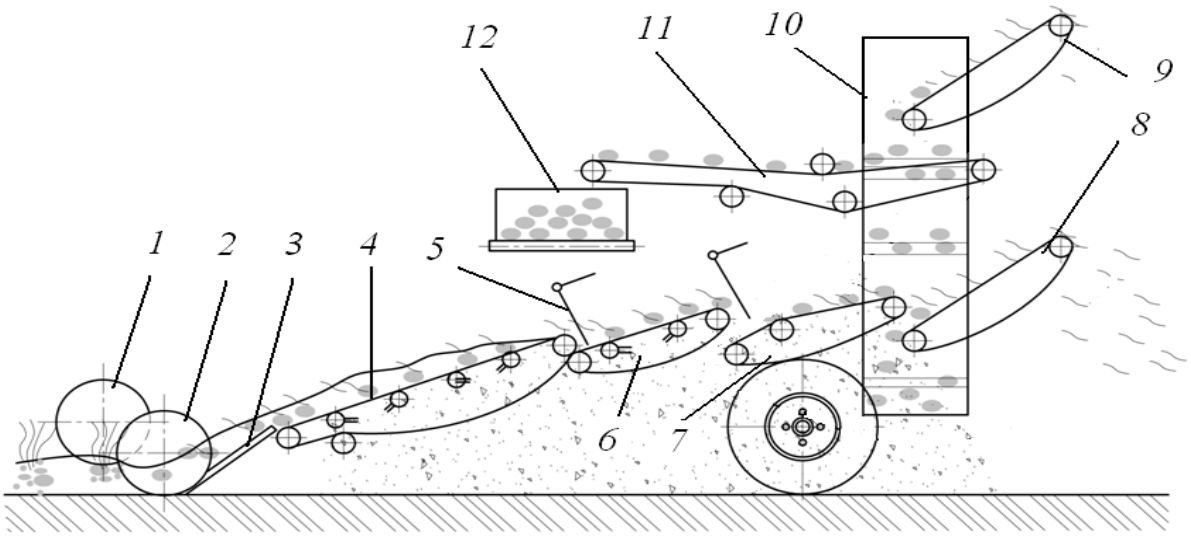

«1 – подкапывающие рабочие органы; 2 – первый транспортер; 3 – ворошители;4 – редкопрутковый транспортнер; 5 – ковшовый транспортер; 6 – дополнительный транспортер; 7 – отбойные пластины горки; 8 – горка; 9 – транспортер; 10 – пальчато–гребенчатый ботвоудалитель; 11 – переборочный стол; 12 – бункер; 13 – рама.

Рисунок 1.13 – Технологическая схема картофелеуборочного комбайна AVR–220B.» [68]

Звёздочки с широкими зубьями, покрытыми резиновым материалом, применяются для привода транспортеров, что обеспечивает их более долгий срок службы.

Элеватор кольцевой конструкции работает с повышенной эффективностью благодаря использованию подвижных пластиковых боковых элементов. Они служат защитой для клубней, предотвращая их контакт с неподвижными частями рамы, что в свою очередь снижает количество повреждений картофеля и исключает риск заклинивания устройства.

В бункер значительного объёма с гибким дном, покрытым резиной, поступают клубни после сепарации и очистки. Такая конструкция позволяет комбайну работать без перерывов до тех пор, пока не прибудет грузовой транспорт. Механизм подъёма, основанный на параллелограмме, гарантирует стабильность угла подъёма и предотвращает возврат клубней [145].




«1 – катки; 2 – вертикальные диски; 3 – лемех; 4 – основной транспортер; 5 – ботвоудалители; 6 – каскадный транспортер; 7 – дополнительный транспортер; 8 –пальчиковая горка; 9 – горка; 10 – ковшовый транспортер; 11 – переборочный стол; 12 – бункер.

Рисунок 1.14 – Технологическая схема картофелеуборочного комбайна «Grimme»» [68]

В современных комбайнах моделей «Grimme» в работе участвует комбинированный подкапывающий орган с несколькими элеваторами (транспортерами). Как и в простых картофелекопателях в конструкции имеется основной элеватор, однако над ним установлены ворошители.

Чтобы добиться более высокой производительности картофелеуборочных устройств, следует заниматься разработкой новых компонентов и доработкой уже используемых элементов. Это включает в себя использование современных материалов, автоматизированных систем контроля и управления, а также применение методов компьютерного моделирования для оптимизации рабочих процессов. чтобы обеспечить более эффективное и точное выполнение операций [34,35,45,66,72,96,151,155,159]. Изучение конструкций картофелеуборочных машин показывает, что несмотря на различия в моделях, существуют общие подходы к организации их рабочих органов и процессов. Основные типы устройств, такие как подкапывающие, сепарирующие и вспомогательные, являются ключевыми элементами в конструкции современных комбайнов. Оптимизация этих устройств и внедрение систем контроля и автоматизации могут значительно повысить эффективность и производительность картофелеуборочных машин.

### 1.3 Обзор сепарирующих органов машин для уборки картофеля

Работа по отделению растительных остатков и почвы от клубней картофеля происходит с помощью сепарирующих элеваторов. Ворох содержит 96,5% почвы; 2 % клубней и 1,5% растительных примесей.

Классификация машин и элеваторов, приведена на схеме 1.15 [13].

В зависимости от способа отделения компонентов и метода очистки картофелеуборочной машины от посторонних примесей, сепарирующие органы классифицируются на три основные категории [13]:

- осуществляющие выносную сепарацию [14,88,90,92,101];
- осуществляющие просевную сепарацию [74,75,93,94,99,100];
- комбинированные [3,].

В зависимости от принципа действия, сепарирующие устройства картофелеуборочных машин, используемые для выносной сепарации, делятся на три категории: транспортирующие (комбинированные), ротационные и центробежные [63,91,136].

Транспортирующие органы используются для перемещения почвы и клубней, обеспечивая их предварительную сепарацию. Ротационные органы применяются для более тонкой сепарации, отделяя мелкие частицы почвы от клубней. Комбинированные органы обеспечивают универсальность и эффективность в различных условиях работы.

Транспортирующие прутковые комбинированные органы сепарации картофелеуборочной машины представляют собой системы, которые предназначены для перемещения почвы, клубней и примесей [116,147]. Они часто включают в себя элеваторы с прутковыми полотнами, которые могут быть оснащены различными интенсификаторами для улучшения процесса сепарации [11,25,33,47,110].

Основным рабочим элементом сепарирующего элеватора является прутковое полотно [50,55,78,80,82,109,156]. Прутковые элеваторы с гибкими тяговыми ремнями являются традиционным решением для картофеле-уборочных машин. В последние годы инновационным подходом стало использование зубчатых ремней и зубчатых барабанов на приводных валах.

В оптимальных условиях сепарирующие элеваторы демонстрируют высокую эффективность в просеивании почвы — уровень может достигать 80–92% [112]. При этом клубненосный ворох транспортируется с крайне малым процентом повреждений клубней. Отклонение от оптимальных параметров существенно ухудшает условия работы и негативно отражается на результатах [26,77,85,157]. Современные картофелеуборочные машины оснащены специальными устройствами для решения этой проблемы. В конструкции элеваторов применяются встряхиватели и интенсификаторы, которые значительно повышают эффективность сепарирующей способности [46,50,52,64,79,137].

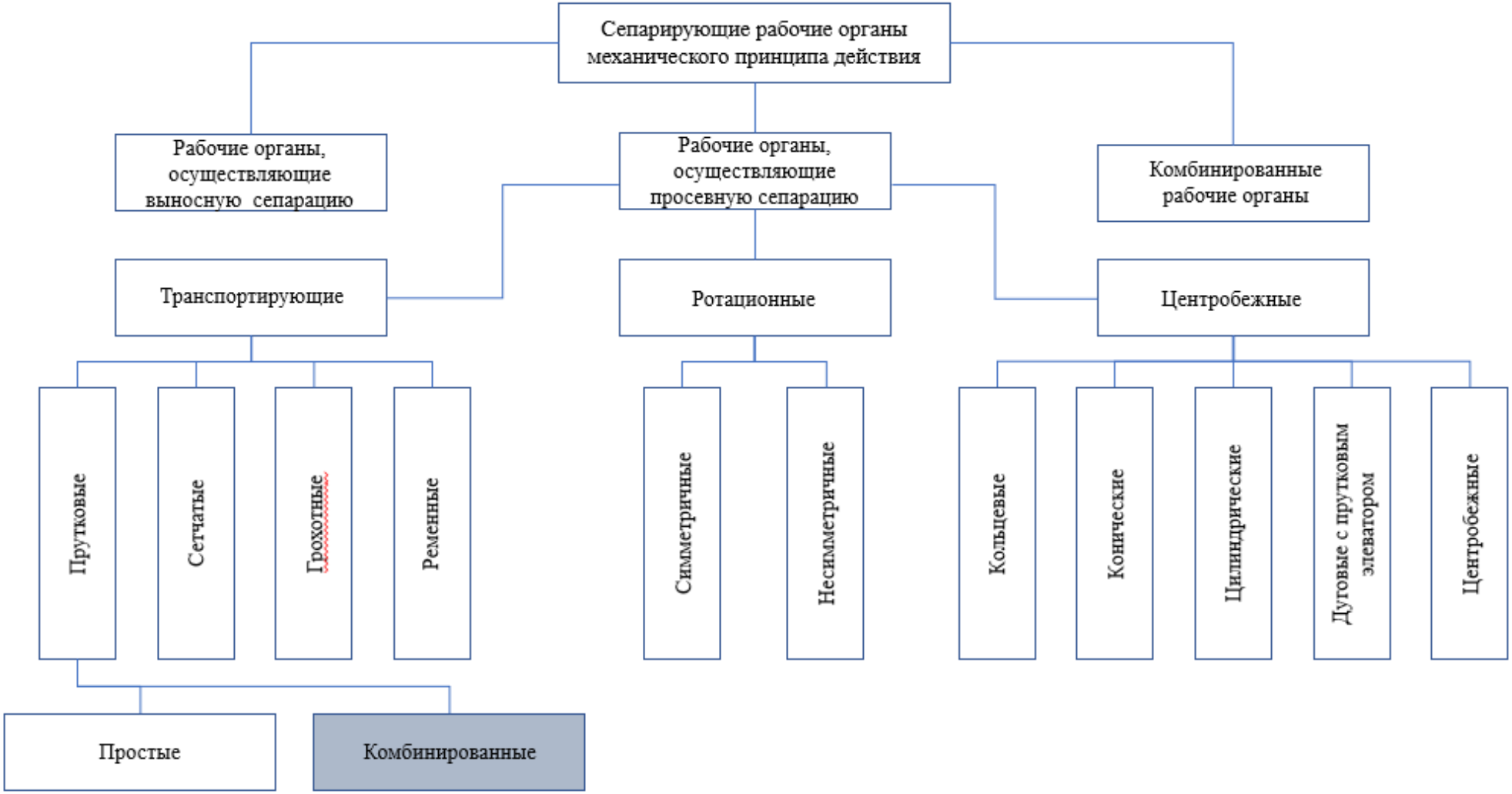
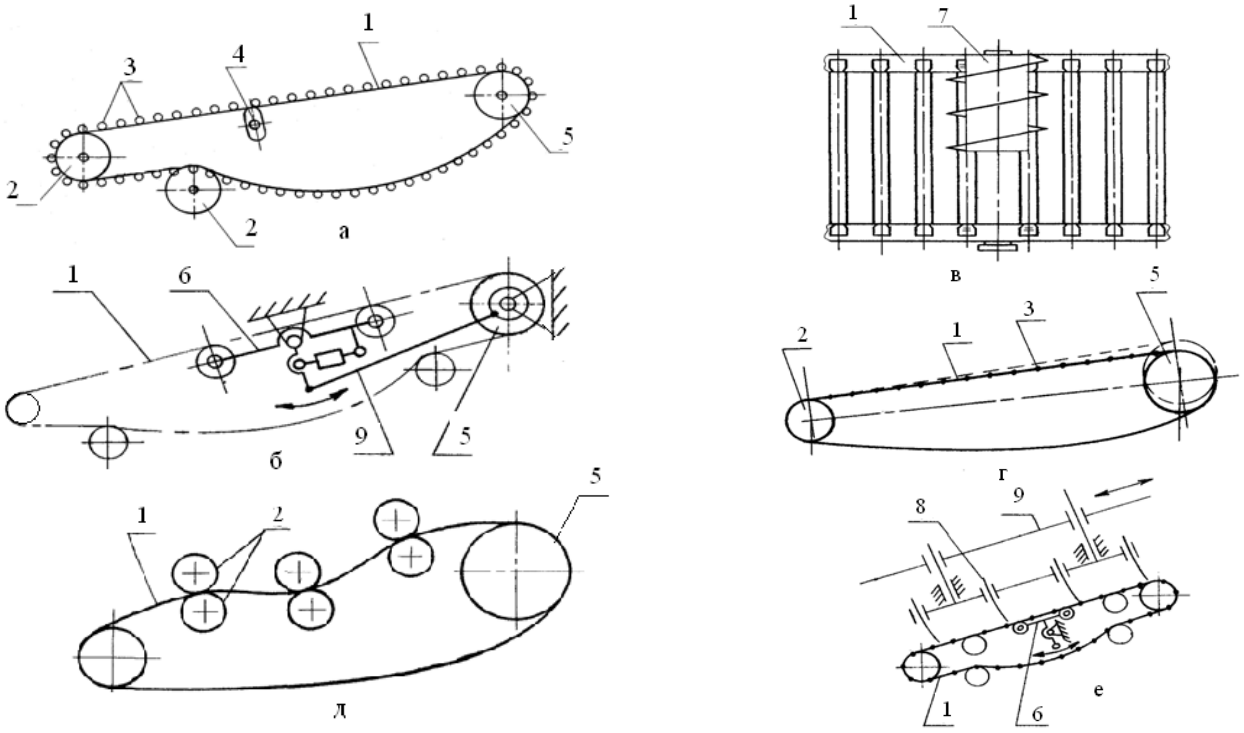



Рисунок 1.15 – Классификация сепарирующих рабочих органов [60]

Эффективность работы сепарирующего элеватора напрямую зависит от правильного соотношения между уровнем встряхивания полотна и его загрузкой (рисунок 1.16 б). Оперативная корректировка параметров встряхивания (амплитуды и частоты) позволяет поддерживать подходящий уровень сепарации независимо от изменения внешней среды. Однако, увеличение вибрационного воздействия на подобных элеваторах приводит к повреждениям картофеля. [11,27,50,124].




«а –эллиптическим встряхиватель; б - с регулируемым встряхивателем; в – шнековый-встряхиватель; г – встряхиватель с эксцентриковыми звездочками; д - «волновой» встряхиватель; е – ворошитель.

1 –полотно элеватора; 2– поддерживающие ролики; 3 –прутки; 4 – встряхиватель эллиптический; 5 – вал приводной; 6 – встряхиватель регулируемый; 7 – шнек поперечный; 8 –ворошители; 9 – механизм приводной

Рисунок 1.16 – Встряхиватели прутковых элеваторов» [60]

В конструкции шнеко-элеваторных сепараторов присутствуют шнеки с резиновыми лопастями над полотном, что является их особенностью [37,51,69,70,] (рисунок 1.12в). Вращаясь в противоположном элеватору

направлении, они выполняют комплексную работу: направляют поток клубней, перемешивают массу и производят качественное просеивание почвы.

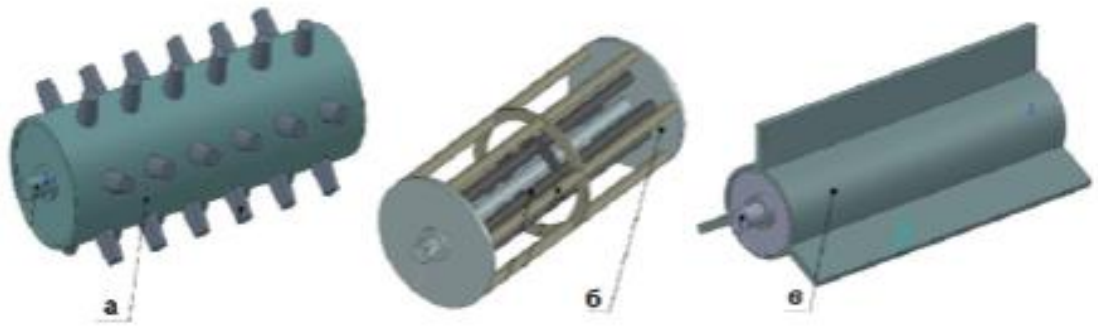
За подбрасывание и ускорение полотна отвечают эксцентриковые приводные звёздочки (рисунок 1.12г). Во время работы элеватора, его полотно движется неравномерно [138], что способствует, активному перемещению компонентов клубненосной массы и улучшает процесс сепарации почвы. Необходимо учитывать, что данный способ интенсификации работы имеет существенные недостатки: он создает значительные динамические нагрузки, вызывает вибрации и может привести к повреждению полотна [15,23,36,38,54,87,104,123].

В зависимости от принципа действия интенсификаторы сепарации подразделяются на механические, гидравлические и пневматические [78,102,117], которые в свою очередь подразделяются на пальцевые, прутковые и лопастные (рисунки 1.17, 1.18).

Кроме того, их различают по воздействию на ворох. Они установлены над элеватором и делятся на [13]:

- с вращательным движением. Плюсы – они интенсивно воздействуют на ворох. Минусы - существует проблема с наматыванием ботвы.

- с колебательным движением. Из плюсов можно выделить - равномерное распределение вороха. К минусам относят недостаточную эффективность из-за отсутствия подъема растительных остатков [60].




а – пальцевый; б – прутковый; в - лопастной

Рисунок 1.17 Варианты интенсификаторов сепарации почвы [27]

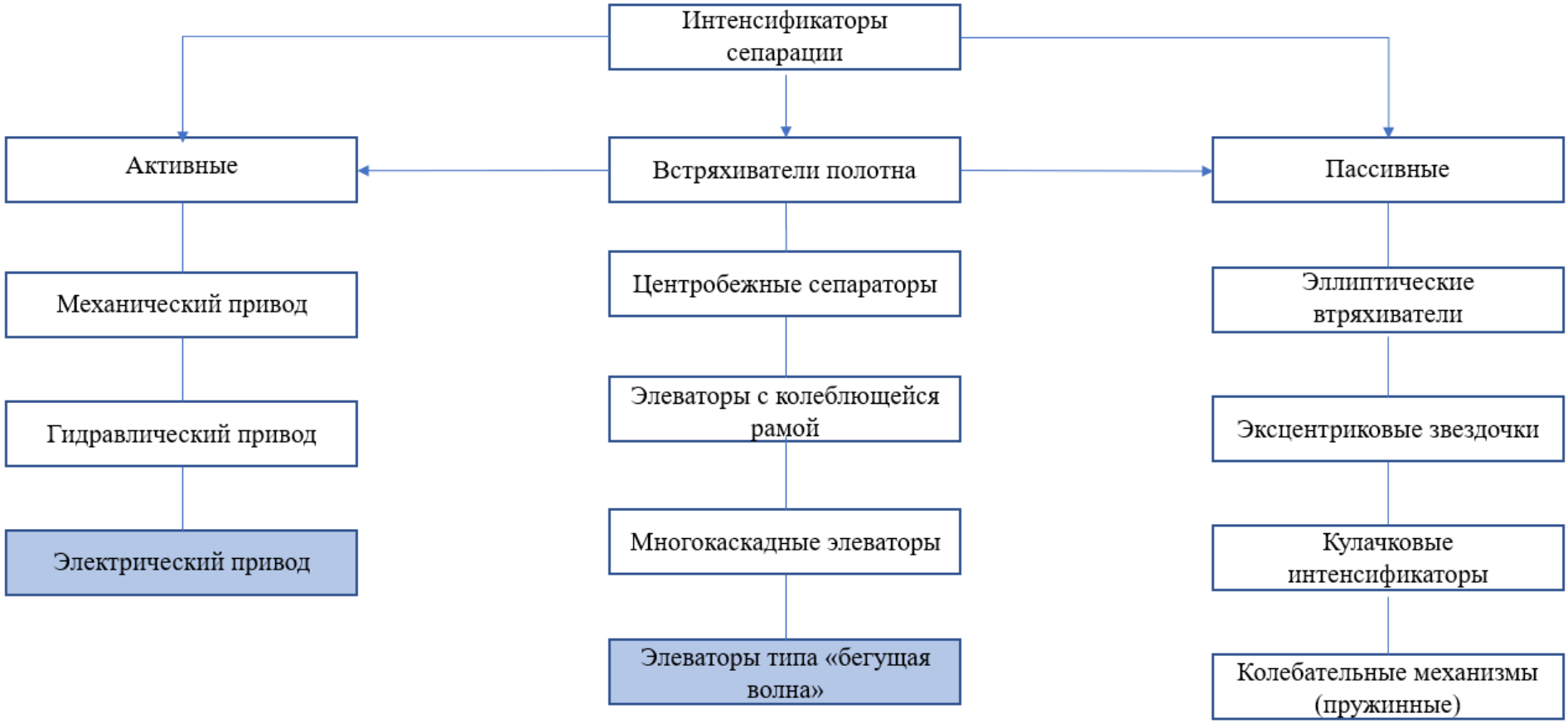



Рисунок 1.18 Классификация интенсификаторов сепарации

Вопрос сепарации картофельного вороха является актуальной научно-технической задачей, которая раскрывается в модернизации существующих решений (интенсификаторов). Для повышения отделения почвы от клубней картофеля необходима установка встряхивателя полотна элеватора [11,79, 102,137,138], оснащенного мотор-редукторами.

