

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический  
университет имени П.А. Костычева»

*На правах рукописи*



**РУЗИМУРОДОВ АБДУГАФОР АБДУСАТОРОВИЧ**

**УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ПОПЕРЕЧНЫЙ ВОРОШИТЕЛЬ  
СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ  
МАШИН**

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Бышов Николай Владимирович

Рязань 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ПЕРСПЕКТИВЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	8
1.1 Анализ технологии возделывания и уборки картофеля .....	8
1.2 Анализ конструкции картофелеуборочных машин .....	12
1.3 Выбор и анализ перспективных конструктивно-технологических схем органов сепарации картофелеуборочных машин .....	16
1.4 Постановка целей и задач исследования .....	28
Выводы по главе 1 .....	29
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ВОРОШИТЕЛЕМ .....	30
2.1 Конструктивно-технологическая схема картофелеуборочной машины с поперечным ворошителем .....	30
2.2 Теоретическое исследование движения компонентов картофельного вороха при переходе с одного элеватора на другой .....	33
2.3 Теоретическое обоснование параметров спирального ворошителя ..	41
2.4 Исследование напряжений, возникающих в оболочке витка поперечного ворошителя при взаимодействии с клубнем картофеля.....	49
Выводы по главе 2 .....	55
ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	57
3.1 Объект и предмет исследования .....	57
3.2 Программа и методика экспериментальных исследований .....	57
3.3 Описание конструкции экспериментальной установки и применяемого оборудования .....	58

3.4 Методика исследования смещения клубней картофеля на элеваторном полотне с применением поперечного ворошителя картофелеуборочной машины .....	61
3.5 Методика полевых исследований .....	68
Выводы по главе 3 .....	70
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	71
4.1 Результаты исследования сепарации почвы на элеваторе , оборудованном поперечным ворошителем .....	71
4.2 Результаты исследования смещения клубней на элеваторе, оборудованном поперечным ворошителем .....	75
4.3 Результаты полевых исследований функционирования картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором поперечным ворошителем .....	78
Выводы по главе 4 .....	80
ГЛАВА 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ, ОСНАЩЕННОГО ПОПЕРЕЧНЫМ ВОРОШИТЕЛЕМ.....	81
5.1 Экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат.....	81
5.2 Экономический эффект от снижение потерь клубней .....	88
Выводы к главе 5 .....	89
Список литературы.....	92
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	108

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В нашей стране одним из приоритетных направлений развития аграрного комплекса является совершенствование производства картофеля, в частности, повышение его производства. Если сравнивать мировые объемы производства данной культуры, то по объемам Россия входит в тройку лидеров. Так, средняя доля производства в России составляет 9% после 25% Китая и 12% Индии.

Уборка картофеля является наиболее ресурсозатратным технологическим процессом (около 75% трудозатрат и 60% энергозатрат). Для снижения затрат ресурсов применяют новейшие машинные технологии и современную технику, соответствующую предъявляемым к уборочным машинам требованиям. Сепарирующие элеваторы являются наиболее эффективными распространенными рабочими органами картофелеуборочных машин. Они обеспечивают достаточную сепарацию картофельного вороха и высокую производительность. Однако, для расширения условий эксплуатации сепарирующих элеваторов, их оснащают различными ворошителями. Таким образом, разработка и обоснование параметров ворошителя является актуальной научно-технической задачей [35, 75].

**Степень разработанности темы.** Вопросами повышения производительности сепарации в картофелеуборочных машинах занимались С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, Н.И. Верещагин, А.А. Голиков, В.Н. Зернов, Н.Н. А.Ю. Измайлов, Р.Р. Камалетдинов, Н.Н. Колчин, М.Ю. Костенко, Г.Д. Петров, В.В. Михеев, С.Н. Петухов, А.Г. Пономарев, Г.К. Рембалович, А.А. Сорокин, М.Б. Угланов, И.А. Успенский, И.А. Юхин, и другие., а также ряд зарубежных исследователей: Graichen G., Liske P., Glaser M., Specht A. и другие отечественные и зарубежные учёные. Тем не менее, проблема эффективной и качественной уборки картофельного урожая все еще остается актуальной.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ФБГОУ ВО РГАТУ на 2017...2020 гг. по теме 3 «Совершенствование технологий, средств

механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве», подраздел 3.2.1 «Совершенствование технологий, разработка и повышение надежности технических средств уборки, транспортирования и хранения картофеля в условиях сельскохозяйственных предприятий Рязанской области» (№гос.рег. АААА-А16-116060910025-5).

**Цель исследования** – обоснование параметров поперечного ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин.

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

- провести анализ литературы и проведенных исследований, отражающих различные варианты конструктивных и технологических решений в картофелеуборочных машинах в целом, а также сепарирующих устройств и разработать конструктивно-технологическую схему поперечного ворошителя сепарирующего элеватора;
- разработать теоретические зависимости для описания процессов взаимодействия компонентов картофельного вороха с элементами элеватора;
- определить параметры разработанного поперечного ворошителя картофелеуборочной машины;
- определить технико-экономический эффект применения усовершенствованного сепарирующего устройства картофелеуборочных машин.

**Объект исследования** – поперечный ворошитель сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин.

**Предмет исследования** – теоретические и экспериментальные зависимости взаимодействия поперечного ворошителя с клубненосным ворохом на сепарирующем элеваторе.

**Научная новизна заключается в:**

- теоретических зависимостях движения компонентов клубненосного вороха на сепарирующих элеваторах, оборудованных поперечным ворошителем;

- обосновании параметров поперечного ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин;
- аналитических зависимостях, полученных при экспериментальных исследованиях.

#### **Теоретическая значимость работы:**

- установлены закономерности движения компонентов клубненосного вороха по сепарирующим элеваторам, оборудованных поперечным ворошителем;
- обоснованы параметры поперечного ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин.

#### **Практическая значимость работы:**

- разработана конструктивно-технологическая схема поперечного ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин;
- получены результаты технико-экономической эффективности применения копателя, оснащенного поперечным ворошителем.

**Методология и методы исследования.** Проведение теоретических исследований осуществлялось на основании авторских методик, базировавшихся на теоретической механике, сопротивление материалов, математической статистике и теории вероятностей. Осуществление практической части настоящего исследования проводилось по плану многофакторного эксперимента  $3^2$ . В процессе обработки совокупности экспериментально полученной информации использовался корреляционно-регрессионный анализ в средах MathCAD 15, MicrosoftExcel 2013, Matlab 2014, «STATISTICA 8.0».

#### **Положения, выносимые на защиту:**

- теоретические зависимости движения компонентов клубненосного вороха на прутковых элеваторах, оборудованных поперечным ворошителем;
- параметры предложенного поперечного ворошителя картофелеуборочной машины;
- результаты полевых испытаний усовершенствованного технологического процесса картофелеуборочных машин с поперечным ворошителем.

**Реализация результатов исследования.** Экспериментальный картофелекопатель КСТ-1,4 прошел производственную проверку на базе УИИЦ «Агротехнопарк», п. Стенькино Рязанского района Рязанской области в 2018 и 2019 годах, на общей площади 1 га в ходе которой получены положительные результаты.

**Степень достоверности.** Достоверность научных положений подтверждена сходимостью результатов теоретических и экспериментальных (лабораторных) исследований (расхождение составило менее 5%), а также обеспечена применением современных методик, контрольно-измерительной аппаратуры и средств обработки результатов экспериментов.

**Вклад автора в решение поставленных задач** состоит в личном участии по выполнению лабораторных и полевых опытов в течение трех лет исследований при обработке, анализе и изложении полученного экспериментального материала в диссертации, подготовке и написании научных статей по результатам исследований, разработке методики проведения лабораторных и натурных испытаний, проведении экономической оценки эффективности применения разработанного поперечного ворошителя в сельском хозяйстве.

**Апробация работы.** Результаты диссертационного исследования обсуждены на международных научно-технических конференциях ФГБОУ ВО РГАТУ (2017-2019 гг.).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 6 научных трудах, из них 2 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов диссертационных работ на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, патент РФ на изобретение (№ 2672492). Общий объем публикаций составил 3,8 п.л., из них лично соискателю принадлежит 2,1 п.л.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 110 наименований, приложений, изложена на 117 страницах, включает 38 рисунков и 6 таблиц.

## ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ПЕРСПЕКТИВЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1 Анализ технологии возделывания и уборки картофеля

Технологией возделывания картофеля в большей мере определяются результаты его возделывания. В настоящее время в Российской Федерации применяются следующие технологии возделывания картофеля [10]:

- голландская с расстояниями между рядами 75 см;
- гриммовская;
- грядовая с расстояниями между рядами (110+30) см;
- заворовская с расстояниями между рядами 70 и 90 см.

В центральной части Российской Федерации наиболее популярными технологиями возделывания картофеля являются голландская и заворовская (70 см). Потому рассмотрим подробнее данные технологии.

Для голландской технологии возделывания картофеля предпочтительнее применять средние и тяжелые суглинистые почвы. Предполагается предпосадочная обработка почвы в виде весеннего фрезерования на глубину 12-13 см с применением вертикально-фрезерного культиватора. Далее высаживается картофель. После горизонтально-фрезерным культиватором формируются грядки (через 12-15 дней). Благоприятнее пренебречь дальнейшими механическими междурядными обработками, и применить гербициды с целью борьбы с сорняками. Благодаря этому формируются оптимальные условия для роста и развития клубней, почва обладает рыхлой структурой, повышается урожайность в 1,5 – 2 раза, возрастает возможность применения комбайнов для уборки картофеля [28,37,38,42,44,48,52,82,91,98,99].

По заворовской технологии возделывания картофеля предпочтительнее использовать легкие и средние суглинистые почвы. Структуру почв предварительно нарезаю гребни, для получения оптимальных условий развития картофеля. Предполагаются для ухода за картофелем довсходовые и



послевсходовые междурядовые обработки. Обычно их проводится 2- 3 за период выращивания культуры.

Однако, уплотнение междурядий колесами агрегатов относится к существенному недостатку заворовской технологии, т.к. появляются затруднения при уборке урожая, а также отмечается ухудшение развития картофельных клубней.

В то же время заворовская технология более энергозатратна, меньше отвечает принципам минимализации обработок почвы, тем самым снижая качество и урожайность картофеля. Потому в центральной части Российской Федерации завершается переход к возделыванию картофеля исключительно по голландской технологии.

Картофельная уборка в зависимости от времени, условий и назначения производится по реализации следующих технологий [12, 32, 51, 56, 95]:

- перевалочная;
- поточная;
- прямоточная.

В ходе осуществления перевалочной уборки картофеля клубни картофеля необходимо выдержать во временных буртах с последующей сортировкой и отправкой на хранение. На выбор данной технологии в первую очередь оказывают влияние условия погоды (дожди/холод), степень поражения культуры удущьем, фитофторозом и т.д.

Следующим вариантом исполнения уборки картофеля является поточная технология. Ее особенностью является дополнительное механическое разделение целевого продукта и примесей, разделение на фракции по размерам. После осуществления данных операций на пункте сортировки урожай направляется на хранение. Недостатком данной сборки урожая является практически 100% повреждение клубней различной степени, поэтому использовать технологию экономически целесообразно, если:

- степень растительных и почвенных примесей превышает 25% от всего урожая;
- отсутствуют болезни и повреждения корнеплодов;

- сбор урожая выпадает на осень.

Третьей технологией сборки картофеля является прямоточная. Она состоит из двух этапов: непосредственно сборка урожая и отправка клубней на хранения, минуя промежуточные стадии. При этом величина растительных примесей должна варьироваться от 12 до 20% от общей погрузки. При выявлении пораженных продуктов на сортировочной линии происходит их удаление.

В таблице 1.1. представлены существующие варианты поражения и повреждения картофельных клубней при использовании того или иного способа сборки [27, 31, 40, 55, 57, 58, 86, 97].

Таблица 1.1 – Варианты поражения и повреждения картофельных клубней при использовании того или иного способа сборки

Виды повреждений, %	Технология уборки		
	Перевалочная	Поточная	Прямоточная
Потемнение мякоти клубней от удара глубиной и размером более 5 мм	11,9	18,0	7,2
Вырывы, порезы и трещины мякоти клубней	6,8	9,3	2,9
Обдир кожуры до ½ поверхности клубней	6,9	16,5	5,5
Обдир кожуры более ½ поверхности клубней	5,7	22,6	4,6
ИТОГО	31,3	66,4	20,2
Средние отходы при очистке клубней, %	20,0-22,0	26,0-28,0	13,0-15,0
Общие потери за 8 месяцев хранения, %	18,7	32,2	8,3

Таким образом, на основании представленных в таблице 1.1 данных можно сделать вывод о том, что применение поточной технологии сбора урожая экономически нецелесообразно ввиду образования большого количества поврежденных клубней. Если реализация продукта запланирована на осень, то стоит обратить внимание на перевалочную технологию. В противном случае – на прямоточную.