### 1.4 Анализ электрических мотор-редукторов

Мотор-редукторы являются готовыми заводскими изделиями, что позволяет устанавливать их на механизм без дополнительных подготовительных работ. Такой подход гарантирует улучшенные эксплуатационные показатели, надежность и долговечность привода, в том числе применительно к картофелеуборочным машинам [126].

Характерной особенностью электродвигателей является высокая скорость вращения при незначительном крутящем моменте. Мотор-редукторы эффективно преобразуют эти параметры, снижая скорость и повышая крутящий момент. Их компактность и простота конструкции делают их более предпочтительными по сравнению с раздельной системой привода в плане установки, обслуживания и возможностей применения. Они различаются по типу:

- Планетарные (рисунок 1.19).

Рисунок 1.19 Планетарный вариант (фото из открытых источников)

В основе рабочего механизма — система шестерен, поэтому планетарные мотор-редукторы отличаются высокой надежностью. Они состоят из редуктора с планетарной передачей и асинхронного двигателя;

- Червячные (рисунок 1.20). Действуют при сцеплении червячного колеса и винта, который часто называют «червяком». Среди преимуществ: компактные габариты, низкий уровень вибрации, большое количество передаточных чисел: от 5 до 1000;

Рисунок 1.20 Червячный вариант (фото из открытых источников)

- Цилиндрические (рисунок 1.21). Делятся на два вида: с соосным или параллельным валом. Главные преимущества цилиндрических мотор-редукторов: высокий коэффициент КПД, превышающий 90%, и малая изнашиваемость механизмов;

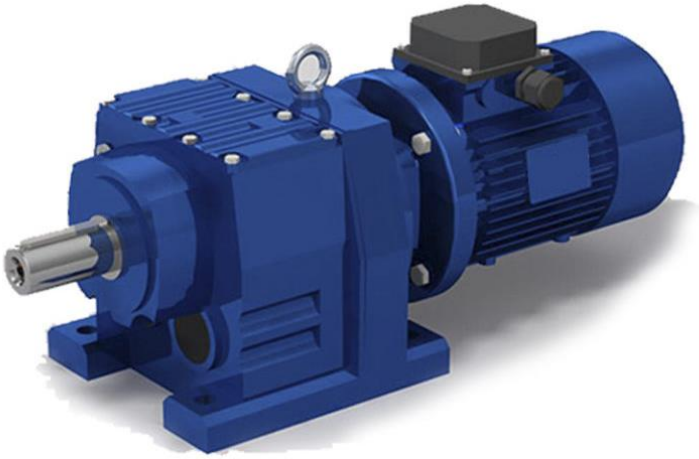


Рисунок 1.21 Цилиндрический вариант (фото из открытых источников)

- Волновые (рисунок 1.22). Представляют собой волновую передачу, объединенную с электродвигателем. Применяются в разных отраслях промышленности, отличаются высокой производительностью и устойчивостью к загрязнениям.

Рисунок 1.22 Волновой вариант (фото из открытых источников)

- Конические (рисунок 1.23). Конические мотор-редукторы — это высокотехнологичные механические устройства, которые позволяют преобразовывать скорость и усиливать крутящий момент в различных технических системах. Их конструкция базируется на сочетании электрического мотора и конического редуктора.

Рисунок 1.23 Конический вариант (фото из открытых источников)

Такой тип используется в конвейерных и ленточных транспортерах. Что подходит для установки на полотна элеваторов картофелекопателя.

Общеизвестно, что расчет показателей мотор-редуктора осуществляется с учетом оптимального типа нагрузки, а также крутящего момента и длительности работы.

Момент двигателя рассчитывается следующим образом:

$$M = F \cdot r \tag{1.1}$$

где F – момент силы, Н·м;

r – радиус, м

Чтобы вычислить номинальный момент, применяется формула:

$$M_{ном} = \frac{30P_{ном}}{\pi} \cdot H_{ном} \tag{1.2}$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность электродвигателя, Вт;

$H_{ном}$ – номинальное число оборотов, мин-1

Преобразуя формулу 1.2 получим определение мощности электромотора:

$$P_{ном} = M_{ном} \cdot \pi \cdot H_{ном}/30 \tag{1.3}$$

Функционирование электромотора заключается в преобразовании электрической энергии в механическую через создание вращательного движения. Современные электрические двигатели представлены в различных исполнениях по размеру и форме, а их подбор осуществляется с учетом требований к производительности и тепловыделению.

Существует два основных типа электродвигателей для мотор-редукторов. В областях, где требуются высокие мощности, например в промышленных системах, обычно применяются AC-двигатели (переменного

тока). В то же время для устройств, где необходимо точное управление скоростью, предпочтительны DC-двигатели (постоянного тока) (рисунок 1.24).

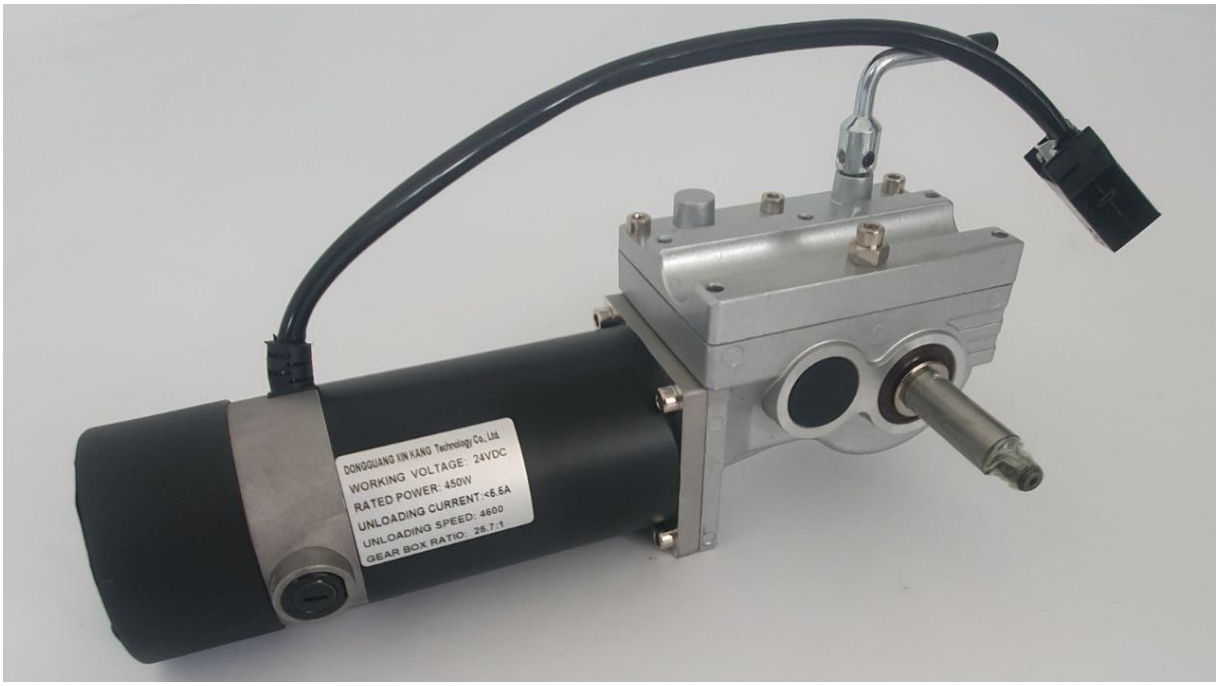



Рисунок 1.24 BLDC-редуктор

Для наших целей по улучшению сепарирующего устройства подходит конический тип бесщёточного мотор-редуктора постоянного тока (BLDC) Dongguang Xin Kang Technology.

Технические характеристики:

- Напряжение 24 Вольта;
- Мощность 450 Ватт;
- Количество оборотов двигателя 4600;
- Размеры: 35×15×20 см;
- Вес 12.7 кг

## 1.5 Обзор теоретических исследований в сфере сепарации картофельного вороха

Для движения компонентов картофельного вороха с отрывом от полотна элеватора при вертикальном ускорением, превышающим ускорение свободного падения $g_n$ [50,60] :

$$g_n > g\cos\alpha \quad , \tag{1.1}$$

где $g$ – ускорение свободного падения;

$\alpha$ – угол наклона элеватора к горизонту.

Н.В. Фирсов предложил определять скорость полотна $v_{min}$ исходя из условия подбрасывания картофельного вороха на элеваторе, снабженным эллиптическим встряхивателем [55,60,69]:

$$v_{\min} = \pi\sqrt{a \cdot \cos\alpha} \, , \tag{1.2}$$

где $a$ – большая полуось эллиптического встряхивателя;

$\alpha$ – угол наклона элеватора.

Г.Д. Петров для элеваторов с эллиптическими встряхивателями [1,2,102] скорость полотна предложил определять из условия подскока компонентов по формуле:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{ga}{(1-c)^2}} \, , \tag{1.3}$$

где $a$ – большая полуось эллипса;

$c$ – величина эксцентриситета эллипса.

Для подбрасывания полотна элеватора двуплечим встряхиваетелем Г.Д. Петровым предложена зависимость минимального радиуса кривошипа $r_{min}$ [102]:

$$r_{min} \geq \frac{900\cos\alpha}{\lambda \cdot n^2 \cdot k} \tag{1.4}$$

где $\alpha$ – угол наклона ведущей ветви полотна;

$\lambda$ – соотношение плеч рычагов;

$n$ – частота вращения кривошипа, об/мин;

$k$ – коэффициент, учитывающий свободные колебания полотна.

Дальность полета $L_n$ частицы после подбрасывания на элеваторе с двуплечими роликовыми встряхивателями Г.Д. Петров предлагал определять по формуле [102]:

$$L_n = \frac{v_Э \cdot r \cdot k \cdot n \cdot \pi}{15 \cdot g}, \quad (1.5)$$

где $v_Э$ –скорость полотна элеватора, м/с;

$r$ радиус кривошипа, м;

$g$ – ускорение свободного падения, м/с$^2$.

Анализируя исследования, проведенные учеными, установлено, что эффективность сепарации клубненосного вороха определяется параметрами сепарирующих элеваторов. Повреждения клубней картофеля определяются импульсом силы, который в свою очередь определяется массой и скоростью клубня при подбрасывании на сепарирующем полотне. Поэтому параметры сепарирующего органа следует выбирать на основе кинематических характеристик встряхивателя. Необходимо учитывать взаимное движение клубня картофеля и полотна сепарирующего органа, так как скорость соударения клубня с полотном определяет импульс силы. В процессе работы картофелекопателя меняется расположение рабочих органов относительно горизонтали (уровня поля), поэтому важно задаваться не только кинематическими характеристиками систем тел, но и направления взаимных перемещений. Возникает необходимость дальнейшего, более детального теоретического и практического исследования работы сепарирующего элеватора с активными встряхивателями.

**Выводы по главе 1**

В процессе сепарации возникает проблема ограниченного перемещения картофельного вороха, что негативно влияет на качество разделения. Для интенсификации процесса применяют устройства, подбрасывающие полотно

элеватора с почвой. Существующие активные встряхиватели увеличивают количество повреждений клубней.

### 1.6 Задачи исследований

**Целью исследования** является обоснование параметров встряхивателя сепарирующего органа картофелекопателя.

**Задачи исследования**

В соответствии с целью диссертационной работы были поставлены и решались следующие задачи исследований:

1) провести анализ перспективных направлений исследований;

2) теоретически обосновать параметры встряхивателя сепарирующего органа картофелекопателя;

3) экспериментально уточнить обоснованные параметры встряхивателя сепарирующего органа;

4) оценить показатели работы картофелекопателя, оснащенного встряхивателем сепарирующего органа с обоснованными параметрами, в полевых условиях.

5) определить технико-экономический эффект от предложенных решений и дать рекомендации производству.

# 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСТРЯХИВАТЕЛЯ ЭЛЕВАТОРА С ЭКСЦЕНТРИКОВЫМ РОЛИКОМ

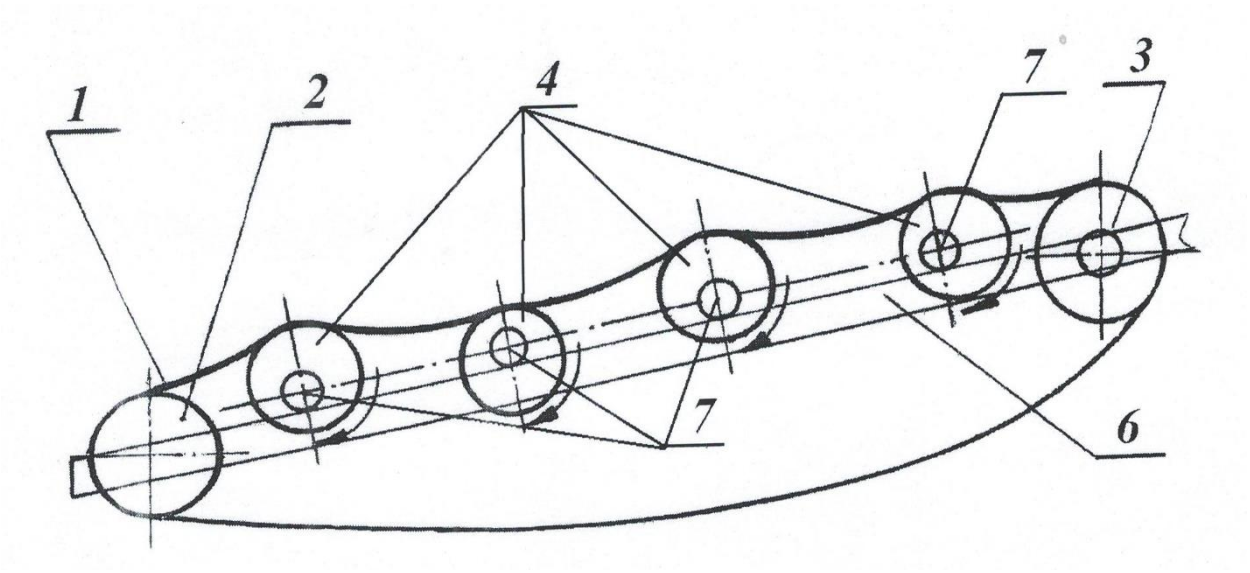
## 2.1. Описание технического решения

Для снижения повреждений клубней предлагается использовать наклонный сепарирующий рабочий орган уборочной машины (рисунок 2.1), который включает прутковое бесконечное полотно 1, охватывающее передний ведомый вал 2 и задний ведущий вал 3. Под полотном расположены встряхиватели, выполненные в виде приводных эксцентриковых роликов 4 с обечайкой 9, которые установлены на раме 6. Эксцентриковые ролики 4 снабжены индивидуальными мотор-колесами 5 и связаны с управляющим блоком (компьютером) и представлены на рис. 2.2 и 2.3. Обечайка 9 имеет резиновое покрытие 11 и установлена на подшипнике 10 [59].

При работе картофелеуборочной машины (рисунок 2.1) клубненосный пласт подается на прутковое бесконечное полотно 1 сепарирующего органа. При передвижении клубненосного пласта встряхиватели, выполненные в виде приводных эксцентриковых роликов 4 подбрасывают полотно. Приводные эксцентриковые ролики (рисунок 2.2) с обечайкой 9 обеспечивают подбрасывание полотна в форме волны. Индивидуальные мотор-колеса 5 с управляющим блоком (компьютером) обеспечивают движение волны полотна вдоль движения элеватора за счет изменения угловой скорости с учетом эксцентриситета ролика и жесткости полотна. Для обеспечения контакта ролика с полотном обечайка имеет резиновое покрытие 11 и установлена на подшипнике 10 [59].

Так как скорости эксцентриковых роликов меняются независимо друг от друга и образуют волнообразное движение полотна с клубненосным пластом, то в процессе работы происходит встряхивание, крошение и более качественное отделение клубней картофеля от почвы в результате ее просеивания через прутковое полотно.

Для уборки картофеля применяют картофелеуборочные машины, основным рабочим органом служит сепарирующий орган - прутковый элеватор [61,86,114]. На рисунке 2.3 показан сепарирующий орган на виде сверху: прутковый элеватор состоит из прутков 1, закрепленных на бесконечных ремнях элеватора 2 и имеет задний приводной вал 3 и передний ведомый вал 5. Под полотном расположены активные встряхиватели 4, выполненные в виде приводных эксцентриковых роликов 4, которые установлены на раме. Эксцентриковые ролики снабжены индивидуальными мотор-редукторами и связаны с управляющим модулем. Эксцентриковые ролики имеют обечайку, которая установлена на подшипнике.




1 – прутковое бесконечное полотно; 2 – передний ведомый вал; 3 – задний ведущий вал; 4 - эксцентриковый ролик; 6 – рама; 7 –- мотор-колесо

Рисунок 2.1 Схема наклонного сепарирующего рабочего органа уборочной машины (вид сбоку) [59]

Схема встряхивателя в виде приводного эксцентрикового ролика представлена на рисунке 2.2, где: 4 - эксцентриковый ролик; 5 – корпус мотор-колеса; 8 – приводной вал; 9 – обечайка; 10 – подшипник; 11 – резиновое покрытие [59].

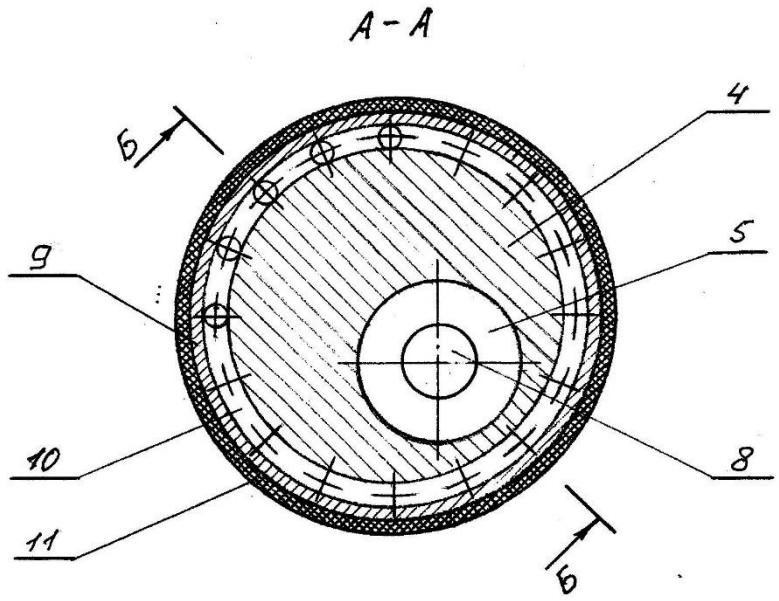
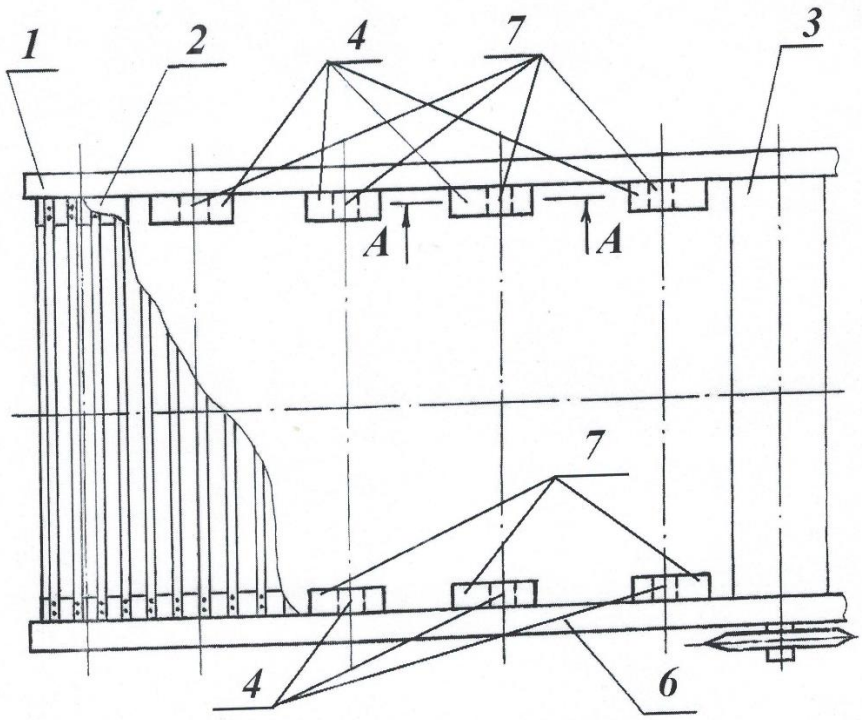


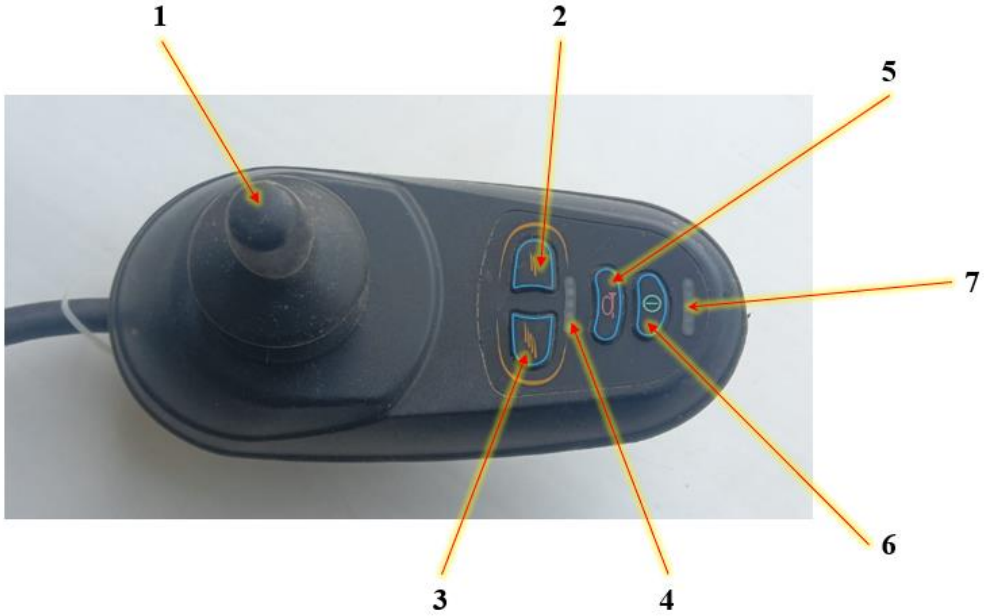

Рисунок 2.2 Приводной эксцентриковый ролик [59]




1 – прутковое бесконечное полотно; 2 – передний ведомый вал; 3 – задний ведущий вал; 4 - эксцентриковый ролик; 6 – рама; 7 –- мотор-колесо

Рисунок 2.3 – Схема наклонного сепарирующего рабочего органа уборочной машины (вид сверху) [59]

Активные встряхиватели, выполненные в виде приводных эксцентриковых роликов, имеют независимый привод. Индивидуальные мотор-редукторы с управляющим блоком (компьютером) обеспечивают изменение угловой скорости с учетом эксцентриситета ролика и загрузки полотна картофельным ворохом. Для обеспечения необходимой интенсивности встряхивания имеется возможность изменения угловой скорости вращения мотор-редукторов при помощи управляющего модуля (рисунок 2.4). При единовременном нажатии кнопки 3 (до 5 раз) увеличивается угловая скорость мотор-редукторов на 20%. Кнопка 2 способствует понижению угловой скорости аналогично. Изменение угловой скорости отображается индикатором 4.

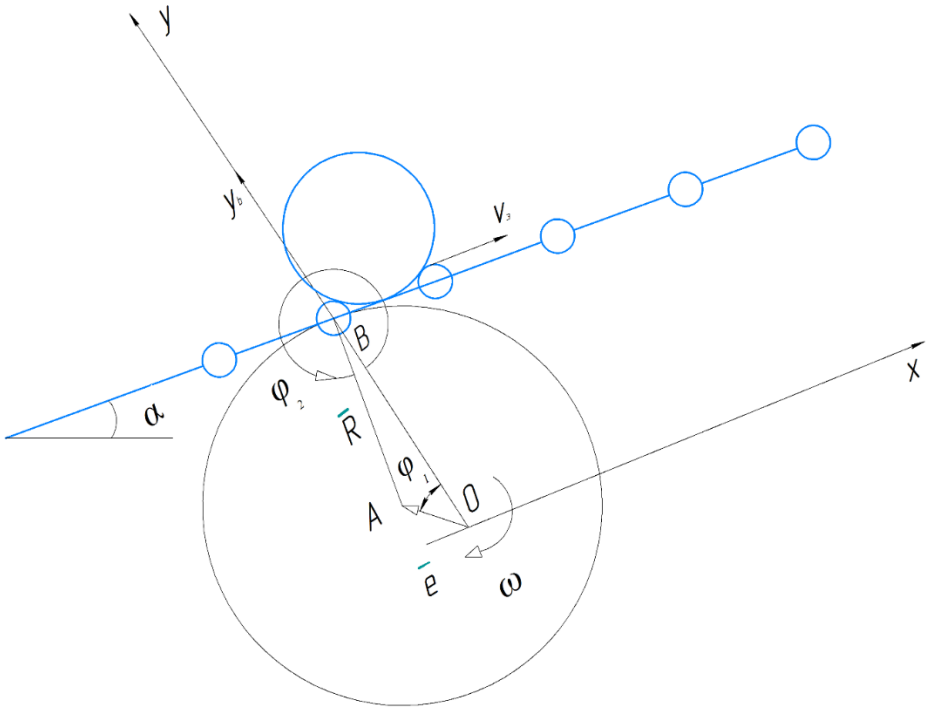



1 – джойстик управления движением; 2 – кнопка понижения угловой скорости валов мотор-редукторов; 3 – кнопка увеличения угловой скорости валов мотор-редукторов; 4 – индикатор угловой скорости мотор-редукторов; 5 – клаксон; 6 – кнопка включения/выключения управляющего модуля; 7 – индикатор напряжения

Рисунок 2.4 Управляющий модуль мотор-редукторов

## 2.2 Теоретические исследования кинематики эксцентриковых роликов сепарирующего органа

Рассмотрим кинематику эксцентриковых роликов. Расчетная схема к определению подбрасывания полона пруткового элеватора представлена на рисунке 2.5 [59].




α – угол наклона пруткового элеватора; $R$ – радиус эксцентрикового ролика активного встряхивателя; е – величина эксцентриситета; $\varphi_1$ - угол поворота активного встряхивателя; $y_в$ – перемещение активного встряхивателя вдоль оси ОУ.

Рисунок 2.5 – Расчетная схема кинематического взаимодействия пруткового элеватора с активными встряхивателями [59].

Представим кинематику эксцентрикового ролика в виде кривошипно-ползунного механизма, где величина эксцентриситета является кривошипом, радиус ролика – шатуном. Тогда перемещение полотна на эксцентриковом ролике вдоль оси OY будет соответствовать движению ползуна [9,50].

Рассмотрим треугольник OAB, который представляет собой замкнутый контур. Векторное уравнение замкнутого контура для определения перемещения вдоль оси OY можно записать в виде

$$\bar{e} + \overline{R} = \overline{y_{\text{в}}} \tag{2.1}$$

Спроецировав уравнение (2.1) на оси координат, получим систему [58]:

$$\begin{cases} e\cos\varphi_1 + R\cos\varphi_2 = y_{\text{в}} \\ e\sin\varphi_1 + R\sin\varphi_2 = 0 \end{cases} \tag{2.2}$$

где α – угол наклона пруткового элеватора, град;

$R$ – радиус эксцентрикового ролика активного встряхивателя, м;

е – величина эксцентриситета, м;

$\varphi_1$ - угол поворота активного встряхивателя, град;

$\varphi_2$ – угол взаимного расположения векторов эксцентриситета и радиуса эксцентрикового ролика, град;

$y_{\text{в}}$ – перемещение активного встряхивателя вдоль оси OY, м.

Приведем второе уравнение системы (2.2) к углу поворота эксцентрика $\varphi_1$:

$$\sin\varphi_2 = -\frac{e\sin\varphi_1}{R} \tag{2.3}$$

Или

$$\varphi_2 = \arcsin\left(-\frac{e\sin\varphi_1}{R}\right) \tag{2.4}$$

Тогда величина перемещения полотна на эксцентриковом ролике вдоль оси OY определяется как [59]:

$$y_{\text{в}} = e\cos\varphi_1 + R\cos\left(\arcsin\left(-\frac{e\sin\varphi_1}{R}\right)\right) \tag{2.5}$$

Преобразуем величину $\cos\varphi_2 = \cos\left(\arcsin\left(-\frac{e\sin\varphi_1}{R}\right)\right) = \sqrt{1 - \frac{e\sin\varphi_1}{R}}$ и получим величину перемещения полотна на эксцентриковом ролике вдоль оси OY:

$$y_в = e\cos\varphi_1 + R\sqrt{1 - \frac{e\sin\varphi_1}{R}} \tag{2.6}$$

Определим аналог скорости перемещения вдоль оси OY продифференцировав систему уравнений (2.2) по обобщенной координате $\varphi_1$:

$$\begin{cases} -e\sin\varphi_1 - R\sin\varphi_2\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{dy_в}{d\varphi_1} \\ e\cos\varphi_1 + R\cos\varphi_2\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = 0 \end{cases} \tag{2.7}$$

*где* $\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}$ – аналог угловой скорости радиуса ролика эксцентрика.

Аналог угловой скорости радиуса ролика эксцентрика определим из второго уравнения системы (2.7)

$$\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = -\frac{e\cos\varphi_1}{R\cos\varphi_2} \tag{2.8}$$

Определим аналог скорости перемещения вдоль оси OY с учетом уравнения (2.8)

$$\frac{dy_в}{d\varphi_1} = -e\sin\varphi_1 + R\sin\varphi_2\frac{e\cos\varphi_1}{R\cos\varphi_2} \tag{2.9}$$

Приведем правую часть уравнения (2.9) к общему знаменателю

$$\frac{dy_в}{d\varphi_1} = \frac{-e\sin\varphi_1\cdot\cos\varphi_2 + e\cos\varphi_1\cdot\sin\varphi_2}{\cos\varphi_2} \tag{2.10}$$

Применив тригонометрические формулы можем записать [10]:

$$\frac{dy_в}{d\varphi_1} = -e\sin\varphi_1 - \frac{e^2\sin\varphi_1}{R^2}\frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1-\frac{e\sin\varphi_1}{R}}} \tag{2.11}$$

Скорость точки В (полотна элеватора) вдоль оси OY $V_в$

$$V_в = \omega \cdot \frac{dy_в}{d\varphi_1} = \omega \cdot (-e\,sin\,\varphi_1 - \frac{e^2\,sin\,\varphi_1}{R^2}\frac{cos\,\varphi_1}{\sqrt{1-\frac{e\,sin\,\varphi_1}{R}}}) \quad (2.12)$$

*где* $\omega$ –угловая скорость ролика эксцентрика [59];

Определим аналог ускорения перемещения полотна на активном встряхивателе вдоль оси OY

$$\begin{cases} -e\,cos\,\varphi_1 - (\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1})^2 R\,cos\,\varphi_2 - R\,sin\,\varphi_2\frac{d^2\varphi_2}{d{\varphi_1}^2} = \frac{d^2y_в}{d{\varphi_1}^2} \\ -e\,sin\,\varphi_1 - (\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1})^2 R\,sin\,\varphi_2 + R\,cos\,\varphi_2\frac{d^2\varphi_2}{d{\varphi_1}^2} = 0 \end{cases} \quad (2.13)$$

*где* $\frac{d^2\varphi_2}{d\varphi_1^2}$ аналог углового ускорения радиуса ролика эксцентрика.

Аналог углового ускорения радиуса ролика эксцентрика определим из второго уравнения системы (2.13)

$$\frac{d^2\varphi_2}{d{\varphi_1}^2} = \frac{(\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1})^2 R\,sin\,\varphi_2 + e\,sin\,\varphi_1}{R\,cos\,\varphi_2} \quad (2.14)$$

Аналог ускорения перемещения полотна на активном встряхивателе вдоль оси OY определим, подставив значение $\frac{d^2\varphi_2}{d{\varphi_1}^2}$ в первое уравнение системы (2.13)

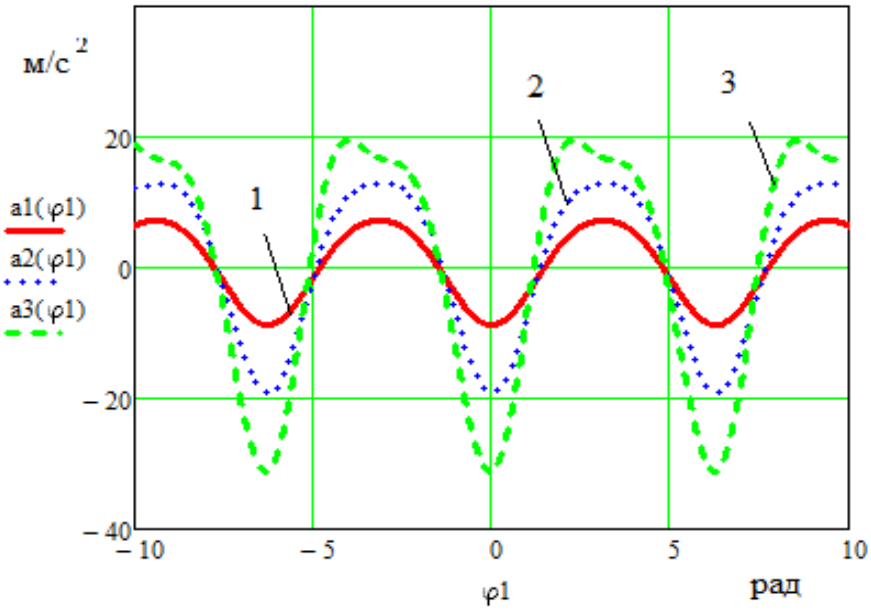
$$\frac{d^2y_в}{d{\varphi_1}^2} = -e\,cos\,\varphi_1 - (\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1})^2 R\,cos\,\varphi_2 - R\,sin\,\varphi_2\frac{(\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1})^2 R\,sin\,\varphi_2 + e\,sin\,\varphi_1}{R\,cos\,\varphi_2} \quad (2.15)$$

Ускорение точки В (полотна элеватора) вдоль оси OY $a_в$

$$a_{в} = \omega^2 \left( \begin{array}{c} -e\cos\varphi_1 - \left( \dfrac{e\cos\varphi_1}{R\sqrt{1-\dfrac{e\sin\varphi_1}{R}}} \right)^2 R\sqrt{1-\dfrac{e\sin\varphi_1}{R}} + \\ +R(\dfrac{e\sin\varphi_1}{R}) \dfrac{\left( \dfrac{e\cos\varphi_1}{R\sqrt{1-\dfrac{e\sin\varphi_1}{R}}} \right)^2 R(-\dfrac{e\sin\varphi_1}{R}) + e\sin\varphi_1}{R\sqrt{1-\dfrac{e\sin\varphi_1}{R}}} \end{array} \right) -$$

$$-\varepsilon(e\sin\varphi_1 + \frac{e^2\sin\varphi_1}{R^2}\frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1-\frac{e\sin\varphi_1}{R}}}) \qquad (2.16)$$

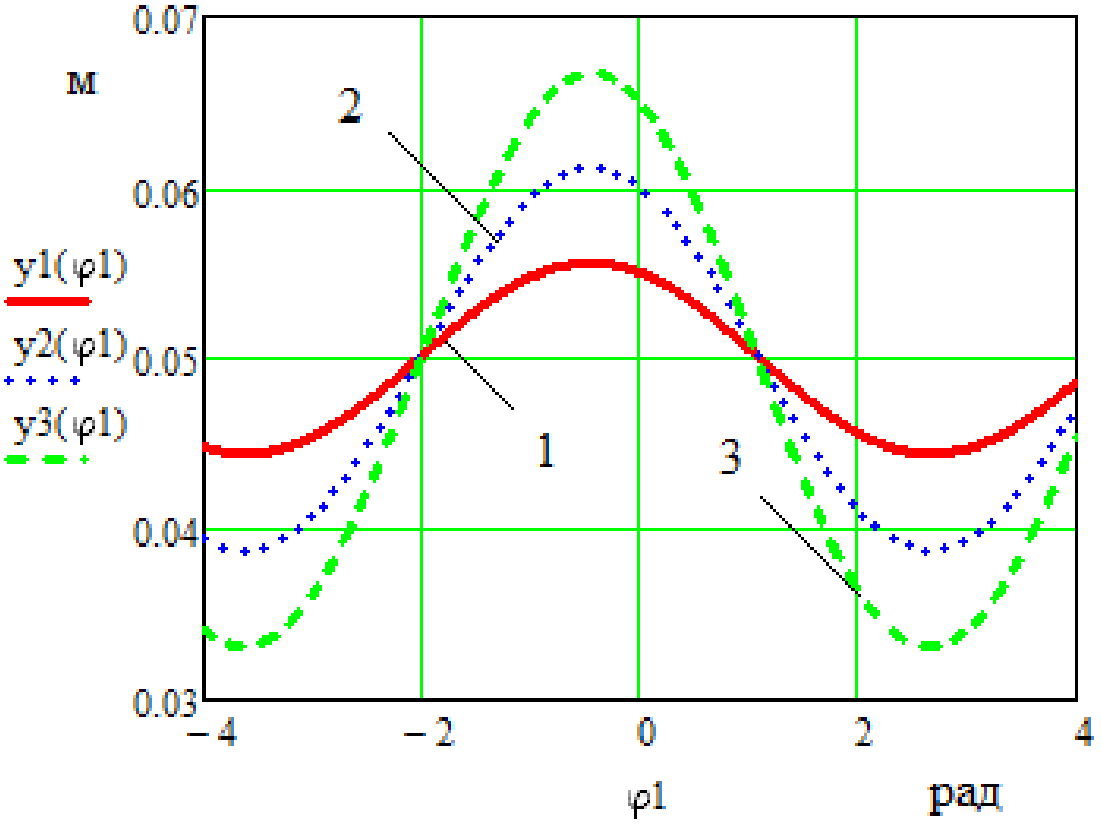
Рассчитаем характеристики ускорения точки В (полотна элеватора) вдоль оси OY в программе Mathcad, приняв радиус ролика $R = 0{,}05$м; угловую скорость $\omega = 30$рад/с; угловое ускорение $\varepsilon = 1$рад/с$^2$ и построим график зависимости (рисунок 2.6).




1 – величина эксцентриситета $e$ =0,005 м; 2 – величина эксцентриситета $e$ =0,01 м; 3 – величина эксцентриситета $e$ =0,015 м

Рисунок 2.6 – Зависимость ускорения полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе вдоль оси OY от угла поворота эксцентрикового ролика

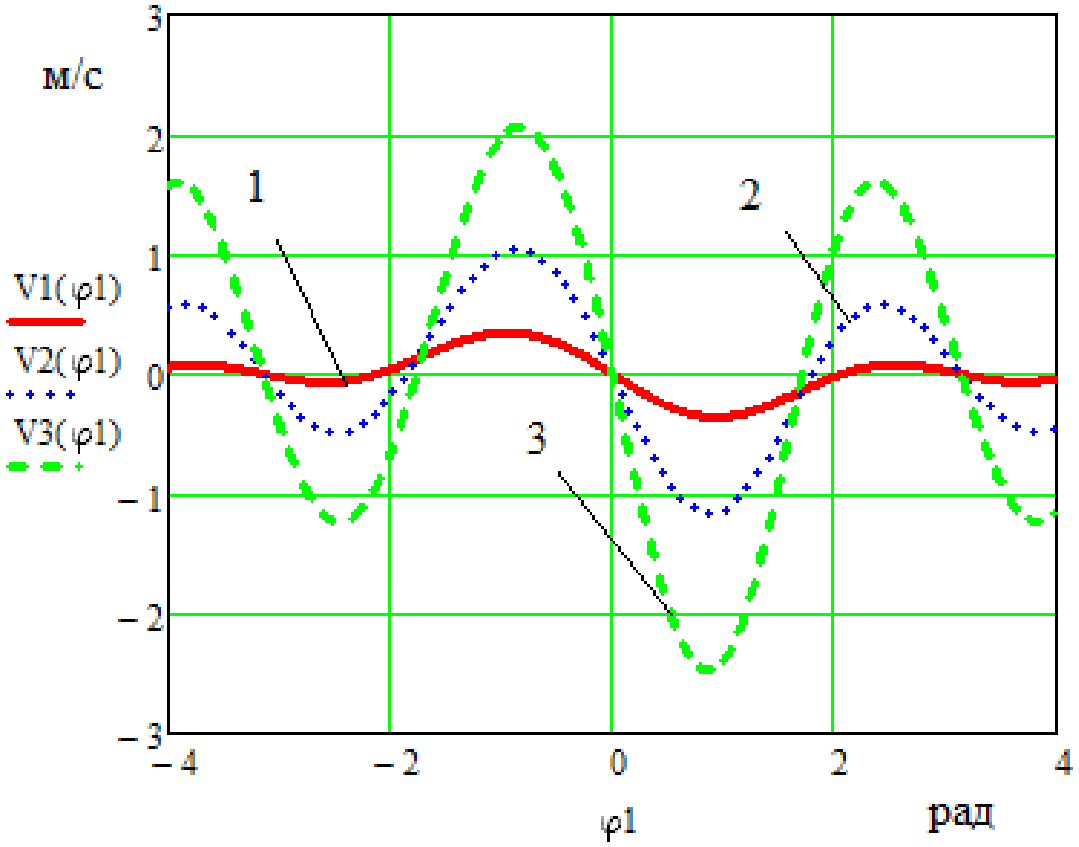
Для обеспечения подбрасывания компонентов картофельного вороха на полотне необходимо превышение ускорения свободного падения. Анализируя рисунок 2.6, можно заметить, что величина эксцентриситета для выполнения условия подбрасывания должна составлять более 0,01м.




1 – величина эксцентриситета *e* =0,005 м; 2 – величина эксцентриситета *e* =0,01 м; 3 – величина эксцентриситета *e* =0,015 м

Рисунок 2.7 – Зависимость перемещения вдоль оси ОУ полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе от угла поворота эксцентрикового ролика

Анализ рисунка 2.7 показал, что при принятых параметрах и эксцентриситете *e* =0,01 м перемещение вдоль оси OY полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе (амплитуда подбрасывания полотна) составляет 0,02 м [59].




1 – величина эксцентриситета $e$ =0,005 м; 2 – величина эксцентриситета $e$ =0,01 м; 3 – величина эксцентриситета $e$ =0,015 м

Рисунок 2.8 – Зависимость скорости полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе вдоль оси OY от угла поворота эксцентрикового ролика

Анализ данных, представленных на рисунке 2.8, показал, что при принятых параметрах и эксцентриситете $e$ =0,01 м поступательная скорость вдоль оси OY полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе составляет около 1 м/с. Таким образом абсолютную скорость компонентов картофельного вороха определим по формуле

$$V_к = \sqrt{V_в^{\,2} + V_э^{\,2}} \qquad (2.17)$$

где $V_э$ – скорость пруткового элеватора, м/с;

$V_в$ - скорость компонента вдоль оси OY, м/с.