В общем случае уборка картофельных культур предусматривает выполнение следующих технологических стадий:

- уничтожение и отсортировка ботвы;
- выкапывание картофеля;
- удаление почвы с клубней;
- удаление растительных примесей;
- разделение ботвы и клубней;
- сбор груза в перевозочные тары.

Также помимо основных стадий, выделяют вспомогательные, в частности:

- фракционирование клубней;
- первостепенное срезание ботвы в случае ее активного развития.

В зависимости от размера площади посадки картофеля и почвенно-климатических условий в России на данный момент применяются следующие способы уборки картофеля:

- картофелекопателями с укладкой картофеля на поверхность и ручным перебором;
- копателями-погрузчиками, непосредственно в процессе уборки производится погрузка картофеля в кузов транспортного средства;
- комбайнами.

Копатели применяются в тех случаях, когда невозможна уборка картофеля комбайном на средних и тяжелых почвах с повышенной влажностью, в том числе на участках с поперечным уклоном более 3%, а также на семенных полях. В данном случае:

- неэффективно используются транспортные средства, много простоя под загрузкой/выгрузкой;
- на 1 га уборки картофельной культуры выделяют бригаду в 25-40 человек;
- завышены затраты времени и труда на уборку.

В настоящее время одним из эффективных способов сбора урожая длительного хранения является использование так называемых копателей-погрузчиков. Благодаря им удается быстро и без повреждений собрать клубни, однако при этом увеличивается степень их засоренности, и как следствие, становится обязательной стадия доочистки.

Уборка картофеля при помощи комбайна в зависимости от конкретных условий может быть:

- прямой;
- раздельной;
- комбинированной.

Каждому способу присущи свои преимущества и недостатки.

Прямой способ уборки применяется при удовлетворительной и хорошей сепарации на легких и средних почвах, когда комбайн имеет возможность отделять почву и другие примеси от картофельных клубней. Экономически эффективно применять прямое комбайнирование при уборке картофеля на полях с урожайностью не менее 100 ц/га [65, 94].

Раздельное комбайнирование применяется, когда комбайн работает на скорости 1,6 км/ч и только на первой передаче и не может на должном уровне осуществлять процедуры сепарации по причине повышенной влажности. В процессе уборки картофелекопатель укладывает картофельные клубни в валок на поверхности поля, предварительно отделяя основную часть почвы от различного рода примесей [41]. Разделенный способ обеспечивает наименьшее количество травмированных картофельных клубней.

## **1.2 Анализ конструкции картофелеуборочных машин**

Исследования в области механизации процессов уборки картофеля посвящены труды Борычева С.Н., Бышова Н.В., Верещагина Н. И., Голикова А.А., Колчина Н.Н., Камалетдинова Р.Р., Измайлова А.Ю., Петрова Г. Д., Сорокина А. А., Угланова М. Б., Glaser M. и других отечественных и зарубежных учёных [1, 2, 3, 5, 6, 8, 11, 15, 16, 17, 21, 22, 23, 24, 30, 33, 39, 45,

47, 54, 60, 66, 67, 77, 78, 84, 92, 93, 100, 101, 106]. Тем не менее проблема более эффективной и качественной уборки картофельного урожая все еще остается актуальной.

На сегодняшний день, беря во внимание средства отечественного производства, лидирующие позиции занимают картофелекопатели, имеющие ряд преимуществ по отношению к копателям-погрузчикам, в частности:

- их применяют на возделываемых территориях длиной гона, не превышающей 200 м;
- для их применения качество и состояние почвы не играет роли;
- относительно невысокая стоимость.

Для выбора объекта исследования и модернизации среди копателей необходимо ориентироваться на конструктивно-технологическую схему, которая широко применяется на территории Российской Федерации.

Однорядные картофелекопатели швыряльного типа нашли широкое распространение у мелких или частных сельскохозяйственных производителей, т.к. они просты и недороги.

Тем не менее картофелекопатели швыряльного типа имеют ряд недостатков:

- высокие трудозатраты (на 20-30% выше, чем у картофелекопателей просеивающего типа);
- значительные повреждения клубней (особенно на влажных почвах);
- большие потери клубней (40-50%).

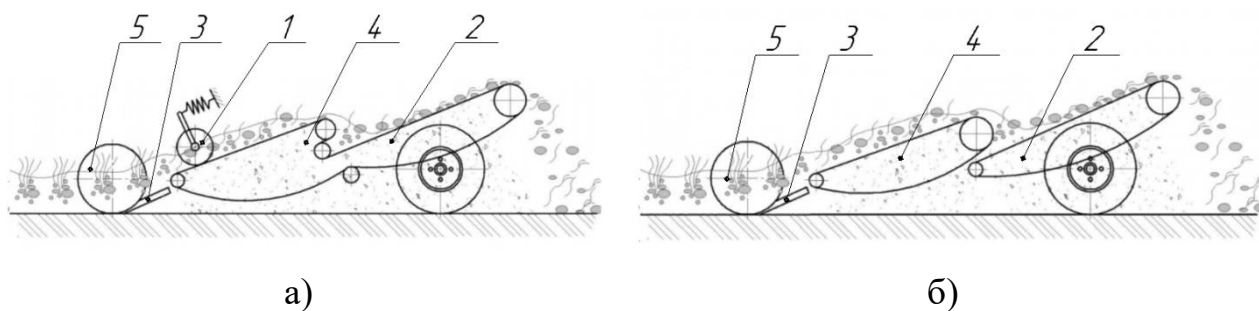
Потому объектом исследования и модернизации приняты картофелекопатели просеивающего типа. Они достаточно распространены в сельском хозяйстве.

Для картофелекопателей просеивающего типа ККЭ-2 и ККЭ-2М (рис. 1.1, а), б), КСТ-1,4 (рис. 1.2) характерны следующие технологические процессы:

- подкоп пласта, содержащего клубни картофеля;
- сепарация;

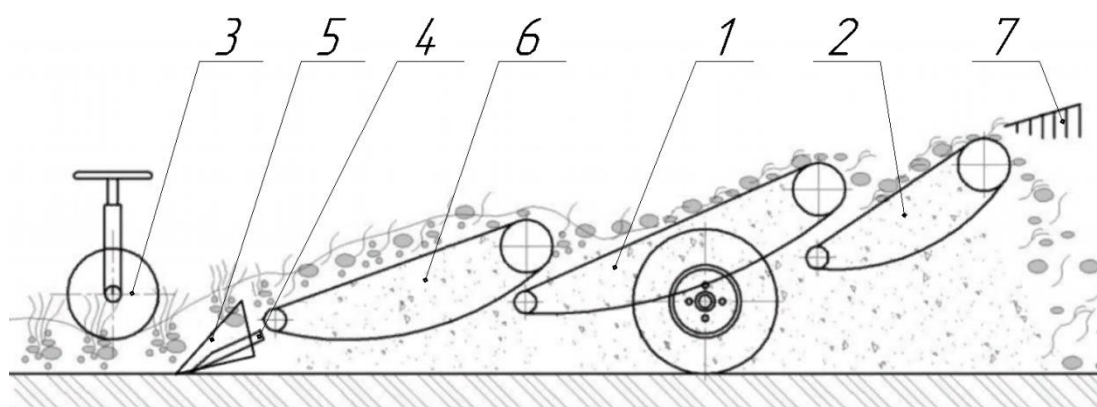
- выгрузка картофеля на поле.

При движении копателя по полю лемех подкапывает почвенный пласт. Вертикальные боковые диски (для модели ККЭ-2М) (рис. 1.1), а на КСТ-1,4 боковые вертикальные ножи (рис. 1.2) отрезают почвенный пласт с боков.



1 – ботвоприжимной валик; 2 – дополнительный сепарирующий элеватор; 3 – лемех; 4 – основной сепарирующий элеватор; 5 – пассивные вертикальные диски;  
а) картофелекопатель ККЭ-2; б) картофелекопатель ККЭ-2М

Рисунок 1.1 – Технологические схемы картофелекопателей



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

Рисунок 1.2 – Технологическая схема картофелекопателя КСТ-1,4

Скорость копателя примерно в 1,2 раза меньше скорости сепарирующего элеватора, на который подается клубненосный пласт [8]. Потому поступающий ворох частично разделяется и в последующем размельчается. Чтобы интенсифицировать процесс удаления примесных материалов с поверхности целевого продукта, было предложено разместить под рабочей ветвью

сепарирующего элеватора встряхиватели. На основном и дополнительном сепарирующих элеваторах, а также на каскадном сепарирующем элеваторе (рис. 1.2) продолжается процесс сепарации почвенных комков после отделения основной массы почвенных примесей (рис. 1.1, 1.2). Далее картофельные клубни сбрасываются на поле и собираются вручную при помощи вспомогательных рабочих.

Халанским В.М., Горбачевым И.В. в рассмотрен полунавесной, двухрядный картофелекопатель КСТ-1,4. Он предназначен для выкапывания картофеля, частичного отделения клубней от почвы и укладывания их на поверхности поля для дальнейшей подборки.

Использование данного типа картофелекопателя не ограничивается свойствами и строением почвы. Так, их применяют как на суглинистых почвах, так и на торфяниках [93].

Картофелекопатель КСТ-1,4 содержит сужающую гребенку для уменьшения схода потока картофельных клубней на поле.

В состав элеваторного полотна входят прутки, заделанные в цепные звенья. Для скоростного элеватора характерны 3 цепи, в то время как для каскадного или основного – 2. Чтобы предотвратить скатывание картофеля, происходит соединение и изгибание смежных прутков и планок в разные стороны. Для сохранения плодов целостности в каскадных элеваторах предусматриваются специальные резиновые покрытия прутков.

При смене элеватора пластом происходит его падение и дополнительное размельчение, в результате чего мелкие частицы рассеиваются, а остальные части (клубни, громоздкие комы почвы, ботва) направляются в валок – следующую операцию после каскадного элеватора. Чтобы отрегулировать ширину валка, необходимо повернуть щиток.

Недостатками картофелекопателей КСТ-1,4, ККЭ-2, ККЭ-2М является то, что при уборке клубни раскатываются по подкопанным рядкам, что затрудняет их подбор. Для исключения раздавливания картофеля колёсами трактора, картофель убирают через два ряда.

В период сборки урожая, почвенная корка на клубненосном гребне, попадает вместе с клубненосным пластом на элеватор. Как правило, здесь аграрии сталкиваются с проблемой удаления гребенной корки, поскольку не всем устройствам это доступно. В связи с этим на полях часто можно наблюдать образование сгуживание комков почвы и картофеля, поступающих с каскадного элеватора.

В качестве основного объекта исследования и научно-обоснованной модернизации копателей выбрана картофелеуборочная машина просеивающего типа КСТ-1,4. В конструкции данного агрегата необходимо совершенствовать технологический процесс путем усиления разрушающего воздействия на почвенные комки при первичной сепарации и снижением потерь клубней картофеля.

### **1.3 Выбор и анализ перспективных конструктивно-технологических схем органов сепарации картофелеуборочных машин**

Картофельные клубни подвергаются статическим и динамическим нагрузкам, начиная с момента механизированной уборки картофельного урожая, послеуборочной обработки клубней и до момента закладывания их на хранение. Все вышеперечисленное является причиной механических повреждений картофельных клубней, и как следствие, влияет на их качество и сохранность.

Изучением механических повреждений клубней картофеля при механизированной уборке занимались: С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, Н.И. Верещагин, А.А. Голиков, А.Ю. Измайлов, М.Ю. Костенко, Р.Р. Камалетдинова, Н.Н. Колчин, Г.Д. Петров, А.Г. Пономарев, Г.К. Рембалович, А.А. Сорокин, М.Б. Угланов, И.А. Успенский, И.А. Юхин, и другие., а также ряд зарубежных исследователей: Graichen G, Liske P, Glaser M, Specht A. и ряд других исследователей [5, 8, 11, 16, 25, 34, 39, 43, 66, 72, 79, 80, 83, 90, 93, 96, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109].



Анализируя литературные источники были выявлены потери картофельного урожая при хранении клубней с различными видами механических повреждений (рис. 1.3) [81].



Рисунок 1.3 – Потери картофельного урожая при хранении клубней с различными видами механических повреждений

У картофельных клубней с трещинами и раздавленных клубней наблюдаются наибольшие потери урожая. Следовательно, необходимо снижать механические повреждения картофельных клубней за счет уменьшения силового воздействия на них [61], в том числе при сепарации в картофелеуборочных машинах.