Величина абсолютной скорости компонентов картофельного вороха $V_к = \sqrt{1^2 + 2{,}1^2} = 2{,}33 м/с$ , что не превышает допустимого значения [47,50,73,89].

Теоретическими исследованиями установлено, что параметрами активного встряхивателя с эксцентриковыми роликами для исключения предельных условий повреждения клубней картофеля являются:

- радиус ролика $R = 0{,}05 м$ ;
- угловая скорость $\omega = 28 - 43$ рад/с ;
-угловое ускорение $\varepsilon = 0 - 5$ рад/с$^2$;
- эксцентриситет ролика $e$ =0,01 м.

Проведенные исследования показали, что применение эксцентрикового ролика с приводом от индивидуальных мотор-редукторов позволяет оперативно регулировать параметры активного встряхивателя в процессе работы уборочной техники. Применение эксцентрикового ролика с приводом от индивидуальных мотор-редукторов позволяет обеспечить скорость вдоль оси OY полотна пруткового элеватора, которая на активном встряхивателе составляет около 1м/с, при чем ускорение вдоль оси OY полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе достигает 15м/с$^2$

## 2.3. Обоснование параметров сепарирующего органа

«В ходе исследования динамики компонентов картофельного вороха было определено, что величина абсолютной скорости компонента равна 2,33 м/с, исходя из формулы $V_к = \sqrt{1^2 + 2{,}1^2}$. Для определения направления абсолютного скорости компонента используем выражения для направляющих косинусов.

$$\cos\alpha = \frac{V_э}{\sqrt{{V_в}^2 + {V_э}^2}} \qquad (2.18)$$

где $V_э$ – скорость пруткового элеватора, м/с;

$V_в$ - скорость компонента вдоль оси OY, м/с [33].

Изучим траекторию движения компонента картофельного вороха после отрыва от полотна, записав закон его движения в дифференциальной форме (рисунок 2.9).

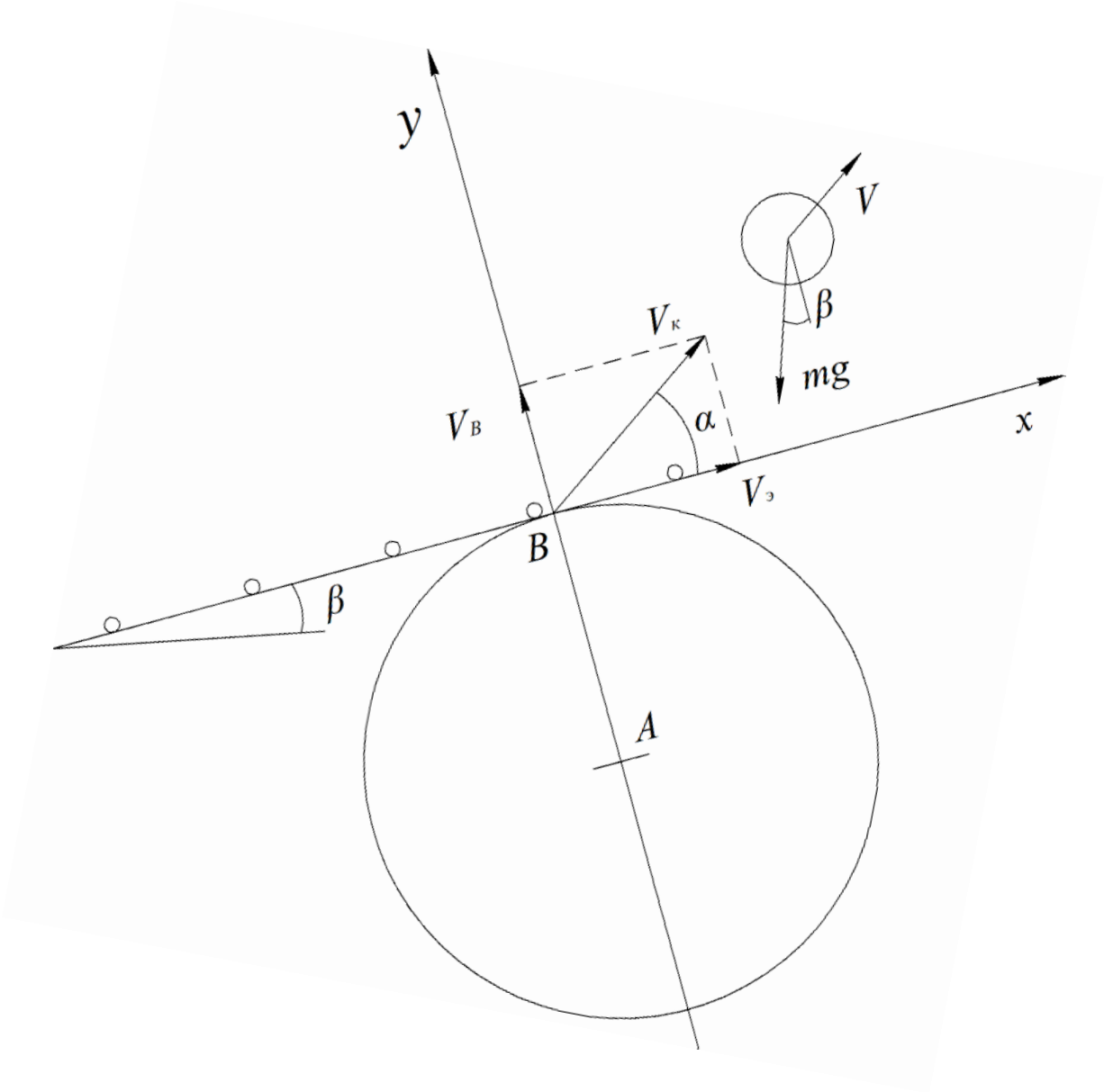



Рисунок 2.9 – Схема к расчету траектории полета компонента картофельного вороха [33]

$$\begin{cases} m_к \frac{d^2x}{dt^2} = -m_к g\, cos(\beta) \\ m_к \frac{d^2y}{dt^2} = -m_к g sin(\beta) \end{cases}. \quad (2.19)$$

где $\beta$– угол наклона элеватора, град;

$\alpha$ – угол направления абсолютной скорости компонента относительно полотна элеватора, град;

$m_к$ – масса компонента картофельного вороха, кг.

«Так как скорость полета компонента не велика сопротивление воздуха не учитываем. Преобразовав выражение (2.19), проинтегрируем с учетом начальных параметров движения при $t_0$=0; $x_0 = 0$;» [33].

« $y_0 = 0$; $V_{x0} = V_э$; $\vartheta_{y0} = V_в$, получим

$$\begin{cases} V_x - V_э = -gt\ cos(\beta) \\ V_y - V_в = -gt\ sin(\beta) \end{cases}. \quad (2.20)$$

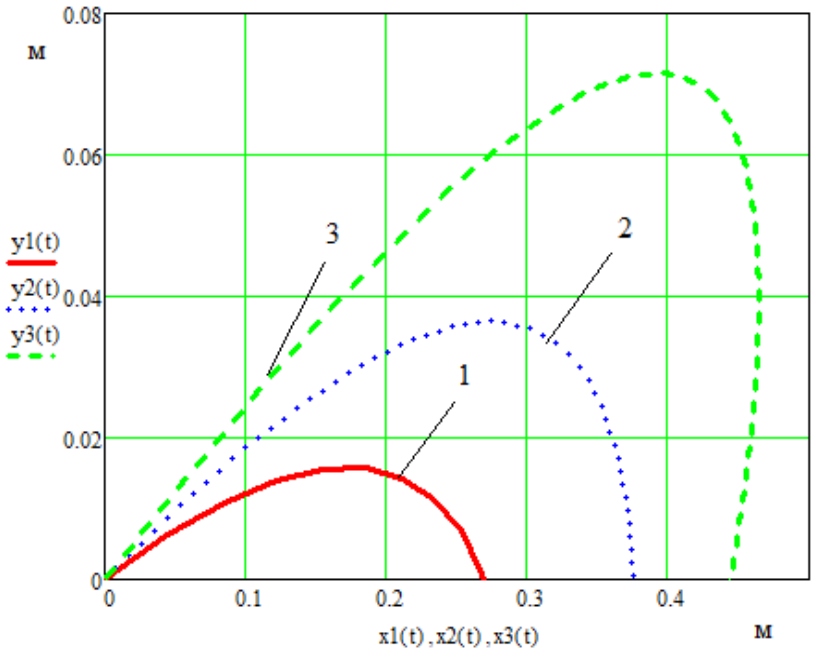
Преобразовав выражение (2.20), проинтегрируем

$$\begin{cases} x = -\frac{g\,t^2}{2}\ cos(\beta) + V_э t \\ y = -\frac{gt^2}{2} sin(\beta) + V_в t \end{cases}. \quad (2.21)$$

Время полета компонента картофельного вороха можно определить из выражения 2.21, приравняв координату $y = 0$, тогда получим

$$t = \frac{2 \cdot V_в}{g \cdot sin(\beta)} \quad (2.22)$$

В программе MathCAD выражению (2.21) построим траекторию полета компонента картофельного вороха (рисунок 2.10).



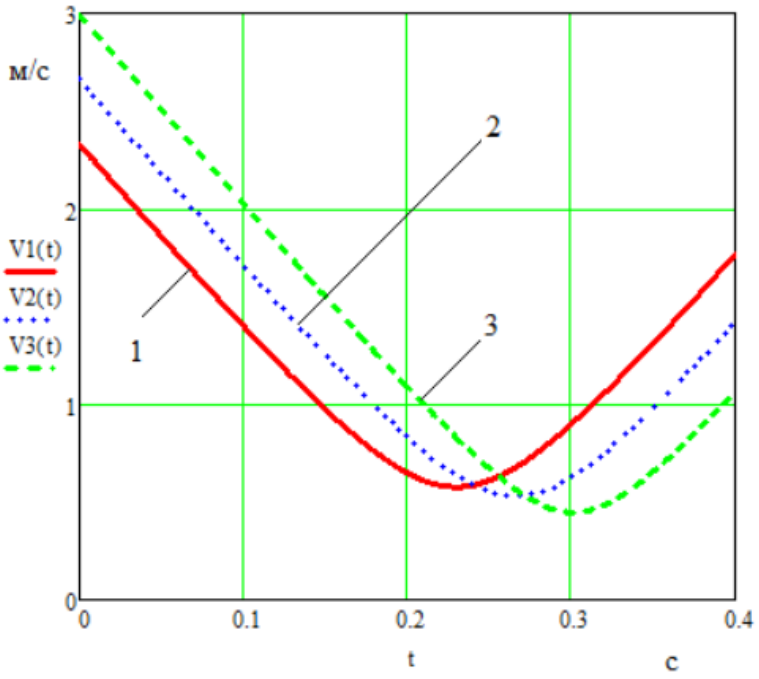

«1 – величина начальной скорости $V_к = 2{,}33 м/с$ ; 2 – величина начальной скорости $V_к = 2{,}66 м/с$ ; 3 – величина начальной скорости $V_к = 2{,}99 м/с$

Рисунок 2.10 - Траектория полета компонента картофельного вороха в зависимости от значения и направления начальной скорости [33]

Анализ представленного рисунка показывает, что путь движения элемента картофельного вороха зависит от начальной вертикальной скорости подбрасывания полотна активным встряхивателем, поскольку скорость элеватора остается постоянной [11,59,75,76,103,110]. Так оси координат расположены под углом $\beta$ к горизонту вдоль полотна элеватора, то участок падения компонента картофельного вороха короче, чем участок подъема, поэтому начальная скорость будет выше скорости падения. Рассчитаем величину абсолютной скорости полета компонента картофельного вороха»:

$$V_к = \sqrt{{V_x}^2 + {V_y}^2} \tag{2.23}$$

«В программе MathCAD выражению (2.23) построим график изменения абсолютной скорости полета компонента картофельного вороха (рисунок 2.11).




1 – величина начальной скорости $V_к = 2{,}33 м/с$ ; 2 – величина начальной скорости $V_к = 2{,}66 м/с$ ; 3 – величина начальной скорости $V_к = 2{,}99 м/с$

Рисунок 2.11 - Абсолютная скорость полета компонента картофельного вороха в зависимости от величины начальной скорости» [33]

Анализ рисунка показал, что абсолютная скорость в процессе полета компонента картофельного вороха вначале снижается, а затем несколько возрастает при падении компонента. Однако величина скорости компонента в начале полета $(2{,}33 \ldots 3{,}0\ м/с)$ существенно выше скорости падения $(0{,}9 \ldots 1{,}5\ м/с)$, поэтому величину ударного импульса (повреждения клубня) следует оценивать не только по скорости падения, но и по скорости подбрасывания.

Так как увеличение ускорения на активном встряхивателе (эксцентриковом ролике) происходит постепенно, то величину ускорения вдоль оси ОУ полотна пруткового элеватора можно вычислить исходя из параметров эксцентрикового ролика , что составляет около 15…20 м/с$^2$ .

Величина ударного импульса определится выражением:

$$\begin{cases} m(V_x - (V_{x1} + V_э)) = S_x \\ m(V_y - V_{y1}) = S_y \end{cases}. \qquad (2.24)$$

где:

$S$ – ударный импульс компонента;

$m$ –масса компонента;

$V_x$ - скорость до удара компонента об элеватор вдоль оси ОХ;

$V_{\text{у}}$ - скорость до удара компонента об элеватор вдоль оси ОУ;

$V_{\text{э}}$ -скорость движения элеватора;

$V_{x1}$ - скорость после удара компонента об элеватор вдоль оси ОХ;

$V_{\text{у}1}$ - скорость до удара компонента об элеватор вдоль оси ОУ.

При этом скорости компонента удара после него определятся коэффициентом восстановления. Приняв, что величина коэффициента восстановления компонента при соударении с элеватором одинакова вдоль обеих осей, запишем

$$\begin{cases} m \cdot V_x\,(1+\ k) - mV_{\text{э}} = S_x \\ m \cdot V_{\text{у}}\,(1+\ k) = S_y \end{cases}. \tag{2.25}$$

где $k$ - коэффициент восстановления компонента при ударе об элеватор [15], ($k = -\frac{V_{\text{у}1}}{V_{\text{у}}}$).

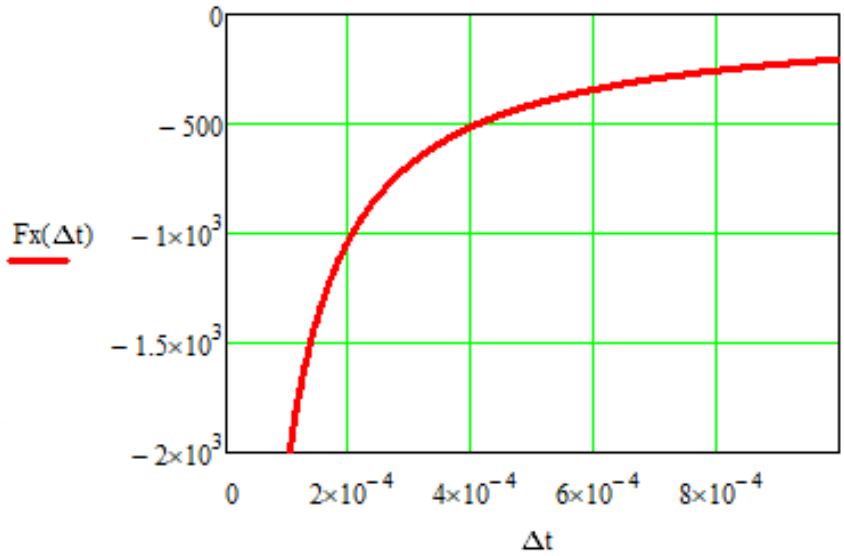
Таким образом, можно заметить, что величина ударного импульса вдоль оси ОХ в значительной мере определяется скоростью движения элеватора. Используя теорему об изменении количества движения, запишем

$$\begin{cases} m \cdot V_x\,(1+\ k) - m \cdot V_{\text{э}} = F_x \cdot \Delta t \\ m \cdot V_{\text{у}}\,(1+\ k) = F_y \cdot \Delta t \end{cases} \tag{2.26}$$

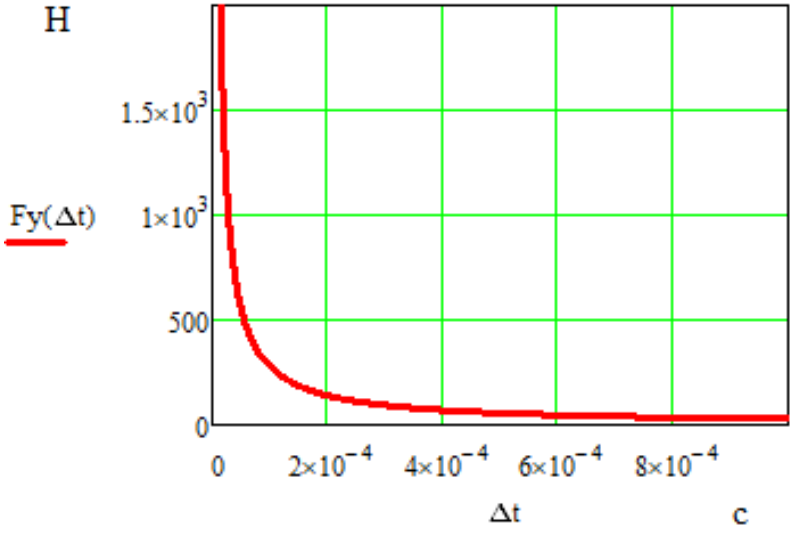
Выразим проекции ударных усилий компонента картофельного вороха из выражения (2.27)

$$\begin{cases} F_x = \frac{m \cdot V_x\,(1+k) - m \cdot V_{\text{э}}}{\Delta t} \\ F_y = \frac{m \cdot V_{\text{у}}\,(1+k)}{\Delta t} \end{cases}. \tag{2.27}$$

Рассчитаем в программе MathCAD величину проекции ударных усилий компонента картофельного вороха исходя из следующих параметров $m =$ 0,1 кг; $V_{\text{э}} = 2{,}1$ м/с; $k = -0{,}6$; $V_x = 0{,}5$ м/с; $V_{\text{у}} = 0{,}9$ м/с.




а




б

а – изменение ударного усилия вдоль полотна элеватора; б – изменение ударного усилия перпендикулярно полотну элеватора»

Рисунок 2.12 – Зависимость величины ударных усилий компонента картофельного времени удара [33].

Согласно данным, представленным на рисунке 2.28, при одинаковой длительности удара проекционные величины ударных воздействий на компоненты картофельного вороха отличаются в 2-3 раза, причем наибольшие значения демонстрируют усилия, ориентированные параллельно полотну элеватора. «Поэтому для снижения повреждений на сепарирующем элеваторе

не следует увеличивать величину подскока клубней, что приводит к снижению скорости вдоль элеватора, уменьшению величины коэффициента восстановления за счет прослойки почвы или установки трубок гасителей удара на прутки» [33].

**Выводы по главе 2**

1. Теоретическими исследованиями установлено, что при радиусе ролика $R = 0{,}05$м , угловой скорости $\omega = 40$рад/с и эксцентриситете $e$ =0,01 м перемещение вдоль оси OY полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе (амплитуда подбрасывания полотна) составляет около 0,02м. Установлено, что при принятых параметрах поступательная скорость вдоль оси OY полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе составляет около 1 м/с.

2. Теоретическими исследованиями установлено, что параметрами активного встряхивателя с эксцентриковыми роликами для исключения предельных условий повреждения клубней картофеля являются:

- радиус ролика $R = 0{,}05$м ;
- угловая скорость $\omega = 28 - 44$ рад/с ;
-угловое ускорение $\varepsilon = 0 - 5$ рад/с$^2$;
- эксцентриситет ролика $e$ =0,01 м.

3. Применение эксцентрикового ролика с приводом от индивидуальных мотор-редукторов позволяет обеспечить скорость вдоль оси OY полотна пруткового элеватора, которая на активном встряхивателе составляет около 1м/с, при чем ускорение вдоль оси OY полотна пруткового элеватора на активном встряхивателе достигает 15м/с$^2$ .

4. Установлено, при одинаковой длительности удара проекции ударных усилий клубней картофеля существенно различаются. Ударные усилия, ориентированные вдоль полотна элеватора в 2-3 раза, чем ударные усилия поперек полотна, это обусловлено тем, что при подскоке клубня на наклонном полотне он падет почти вертикально и теряет скорость вдоль полотна

элеватора практически до нуля. При падении клубень сталкивается с прутками, движущими со скоростью элеватора. Поэтому увеличение высоты подскока клубней повышает интенсивность соударения с прутками элеватора из-за чего наблюдается скатывание клубней вниз по элеватору, что приводит к увеличению повреждений клубней. Уменьшение высоты подскока при воздействии встряхивателя с приводным эксцентриковым роликом снижает повреждения клубней.

# 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСТРЯХИВАТЕЛЯ ЭЛЕВАТОРА С ЭКСЦЕНТРИКОВЫМ РОЛИКОМ КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ

## 3.1 Программа исследований

Теоретическими исследованиями установлены параметры встряхивателя с приводным эксцентриковым роликом, воздействующим на полотно сепарирующего органа, которое подбрасывает клубни. Параметры перемещения (полета) корнеплодов картофеля, регистрируемые при этом, являются важными показателями, оказывающими влияние на повреждения клубней при функционировании встряхивателя и картофелекопателя в целом. Для уточнения параметров перемещения клубней были проведены лабораторные эксперименты [59].