В связи с этим необходимо выявить следующие факторы, влияющих на технологичность процесса возделывания и уборки картофеля: скорость соударения, угол наклона поверхности соударения, фрикционные свойства поверхности соударения, материал поверхности соударения и др., т.е. те факторы, которые можно регулировать с целью достижения необходимых результатов.

На качество хранения при прямоточной технологии уборки и отдельно-поточной оказывает существенное влияние эффективность сепарации, которая

выполняется в процессе уборки. В то же время она влияет на процессы, протекающие после уборки урожая картофеля.

Показателями качества сепарации, а значит, эффективной работы сепарирующих элементов и устройств, являются полное отсутствие растительных примесей в ворохе, удаление камней и комков, соразмерных клубням, содержание примесей в незначительном количестве. Растительные остатки и ботва забивают отдельные узлы сортировочных механизмов, засоряют сепарирующие рабочие органы и тем самым увеличивают затраты труда при послеуборочной обработке. Почвенные примеси интенсивно налипают на поверхности сепарирующих органов и элементов при условиях повышенной влажности, что уменьшает зазоры, тем самым снижает эффективность и точность разделения на фракции.

Для корректирования процесса сепарации вороха необходимо знать и применять наиболее важные физико-механические свойства картофельных клубней.

В многочисленной отечественной и зарубежной литературе представлены принципы процесса сепарации и характеристики работы сепарирующих рабочих органов.

В этих трудах представлены различные конструктивно-технологические схемы рабочих органов отделителей механического, гидравлического и пневматического принципа действия.

Ввиду неудовлетворительной надежности, больших энергетических издержек, высоких шумовых показателей при обработке вороха некоторые из данных технических средств не нашли широкого спроса [17, 80]. При условиях повышенной влажности гидравлические и гидромеханические отделители в достаточной степени качественно очищают ворох и почвенные примеси, которые налипли на корнеклубнеплоды [26, 53].

В условиях массового производства в процессе уборки и очистки с применением воды опыт эксплуатации подобных устройств экономически невыгоден.

Потому рассмотрим отделители с механическим принципом действия.

Существующие сепараторы принято классифицировать на 2 группы в зависимости от их положения в технологической цепи и на основании величины допустимой нагрузки [68]:

- для первичного разделения почвы;
- для вторичного разделения почвы.

По другой классификации, предложенной Сорокиным А.А., разделение сепарирующих устройств осуществлялось на 3 вида:

- для выносного отделения;
- для просеивного отделения;
- для выносного и просеивного отделения

В результате первичной сепарации происходит продавливание (в случае повышенной влажности свыше 27%) или просеивание ( в случае нормальной влажности 18%...23%) механических частиц через поры (щели). Продавливание может происходить при больших скоростях (центробежная сепарация) и при малых скоростях движения почвы и рабочих органов.

Согласно [64, 83] сепараторы механического принципа действия можно классифицировать следующим образом (рис. 1.4).

Отметим, что динамическое воздействие на почвенные комки со стороны рабочих органов картофелеуборочных машин является оптимальным способом их разрушения [14].

Профессор Петров Г.Д. после анализа механических отделителей, использованных в сельском хозяйстве, предложил конструировать сепараторы под каждый тип почв и классифицировал их на несколько видов [66]:

- технические средства для пластичной среды;
- технические средства для мелкодисперсной среды;
- технические средства для крупноразмерных частиц.

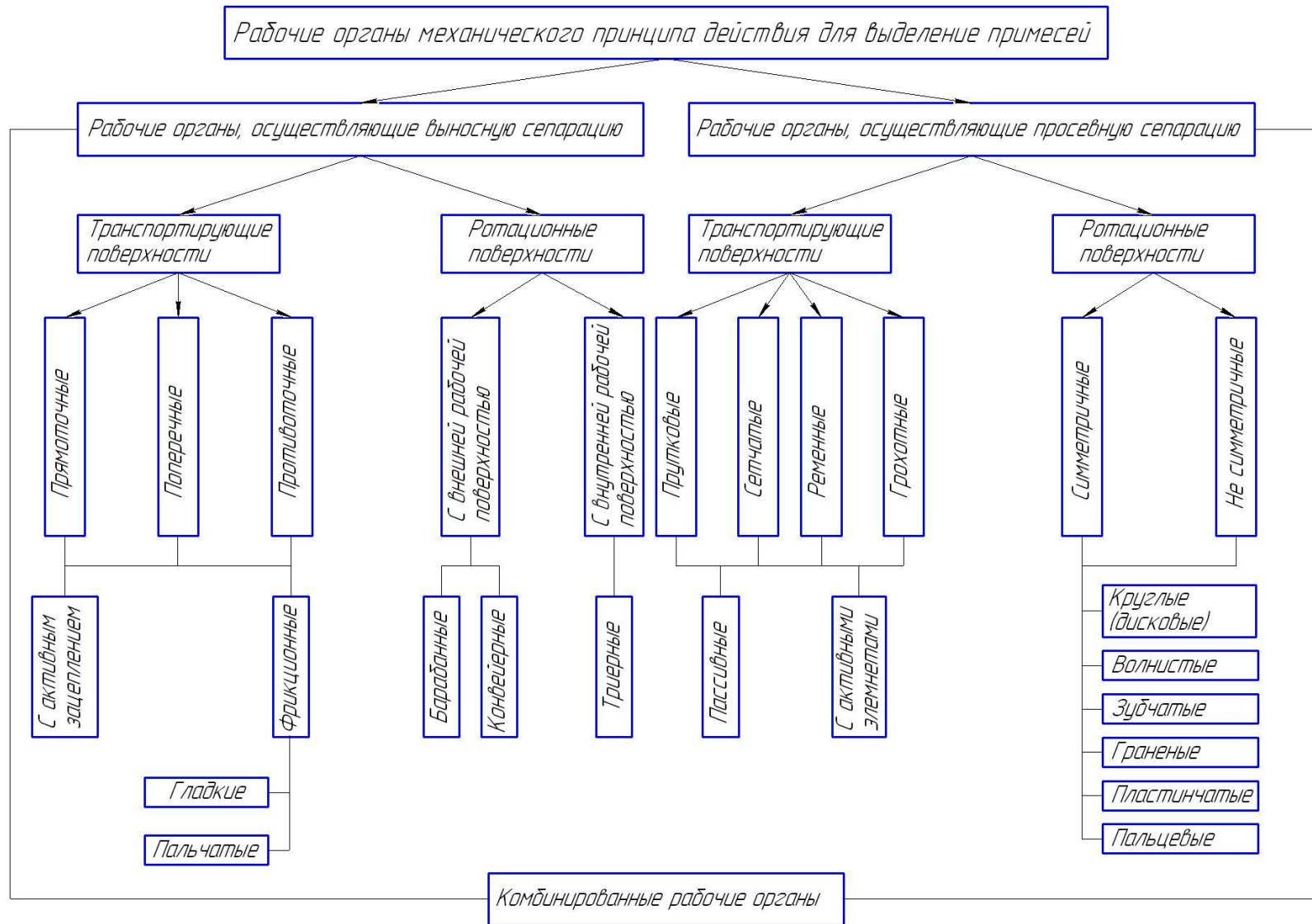


Рисунок 1.4 – Классификация сепараторов механического принципа действия [103].

Стоит отметить, что не каждые средства могут обеспечить эффективное разделение влажной почвы и клубней. Так, бесполезны в данных целях следующий перечень средств: прутковые элеваторы, ременные поверхности, валковые (кулачковые) и барабанные грохоты, грохоты с колебательными движениями решет.

Одним из направлений модернизации сепарирующих устройств для сельского хозяйства в условиях работы с влажными почвами стало исследование эффективности центробежных сепараторов, принцип действия которых на воздействии центробежных сил на обогащенные водой частицы.

Работа и принцип действия сепаратора барабанно-шнекового типа были исследованы Сорокиным А.А. Выявлены следующие недостатки: при подъеме вверх клубней появляются значительные их повреждения при высокой энергоемкости. Это объяснялось тем, что в устройство подавался весь подкапываемой пласт [83].

Результаты проведенных исследований показали, что сепаратора барабанно-шнекового типа не обеспечивает подъем клубней в верхнюю часть барабана и в целом работает неудовлетворительно.

В настоящее время в качестве сепаратора просеивающего типа во многих образцах отечественных картофелеуборочных машин (КИТ-2, ККУ-2А, КПК-2, КПК-3) и картофелеуборочных комбайнов ведущих зарубежных фирм (AVR SPIRIT 8200, Grimme DR-1500, Grimme SE 150-60), используют прутковые элеваторы на прорезиненных ремнях [59, 80, 85, 103].

Чтобы повысить эффективность механического разделения, были разработаны следующие мероприятия: установить зазор между прутков на расстоянии 28 мм; соблюдать критический угол элеваторов  $20^\circ$  к горизонту [69]; при условии большого забивания применять щеточные отделители [88]; использовать резиновые покрытия для минимизации повреждения целевых продуктов [69].

Ввиду неспособности прутковых элеваторов эффективно работать в условиях повышенной почвенной влажности часто сопутствующими являются интенсификационные устройства с различными приводами. Так, выделяют механическое, пневматическое, гидравлическое устройства (рисунок 1.5).

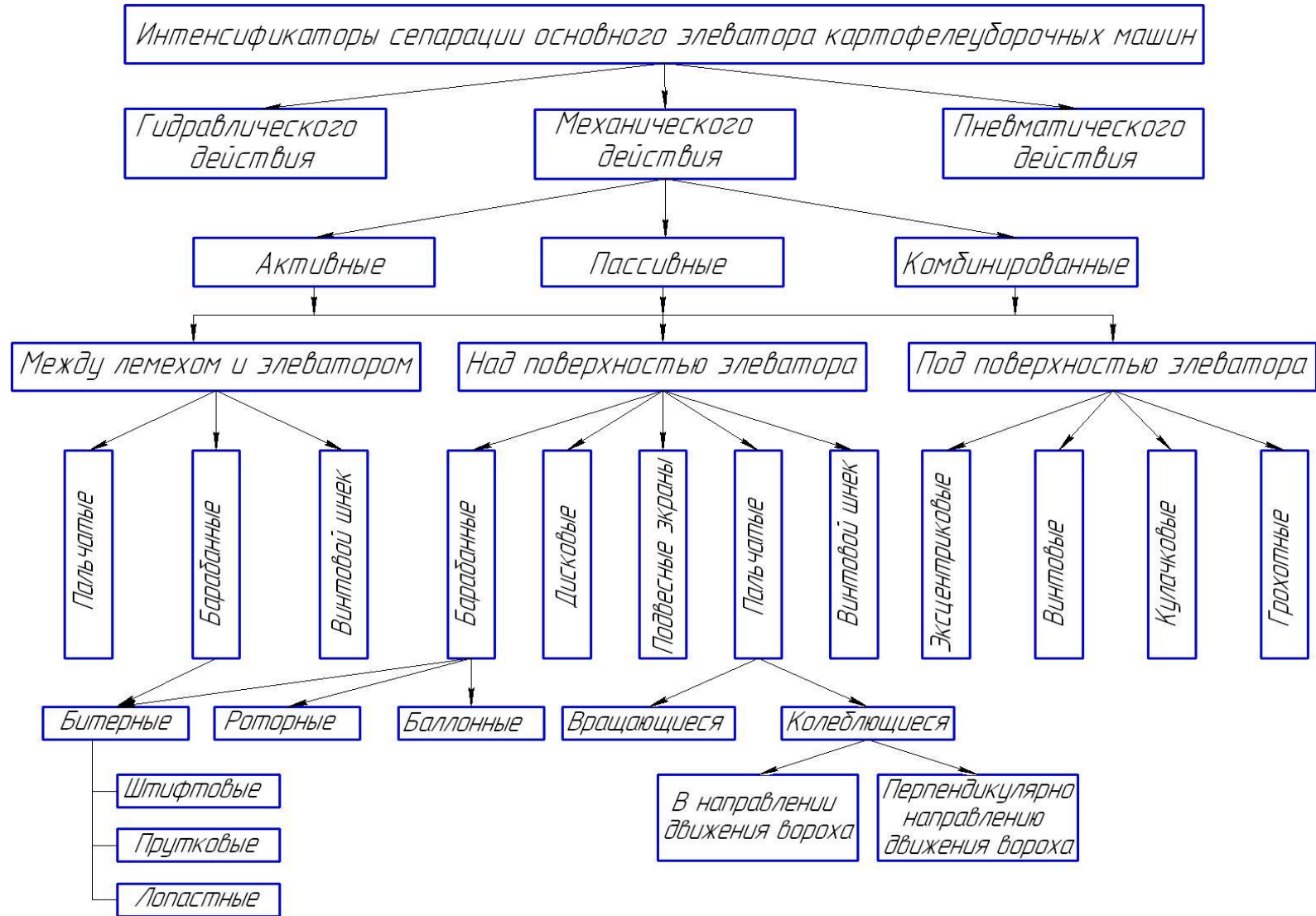


Рисунок 1.5–Классификация интенсификаторов сепарации основного элеватора картофелеуборочных машин[103].

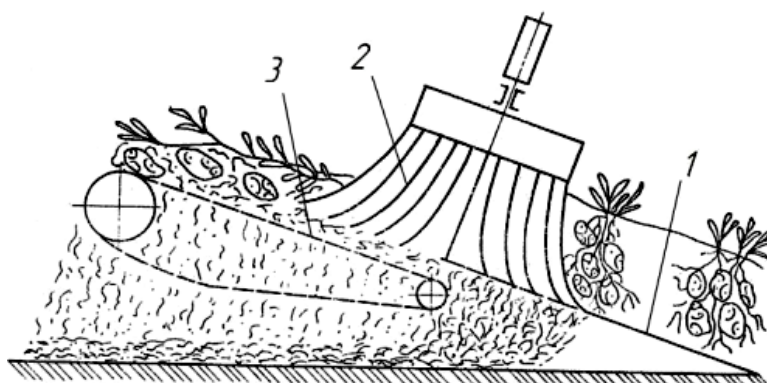
Рассмотрим подробнее интенсификаторы механического принципа действия.

По месту расположения механические интенсификаторы сепарации пруткового элеватора разделены на 3 типа:

- устанавливаются между лемехом и элеватором;
- устанавливаются над поверхностью пруткового элеватора;
- устанавливаются под поверхностью пруткового элеватора.

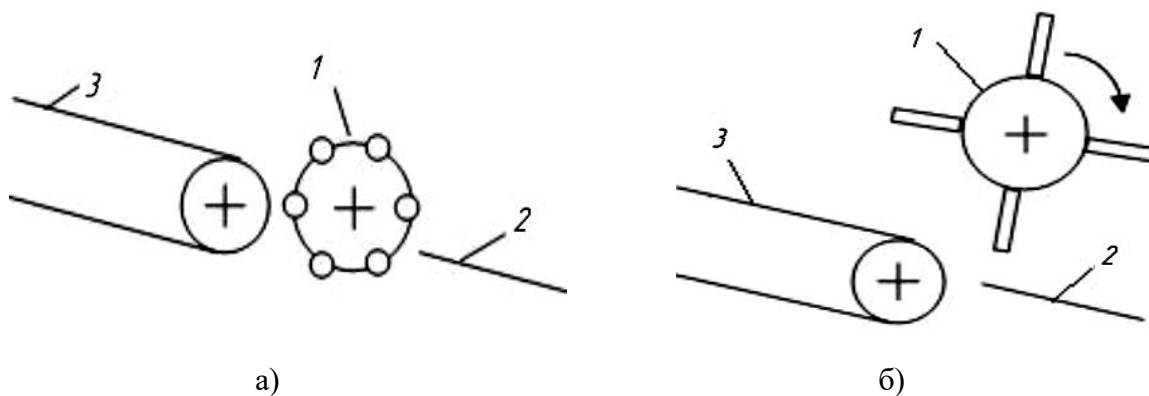
Интенсификаторы сепарации, которые устанавливаются между лемехом и элеватором, могут быть:

- пальчатые (рис. 1.6);
- барабанные (в виде прутковых (рис. 1.7, а) и штифтовых (рис. 1.7, б) битеров);
- винтовые шнеки (рис. 1.8).



1 – лемех; 2 – палец; 3 – элеватор

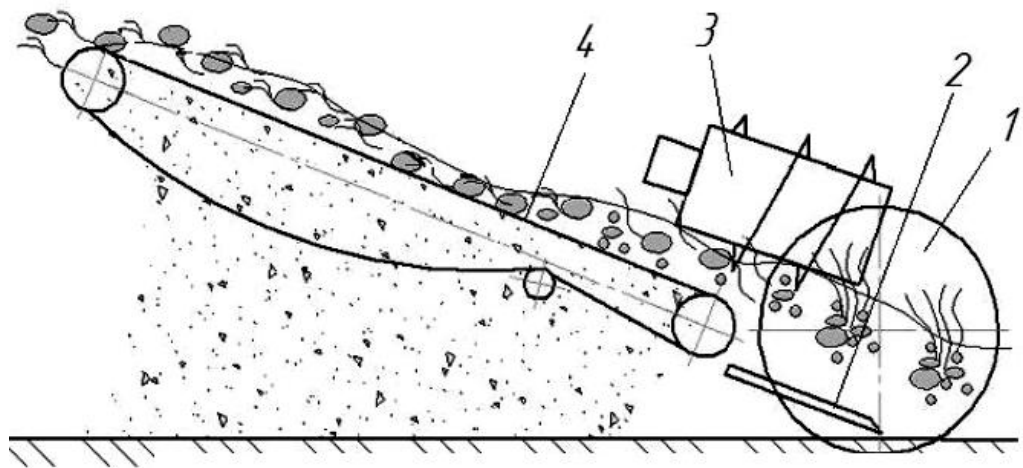
Рисунок 1.6 – Пальчатый интенсификатор



1 – битер; 2 – лемех; 3 – элеватор

а) в виде прутковых битеров; б) в виде штифтовых битеров

Рисунок 1.7 – Барабанные интенсификаторы

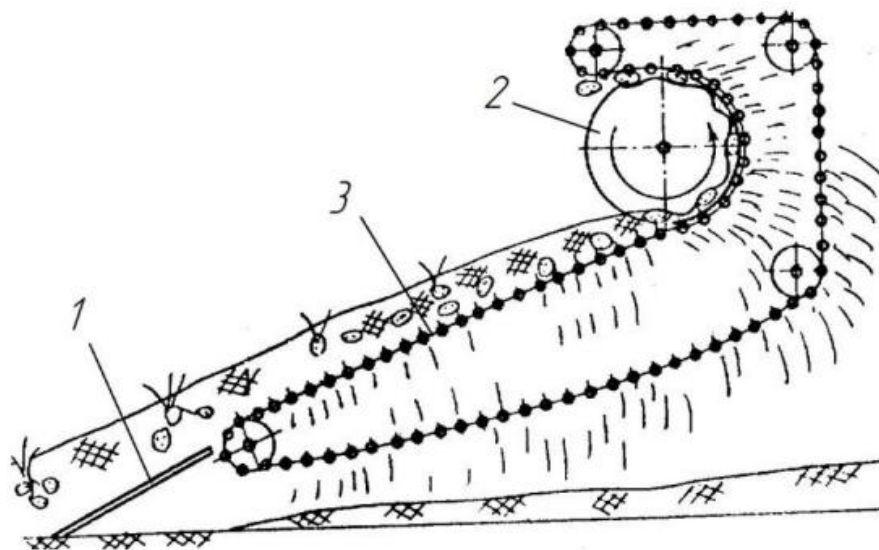


1 – диск выкапывающий; 2 – лемех; 3 – шнек винтовой; 4 – элеватор

Рисунок 1.8 – Шнековый интенсификатор

В свою очередь интенсификаторы сепарации, которые устанавливаются над поверхностью пруткового элеватора, могут быть выполнены в виде:

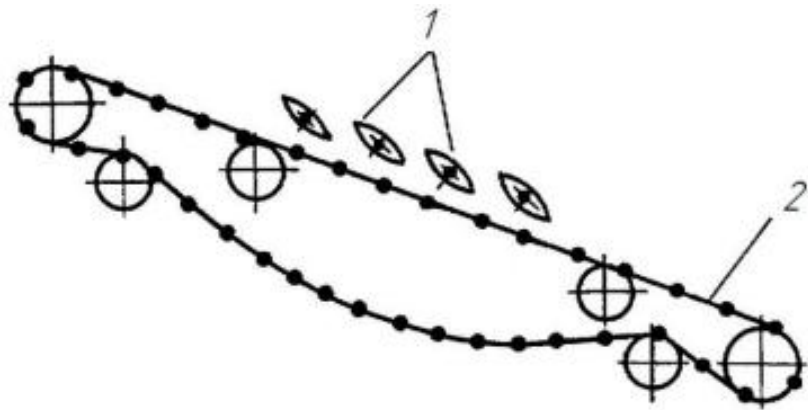
- барабанов (рис. 1.9);
- дисков (рис. 1.10);
- подвесных экранов (рис. 1.11);
- пальцев (рис. 1.12);
- винтовых шнеков (рис. 1.13).



1 – лемех; 2 ластичный барабан (баллон); 3 – элеватор

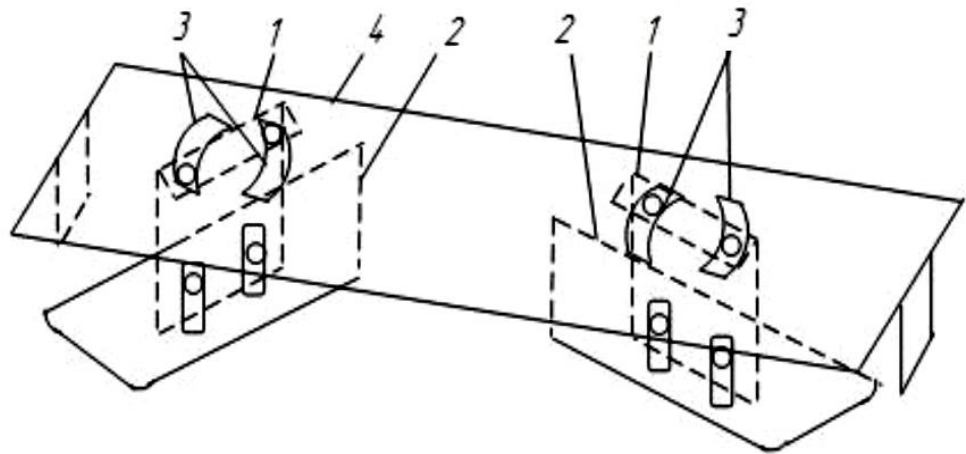
Рисунок 1.9 – Барабанный интенсификатор





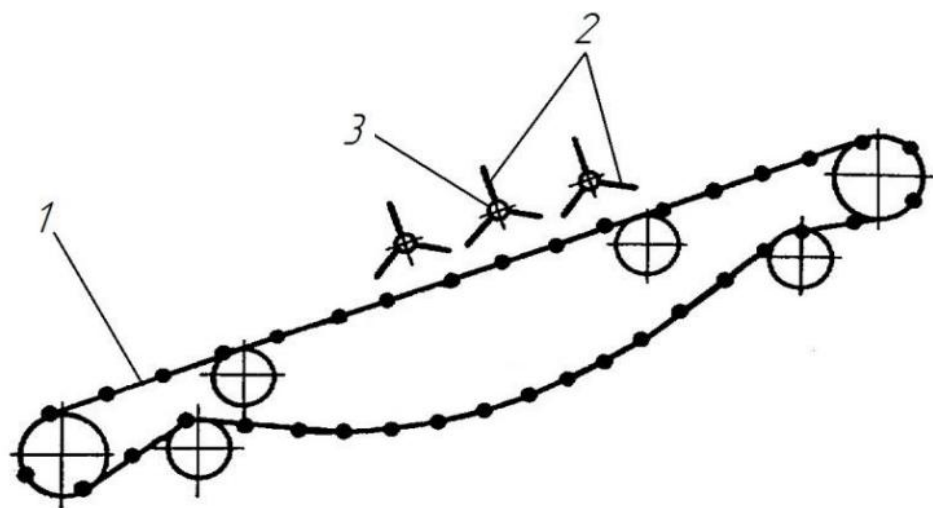
1 – диски; 2 – элеватор

Рисунок 1.10 – Дискový интенсификатор



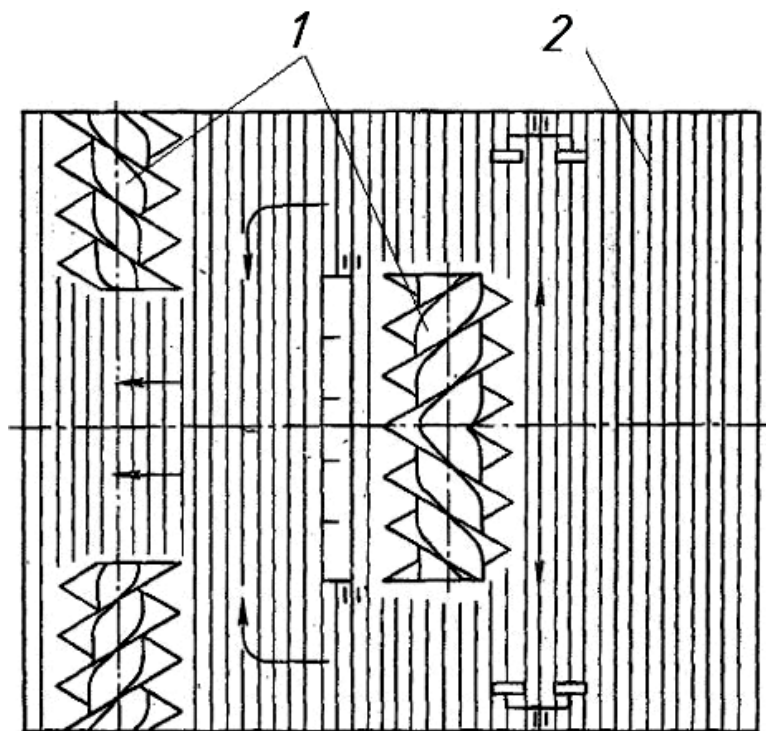
1 – кронштейн; 2 – пластина; 3 – продолговатые отверстия; 4 – рамка