Программа лабораторных экспериментальных исследований включала:

1. Изучение траекторий движения клубней при работе встряхивателя с приводным эксцентриковым роликом.
2. Изучение характеристик взаимодействия «электронного клубня» с элеватором, оборудованным встряхивателем с приводным эксцентриковым роликом.

## 3.2. Объект исследований и применяемое оборудование

Объект исследования - процесс работы пруткового элеватора, оснащенного встряхивателем с приводным эксцентриковым роликом [59].

«Картофелекопатель для проведения экспериментов был оборудован мотор-редукторами с эксцентриковыми роликами с обечайками, что позволяло менять их угловую скорость. Эксцентриковые ролики с обечайками установлены под полотно основного пруткового элеватора для изменения амплитуды и частоты подбрасываний полотна элеватора. Подбрасывание

полотна элеватора позволяет динамически воздействовать на клубненосный пласт и осуществлять переориентацию компонентов картофельного вороха, что улучшает сепарацию почвы. Привод рабочих органов картофелекопателя осуществляли с помощью ВОМ трактора» [33].

Для изучения траектории движения клубней при подбрасывании был использован картофелекопатель, оборудованный элеватором с активными встряхивателями (рисунок 3.1).

Рисунок 3.1 – Общий вид экспериментальной установки - элеватора с адаптивными встряхивателями.

Для оценки динамического воздействия на компоненты клубненосного вороха использовали прибор с электронным клубнем «Tuber-Log» (рисунок 3.2) [33].

### 3.3. Методика исследований

Для проведения эксперимента на основе теоретических исследований и предварительных экспериментов были выбраны факторы варьирования. Параметры эксперимента приведены в матрице планирования (таблица 3.1).

Рисунок 3.2 Электронный клубень «Tuber-Log»

Таблица 3.1 – Матрица планирования эксперимента по изучению влияния ударного воздействия встряхивателя с приводным эксцентриковым роликом на электронный клубень

| Уровни варьирования факторов | Факторы варьирования | | | | Функция оптимизации | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Частота вращения ролика адаптивного встряхивателя | | Эксцентриситет роликов адаптивного встряхивателя | | Показатель повреждений | |
| Виды значений | кодир. знач. | натур. знач., об/мин | кодир. знач. | натур. знач., м | H | |
| Верхний уровень | +1 | 350 | +1 | 0,015 | $H_1$ | $L_1$ |
| Нулевой уровень | 0 | 300 | 0 | 0,0125 | $H_2$ | $L_2$ |
| Нижний уровень | -1 | 250 | -1 | 0,010 | $H_3$ | $L_3$ |

Электронный клубень «Tuber-Log» располагали на движущемся полотне элеватора и при его прохождении по рабочим органам картофелекопателя снимали показания (рисунок 3.3) [33].

Рисунок 3.3 – Полет электронного клубня «Tuber-Log» при исследовании динамического воздействия элеваторов с активными встряхивателями

Для оценки показателя повреждений, воспринимаемого электронным клубнем «Tuber-Log» при работе сепарирующего органа с эксцентриковым роликом, применяли тарировочные характеристики, моделирующие падение электронного клубня «Tuber-Log» на поверхность с различной высоты. Так как рабочие органы картофелеуборочной машины состоят из металла и пластика, то приведем тарировочные характеристики при падении электронного клубня «Tuber-Log» на сталь (рисунок 3.4).

На основе анализа опытных данных получено уравнение регрессии:

$$G = -22{,}5h^2 + 167{,}5h + 30 \qquad (3.1)$$

где G – показатель повреждений на эксцентриковом ролике, усл. ед.;

h – высота падения электронного клубня «Tuber-Log», м.

Тарировочные характеристики при падении электронного клубня «Tuber-Log» на полимерную поверхность (рисунок 3.5).

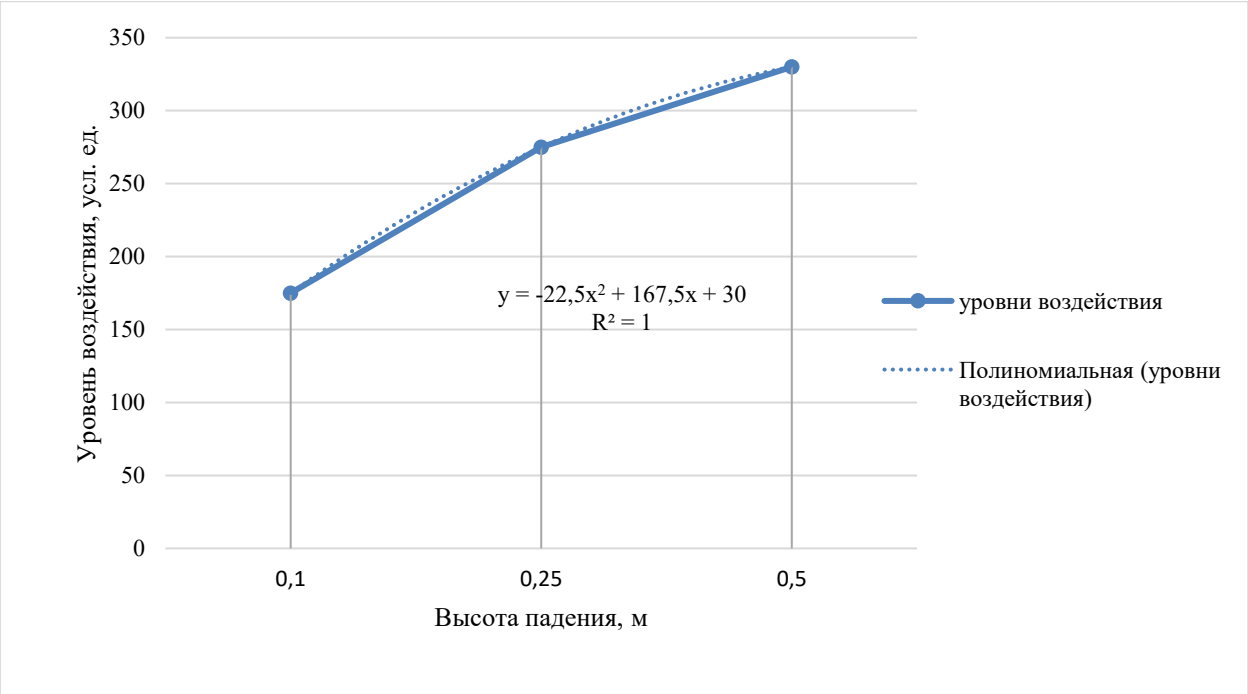



Рисунок 3.4 - Зависимость показателя повреждений, воспринимаемого электронным клубнем «Tuber-Log», от высоты при падении на стальную поверхность

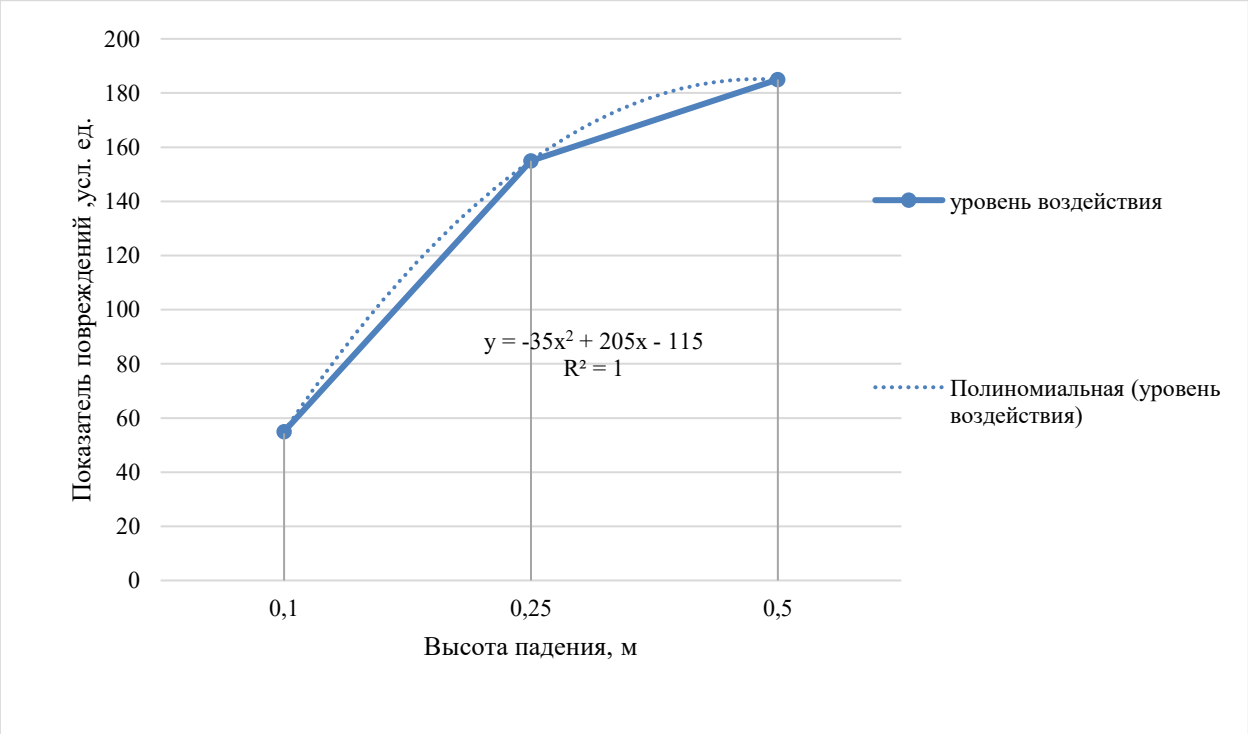



Рисунок 3.5 - Зависимость показателя повреждений, воспринимаемого электронным клубнем «Tuber-Log», от высоты при падении на полимерную поверхность

Адекватность уравнения регрессии опытным данным характеризуется коэффициентом детерминации $R^2 = 1$ на уровне значимости 0,95. Выразим высоту падения на стальные поверхности рабочих органов электронного клубня «Tuber-Log» из выражения (3.1).

$$h = \frac{167{,}5+\sqrt{28056{,}25-90(G-30)}}{45} \quad (3.2)$$

На основе анализа опытных данных получено уравнение регрессии:

$$G = -35h^2 + 205h - 115 \quad (3.3)$$

где G – показатель повреждений, воспринимаемый электронным клубнем «Tuber-Log», при падении на пластик, усл. ед.; h – высота падения электронного клубня «Tuber-Log», м.

Адекватность уравнения регрессии опытным данным характеризуется коэффициентом детерминации $R^2 = 1$ на уровне значимости 0,95. Выразим высоту падения на пластиковые поверхности рабочих органов электронного клубня «Tuber-Log» из выражения (3.3)

$$h = \frac{205+\sqrt{42025-140(G-115)}}{70} \quad (3.4)$$

Высота падения электронного клубня «Tuber-Log» определяет величину импульса силы, который равен изменению импульса клубня при ударе

$$S = mV - mV_0 \quad (3.5)$$

где S – ударный импульс клубня картофеля, Н*с;

$m$ – масса клубня, кг;

$V, V_0$ – скорость клубня в начале и конце удара, м/с.

Учитывая, что в конце удара скорость близка к нулю рассчитаем ударный импульс клубня и построим зависимость для клубня массой 0,12 кг (рисунок 3.6).

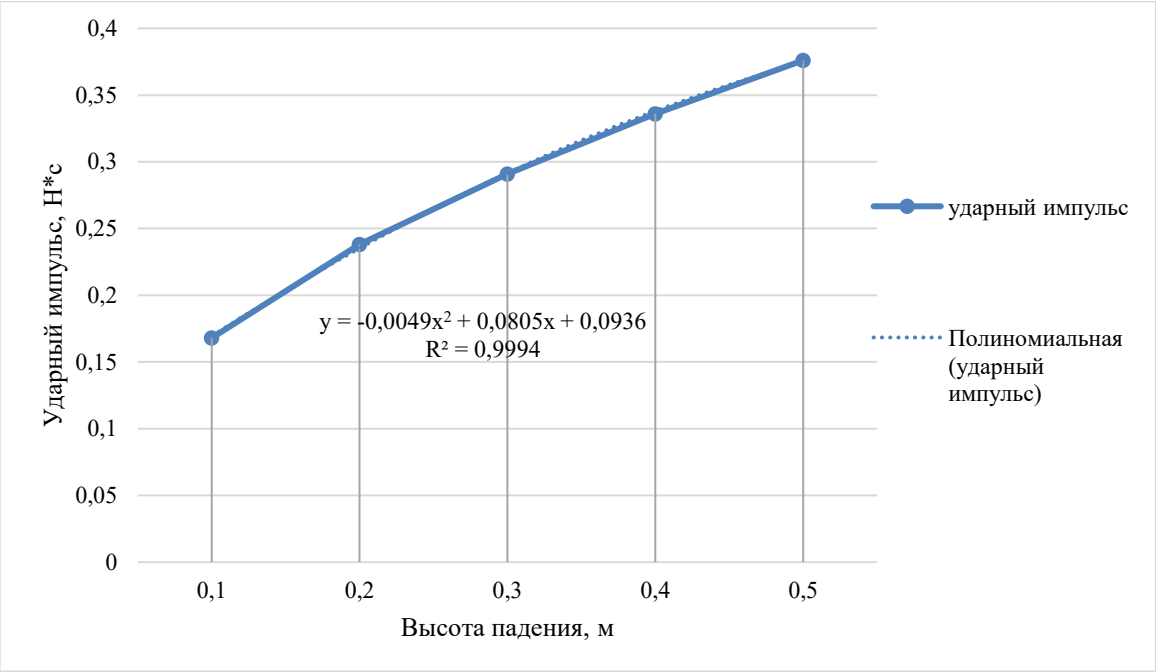
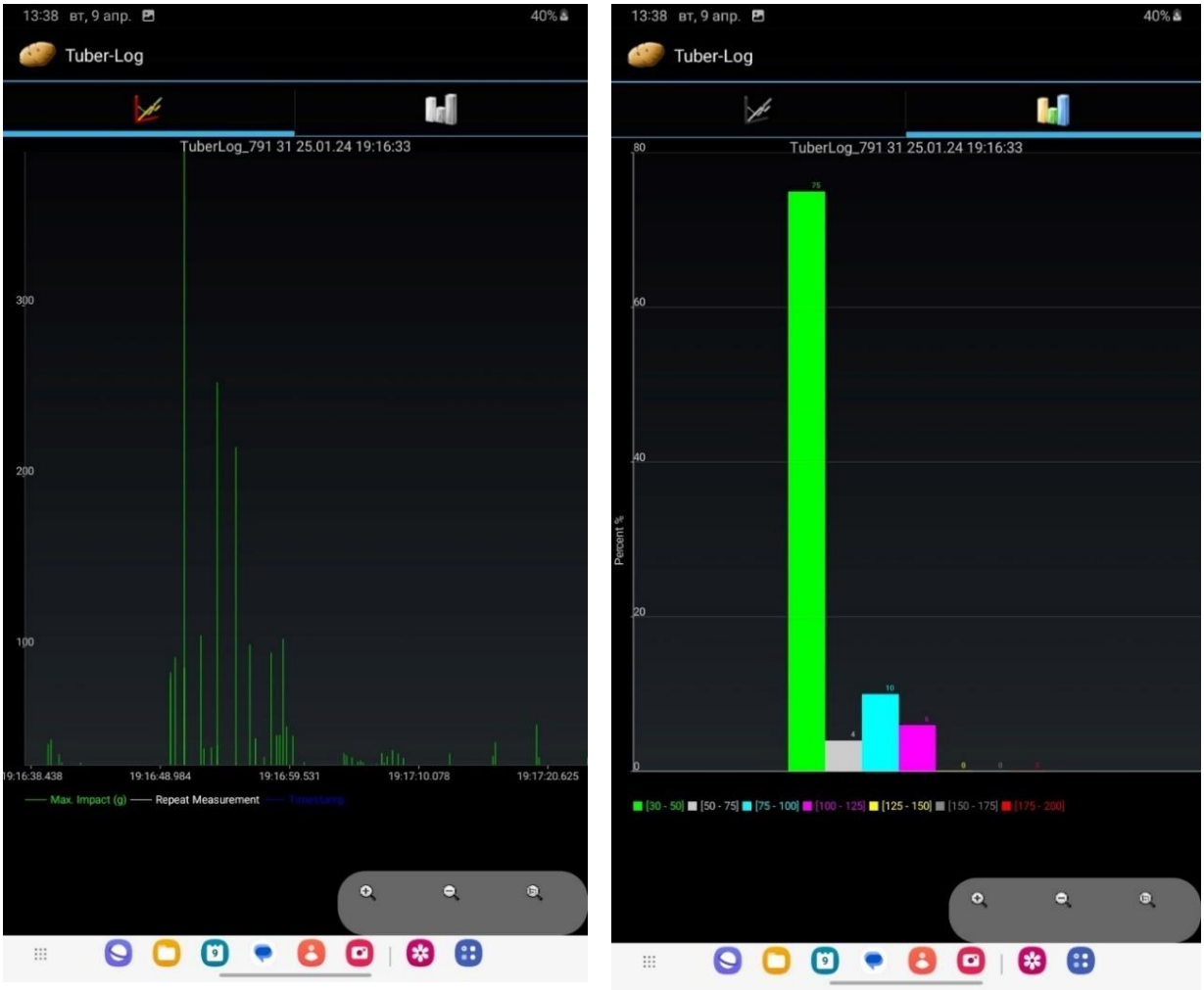



Рисунок 3.6 - Зависимость ударного импульса (S), м от высоты падения картофеля (h), м

### 3.4. Результаты исследований

При расшифровке показаний прибора с электронным клубнем «Tuber-Log» оценивали величину динамического воздействия активного встряхивателя. Полученные показания анализировали с помощью программного обеспечения на планшете устройства (рисунок 3.7) [33].

Анализ показаний прибора с электронным клубнем «Tuber-Log» (рисунок 3.7) показал, что количество нагрузок, вызывающих повреждения клубней, (показатель повреждений) ограничено единичными случаями, количество предельных нагрузок составляет около 16%, остальные усилия не вызывают повреждения клубней» [33]. Применение регулируемого встряхивателя с приводным эксцентриковым роликом и электронного клубня «Tuber-Log» для выбора необходимых параметров сепарирующего органа позволяет избежать предельных нагрузок и ускоряет настройку картофелекопателя в полевых условиях.




а б

а - величины показателя повреждений электронного клубня «Tuber-Log»;

б – гистограмма частот распределения показателя повреждений

Рисунок 3.7 - Общий вид интерфейса прибора с электронным клубнем «Tuber-Log [33]

Согласно матрице эксперимента проведен двухфакторный эксперимент $3^2$. На основе экспериментальных данных получено уравнение регрессии показателя повреждений при движении на эксцентриковом ролике с различными параметрами [33]:

$$G = 168{,}89 + 31{,}67 \cdot n - 36{,}67 \cdot e - 14{,}33 \cdot n^2 + \\ +13{,}00 \cdot n \cdot e + 20{,}67 \cdot e^2 \qquad (3.6)$$

где G – показатель повреждений на эксцентриковом ролике, усл. ед.;

$n$ – частота вращения эксцентрикового ролика, об/мин;

$e$ – эксцентриситет ролика, м.

Адекватность и значимость уравнения регрессии подтверждается высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0{,}98$ на уровне значимости 0,95.

Также был построен график зависимости показателя повреждений при движении на эксцентриковом ролике от его частоты вращения и величины эксцентриситета (рисунок 3.8).

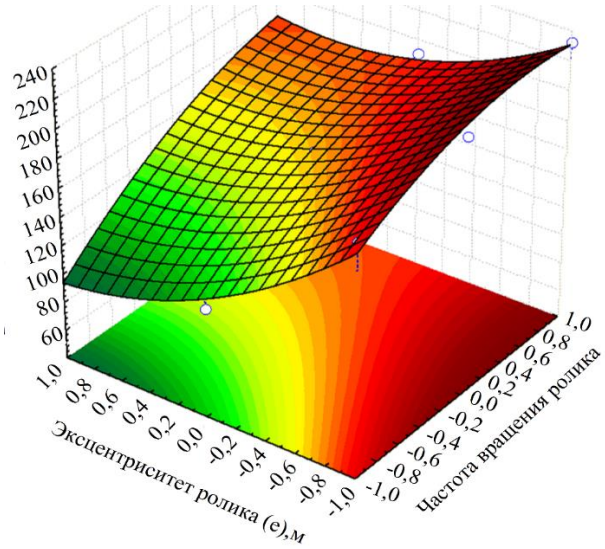



Рисунок 3.8 - Зависимость показателя повреждений (усл. ед.) при движении на эксцентриковом ролике от его частоты вращения и величины эксцентриситета

Анализ рисунка 3.8 показал, что величина эксцентриситета является наиболее значимым фактором, влияющим на показатель повреждений электронного клубня «Tuber-Log» при движении на эксцентриковом ролике. Допустимые значения уровня воздействия приходятся на нулевую величину фактора, что соответствует величине эксцентриситета $e = 0{,}01м$. Частота вращения ролика, соответствующая допустимой величине воздействия на электронный клубень «Tuber-Log» равна диапазону 280-295 об/мин, что соответствует угловой скорости 29-31 рад/с.

Таким образом применение активных встряхивателей - приводных эксцентриковых роликов позволяет оперативно реагировать на изменение условий уборки, выбирая необходимые параметры сепарирующего элеватора, не выходя из кабины трактора [33].