Рисунок 1.11 – Подвесной экран



1 – элеватор; 2 – палец; 3 – приводной вал

Рисунок 1.12 – Пальчатый интенсификатор

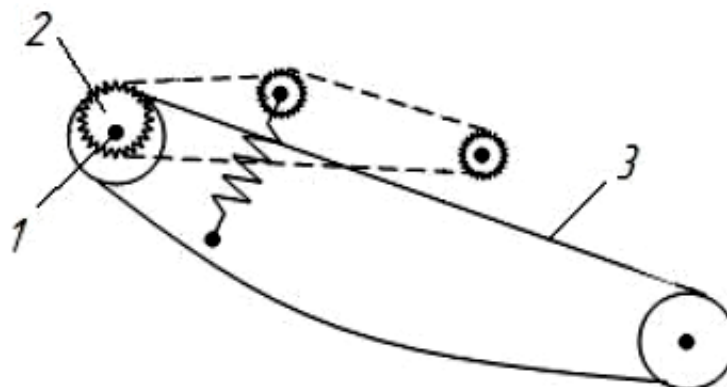


1 – винтовой шнек; 2 – элеватор

Рисунок 1.13 – Винтовой шнековый интенсификатор

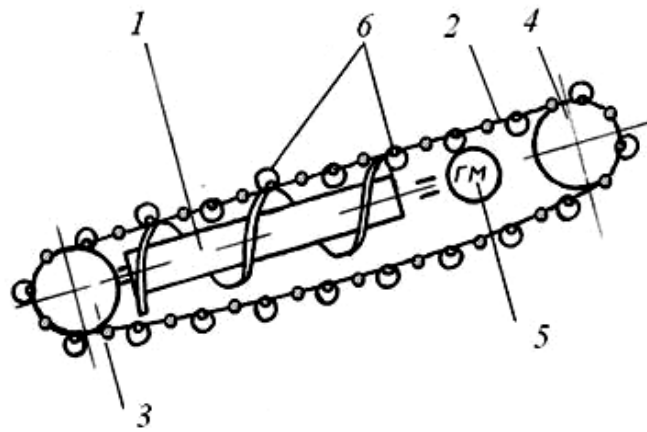
Интенсификаторы сепарации, которые размещены под поверхностью пруткового элеватора, могут иметь следующие исполнения:

- эксцентриковое (рис. 1.14);
- винтовое шнековое (рис. 1.15);
- кулачковое (рис. 1.16);
- грохотное (рис. 1.17).



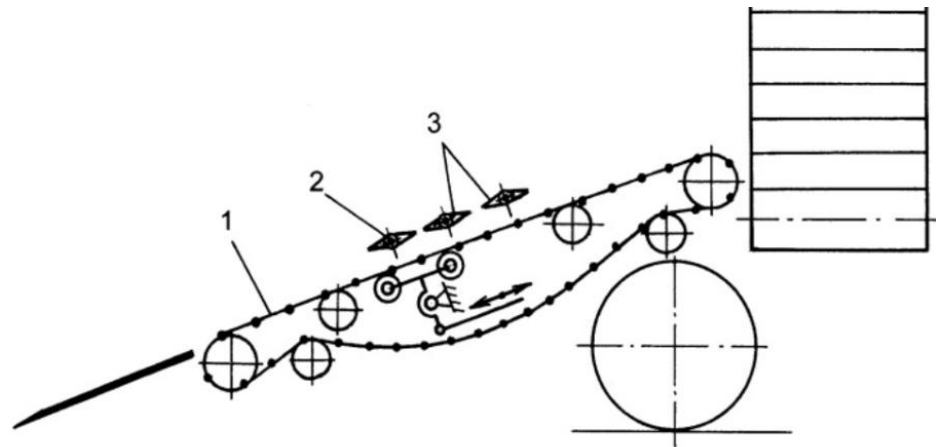
1 – приводной вал элеватора; 2 – эксцентриковая звездочка; 3 – элеватор

Рисунок 1.14 – Эксцентриковый интенсификатор



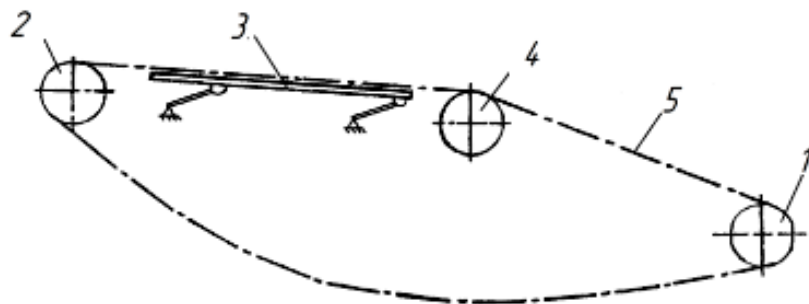
1 – активатор с винтовой навивкой; 2 – бесконечное пружинное полотно; 3 – ведомая звездочка; 4 – ведущая звездочка; 5 – гидромотор; 6 – трубка комбинированного прутка;

Рисунок 1.15 – Винтовой шнековый интенсификатор



1 – просеивающий элеватор; 2 – интенсификатор сепарации в виде набора приводных валов (роликов); 3 – рабочий элемент

Рисунок 1.16 – Кулачковый интенсификатор



1 – ведомое звено; 2 – ведущее звено; 3 – грохот; 4 – промежуточное звено; 5 – элеватор

Рисунок 1.17 – Грохотный интенсификатор

В настоящее время наиболее известны интенсифицирующие кулачковые встряхиватели за счет относительно низкой стоимости и простоты их конструкции. Однако они могут создавать лишь низкочастотные колебания полотна основного элеватора, которые не полностью разрушают мелко- и среднегабаритные механические примеси. Чтобы размолоть мелкие частицы, кулачковым встряхивателям следует передавать высокочастотные колебания, что в текущее время весьма энергоемко[74].

Недостатком встряхивателей в виде эксцентриковых звездочек для элеваторов является невозможность регулирования интенсивности встряхивания. При этом принципиально важно устанавливать переменную интенсивность встряхивания.

Важно отметить, что достоинством звездчатых интенсифицирующих устройств, несмотря на сложность их строения, являются хорошие производственные показатели, а также возможность изменять режимы в различных интервалах.

Тем не менее, в виду того, что интенсификатор сепарации размещен в начале элеватора, где имеет место высокий уровень сепарации, а невысокий уровень сепарации снижается в остальной зоне основного элеватора [74].

#### **1.4 Постановка целей и задач исследования**

Проведенный анализ показал, что на современном этапе развития картофелеуборочных машин существуют многочисленные варианты исполнения сепарирующих устройств. Тем не менее, выделить определенное техническое средство для полноценного эффективного сбора картофеля в различных условиях не представляется возможным.

Согласно литературным данным, касаемым темы сбора картофельного урожая, к наиболее используемым комплектующим большинства картофелеуборочных машин относятся прутковые элеваторы с прорезиненными ремнями.

Несмотря на широкую распространенность в условиях повышенной влажности почвы эффективность прорезиненных транспортеров существенно падает.

Для достижения поставленной цели поставлены задачи:

- провести анализ литературы и проведенных исследований, отражающих различные варианты конструктивных и технологических решений в картофелеуборочных машинах в целом, а также сепарирующих устройств и разработать конструктивно-технологическую схему поперечного ворошителя сепарирующего элеватора;
- разработать теоретические зависимости для описания процессов взаимодействия компонентов картофельного вороха с элементами элеватора;
- определить параметры разработанного поперечного ворошителя картофелеуборочной машины;
- определить технико-экономический эффект применения усовершенствованного сепарирующего устройства картофелеуборочных машин.

### **Выводы по главе 1**

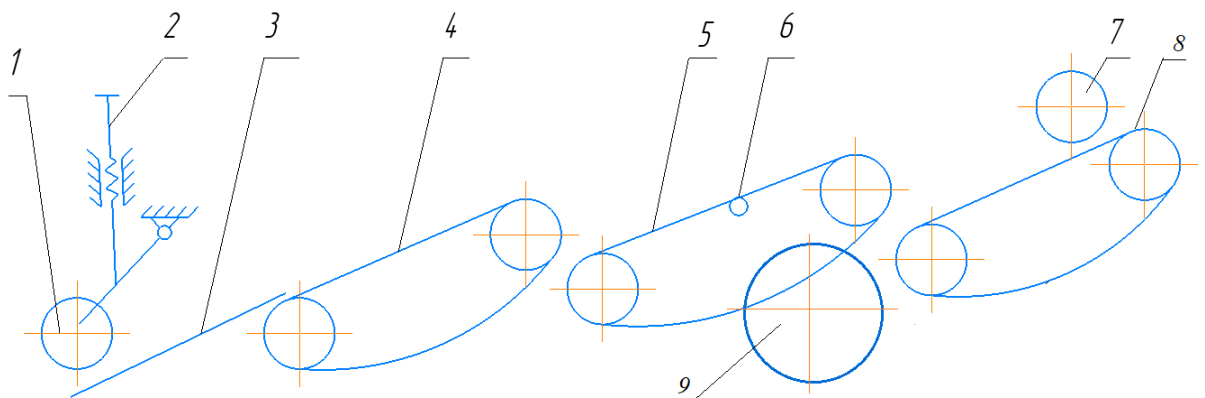
В ходе оценки современного состояния вопроса, механизации сепарации клубненосного вороха исследования выявлено, что:

1. Установлена необходимость исследований по усовершенствованию технологического процесса картофелеуборочных машин;
2. В настоящее время нет альтернативы сепаратору, работающему по принципу просеивания, который бы позволил заменить прутковый элеватор, но при работе на тяжелых почвах он имеет низкую сепарационную способность;
3. В настоящее время получил распространение динамический способ разрушения почвенных комков;
4. Ввиду неспособности прутковых элеваторов эффективно работать в условиях повышенной почвенной влажности часто сопутствующими им являются интенсификационные устройства с различными приводами.

## ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ВОРОШИТЕЛЕМ

### 2.1 Конструктивно-технологическая схема картофелеуборочной машины с поперечным ворошителем

Для повышения эффективности выделения клубней при уборке картофеля на почвах разной влажности разработана конструктивно-технологическая схема картофелеуборочной машины с поперечным ворошителем. Поперечный ворошитель установлен над каскадным прутковым элеватором с возможностью изменения расстояния между ним и прутками элеватора. На рис. 2.1 изображена принципиальная схема картофелеуборочной машины, вид сбоку.