**Выводы по главе 3**

1. Экспериментальными исследованиями установлено, что величина эксцентриситета является наиболее значимым фактором, влияющим на показатель повреждений электронного клубня «Tuber-Log» при движении на эксцентриковом ролике. Допустимые значения показателя повреждений приходятся на нулевую величину фактора, что соответствует величине эксцентриситета $e = 0{,}01$м . Частота вращения ролика, соответствующая допустимому показателю повреждений электронного клубня «Tuber-Log», равна диапазону 29-31 рад/с.

2. В результате лабораторного эксперимента с применением электронного клубня «Tuber-Log» установлено, что количество нагрузок, вызывающих повреждения клубней, (показатель повреждений) ограничено единичными случаями, количество предельных нагрузок составляет около 16%, остальные усилия не вызывают повреждения клубней. Применение регулируемого встряхивателя с приводным эксцентриковым роликом и электронного клубня «Tuber-Log» для выбора необходимых параметров сепарирующего органа позволяет избежать предельных нагрузок и ускоряет настройку картофелекопателя в полевых условиях.

# 4. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ, ОСНАЩЕННОГО ВСТРЯХИВАТЕЛЕМ ЭЛЕВАТОРА С ЭКСЦЕНТРИКОВЫМ РОЛИКОМ, И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ЕГО ВНЕДРЕНИЯ

## 4.1 Программа полевых исследований

Программа исследований сформировалась из поставленных задач исследований:

1 – уточнение обоснованных параметров встряхивателей в виде приводных эксцентриковых роликов элеватора картофелекопателя;

2 – оценка показателей работы картофелекопателя, оснащенного встряхивателями в виде приводных эксцентриковых роликов элеватора.

## 4.2 Объект полевых исследований и применяемое оборудование

Картофелекопатель является наиболее простой картофелеуборочной машиной, не имеющей дополнительных рабочих органов для очистки картофельного вороха, и поэтому был выбран для оценки эффективности встряхивателей в виде приводных эксцентриковых роликов элеватора. Наиболее простым и распространенным картофелекопателем является КТН-2В, который для проведения исследований был оборудован встряхивателями в виде приводных эксцентриковых роликов элеватора, при этом штатные - пассивные эллиптические встряхиватели были сняты. Результаты исследований сравнивали с показателями серийной машиной КТН-2В.

Сравнительные исследования картофелекопателей проводили в сентябре 2024 года в УНИЦ «Агротехнопарк» Рязанского района Рязанской области. На выбранных учетных делянках шириной 1,4 м и длиной 14,3 м расположенных по диагонали поля изучали условия исследований и проводили агротехническую оценку картофелекопателя КТН – 2В (рисунок

4.1), оборудованного встряхивателями в виде приводных эксцентриковых роликов (рисунок 4.2). Для определения условий исследований, агротехнической, эксплуатационно-технологической и других видов оценки применяемой техники использовали нормативные документы [28,29,30,31,32].

Для проведения экспериментальных работ была подготовлена специальная площадка, обеспечивающая возможность настройки машины в полевых условиях и проведения комплексной оценки её рабочих характеристик. При выполнении агротехнических исследований картофелеуборочной машины стыковые междурядья не включались в общую ширину захвата агрегата, что является общепринятым [16,19,72,84,118]. При проведении исследований использовалось современное сертифицированное оборудование.

### 4.3 Методика полевых исследований

Методика исследований выбрана в соответствии с ГОСТ 28713-2018 «Машины для уборки картофеля. Методы испытаний» [29]. В соответствии с указанным нормативным документом, в частности, определялись показатели условий испытаний, выбирались режимы работы агрегатов, выявлялись показатели качества выполнения технологического процесса, и другие характеристики.

### 4.4 Результаты полевых исследований

Исследования картофелекопателя с экспериментальным рабочим органом проводились по двум ключевым направлениям: проверка ранее разработанных теоретических и практических решений в реальных условиях уборки урожая и сопоставление агротехнических характеристик экспериментальной модели с серийно производимой версией [107,110].

На территории картофельного поля был выделен конкретный участок и проведена его детальная характеристика, результаты которой были внесены в таблицу 4.1.

а

б

в

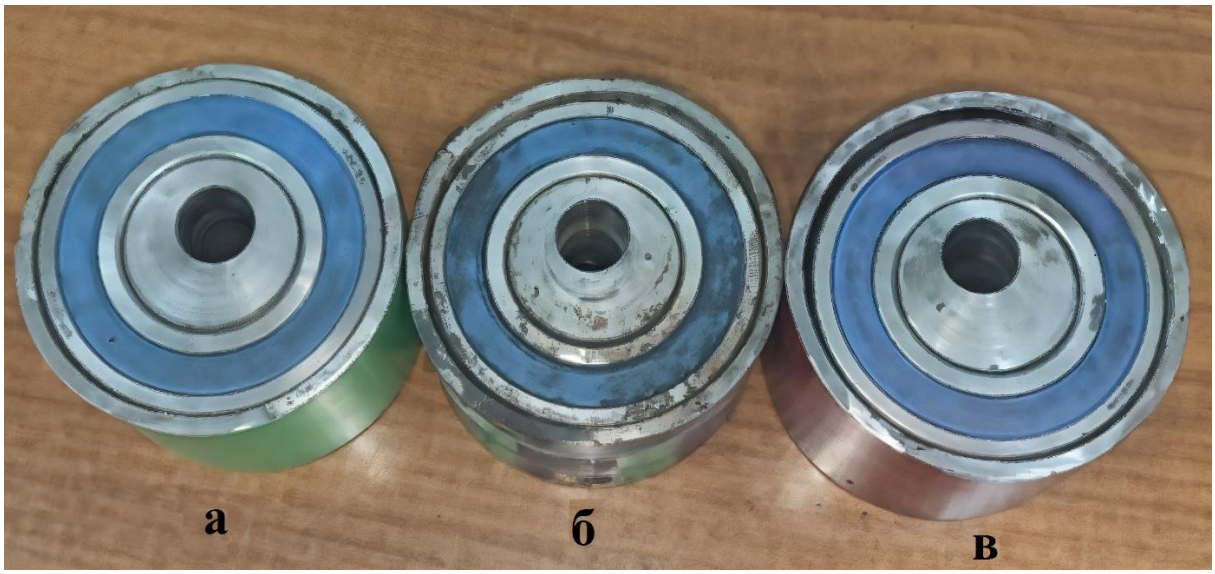
Рисунок 4.1 – Полевой эксперимент картофелекопателя КТН-2В

Таблица 4.1 – Характеристика участка при полевых исследованиях в УНИЦ «Агротехнопарк» Рязанского района Рязанской области

| Наименование показателей | Значение показателей |
|---|---|
| 1. Тип почвы | Темно-серая лесная |
| 2. Название по механическому составу | Тяжелый суглинок |
| 3. Рельеф (уклон ) | 1,2…3,2 |
| 4. Микрорельеф | Гребнистый |
| 5. Влажность почвы в % по слоям, см | |
| 0…5 | 13,8 |
| 5…10 | 14,7 |
| 10...15 | 16,9 |
| 15…20 | 19,2 |
| 20…25 | 19,4 |
| 6. Температура воздуха, $°C$ | 12…18 |
| 7. Температура почвы на глубине залегания клубней, $°C$ | 11…13 |
| 8. Предшественник | Пшеница озимая |
| 9. Предшествующая обработка | фрезерование |
| 10. Твердость почвы, МПа | 1,16 |

Помимо этого, были установлены параметры проведения полевых исследований в процессе агротехнической оценки участка. Соответствующие данные представлены в таблице 4.2 [33].

В результате экспериментальных исследований серийного картофелекопателя КТН-2В и картофелекопателя КТН-2В, оснащенного встряхивателем сепарирующего органа с приводными эксцентриковыми роликами, установлено, что при уборке картофеля сорта «Гранд» в условиях, представленных в таблицах 4.1 и 4.2 картофелекопатель КТН-2В с предлагаемым решением показал снижение повреждений клубней с 4,22 до 3,87% (на 0,35% в абсолютном выражении, что в относительном выражении составляет 8,3%) в сравнении с серийным картофелекопателем КТН-2В. Потери клубней уменьшились с 7,3 до 4,0% по общей массе (не оставленные в почве и не присыпанные почвой).




а – величина эксцентриситета е = 0,005 м, б - величина эксцентриситета е = 0,01 м, в - величина эксцентриситета е = 0,015 м

Рисунок 4.2 – Общий вид роликов-подбрасывателей с разным уровнем эксцентриситета на картофелекопателе КТН-2В, оснащенном встряхивателем сепарирующего органа с приводными эксцентриковыми роликами

Таблица 4.2 – Условия полевых исследований при агротехнической оценке участка в УНИЦ «Агротехнопарк» Рязанского района Рязанской области

| Наименование показателей | Значение показателей |
|---|---|
| 1. Характеристика культуры: | |
| - сорт картофеля | «Гранд» |
| - способ посадки | Гребневый |
| - биологическая зрелость | Да |
| - состояние ботвы | подсохшая |
| 2. Высота гряды, см | 18 |
| 3. Густота насаждений, тыс. шт./га | 49,4 |
| 4. Характеристика гнезда: | |
| - ширина, см | 24,3 |
| - глубина верхнего и нижнего клубней, см | 2…18 |
| - ширина междурядий, см | 70 |
| 5. Биологическая урожайность ботвы, т/га | 1,21 |
| 6. Размерно-весовая характеристика клубней (средние значения) | |
| - длина, мм | 68,5 |
| - ширина, мм | 56,6 |
| - толщина, мм | 52,4 |
| - средняя масса клубней, г | 117,8 |

На рисунках 4.1 и 4.2 представлены проведение полевого эксперимента картофелекопателя КТН-2В и изображение роликов-подбрасывателей с различными значениями эксцентриситета.

Выбор режимов работы картофелекопателя КТН-2В, оснащенного встряхивателем сепарирующего органа с приводными эксцентриковыми роликами, приведен в таблице 4.3

Таблица 4.3 Выбор режимов работы картофелекопателя КТН-2В, оснащенного встряхивателем сепарирующего органа с приводными эксцентриковыми роликами.

| **Наименование показателей** | **Значение показателей** |
|---|---|
| **1** | **2** |
| 1. Максимальная поступательная скорость движения, км/ч | 4,3 |
| 2. Количество учетных площадок, шт. | 5 |
| 3. Размер площадок: | |
| - длина, м | 14,3 |
| - ширина, м | 1,4 |
| 4. Время прохождения площадки, с | 8,6 |
| 5. Число повторностей, шт. | 3 |
| 6. Глубина хода, см | 22 |
| 7. Производительность (за 1 час эксплуатационного времени), га/ч | 0,57 |
| 8. Коэффициент использования эксплуатационного времени | 0,88 |

Показатели качества работ при использовании экспериментального агрегата (картофелекопатель, оснащенный встряхивателем сепарирующего органа с приводными эксцентриковыми роликами) в сравнении с контролем (серийный картофелекопатель) представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 Определение показателей качества работ при использовании экспериментального агрегата (картофелекопатель, оснащенный встряхивателем сепарирующего органа с приводными эксцентриковыми роликами) в сравнении с контролем (серийный картофелекопатель)

| Наименование показателя | Эксперимент | Контроль |
|---|---|---|
| 1. Свободные клубни на поверхности почвы (по массе), % | 95,7 | 92,3 |
| 2. Клубни на поверхности почвы, но не оторванные от ботвы (по массе), % | 0,3 | 0,4 |
| 3. Оставленные в почве клубни (по массе), % | 0,5 | 0,5 |
| 4. Присыпанные почвой клубни (по массе), % | 3,5 | 6,8 |
| 5. Повреждения клубней (по массе), % | 3,87 | 4,22 |
| 5.1 С содранной кожурой от ¼ до ½ поверхности | 0,61 | 0,66 |
| 5.2. С содранной кожурой от ½ и более поверхности | 0,13 | 0,15 |
| 5.3. С вырыванием мякоти более 5мм | 0,45 | 0,44 |
| 5.4. С трещинами длиной более 20мм | 0,20 | 0,22 |
| 5.5. Резаные клубни | 0,13 | 0,12 |
| 5.6. Раздавленные клубни | 0,24 | 0,26 |
| 5.7.С потемнением мякоти более 5мм | 2,27 | 2,35 |
| 6. Урожайность клубней, т/га | 22,0 | 22,0 |

Таким образом, экспериментальные исследования в полевых условиях картофелекопателя КТН-2В с предлагаемым решением доказывают, что применение встряхивателей в виде приводных эксцентриковых роликов с обечайкой является перспективным интенсификатором сепарирующих элеваторов картофелеуборочных машин.

### 4.5. Расчет экономического эффекта предлагаемых решений

Расчет экономического эффекта картофелекопателя, оснащенного встряхивателем сепарирующего органа с приводными эксцентриковыми роликами, производили согласно ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» [30]. Результаты расчетов представлены в таблицах 4.5, 4.6.

Таблица 4.5 Показатели экономической оценки

| Наименование показателей | Значение показателей | |
|---|---|---|
| | КТН-2В (стандартный)* | КТН-2В с предлагаемым решением |
| Балансовая стоимость, руб. | 332 000 | 421 500 |
| Стоимость модернизации, руб. | - | 89 500 |
| Количество рабочих при обслуживании установки, чел. | 9 | 9 |
| Производительность (за 1 час эксплуатационного времени), га/ч | 0,57 | 0,57 |
| Урожайность клубней, т/га | 22 | 22 |
| Повреждения клубней (по массе), % | 4,22 | 3,87 |
| Кол-во картофеля с повреждениями с 1га, т | 0,93 | 0,85 |
| Обрабатываемая площадь, га | 20 | 20 |
| Кол-во не поврежденного картофеля с общей площади, т | 421,4 | 422,9 |

На основании проведенного расчета экономического эффекта, при использовании картофелекопателя КТН-2В, оснащенного встряхивателем

сепарирующего органа с приводными эксцентриковыми роликами, годовой экономический эффект с 20 га составляет 89 695,88 руб. Срок окупаемости с учетом предлагаемого решения составляет 1 год с учетом снижения повреждений картофельных клубней.

Таблица 4.6 Показатели сравнительной экономической эффективности

| Наименование показателя | Значение показателя по КТН-2В с предлагаемым решением |
|---|---|
| Годовой экономический эффект за счет увеличения неповрежденных клубней картофеля (с учетом среднерыночной цены 56,33 руб./кг), руб | 89 695,88 |
| Срок окупаемости модернизации картофелекопателя КТН-2В (с учетом работы на 20 га), год | 1 год |

**Выводы по главе 4**

1. В результате экспериментальных исследований картофелекопателя, оборудованного интенсифицирующим устройством в виде встряхивателей, содержащих приводные эксцентриковые ролики с обечайкой, установлено, что при уборке картофеля сорта «Гранд» картофелекопатель КТН-2В с предлагаемым встряхивателем показал снижение повреждений клубней на 8,3 % в сравнении с серийным картофелекопателем КТН-2В.

2. Потери клубней картофелекопателя с экспериментальным рабочим органом снизились с 7,3% до 4,0% (уменьшение на 3,3% в абсолютном выражении и на 45,2% в относительном выражении) сравнении с серийным, в основном за счет уменьшения количества клубней, присыпанных почвой.

3. На основании проведенного расчета экономического эффекта, при использовании картофелекопателя КТН-2В с предлагаемым решением, видно, что годовой экономический эффект с 20 га составляет 89 695,88 руб. Срок окупаемости с учетом предлагаемого решения составляет 1 год с учетом снижения повреждений картофельных клубней и его лучшего хранения.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ исследований сепарации почвы на сепарирующих органах картофелеуборочных машин показал, что для её интенсификации перспективно применение встряхивателей. Но существующие активные встряхиватели увеличивают количество повреждений клубней.

2. Теоретическими исследованиями установлено, что рациональными параметрами встряхивателя с эксцентриковыми роликами, снижающего повреждения клубней картофеля, являются: радиус ролика 0,05 м; угловая скорость 28-43 рад/с; угловое ускорение 0-5 рад/с$^2$; эксцентриситет ролика 0,01 м.

3. Экспериментальными исследованиями с применением электронного клубня «Tuber-Log» уточнены параметры активного встряхивателя сепарирующего органа с эксцентриковыми роликами: подтверждена рациональная величина эксцентриситета ролика 0,01 м и уточнена угловая скорость ролика, рациональное значение которой должно находиться в диапазоне 29-31 рад/с.

4. В результате экспериментальных исследований картофелекопателя, оборудованного встряхивателем, содержащим приводные эксцентриковые ролики с обечайкой, установлено, что при уборке картофеля сорта «Гранд» экспериментальный картофелекопатель КТН-2В показал снижение повреждений клубней на 8,3 % в сравнении с серийным картофелекопателем КТН-2В.

5. Проведенный расчет технико-экономического эффекта показал, что при использовании картофелекопателя КТН-2В с предлагаемым решением годовой экономический эффект на 20 га составляет 89 695,88 руб. Срок окупаемости предлагаемого решения составляет 1 год с учетом снижения повреждений картофельных клубней.

## Перспективы дальнейшей разработки темы

Целесообразно продолжить научные исследования рабочих органов картофелеуборочных машин с применением «электронного клубня» в различных почвенно-климатических условиях.

## Рекомендации производству

Для повышения эффективности функционирования картофелеуборочных машин рационально разработать рекомендации по применению встряхивателя с приводными эксцентриковыми роликами для различных почвенно-климатических условий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство № 1118308 A1 СССР, МПК A01D 17/04. Картофелеуборочная машина : № 3580205 : заявл. 13.04.1983 : опубл. 15.10.1984 / Г. Д. Петров, З. В. Ловкис, А. П. Кроптов [и др.] ; заявитель БЕЛОРУССКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА. – EDN KHGBQT.

2. Авторское свидетельство № 141026 A1 СССР, МПК A01D 17/00, B07B 1/42. Картофелекопатель универсальный элеваторный : № 649970 : заявл. 09.01.1960 : опубл. 01.01.1961 / В. Т. Амеличев, Б. И. Максимов, Г. Д. Петров, Н. В. Фирсов. – EDN VVGYIE.

3. Авторское свидетельство № 145404 A1 СССР, МПК A01D 33/08. Способ отделения клубней картофеля от почвенных примесей и устройство для его осуществления : № 720806 : заявл. 07.03.1961 : опубл. 01.01.1962 / Н. Н. Колчин, Г. Д. Петров, Б. А. Ханяев. – EDN DDDCIQ.

4. Авторское свидетельство № 298283 A1 СССР, МПК A01D 17/00. Многорядная картофелеуборочная машина : № 1401377/30-15 : заявл. 07.02.1970 : опубл. 16.03.1971 / Н. И. Верещагин, С. А. Герасимов, Ю. С. Измайлов [и др.] ; заявитель Всесоюзный научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. – EDN WMWHER.

5. Авторское свидетельство № 701565 A1 СССР, МПК A01D 25/04. Выкапывающий рабочий орган корнеплодоудорочной машины : № 1975491 : заявл. 03.12.1973 : опубл. 05.12.1979 / В. А. Хвостов, Г. Д. Петров, Л. И. Левчук [и др.] ; заявитель ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ ИМ. В.П.ГОРЯЧКИНА. – EDN ZXUFBB.

6. Авторское свидетельство № 990112 A1 СССР, МПК A01D 19/02. Выкапывающий рабочий орган к корнеклубнеуборочным машинам : № 2781778 : заявл. 20.06.1979 : опубл. 23.01.1983 / Н. В. Шабуров, И. М. Фомин, Г. Д. Петров, Б. И. Максимов ; заявитель НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ

И ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ МЕХАНИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РСФСР. – EDN VKPJUO.

7. Адаптирующий модуль выносной сепарации картофелеуборочных машин / Р. В. Безносюк, Н. В. Цыганов, В. А. Даденко, Г. К. Рембалович // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 7-2. – С. 10-13. – EDN WHDAZH.

8. Актуальные вопросы совершенствования картофелеуборочной техники / А. А. Симдянкин, М. Ю. Костенко, Г. К. Рембалович [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 114. – С. 985-1000. – EDN VHFMHR.

9. Актуальные проблемы создания новых машин для промышленного садоводства / А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, И. Г. Смирнов, Д. О. Хорт // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 3. – С. 20-23. – EDN QINCQT.

10. Алгоритм сохранения качества плодоовощной продукции при уборочно-транспортных работах / И. А. Успенский, И. А. Юхин, С. В. Колупаев, К. А. Жуков // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 12. – С. 12-15. – EDN RPYLRF.

11. АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОМПОНЕНТЫ КАРТОФЕЛЬНОГО ВОРОХА РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ СЕПАРИРУЮЩИХ ЭЛЕВАТОРОВ / В. Ф. Некрашевич, Н. А. Костенко, М. Ю. Костенко, И. Н. Горячкина // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2010. – № 4(8). – С. 49-51. – EDN NCYNTD.

12. Анализ подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин / В. Д. Липин, Л. О. Прибылова, Т. В. Подлеснова, А. В. Безруков // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства : Материалы международной

научно-практической конференции, Йошкар-Ола, 21–22 марта 2024 года. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2024. – С. 777-783. – EDN ZJZGCF.

13. Анализ современных конструкций сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин / А. В. Сибирев, А. В. Хортов, В. С. Тетерин, Н. С. Панферов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2024. – № 2(21). – С. 74-81. – EDN FDQPLE.

14. Анализ условий и принципов разделения компонентов органами вторичной сепарации / В. А. Павлов, Г. К. Рембалович, И. А. Успенский, И. А. Юхин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 100. – С. 691-700. – EDN SJAYZX.

15. Анализ эксплуатационной надежности технических средств для уборки картофеля / Г. К. Рембалович, Д. В. Бышов, С. Н. Борычев, И. А. Успенский // Машинно-технологическая станция. – 2009. – № 6. – С. 34-35. – EDN THLLRJ.

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

17. Борычев, С. Н. Виды повреждений картофеля при возделывании / С. Н. Борычев, А. В. Паршков, Д. Н. Ищук // Инновации молодых ученых и специалистов - национальному проекту "Развитие АПК" : Материалы международной научно-практической конференции, Рязань, 14–15 декабря 2006 года. – Рязань, 2006. – С. 577-579. – EDN YFXUQE.

18. Бышов, Н. В. Совершенствование сепарации клубнесодержащего вороха на различных этапах технологии уборки / Н. В. Бышов, Ю. В. Якунин, Н. Н. Якутин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического

университета им. П.А. Костычева. – 2013. – № 1(17). – С. 49-52. – EDN QUURPB.

19. Бышов, Н. В. Усовершенствованный картофелекопатель-валкоукладчик ККС-1,4 / Н. В. Бышов, Ю. В. Якунин, Н. Н. Якутин // Сельский механизатор. – 2012. – № 9. – С. 11. – EDN PDEEEJ.

20. Взаимосвязь характеристик повреждаемости клубней с параметрами технического состояния сельскохозяйственной техники в процессе производства картофеля / Г. К. Рембалович, И. А. Успенский, Г. Д. Кокорев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 74. – С. 197-207. – EDN ONTFTJ.

21. Влияние конструктивно-технологической схемы на показатели работы картофелеуборочной машины / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, М. Ю. Костенко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 1(41). – С. 108-114. – EDN WMFWRX.

22. Влияние технологических приемов на урожайность картофеля / П. И. Гаджиев, А. П. Башкиров, Г. Г. Рамазанова [и др.] // Наука в центральной России. – 2022. – № 3(57). – С. 41-47. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-3-41-47. – EDN TGZPCE.

23. Влияние элементов сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин на его надежность / М. Ю. Костенко, Г. К. Рембалович, Н. С. Жбанов [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 7(277). – С. 34-37. – DOI 10.33267/2072-9642-2020-7-34-37. – EDN HCLOOB.

24. Гаджиев, П. И. Разработка ресурсосберегающей технологии и технических средств для возделывания картофеля / П. И. Гаджиев, Г. Г. Рамазанова, И. П. Гаджиев // Наука в центральной России. – 2024. – № 1(67). – С. 110-117. – DOI 10.35887/2305-2538-2024-1-110-117. – EDN GRTSIQ.

25. Гаджиев, П. И. Условия работы сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах / П. И. Гаджиев, Г. Г. Рамазанова, И. П. Гаджиев // Наука в центральной России. – 2022. – № 2(56). – С. 98-106. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-98-106. – EDN DVTPEP.

26. 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. – EDN TIKKBL.

27. 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. – EDN RTVFDJ.

28. ГОСТ 24055-2016 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки» - 29 с.

29. ГОСТ 28713-2018 «Машины для уборки картофеля. Методы испытаний» - 47 с.

30. ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» – 12 с.

31. ГОСТ 34490-2018 «Машины для послеуборочной обработки картофеля. Методы испытаний» - 32 с.

32. ГОСТ 34631-2019 «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» - 13 с.

33. Динамика воздействия активного встряхивателя элеватора на компоненты картофельного вороха / Л. О. Молоканова, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2025. – Т. 17, № 1. – С. 143-151. – DOI 10.36508/RSATU.2025.43.80.001.

34. Дорохов, А. С. Развитие сельскохозяйственной техники: от первых орудий труда к интеллектуальным машинам и технологиям / А. С. Дорохов, И.

А. Старостин, Н. О. Чилингарян // История науки и техники. – 2019. – № 12. – С. 70-74. – EDN SECXNT.

35. Дорохов, А. С. Разработка автоматизированной линии послеуборочной обработки картофеля для хозяйств населения / А. С. Дорохов, М. А. Мосяков, Н. В. Сазонов // Агроинженерия. – 2020. – № 2(96). – С. 16-22. – DOI 10.26897/2687-1149-2020-2-16-22. – EDN RLDFAH.

36. Дорохов, А. С. Система контроля качества деталей сельскохозяйственных машин / А. С. Дорохов, К. А. Краснящих, Д. М. Скороходов. – Москва : Редакция журнала "Механизация и электрификация сельского хозяйства", 2019. – 192 с. – ISBN 978-5-6042796-8-7. – EDN VUXKQW.

37. Евтехов, Д. В. К вопросу повышения эффективности работы органов сепарации картофелеуборочных машин / Д. В. Евтехов, С. Т. Кодиров, А. В. Зеленев // Техника и технологии: пути инновационного развития : Сборник научных трудов 9-й Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Курск, 30 июня 2020 года / Отв. редактор А.А. Горохов. Том 1. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 154-157. – EDN UAMBPL.

38. Ерохин, М. Н. Прогнозирование долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин при их разработке / М. Н. Ерохин, В. С. Новиков // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2017. – № 6(82). – С. 56-62. – DOI 10.26897/1728-7936-2017-6-56-62. – EDN ZWKXYF.

39. Жбанов, Н. С. Обоснование параметров сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Жбанов Никита Сергеевич, 2022. – 140 с. – EDN FDDYBC.

40. Жбанов, Н. С. Сравнительный анализ физико-технических характеристик композитных материалов применяемых в картофелеуборочных машинах / Н. С. Жбанов, А. Д. Чернышев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 199. – С. 51-60. – DOI 10.21515/1990-4665-199-006. – EDN CHUQXZ.

41. Измайлов, А. Ю. Повышение эффективности транспортно-технологических средств / А. Ю. Измайлов, Н. Е. Евтюшенков // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – № 1. – С. 14-15. – EDN UCXQUX.

42. Измайлов, А. Ю. Проблемы и перспективы технологического транспорта в сельском хозяйстве АПК / А. Ю. Измайлов, Н. Е. Евтюшенков // Международный технико-экономический журнал. – 2009. – № 4. – С. 46-50. – EDN LSQIHJ.

43. Инновационные машинные технологии в картофелеводстве России / С. С. Туболев, Н. Н. Колчин, Н. В. Бышов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 10. – С. 3-5. – EDN PIVDTX.

44. Инновационные решения уборочнотранспортных технологических процессов и технических средств в картофелеводстве / Г. К. Рембалович, Н. В. Бышов, С. Н. Борычев [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 1. – С. 23-25. – EDN PXMIZL.

45. Исследование адаптивной модели уборки картофеля / А. А. Голиков, А. В. Паршков, А. С. Дмитриев, А. В. Подъяблонский // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 103-110. – DOI 10.36508/RSATU.2023.40.86.014. – EDN VEKBWQ.

46. Исследование воздействия на клубненосный пласт элеватора картофелеуборочной машины / Э. О. Нестерович, Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Г. К. Рембалович // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 1(37). – С. 89-95. – EDN UQZYKY.

47. Исследование процесса соударения клубней картофеля с комбинированными прутками элеватора картофелеуборочной машины / С. Т. Кодиров, Г. К. Рембалович, С. Д. Полищук [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14, № 2. – С. 149-156. – DOI 10.36508/RSATU.2022.54.2.018. – EDN MTGNEG.

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

49. Исследование силовой характеристики подкапывающего лемеха машины для уборки корнеплодов и лука / А. В. Сибирев, А. Г. Аксенов, П. А. Емельянов, М. А. Мосяков // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2020. – № 1(95). – С. 4-9. – DOI 10.34677/1728-7936-2020-1-4-9. – EDN CQORTM.

50. Исследование траекторий движения клубней картофеля при подбрасывании на полотне из композитных прутков / Н. С. Жбанов, С. Т. Кодиров, М. Ю. Костенко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2021. – Т. 13, № 3. – С. 100-105. – DOI 10.36508/RSATU.2021.20.64.014. – EDN IAZTFG.

51. Исследование эксплуатационных показателей картофелеуборочных машин с модернизированными рабочими органами / Д. В. Евтехов, Р. В. Безносюк, С. Т. Кодиров [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2021. – № 1(49). – С. 112-119. – DOI 10.36508/RSATU.2021.49.1.017. – EDN MEQOCT.

52. Исследование движения клубней картофеля на элеваторе с интенсификатором сепарации / П. И. Гаджиев, И. А. Успенский, И. А. Юхин [и др.] // Инженерные технологии и системы. – 2024. – Т. 34, № 1. – С. 10-25. – DOI 10.15507/2658-4123.034.202401.010-025. – EDN CXXTYG.

53. Ищук, Д. Н. Совершенствование технологий и средств уборки картофеля / Д. Н. Ищук, Д. Н. Бышов, А. В. Паршков // Международный технико-экономический журнал. – 2010. – № 4. – С. 64-68. – EDN NBIZHZ.

54. К вопросу надежности картофелеуборочных машин / Н. Н. Новиков, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2018. – № 9. – С. 25-28. – EDN YOGJDV.

55. К вопросу об интенсификаторах первичной сепарации почвы в картофелеуборочных машинах / Н. А. Рязанов, Г. К. Рембалович, С. Н. Борычев, И. А. Успенский // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2010. – № 1. – С. 54-57. – EDN RPYQZR.

56. Кабаков, Н. С. Картофель по эффективной технологии / Н. С. Кабаков, А. Г. Пономарев // Сельский механизатор. – 2000. – № 4. – С. 16-17. – EDN UKNDSP.

57. Кабаков, Н. С. Широкорядная технология возделывания картофеля / Н. С. Кабаков, А. Г. Пономарев // Земледелие. – 2001. – № 4. – С. 11. – EDN UHNNKL.

58. Картофелекопатель для работы на тяжелых почвах / М. Б. Угланов, О. П. Иванкина, С. А. Пашуков [и др.] // Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства. – 2011. – № 2. – С. 75-78. – EDN OUAIKH.

59. Кинематический анализ активного встряхивателя элеватора в виде эксцентрикового ролика / Л. О. Молоканова, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 4. – С. 115-121. – DOI 10.36508/RSATU.2024.49.99.017. – EDN JSRORC.

60. Кодиров, С. Т. Обоснование параметров сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кодиров Сайфиддин Тухтасинович, 2022. – 120 с. – EDN KJUPGU.

61. Колчин, Н. Н. Комплекс специальных машин для картофелеводства / Н. Н. Колчин // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 8. – С. 18-21. – EDN NYOKSZ.

62. Колчин, Н. Н. Машинная уборка картофеля: от швырялки до комбайна / Н. Н. Колчин, Н. В. Бышов, А. Г. Пономарев // Картофель и овощи. – 2015. – № 6. – С. 28-33. – EDN TVXSHL.

63. Колчин, Н. Н. Машины для уборки картофеля / Н. Н. Колчин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1961. – № 2. – С. 48-49. – EDN UHNQUX.

64. Колчин, Н. Н. Снижение уровня повреждений картофеля и овощей в машинных технологиях / Н. Н. Колчин, В. П. Елизаров // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 6. – С. 18-21. – EDN RVTBIN.

65. Контейнерно-транспортная технология уборки, хранения и реализации селекционного картофеля первой полевой репродукции / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. - 2024. - № 1. - С. 72-76.

66. Концептуальные основы создания автоматизированного комбайна для уборки картофеля с цифровой системой идентификации почвенных комков и их отделения от товарной продукции / А. С. Дорохов, А. В. Сибирев, М. А. Мосяков [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 5. – С. 98-104. – DOI 10.31857/2500-2082/2023/5/98-104. – EDN XGRYZL.

67. Костенко, М. Ю. Разработка и исследование дисковых элементов подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин :

специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Костенко Михаил Юрьевич. – Рязань, 1994. – 24 с. – EDN ZKZECX.

68. Костенко, М. Ю. Технология уборки картофеля в сложных полевых условиях с применением инновационных решений в конструкции и обслуживании уборочных машин : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Костенко Михаил Юрьевич. – Рязань, 2011. – 462 с. – EDN QFLAIT.

69. Максимов, Л.Л. Обоснование параметров сепарирующего устройства малогабаритного картофелеуборочного комбайна [Текст] : Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Саранск, 2019.

70. Максимов, Л.Л. Оптимизация параметров сепарирующего устройства восходяще-сходящего действия малогабаритного картофелеуборочного комбайна [Текст] / Л.Л. Максимов, О.П. Васильева, Я.Л. Максимова// В сборнике: Аграрная наука - сельскохозяйственному производству. 2019. С. 101-105.

71. Математическая модель определения показателей качества энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. - 2023. - № 2.- С. 78-83.

72. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля / А. С. Дорохов, А. В. Сибирев, А. Г. Аксенов, М. А. Мосяков // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 1. – С. 12-16. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-1-12-16. – EDN UIBBIU.

73. Методика настройки картофелеуборочного комбайна / М. Ю. Костенко, А. Н. Шапошников, Н. А. Костенко, И. Н. Горячкина // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 11. – С. 45-48. – EDN NDGPQL.

74. Модель искусственной нейронной сети при повышении эффективности уборки картофеля качественной заделкой посадочного материала / Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. и др. // Аграрный научный журнал. - 2023. - № 1. - С. 128-135.

75. Молоканова, Л. О. Обзор патентоспособных технических решений картофелекопателя / Л. О. Молоканова, В. Д. Липин, Т. В. Подлеснова // Научно-исследовательские решения высшей школы : Материалы студенческой научной конференции, Рязань, 01 ноября 2024 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2024. – С. 45-46. – EDN KCLNUX.

76. Молоканова, Л. О. Проектирование подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин / Л. О. Молоканова, В. Д. Липин, Г. К. Рембалович // Актуальные вопросы транспорта и механизации в сельском хозяйстве : Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Бычкова Валерия Васильевича, Рязань, 20 марта 2024 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, 2024. – С. 35-42. – EDN EJTKAA.

77. Некоторые аспекты снижения повреждений плодов при уборочно-транспортных работах / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, И. А. Успенский [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 121. – С. 592-608. – DOI 10.21515/1990-4665-121-029. – EDN WWSKUH.

78. Новые технические решения сепарирующих органов картофелеуборочных машин / Б. А. Нефедов, Н. А. Костенко, Н. В. Бышов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского

государственного аграрного университета. – 2016. – № 124. – С. 346-365. – DOI 10.21515/1990-4665-124-018. – EDN XQZNVL.

79. О взаимодействии клубненосного пласта с рабочими органами копателя / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Н. Н. Якутин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. – № 4(40). – С. 161-167. – EDN SNNMSX.

80. Обзор исследований процесса сепарации в картофелеуборочных комбайнах / А. А. Кутыраев, И. А. Юхин, И. А. Успенский [и др.] // Научно-техническое обеспечение технологических и транспортных процессов в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина, Рязань, 24 мая 2023 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 41-46. – EDN OPOLFY.

81. Обзор конструкций подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин / А. В. Сибирев, А. В. Хортов, В. С. Тетерин, Н. С. Панферов // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2024. – № 3(22). – С. 85-91. – EDN PRLJJI.

82. Обоснование жесткости композиционных прутков элеватора картофелеуборочной машины / Н. С. Жбанов, М. Ю. Костенко, Н. А. Костенко, Г. К. Рембалович // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 158. – С. 215-228. – DOI 10.21515/1990-4665-158-016. – EDN NPEJPI.

83. Оптимизация параметров опорно-копирующего устройства картофелеуборочного комбайна / Н. Г. Бойбобоев, Ж. М. Мухамедов, Ш. Б. Акбаров [и др.] // Science Time. – 2015. – № 10(22). – С. 29-36. – EDN UNQZPP.

84. Организация и технология механизированных работ в растениеводстве : учебное пособие для начального профессионального образования / Н. И. Верещагин, А. Г. Левшин, А. Н. Скороходов [и др.]. – 7-е

издание, стереотипное. – Москва : Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN 978-5-7695-9632-2. – EDN MWBBVZ.

85. Оценка эффективности технологического процесса машинно-тракторного агрегата для уборки овощных культур и картофеля / Сибирёв А.В, Дорохов А.С., Аксенов А.Г. др. // Аграрный научный журнал. - 2023. - № 2. - С. 112-116.

86. Оценка перспективной технологической схемы картофелеуборочного комбайна / И. А. Успенский, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко, Р. В. Безносюк // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 1(49). – С. 262-269. – DOI 10.32786/2071-9485-2018-01-262-269. – EDN YZKHBJ.

87. Оценка уровня эксплуатационной надежности технических средств, используемых при уборкекартофеля / С. Н. Борычев, И. А. Успенский, Н. В. Бышов, Г. К. Рембалович // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2009. – № 4. – С. 29-31. – EDN RONZJV.

88. Паршков, А. В. Механико-математическое моделирование технологического процесса вторичной сепарации в картофелеуборочных машинах усовершенствованным рабочим органом / А. В. Паршков // Вестник КрасГАУ. – 2008. – № 1. – С. 194-201. – EDN IIRHIL.

89. Паршков, А. В. Совершенствование технологического процесса и органа вторичной сепарации картофелеуборочной машины : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Паршков Андрей Викторович. – Рязань, 2008. – 20 с. – EDN MBRJUL.

90. Паршков, А. В. Совершенствование технологического процесса и органа вторичной сепарации картофелеуборочной машины : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Паршков Андрей Викторович. – Рязань, 2008. – 172 с. – EDN NQIHBJ.

91. Паршков, А. В. Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей / А. В. Паршков, Г. К. Рембалович, С. Н. Борычев // Инновации молодых ученых и специалистов - национальному проекту "Развитие АПК" : Материалы международной научно-практической конференции, Рязань, 14–15 декабря 2006 года. – Рязань, 2006. – С. 466-468. – EDN RFMWSZ.

92. Патент № 2454850 C1 Российская Федерация, МПК A01D 33/08. Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей : № 2011105511/13 : заявл. 14.02.2011 : опубл. 10.07.2012 / В. А. Павлов, Г. К. Рембалович, Р. В. Безнасюк [и др.] ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN FHKPNE.

93. Патент № 2592111 C1 Российская Федерация, МПК A01D 17/10, A01D 33/08. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины : № 2015104275/13 : заявл. 10.02.2015 : опубл. 20.07.2016 / А. А. Голиков, И. А. Успенский, Н. В. Бышов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ). – EDN ZBMGPB.

94. Патент № 2790271 C1 Российская Федерация, МПК A01D 33/08. сепарирующий элеватор корнеклубнеуборочной машины : № 2021137676 : заявл. 17.12.2021 : опубл. 15.02.2023 / С. Т. Кодиров, Р. В. Безносюк, С. Н. Борычев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN BMWKZI.

95. Патент на полезную модель № 136280 U1 Российская Федерация, МПК A01B 49/02. Машина для подготовки почвы комбайновой уборки картофеля : № 2011135140/13 : заявл. 22.08.2011 : опубл. 10.01.2014 / П. И. Гаджиев, А. А. Симдянкин, М. М. Махмутов, М. М. Махмутов ; заявитель

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ". – EDN QZSALN.

96. Патент на полезную модель № 136677 U1 Российская Федерация, МПК A01D 33/08. Устройство для автоматизации процесса сепарации картофелеуборочного комбайна : № 2013126157/13 : заявл. 06.06.2013 : опубл. 20.01.2014 / А. В. Журавлев, В. И. Славкин, Ю. А. Судник [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ". – EDN SLOULN.

97. Патент на полезную модель № 150045 U1 Российская Федерация, МПК A01D 33/00. Выкапывающее устройство картофелеуборочной машины : № 2014123214/13 : заявл. 06.06.2014 : опубл. 27.01.2015 / П. И. Гаджиев, Ю. А. Судник, М. М. Махмутов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ". – EDN BRXCLK.

98. Патент на полезную модель № 206279 U1 Российская Федерация, МПК A01D 13/00, A01D 33/00. Каток опорный картофелеуборочного комбайна : № 2021110465 : заявл. 13.04.2021 : опубл. 03.09.2021 / И. В. Лучкова, С. Н. Борычев, А. В. Шемякин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN YWKKCE.

99. Патент на полезную модель № 214988 U1 Российская Федерация, МПК A01D 33/08. Сепарирующий элеватор с очищающими лопастями : № 2022111458 : заявл. 27.04.2022 : опубл. 23.11.2022 / П. И. Гаджиев, Е. В. Шестакова, М. М. Махмутов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное

бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный заочный университет". – EDN IASHDJ.

100. Патент на полезную модель № 227369 U1 Российская Федерация, МПК A01D 17/10. картофелекопатель : № 2024109587 : заявл. 09.04.2024 : опубл. 18.07.2024 / Л. О. Молоканова, В. Д. Липин, Г. К. Рембалович [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". – EDN XYKONR.

101. Патент на полезную модель № 63637 U1 Российская Федерация, МПК A01D 33/08. Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей : № 2006134956/22 : заявл. 04.10.2006 : опубл. 10.06.2007 / А. В. Паршков, Г. К. Рембалович, С. Н. Борычев [и др.] ; заявитель ФГОУ ВПО Рязанская государственная сельскохозяйственная академия им. проф. П.А. Костычева. – EDN BOGMCL.

102. Петров, Г. Д. Картофелеуборочные машины / Г. Д. Петров. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 1984. - 320 с. : ил.

103. Перспективные направления и технические средства для снижения повреждений клубней при машинной уборке картофеля / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, И. А. Успенский [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 8. – С. 22-24. – EDN QZLRHD.

104. Повышение эффективности сепарации картофелеуборочных машин с применением дискового ворошителя / Н. Г. Байбобоев, Ш. Б. Акбаров, П. И. Гаджиев, Г. Г. Рамазанова // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 1. – С. 35-39. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-1-35-39. – EDN YXVYLL.