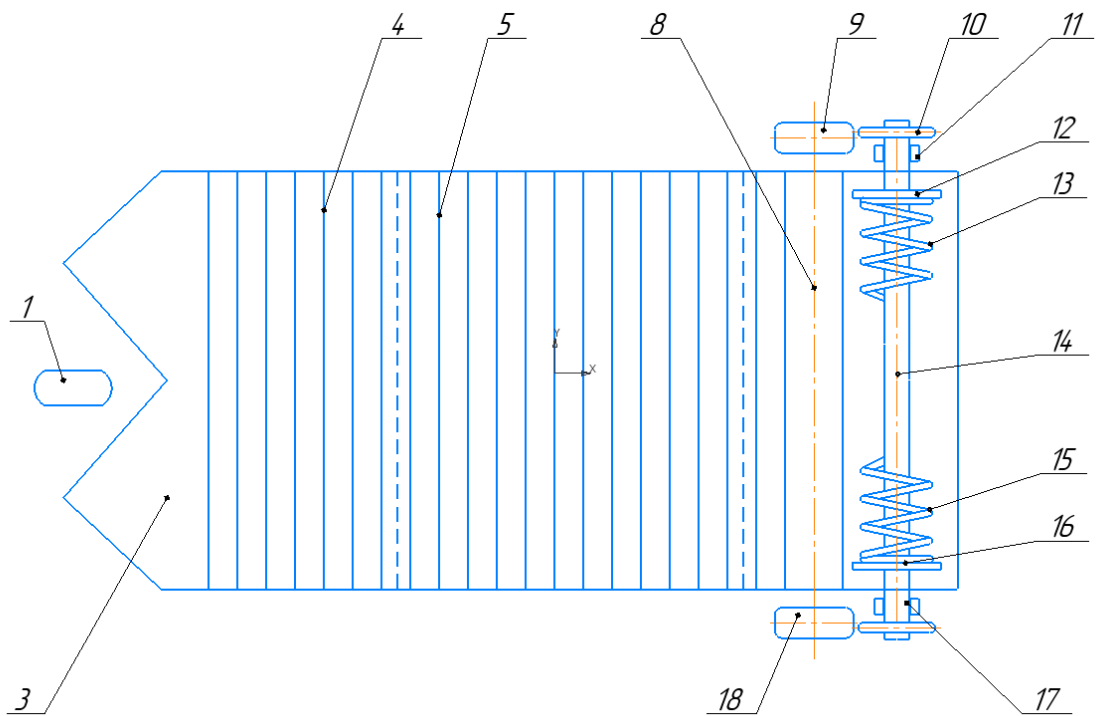


1 – опорное колесо; 2 – винтовой механизм; 3 – лемех; 4 – скоростной прутковый элеватор; 5 – основной прутковый элеватор; 6 – эллиптическая звездочка; 7 – поперечный ворошитель; 8 – каскадный прутковый элеватор; 9 – ходовые колёса

Рисунок 2.1 – Принципиальная схема картофелеуборочной машины

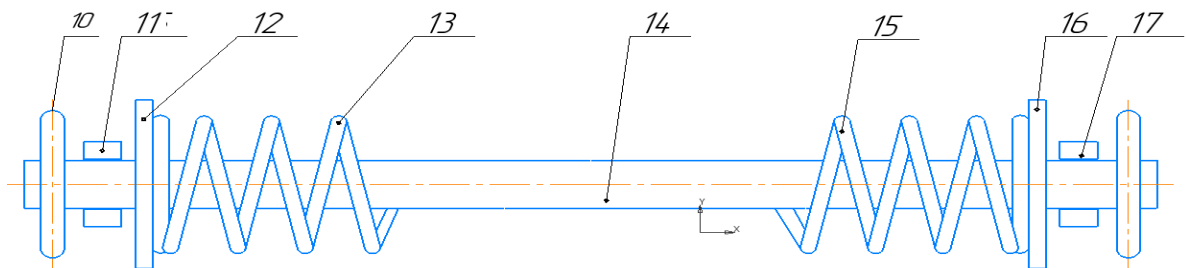
На рис. 2.2 представлена принципиальная схема картофелеуборочной машины, вид сверху.

На рис. 2.3 показан приводной вал поперечного ворошителя, снабженный спиралью.



3 – лемех; 1– опорные колеса; 4 – скоростной элеватор; 5 – основной элеватор; 8 – каскадный элеватор; 9,18 – ходовые колеса; 10 – звездочка; 14- приводной вал; 11,17 – подшипник; 12,16– фланец; 13,15– спирали.

Рисунок 2.2 – Принципиальная схема картофелеуборочной машины, вид сверху



10 – звездочка; 11,17– подшипники; 12,16 – фланец; 13,15 – пружина; 14 - приводной вал.

Рисунок 2.3 – Приводной вал поперечного ворошителя, снабжений спиралями

Картофелекопатель включает лемеха 3, скоростной 4, основной 5 и каскадный 8 прутковый элеваторы, ходовые 9,18 и опорные 1 колеса. Глубина хода лемехов 3 регулируется с помощью винтового механизма 2.

Элеваторы оборудованы эллиптическими звездочками 6, которые встряхивают верхняя ветвь полотна. Над каскадным прутковым элеватором 8 установлен поперечный ворошитель 7, который крепится на рамес возможностью регулировки расстояния до прутков элеватора.

Поперечный ворошитель 7 смонтирован на приводном валу 14 с помощью фланцев 12 и 16, в виде спиралей 13 и 15. Навивка спиралей 13 и 15 имеет правое и левое направление и просвет между витками. Спирали 13 и 15 навиты из проволоки, на которую надет силиконовые трубки.

Вал 14 поперечного ворошителя 7 установлен в подшипниках 11 и 17 закреплен на стойке, выполненной с резьбой для изменения расстояния между поверхностью каскадного элеватора 8 и поперечным ворошителем 7. Привод вала 14 осуществляется через звездочку 10 цепной передачей.

Работа картофелекопателя осуществляется следующим образом. При движении лемеха 3 полают клубненосный пласт на скоростной элеватор 4, на котором пласт разрывается на части за счет высокой скорости элеватора 4. Образованные почвенные комки сепарируются и перемещаются на основной элеватор 5. При переходе со скоростного элеватора 4 на основной элеватор 5, а затем на каскадный элеватор 8 клубненосный пласт дополнительно измельчается, мелкие почвенные частицы просеиваются между прутками. Для улучшения сепарации верхняя ветвь основного элеватора 5 встряхивается эллиптическими звездочками 6. Неразрушенные почвенные комки и клубни картофеля попадают на каскадный элеватор 8, оборудованный поперечным ворошителем 7.

При воздействии спиралей 13 и 15 на картофельный ворох клубни и комки почвы смещаются в среднюю часть каскадного элеватора 8, а мелкая почва просеивается между прутками. При сходе с каскадного элеватора 8 клубни картофеля падают на просеившуюся почву, образуя валок за картофелекопателем.

При изменении условий работы картофелекопателя изменяют расстояния между поперечный ворошитель 7 и прутками каскадного элеватора 8.



Применение поперечного ворошителя выполненного в виде спиралей на картофелекопательте позволит измельчить почвенные комки, обеспечить укладку картофеля в валок за картофелекопателем без раскатывания [9,29,63,75,76,110].

## 2.2 Теоретическое исследование движения компонентов картофельного вороха при переходе с одного элеватора на другой

При переходе с основного элеватора на каскадный элеватор клубни и компоненты картофельного вороха падают и испытывают дополнительные нагрузки. Рассмотрим характеристики этого движения.

Были введены следующие допущения:

- скорость компонентов картофельного вороха равна скорости полотна элеватора;

- количество компонентов картофельного вороха незначительны, то есть компоненты располагаются в один слой и не оказывают влияние друг на друга.

Определим угол схода компонентов с приводного барабана и элеватора, так как компоненты картофельного вороха двигаются вместе со скоростью полотна элеватора и находятся в равновесии.

Рассмотрим равновесие компонентов картофельного вороха на барабане приводного вала пруткового элеватора.

Запишем уравнение равновесия

$$F_{\text{тр}} + N + G = 0. \quad (2.1)$$

Приложим силу инерции и воспользуемся принципом Даламбера.

где:

$F_{\text{тр}}$  – сила трения компонента картофельного вороха о полотно элеватора, Н;

$f$  – коэффициент трения компонента картофельного вороха о полотно элеватора;

$F_{\text{цб}}$  – центробежная сила действия компонентов вороха, Н.

$$F_{\text{цб}} = m * \omega^2 (R + r), \quad (2.2)$$

где:

$\omega$  – угловая скорость барабана, рад/с;

$R$  – радиус барабана элеватора, м;

$r$  – радиус компонента картофельного вороха, м.

$$F_{цб} + F_{тр} + N + G = 0. \quad (2.3)$$

Спроецируем данное уравнение:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0; \\ \sum F_y = 0; \end{cases} \begin{cases} -F_{mp} * \cos \beta + N \sin(\alpha + \beta) - G \sin \alpha + F_{цб}(\sin(\alpha + \beta)) = 0 \\ +F_{mp} * \sin \beta + N \cos(\alpha + \beta) + F_{цб} \cos(\alpha + \beta) - G \cos \alpha = 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

$$F_{тр} = f \cdot N, \quad (2.5)$$

где:

$f$  – коэффициент трения компонента картофельного вороха о полотно элеватора;

$N$  – сила нормального давления на компонент картофельного вороха, Н;

$F_{цб} = m * \omega^2 * (R + r)$  – центробежная сила, Н;

$G = mg$  – вес компонентов картофельного вороха, Н;

$m$  – масса вороха, кг;

$g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ ).

$$\beta = f(\omega; \alpha). \quad (2.6)$$

Поставим известные величины в выражение (2)

$$\begin{cases} -fN \cos \beta + N \sin(\alpha + \beta) - mg \sin \alpha + m\omega^2(R + r) \sin(\alpha + \beta) = 0 \\ +fN \sin \beta + N \cos(\alpha + \beta) - mg \cos \alpha + m\omega^2(R + r) \cos(\alpha + \beta) = 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

Заменим косинусы и синусы суммы углов, тогда:

$$\begin{cases} -fN \cos \beta + N(\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta) - mg \sin \alpha + m\omega^2(R + r) * (\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta) = 0 \\ +fN \sin \beta + N(\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta) - mg \cos \alpha + m\omega^2(R + r)(\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta) = 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

Преобразуем выражение (2.8):

$$\begin{cases} -fN \cos \beta + N \sin \alpha \cos \beta + N \cos \alpha \sin \beta - mg \sin \alpha + m\omega^2(R + r) \sin \alpha \cos \beta + m\omega^2(R + r) \cos \alpha \sin \beta = 0 \\ +fN \sin \beta + N \cos \alpha \cos \beta + N \sin \alpha \sin \beta - mg \cos \alpha + m\omega^2(R + r) \cos \alpha \cos \beta + m\omega^2(R + r) \sin \alpha \sin \beta = 0 \end{cases} \quad (2.9)$$

Выразим из первого уравнения члены, содержащие  $\alpha$ , и подставим во второе уравнение:

$$\begin{cases} N \sin \alpha \cos \beta + N \cos \alpha \sin \beta - mg \sin \alpha + m\omega^2(R+r) \sin \alpha \cos \beta + m\omega^2(R+r) \cos \alpha \sin \beta = fN \cos \beta \\ N(\sin \beta + \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta) = mg - m\omega^2(R+r) \cos \alpha \cos \beta - m\omega^2(R+r) \sin \alpha \sin \beta \end{cases} \quad (2.10)$$

Отсюда нормальная реакция будет:

$$N = \frac{m(g - \omega^2(R+r) \cos \alpha \cos \beta - \omega^2(R+r) \sin \alpha \sin \beta)}{\sin \beta + \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta} \quad (2.11)$$

Рассмотрим движение клубня после падения.

$$\begin{cases} m \frac{dx^2}{dt^2} = 0 \\ m \frac{dy^2}{dt^2} = -mg \end{cases} \quad (2.11)$$

С элеватора, применим следующее допущение:

- 1) силу сопротивления потока не учитываем, так как скорость картофеля не превышает 2 м/с в полёте;
- 2) начальная скорость клубня картофеля определяется скоростью элеватора с учётом угла отрыва  $\beta$ .

Проинтегрируем выражение разделив на (m)

$$\begin{cases} \frac{dx^2}{dt^2} = C_1 \\ \frac{dy^2}{dt^2} = -gt + C_2 \end{cases} \quad (2.12)$$

Заменяя  $\frac{dx}{dt}$  через  $\vartheta x = \frac{dy}{dt}$ , где  $\vartheta y$ . Получим:

$$\frac{\vartheta x = C_1}{\vartheta y = gt + C_2} \quad (2.13)$$

Подставляя начальные условия при  $t_0=0$ ;  $x_0=0$ ;  $y_0=0$ ;  $\vartheta_{x0} \vartheta_0 \cos \beta$ ;  $\vartheta_{y0} \sin \beta$ , получим:

$$\begin{cases} C_1 = \vartheta_0 x = \vartheta_0 \cos \beta \\ C_2 = \vartheta_0 y = \vartheta_0 \sin \beta \end{cases} \quad (2.14)$$

С учетом постоянных интегрирования выражение (2.12) заменится следующим образом;

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \vartheta_0 \cos \beta \\ \frac{dy}{dt} = gt + \vartheta_0 \sin \beta \end{cases} \quad (2.15)$$

Разделим переменные и проинтегрируем еще раз.

$$\begin{cases} x = v_0 \cos \beta + C_3 \\ y = -\frac{gt^2}{2} + v_0 t \sin \beta + C_4 \end{cases} \quad (2.16)$$

С учетом начальных условий постоянные интегрирования:

$$C_3 = x_0 = 0, C_4 = y_0 = 0, \quad (2.17)$$

тогда выражение запишется в виде:

$$\begin{cases} x = v_0 t \cos \beta \\ y = -\frac{gt^2}{2} + v_0 t \sin \beta \end{cases} \quad (2.18)$$

По полученному уравнению в программе MathCAD проверено моделирование процесса движения компонентов картофельного вороха. На рис. 2.4 представлена траектория движения компонентов картофельного вороха в зависимости от первоначального угла отрыва.