105. Повышение надежности технологического процесса и технических средств машинной уборки картофеля по параметрам качества продукции / Т. К. Рембалович, И. А. Успенский, Р. В. Безносюк [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 3. – С. 6-8. – EDN OVXCYP.

106. Повышение эффективности внутрихозяйственных перевозок плодоовощной продукции / А. А. Голиков, О. В. Филюшин, Н. В. Лимаренко,

А.В. Паршков [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2023. – № 2(70). – С. 429-439. – DOI 10.32786/2071-9485-2023-02-51. – EDN KBXECP.

107. Пономарев, А. Г. Обоснование и разработка широкорядной гребневой машинной технологии возделывания и уборки картофеля : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пономарев Андрей Григорьевич. – Москва, 2005. – 31 с. – EDN NJUWDR.

108. Почвообрабатывающая техника: пути импортозамещения / Ю. Ф. Лачуга, А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, Н. К. Мазитов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 2. – С. 37-42. – DOI 10.22314/207375992017.2.3741. – EDN YODARL.

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

110. Пути улучшения технологических характеристик рабочих органов машин в цикле "уборка-транспортировка-послеуборочная доработка" картофеля / Л. О. Молоканова, Г. К. Рембалович, Н. Г. Черкашин [и др.] // Инновационные научно-технологические решения для АПК: вклад университетской науки : МАТЕРИАЛЫ 74-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Рязань, 20 апреля 2023 года / МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. КОСТЫЧЕВА». Том Часть I. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 76-80. – EDN FFMHMA.

111. Пшеченков, К. А. Картофель на тяжелых суглинках / К. А. Пшеченков, А. В. Смирнов // Картофель и овощи. – 2016. – № 12. – С. 24-25. – EDN UVBLVJ.

112. Пшеченков, К. А. Картофель: убрать эффективно / К. А. Пшеченков, С. В. Мальцев, Д. Г. Семенов // Картофель и овощи. – 2016. – № 9. – С. 24-26. – EDN WKGRFT.

113. Пшеченков, К. А. Современное состояние и перспективы развития картофельного комплекса России / К. А. Пшеченков, А. В. Смирнов, С. В. Мальцев // Защита картофеля. – 2017. – № 1. – С. 22-29. – EDN ZNGUKZ.

114. Развитие машинных технологий производства картофеля в России / С. С. Туболев, Н. Н. Колчин, К. А. Пшеченков [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 7. – С. 28-31. – EDN ISVPLB.

115. Результаты исследований размерно-массовых характеристик клубней картофеля / А. С. Дорохов, А. В. Сибирев, М. А. Мосяков, Н. В. Сазонов // Аграрный научный журнал. – 2025. – № 1. – С. 99-104. – DOI 10.28983/asj.y2025i1pp99-104. – EDN XMQTPP.

116. Результаты лабораторно-полевых исследований сепарирующей системы машины для уборки картофеля / Я. П. Лобачевский, А. С. Дорохов, А. В. Сибирев [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2024. – № 6. – С. 108-112. – DOI 10.31857/S2500208224060239. – EDN WRVAEN.

117. Результаты полевых испытаний картофелеуборочного комбайна КПК-2-01, оснащенного интенсификатором / П. И. Гаджиев, А. П. Башкиров, Г. Г. Рамазанова [и др.] // Наука в центральной России. – 2022. – № 6(60). – С. 71-77. – DOI 10.35887/2305-2538-2022-6-71-77. – EDN FCNJMU.

118. Результаты полевых испытаний устройства для гашения энергии падающих клубней в картофелеуборочном комбайне / К. С. Беркасов, Г. К. Рембалович, С. Н. Борычев [и др.] // Естественные и технические науки. – 2012. – № 2(58). – С. 463-465. – EDN OZPSCZ.

119. Результаты экспериментальных исследований процесса машинной уборки картофеля усовершенствованным копателем КТН-2В / Н. Н. Якутин,

Н. В. Бышов, Г. К. Рембалович, Ю. В. Доронкин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 99. – С. 256-265. – EDN SGTNZX.

120. Рембалович, Г. К. Анализ динамики производства картофеля в Рязанской области / Г. К. Рембалович, И. А. Успенский, А. А. Голиков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2011. – № 3(11). – С. 67-70. – EDN OFSKRF.

121. Рембалович, Г. К. Повышение эффективности уборки картофеля на тяжелых суглинистых почвах совершенствованием сепарирующих органов комбайнов: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Г. К. Рембалович. – Рязань, 2014. – 517 с. – EDN TWMCJP.

122. Рембалович, Г. К. Повышение технологической надежности подкапывающего рабочего органа картофелеуборочной машины / Г. К. Рембалович // Актуальные проблемы аграрной науки : Материалы международной юбилейной научно-практической конференции, посвященной 60-летию Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева, Рязань, 24 апреля 2009 года. – Рязань, 2009. – С. 354-357. – EDN PXUWOP.

123. Рембалович, Г. К. Результаты исследования эксплуатационной надежности органов вторичной сепарации картофелеуборочных машин / Г. К. Рембалович, Р. В. Безносюк, И. А. Успенский // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2009. – № 3(34). – С. 40-42. – EDN KZOGNL.

124. Рембалович, Г. К. Совершенствование первичной сепарации в картофелеуборочных машинах / Г. К. Рембалович, Н. А. Рязанов, И. А. Успенский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 10. – С. 5-7. – EDN THLLQZ.

125. Рембалович, Г. К. Способ уборки и послеуборочной обработки картофеля / Г. К. Рембалович, С. Н. Борычев, Н. Н. Колчин // Актуальные

проблемы современной индустрии производства картофеля : Материалы научно-практической конференции, Чебоксары, 18–19 февраля 2010 года. – Чебоксары: КУП ЧР "Агро-Инновации", 2010. – С. 172-173. – EDN VCDISR.

126. Рембалович, Г. К. Сравнительная оценка эксплуатационной надежности картофелекопателей / Г. К. Рембалович, С. Н. Борычев, И. А. Успенский // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 2. – С. 46-47. – EDN LACCBD.

127. Совершенствование картофелеуборочного комбайна для уборки картофеля / Д. В. Колошеин, И. В. Лучкова, Г. В. Калинина, А.В. Паршков, [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 198. – С. 136-146. – DOI 10.21515/1990-4665-198-012. – EDN OPHPDC.

128. Современная техника для АПК и перспективы её модернизации / Н. И. Верещагин, Г. Д. Кокорев, С. В. Колупаев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 120. – С. 147-172. – EDN WHGHDJ.

129. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства / А. Ю. Измайлов, Н. Н. Колчин, Я. П. Лобачевский, Н. Г. Кынев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 2. – С. 45-48. – EDN TOCCQL.

130. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства / А. Ю. Измайлов, Н. Н. Колчин, Я. П. Лобачевский, Н. Г. Кынев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 3. – С. 43-47. – EDN TTLVUJ.

131. Старовойтов, В.И. Влияние средообразующих факторов на урожайность картофеля / В. И. Старовойтов, О. А. Старовойтова, А. А. Манохина [и др.] // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 5. – С. 4-10. – DOI 10.26897/2687-1149-2022-5-4-10. – EDN TMSOOM.

132. Старовойтов, В.И. Применение микроэлементов при выращивании картофеля - предпосылки использования дронов / В. И.

Старовойтов, О. А. Старовойтова, А. А. Манохина [и др.] // Агроинженерия. – 2021. – № 4(104). – С. 14-20. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-4-14-20. – EDN GADZFD.

133. Старовойтова, О.А. Выращивание картофеля и топинамбура с применением микроэлементов / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А. А. Манохина, В. А. Чайка // Вестник ИрГСХА. – 2022. – № 108. – С. 41-52. – DOI 10.51215/1999-3765-2022-108-41-52. – EDN ZZMJPT.

134. Старовойтова, О.А. Исследование влияния ширины междурядья на урожайность при возделывании продовольственного картофеля / В. И. Старовойтов, А. В. Коршунов, О. А. Старовойтова [и др.] // Наука в центральной России. – 2021. – № 3(51). – С. 40-47. – DOI 10.35887/2305-2538-2021-3-40-47. – EDN FNBAYB.

135. Старовойтова, О.А. Усовершенствованная технология, обеспечивающая стрессоустойчивость растений картофеля / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А. А. Манохина [и др.] // АгроЭкоИнженерия. – 2024. – № 3(120). – С. 74-91. – DOI 10.24412/2713-2641-2024-3120-74-91. – EDN BMEHJV.

136. Старовойтова, О.А. Некоторые технологические приемы влагосбережения при выращивании картофеля / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А. А. Манохина [и др.] // Научные труды по агрономии. – 2024. – № 4(15). – С. 35-49. – DOI 10.35244/2658-7963-2024-15-4-35-49. – EDN IQYBLG.

137. Теоретические и практические основы применения современных сепарирующих устройств со встряхивателями в картофелеуборочных машинах / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, И. А. Успенский [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 89. – С. 488-498. – EDN TJAPKV.

138. Теоретические исследования процесса интенсификации первичной сепарации в картофелеуборочных машинах динамическим

методом / Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко, Д. Е. Каширин [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 102. – С. 417-431. – EDN TBENKR.

139. Теоретическое обоснование машинной технологии загрузки хранилища в селекции и семеноводстве овощных культур и картофеля / А. В. Сибирев, А. Г. Пономарев, С. Н. Петухов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 10. – С. 138-142. – DOI 10.28983/asj.y2024i10pp138-142. – EDN BOOENZ.

140. Технологические и технические решения по повышению эффективности уборочных и транспортных работ в картофелеводстве / Л. О. Молоканова, Г. К. Рембалович, Н. Г. Черкашин [и др.] // Инновационные научно-технологические решения для АПК: вклад университетской науки : МАТЕРИАЛЫ 74-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Рязань, 20 апреля 2023 года / МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.А. КОСТЫЧЕВА». Том Часть I. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2023. – С. 81-86. – EDN BRCJYO.

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

142. Технологии физического и химического воздействия на посадочный материал картофеля / А. К. Зиновьев, Г. К. Рембалович, М. Ю.

Костенко // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2024. – Т. 18, № 2. – С. 27-32. – DOI 10.22314/2073-7599-2024-18-2-27-32. – EDN CVPMDF.

143. Технология уборки картофеля в сложных полевых условиях с применением перспективных решений в конструкции и обслуживании комбайнов / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Н. И. Верещагин [и др.]. – Рязань : Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2015. – 304 с. – ISBN 978-5-98660-265-3. – EDN VSINZJ.

144. Тришкин, И. Б. Классификация картофелеуборочных машин / И.Б. Тришкин, А. В. Паршков // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2024. – № 8. – С. 28-33. – EDN ZDWXVW.

145. Туболев, С. С. Технология и машины для возделывания и уборки картофеля ООО «КОЛНАГ» / С. С. Туболев, М.С. Туболев, В.Д. Липин // С.-Пб., Издательство «Лань», 2025. – 196 с., илл.

146. Уборка картофеля / К. А. Пшеченков, Г. Л. Белов, С. В. Мальцев, А. В. Смирнов // Земледелие. – 2018. – № 5. – С. 23-26. – DOI 10.24411/0044-3913-2018-10506. – EDN XRTQIP.

147. Усовершенствованное устройство для сепарирования клубней картофеля / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, И. А. Успенский [и др.] // Сельский механизатор. – 2016. – № 11. – С. 6-7. – EDN XEAQSD.

148. Устройство электрофизического воздействия для улучшения показателей картофеля и овощных культур при хранении /Сазонов Н.В., Сибирёв А.В., Мосяков М.А., и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2025. Т. 19. - № 1. - С. 22-29.

149. Физико-механические параметры почвы при выращивании картофеля на грядах / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А. А. Манохина, С. М. Духанина // Земледелие. – 2018. – № 5. – С. 16-20. – DOI 10.24411/0044-3913-2018-10504. – EDN XRTQHZ.

150. Энергия разрушения почвенных комков сепарирующим рабочим органом в зависимости от физико-механических свойств почвы / А. С. Дорохов, М. Н. Ерохин, А. В. Сибирев, М. А. Мосяков // Агроинженерия. –

2024. – Т. 26, № 4. – С. 4-12. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-4-4-12. – EDN FCFTVN.

151. Энергосберегающая технология уборки корнеплодов и картофеля / Сибирёв А.В., Мосяков М.А., Сазонов Н.В. и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. - 2024. - № 4. - С. 107-112.

152. Эффективность уборки картофеля комбайнами различных типов / С. Б. Прямов, К. А. Пшеченков, С. В. Мальцев [и др.] // Картофель и овощи. – 2014. – № 9. – С. 26-29. – EDN SMYTQP.

153. Якутин, Н. Н. Оригинальное средство интенсификации сепарации / Н. Н. Якутин, Н. В. Бышов // Сельский механизатор. – 2014. – №7. – С. 14-15.

154. Ahangarnezhad, N., Najafi, G., Jahanbakhshi, A. (2019). Determination of the physical and mechanical properties of a potato (the agria variety) in order to mechanise the harvesting and post-harvesting operations. Res. Agric. Eng. 65, 33–39. doi: 10.17221/122/2017-RAE.

155. Fu, X., Meng, Z., Wang, Z., Yin, X., Wang, C. (2022). Dynamic potato identification and cleaning method based on rgb-d. Engenharia AgrÃcola 42. doi: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v42n3e20220010/2022.

156. Gulati, S. (2019). Design and development of two row tractor operated potato combine harvester. Potato J. 46, 81–85.

157. Sibirev, A., Aksenov, A. G., Dorokhov, A. S., Ponomarev, A. (2019). Comparative study of the force action of harvester work tools on potato tubers. Res. Agric. Eng. 65, 85–90. doi: 10.17221/96/2018-RAE.

158. Schneider, F., Part, F., Göbel, C., Langen, N., Gerhards, C., Kraus, G. F., et al. (2019). A methodological approach for the on-site quantification of food losses in primary production: Austrian and german case studies using the example of potato harvest. Waste Manage. 86, 106–113. doi: 10.1016/j.wasman.2019.01.020

159. Surdilovic, J., Praeger, U., Herold, B., Truppel, I., Geyer, M. (2018). Impact characterization of agricultural products by fall trajectory simulation and measurement. Comput. Electron. Agric. 151, 460–468. doi: 10.1016/j.compag.2018.06.009

ПРИЛОЖЕНИЕ

«УТВЕРЖДАЮ»
Ректор ФГБОУ ВО РГАТУ
д.т.н., профессор
_____ А.В. Шемякин
«25» сентября 2024 года

АКТ
о внедрении законченной научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы

Комиссия в составе: представителей ФГБОУ ВО РГАТУ: директора УНИЦ «Агротехнопарк» Доронкина Ю.В., тракториста УНИЦ «Агротехнопарк» Есенина М.А., заведующего кафедрой ТМ и РМ Рембаловича Г.К., профессора кафедры ТМ и РМ Костенко М.Ю., доцента кафедры ТМиРМ Безносюка Р.В., ассистента кафедры ТМ и РМ Желтоухова А.А. и аспиранта кафедры ТМ и РМ Молокановой Л.О., составила настоящий акт о том, что научно-исследовательская работа на тему: «Обоснование параметров сепарирующего органа со встряхивателем картофелекопателя» внедрена путем проведения полевых исследований применения картофелекопателя КТН-2В, оснащенного сепарирующим органом со встряхивателем (заяв. №2024126796 от 11.09.2024), в августе - сентябре 2024 года на базе УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО РГАТУ.

Полевые исследования картофелекопателя КТН-2В, оснащенного сепарирующим органом со встряхивателем в виде приводного эксцентрикового ролика, велись по двум основным направлениям: проверка эффекта применения усовершенствованного картофелекопателя с обоснованными параметрами встряхивателя в реальных условиях уборки картофеля и сравнительная оценка агротехнических показателей экспериментального картофелекопателя с показателями серийно выпускаемой модели.

Полевые исследования показали:

1. Основной эффект, получаемый от применения встряхивателя сепарирующего органа на картофелекопателе, получен за счет повышения эффективности сепарации и снижения потерь, что выражено уменьшением количества клубней, присыпанных почвой после прохода машинно-тракторного агрегата, в сравнении с контролем (серийный картофелепокатель) с 6,8% до 3,5%.

2. Работоспособность и эффект от использования картофелекопателя, оснащенного сепарирующим органом со встряхивателем, обеспечивается на тяжелых суглинистых почвах влажностью до 21 %. Повреждения клубней в результате применения встряхивателя на усовершенствованном картофелекопателе КТН-2В уменьшились на 0,35% и составили 3,87%.

3. Расчетный годовой экономический эффект при использовании картофелекопателя КТН-2В, оснащенного сепарирующим органом со встряхивателем, составляет 89 695,88 руб., срок окупаемости - 1 год.

Приложения: Протокол № 1. Протокол №2.

| | | |
|---|---|---|
| Директор УНИЦ «Агротехнопарк» | _____ | Доронкин Ю.В. |
| Тракторист УНИЦ «Агротехнопарк» | _____ | Есенин М.А. |
| Заведующий кафедрой ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ | _____ | Рембалович Г.К. |
| Профессор кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ | _____ | Костенко М.Ю. |
| Доцент кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ | _____ | Безносюк Р.В. |
| Ассистент кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ | _____ | Желтоухов А.А. |
| Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ | _____ | Молоканова Л.О. |

ПРОТОКОЛ №1

выбор режимов работы картофелекопателя КТН-2В, оснащенного сепарирующим органом со встряхивателем, при полевых исследованиях в УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО РГАТУ от 25 сентября 2024 года

Присутствовали: директор УНИЦ «Агротехнопарк» Доронкин Ю.В., тракторист УНИЦ «Агротехнопарк» Есенин М.А., заведующий кафедрой ТМ и РМ ФГБОУ ВО РГАТУ Рембалович Г.К., профессор кафедры ТМ и РМ Костенко М.Ю., доцент кафедры ТМиРМ Безносюк Р.В., ассистент кафедры ТМ и РМ, Желтоухов А.А. и аспирант кафедры ТМ и РМ Молоканова Л.О.

| **Наименование показателей** | **Значение показателей** |
|---|---|
| 1. Максимальная поступательная скорость движения агрегата, км/ч | 4,3 |
| 2. Количество учетных площадок, шт. | 5 |
| 3. Размер площадок: | |
| - длина, м | 14,3 |
| - ширина, м | 1,4 |
| 4. Время прохождения площадки, с | 8,6 |
| 5. Число повторностей, шт. | 3 |
| 6. Глубина хода, см | 22 |
| 7. Производительность агрегата (за 1 час эксплуатационного времени), га/ч | 0,57 |
| 8. Коэффициент использования эксплуатационного времени | 0,88 |
| 9. Влажность почвы, % | не более 21 |

Директор
УНИЦ «Агротехнопарк» _____ Доронкин Ю.В.

Тракторист УНИЦ
«Агротехнопарк» _____ Есенин М.А.

Заведующий кафедрой
ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ _____ Рембалович Г.К.

Профессор кафедры
ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ _____ Костенко М.Ю.

Доцент кафедры
ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ _____ Безносюк Р.В.

Ассистент кафедры
ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ _____ Желтоухов А.А.

Аспирант кафедры
ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ _____ Молоканова Л.О.

ПРОТОКОЛ №2

определение показателей качества работ при использовании КТН-2В, оснащенного сепарирующим органом со встряхивателем, в сравнении с контролем (серийный картофелекопатель) при полевых исследованиях в УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО РГАТУ от 25 сентября 2024 года

Присутствовали: директор УНИЦ «Агротехнопарк» Доронкин Ю.В., тракторист УНИЦ «Агротехнопарк» Есенин М.А., заведующий кафедрой ТМ и РМ ФГБОУ ВО РГАТУ Рембалович Г.К., профессор кафедры ТМ и РМ Костенко М.Ю., доцент кафедры ТМиРМ Безносюк Р.В., ассистент кафедры ТМ и РМ, Желтоухов А.А. и аспирант кафедры ТМ и РМ Молоканова Л.О.

| **Наименование показателя** | **Эксперимент** | **Контроль** |
|---|---|---|
| 1. Свободные клубни на поверхности почвы (по массе), % | 95,7 | 92,3 |
| 2. Клубни на поверхности почвы, но не оторванные от ботвы (по массе), % | 0,3 | 0,4 |
| 3. Оставленные в почве клубни (по массе), % | 0,5 | 0,5 |
| 4. Присыпанные почвой клубни (по массе), % | 3,5 | 6,8 |
| 5. Повреждения клубней (по массе), % | 3,87 | 4,22 |
| 5.1 С содранной кожурой от ¼ до ½ поверхности | 0,61 | 0,66 |
| 5.2. С содранной кожурой от ½ и более поверхности | 0,13 | 0,15 |
| 5.3. С вырыванием мякоти более 5мм | 0,45 | 0,44 |
| 5.4. С трещинами длиной более 20мм | 0,20 | 0,22 |
| 5.5. Резаные клубни | 0,13 | 0,12 |
| 5.6. Раздавленные клубни | 0,24 | 0,26 |
| 5.7. С потемнением мякоти более 5мм | 2,27 | 2,35 |
| 6. Урожайность клубней, т/га | 22,0 | 22,0 |

Директор УНИЦ «Агротехнопарк» _____ Доронкин Ю.В.

Тракторист УНИЦ «Агротехнопарк» _____ Есенин М.А.

Заведующий кафедрой ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ _____ Рембалович Г.К.

Профессор кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ _____ Костенко М.Ю.

Доцент кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ _____ Безносюк Р.В.

Ассистент кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ _____ Желтоухов А.А.

Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ _____ Молоканова Л.О.