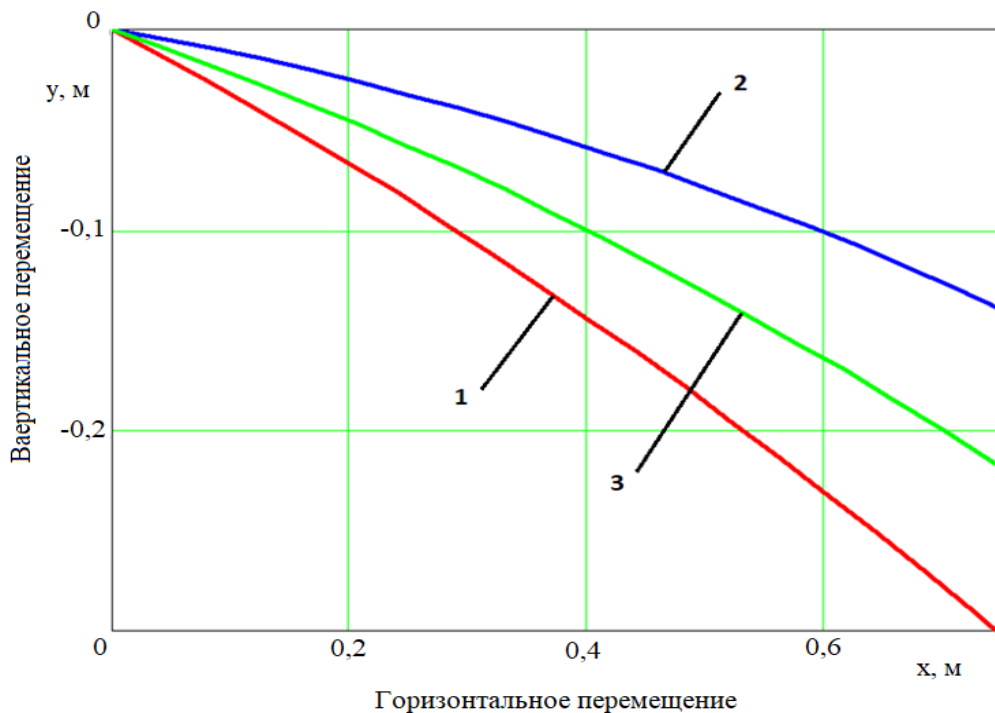


Рисунок 2.4 – Траектория компонентов картофельного вороха при переходе с одного элеватора на другой

При полете компонентов вороха, при переходе с одного элеватора на другой они приобретают определенную скорость и ударяются о прутки, при этом клубни, обладая упругостью, меняют траекторию, движение и

скорость. Дальность полета компонента картофельного вороха составляет около 0,25...0,35 м, высота падения около 0,07...0,15 м.

Рассмотрим удар клубня о поверхность элеватора.

- 1) Введем следующие допущения: форму клубня примем за шар.
- 2) Угол падения клубня соответствует траектории полета.
- 3) Трение на поверхности элеватора не учитываем.

Рассмотрим две фазы удара:

1. В первой фазе удара клубень деформируется до тех пор, пока скорость удара не станет равна нулю. При этом кинематическая энергия клубня переходит в потенциальную энергию.

2. В течение второй фазы потенциальная энергия клубня приводит к восстановлению формы и под действием внутренних сил упругости скорость клубня возрастает до некоторой скорости.

При этом отношение скорости удара до и после, а также их направление, зависят от коэффициента восстановления.

Так как элеватор движется в сторону падения компонентов картофельного вороха, горизонтальная составляющая сила соударения будет меньше на величину скорости элеватора, вертикальная составляющая скорости падения остается без изменения.

Исходя из теоремы об изменении количества движения, запишем следующее:

$$M(\vec{U} - \vec{\vartheta}) = \vec{S} \quad (2.19)$$

где:

$M$  – масса клубня;

$U$  – скорость до удара клубня об элеватор;

$\vartheta$  – скорость клубня после удара;

$S$  – импульс силы.

Спроектируем выражение (2.19) на ось координат:

$$M(U_{y_1} - \vartheta_{y_1}) = S; \quad (2.20)$$

$$M(U_{x_1} - \vartheta_{x_1}) = 0. \quad (2.21)$$

Так как не учитывается сила трения клубня об элеватор, то скорость вдоль оси до удара и после удара будут равны.

Поэтому рассмотрим удар относительно оси  $y_1$  с учетом знаков проекции:

$$U_{y_1} = -k\vartheta_{y_1}. \quad (2.22)$$

С учетом выражения (2.22) преобразуем выражение (2.21) и определим импульс силы:

$$S = M(U_{y_1})(1 + k). \quad (2.23)$$

Таким образом, мы определим величину вертикальных и горизонтально-ударных импульсов клубня картофеля.

Определим направление скорости после удара:

$$\tan \beta = \left| \frac{\vartheta_{x_1}}{U_{y_1}} \right|. \quad (2.24)$$

С другой стороны, угол падения равен

$$\tan \alpha \left| \frac{U_{x_1}}{\vartheta_{y_1}} \right|. \quad (2.25)$$

Тогда отношение угла падения и угла отражения можно записать в виде:

$$\frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = \left| \frac{U_{y_1}}{\vartheta_{x_1}} \right| = k. \quad (2.26)$$

По полученному уравнению в программе MathCAD проверено моделирование процесса падения и построена траектория движения компонентов картофельного вороха при переходе с одного элеватора на другой.

Наложив траекторию движения картофельного вороха на чертеж картофелеуборочной машины можно определить место падения компонентов и высчитать по формулам время полета.

Анализ графика показал, что максимальная дальность полета может составлять порядка 0,6 м, однако наиболее вероятный является дальность около 0,4 м.

Определим величину скорости в данной точки, для этого на основании уравнения (2.24) построим график изменения абсолютной скорости в зависимости от времени полета.

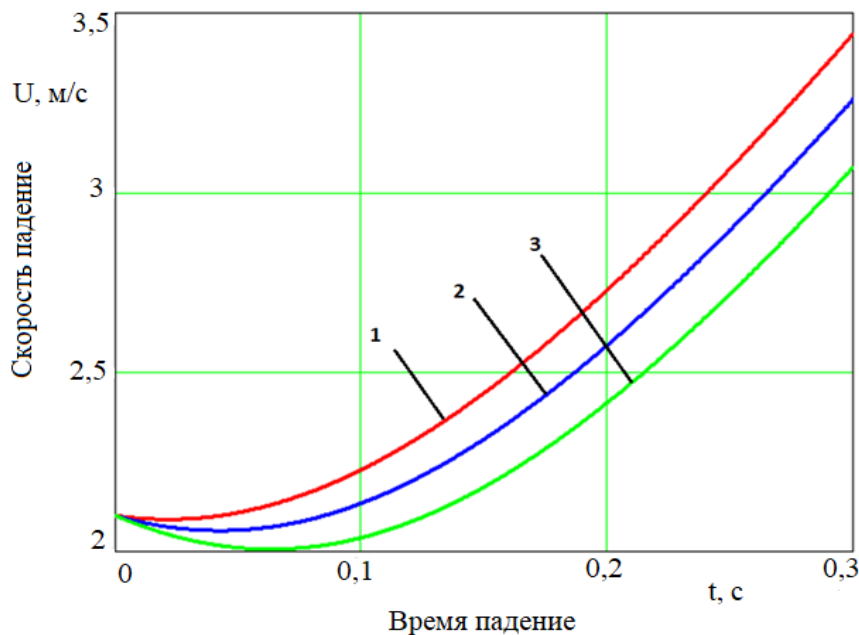


Рисунок 2.5 – Скорости падения компонентов картофельного вороха при переходе с одного элеватора на другой

Анализ графика скорости компонентов при переходе с одного элеватора на другой показал, что максимальная скорость соударения об элеватор не превысит 2,5 м/с. При этом следует учитывать, что элеватор движется в сторону падения компонентов, поэтому абсолютная скорость соударения будет определяться за вычетом скорости движения элеватора.

Коэффициент восстановления  $k$  легко определить из следующего простого опыта.

Клубень картофеля заставим свободно падать без начальной скорости с предварительно измеренной высоты  $h_1$  на неподвижную горизонтальную плиту (рис. 2.6), изготовленную металла, резины, силикона. Поместив рядом с клубнем вертикальную рейку с делениями, найдем высоту  $h_2$ , на которую поднимается клубень после удара. Тогда по известной из кинематики формуле Галилея будем иметь скорость клубня в начале удара  $v = \sqrt{2gh_1}$  и скорость

клубня в конце удара  $u = \sqrt{2gh_2}$ . Отсюда находим коэффициент восстановления для испытываемых материалов (клубня и плиты).

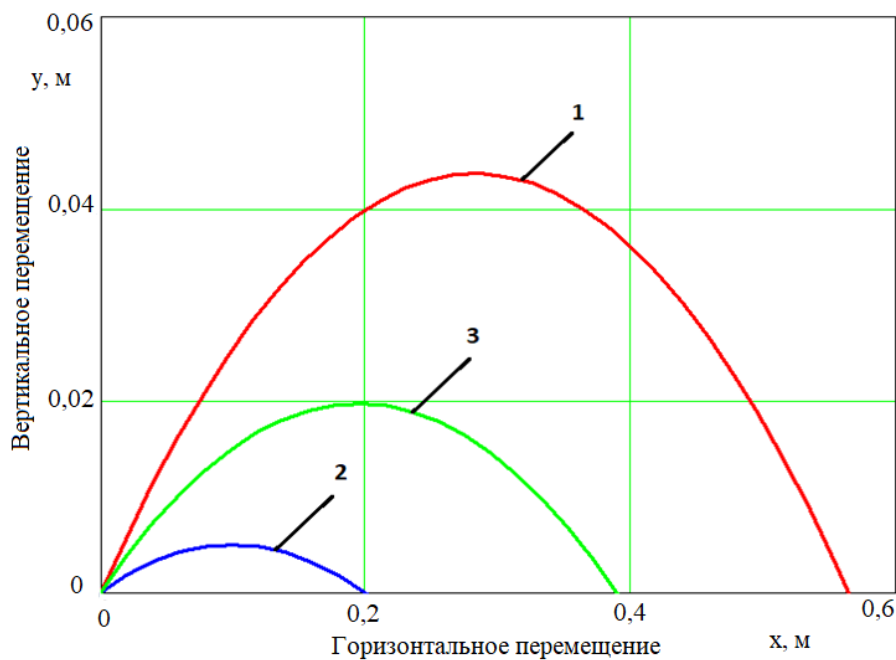


Рисунок 2.6 – Траектория компонентов картофельного после соударения с элеватором

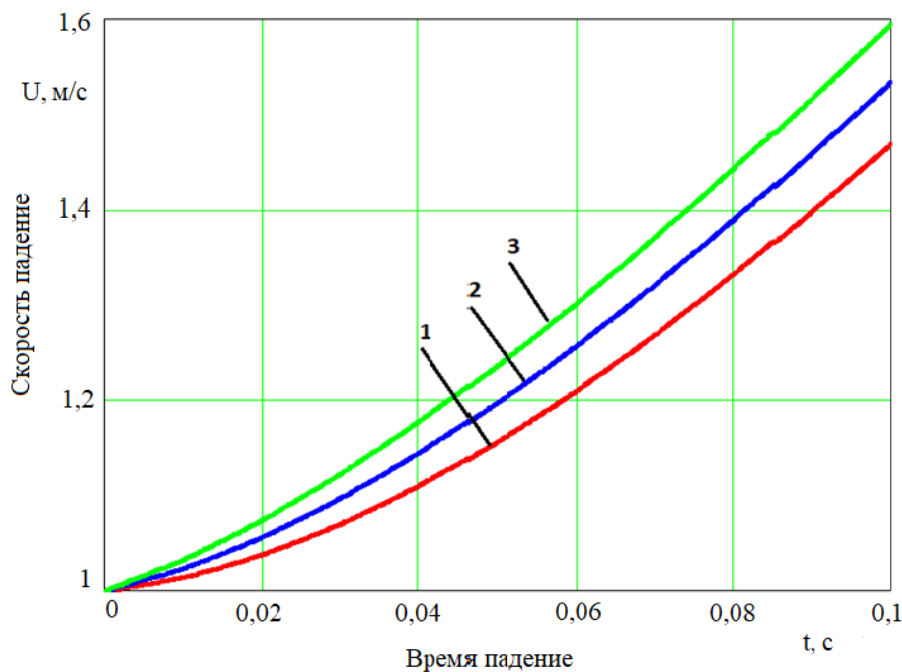


Рисунок 2.7 – Скорости отскока компонентов картофельного вороха после соударения с элеватором

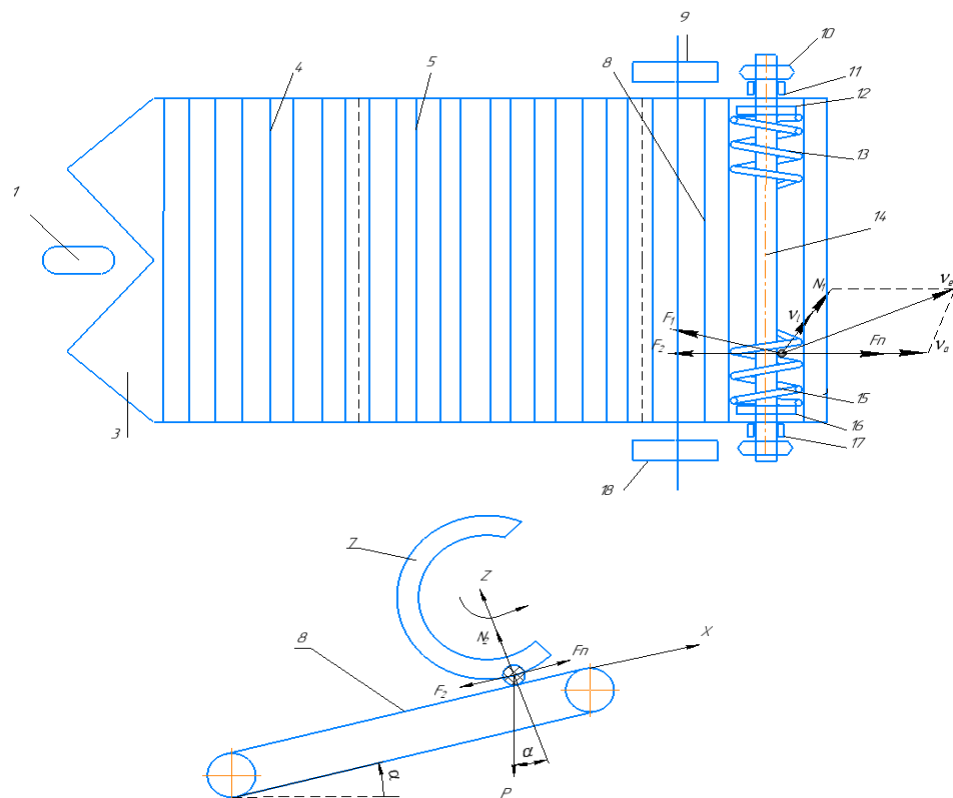
Анализ графика скорости компонентов после отскока от прутков элеватора показал, что повторная скорость соударения об элеватор не превысит



1,5 м/с. При взаимодействии компонентов картофельного вороха с поперечным ворошителем следует учитывать относительную скорость каскадного элеватора.

### 2.3 Теоретическое обоснование параметров спирального ворошителя

При переходе с одного элеватора на другой компоненты картофельного вороха будут двигаться относительно элеватора со скоростью полученного от предыдущего падения и переносной скоростью движения элеватора, то есть абсолютная скорость компонента будет равна сумме этих скоростей. При взаимодействии компонентов с ворошителем в виде вращающейся в сторону движения пружины, компоненты будут получать дополнительный импульс и ускоряться при взаимодействии с витком пружины меняя траекторию движения для исследования траектории движения выберем систему координат, прикрепленную к нижней части пружины, которая показана на рис. 2.8



3 – лемех; 1– опорные колеса; 4 – скоростной элеватор; 5 – основной элеватор; 8 – каскадный элеватор; 9,18 – ходовые колеса; 10 – звездочка; 14– приводной вал; 11,17 – подшипник; 12,16– фланец; 13,15– спирали; 7 – поперечный ворошитель; 8 - каскадный элеватор.

Рисунок 2.8 – Схема взаимодействия клубня картофеля с рабочими поверхностями элеватора и поперечным ворошителем

Запишем дифференциальное уравнение движение частицы в выбранной системе координат, для определения проекции силы тяжести запишем в следующем виде:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -kV \cos \theta - mg(f \cos \alpha - \sin \alpha) \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = -fmg \cos \alpha - kV \sin \theta \end{cases} \quad (2.27)$$

где  $m$  – масса компонента картофельного вороха, кг;

$k$ – это коэффициент сопротивление перемещение компонента по полотну, Н/м/с;

$V$  – скорость компонента картофельного вороха на полотне элеватора м/с;

$\theta$  – угол движение компонента после соударение с ворошителя; рад;

$g$  – ускорение свободного падения м/с<sup>2</sup>;

$f$  – коэффициент трение компонента картофельного вороха о полотно элеватора;

$\alpha$  – угол подъема элеватора, рад;

Перепишем первое уравнение системы в следующем виде:

$$V' + \frac{k \cos \theta}{m} V = g(f \cos \alpha - \sin \alpha) \quad (2.28)$$

Решим линейное неординарное дифференциальное уравнение первого порядка методом Бернули, для этого обозначим:

$$V' = ab' + ab' \quad (2.29)$$

, где  $ab$  – некоторые функции зависящие от времени

$$a = a(t)$$

$$b = b(t)$$

Тогда уравнение 2.28 запишется в виде:

$$ab' + ab' + a \frac{k \cos \theta}{m} = -g(f \cos \alpha - \sin \alpha) \quad (2.30)$$

Или:

$$a' b + a \left( b' + b \frac{k \cos \theta}{m} \right) = -g(f \cos \alpha - \sin \alpha) \quad (2.31)$$

Рассмотрим систему переменных входящих уравнений 2.31

$$\begin{cases} b' + b \frac{k \cos \theta}{m} = 0 \\ a' b = -g(f \cos \alpha - \sin \alpha) \end{cases} \quad (2.32)$$

Преобразовав первое уравнение системы  $b' = -b \frac{k}{m}$ , получим:

$$\frac{db}{dt} = -b \frac{k \cos \theta}{m} \quad (2.33)$$

Или:

$$\int \frac{db}{b} = - \int \frac{k \cos \theta}{m} dt \quad (2.34)$$

В результате интегрирования получим выражение 2.34

$$\ln|b| = - \frac{k \cos \theta}{m} t \quad (2.35)$$

Потенцируя выражение 2.35, получим:

$$b = e^{-\frac{k \cos \theta}{m} t} \quad (2.36)$$

С учетом выражения 2.36 определим вторую переменную систему 2.32, подставим значения и запишем в виде:

$$\frac{da}{dt} e^{-\frac{k \cos \theta}{m} t} = -g(f \cos \alpha - \sin \alpha) \quad (2.37)$$

Разделив переменные, получим:

$$da = -e^{-\frac{k \cos \theta}{m} t} g(f \cos \alpha - \sin \alpha) dt \quad (2.38)$$

Проинтегрируем выражение 2.38:

$$a = -g(f \cos \alpha - \sin \alpha) \int e^{\frac{k \cos \theta}{m} t} dt \quad (2.39)$$

В результате интегрирования получим:

$$a = - \frac{gm(f \cos \alpha - \sin \alpha)}{k \cos \theta} e^{\frac{k \cos \theta}{m} t} + C_1 \quad (2.40)$$

Где  $C_1$ - постоянное интегрирование с учетом выражения 2.36 и 2.40. Запишем уравнение проекции скорости на ось абсцисс.

$$v_x = e^{-\frac{k \cos \theta}{m} t} \left( \frac{gm(f \sin \alpha - \cos \alpha)}{k \cos \theta} e^{\frac{k \cos \theta}{m} t} + C_1 \right) \quad (2.41)$$

Преобразуем выражение 2.41 в следующем виде:

$$v_x = \frac{gm(\sin \alpha - f \cos \alpha)}{k \cos \theta} + e^{-\frac{k \cos \theta}{m} t} * C_1 \quad (2.42)$$

С учетом  $\vartheta_x = \frac{dx}{dt}$  перепишем уравнение 2.42, разделим переменные и проинтегрируем:

$$x = \int \left( \frac{gm(\sin \alpha - f \cos \alpha)}{k \cos \theta} + e^{-\frac{k \cos \theta}{m} t} * C_1 \right) dt \quad (2.43)$$

Тогда окончательное выражение закона движения компонента картофельного вороха запишется в виде:

$$x = \frac{gm(\sin \alpha - f \cos \alpha)}{k \cos \theta} t - \frac{m}{k \cos \theta} e^{-\frac{k \cos \theta}{m} t} * C_1 + C_2 \quad (2.42)$$

Аналогичным образом, методом Бернули решим второе выражение системы 2.27

$$V' + \frac{k}{m} V \sin \theta = -gf \sin \alpha \quad (2.43)$$

$$V' = ab' + ab' \quad (2.44)$$

, где  $ab$  – некоторые функции зависящие от времени

$$a = a(t)$$

$$b = b(t)$$

Тогда уравнение 2.43 запишется в виде:

$$ab' + ab' + a \frac{k}{m} \sin \theta = -gf \sin \alpha \quad (2.45)$$

Или:

$$a' b + a \left( b' + b \frac{k}{m} \sin \theta \right) = -gf \sin \alpha \quad (2.46)$$

Рассмотрим систему переменных входящих уравнений 2.46

$$\begin{cases} b' + b \frac{k}{m} \sin \theta = 0 \\ a' b = -gf \cos \alpha - \sin \alpha \end{cases} \quad (2.47)$$

Преобразовав первое уравнение системы  $b' = -b \frac{k}{m}$ , получим:

$$b' = -b \frac{k}{m} \sin \theta \quad (2.48)$$

$$\frac{db}{dt} = -b \frac{k}{m} \sin \theta \quad (2.49)$$

Или:

$$\int \frac{db}{b} = - \int \frac{k}{m} \sin \theta dt \quad (2.50)$$

В результате интегрирования получим выражение 2.50

$$\ln|b| = -\frac{k}{m} \sin \theta t \quad (2.51)$$

$$b = e^{-\frac{k \sin \theta}{m} t} \quad (2.52)$$

С учетом выражения 2.52 определим вторую переменную систему 2.47, подставим значения и запишем в виде:

$$\frac{da}{dt} e^{-\frac{k \sin \theta}{m} t} = -gf \cos \alpha - \sin \alpha \quad (2.53)$$

Разделив переменные, получим:

$$da = -e^{-\frac{k \sin \theta}{m} t} f \sin \alpha dt \quad (2.54)$$

Проинтегрируем выражение 2.54:

$$e^{-\frac{k \sin \theta}{m} t} = \frac{1}{e^{\frac{k \sin \theta}{m} t}} \quad (2.55)$$

В результате интегрирования получим:

$$a = -gf \sin \alpha \int e^{\frac{k \sin \theta}{m} t} dt \quad (2.56)$$

где  $C_3$ - постоянная интегрирование с учетом выражения 2.52 и 2.56. Запишем уравнение проекции скорости на ось абсцисс.

$$a = -\frac{gmf \sin \alpha}{k \sin \theta} e^{\frac{k \sin \theta}{m} t} + C_3 \quad (2.57)$$

Преобразуем выражение 2.57 в следующем виде:

$$v_y = e^{-\frac{k \sin \theta}{m} t} \left( \frac{gmf \cos \alpha}{k \sin \theta} e^{\frac{k \sin \theta}{m} t} + C_3 \right) \quad (2.58)$$

$$v_y = \frac{gmf \cos \alpha}{k \sin \theta} + e^{-\frac{k \sin \theta}{m} t} * C_3 \quad (2.59)$$

Учитывая, что  $v_y = \frac{dx}{dt}$  перепишем уравнение 2.59, разделим переменные и проинтегрируем:

$$y = \int \left( \frac{gmf \cos \alpha}{k \sin \theta} + e^{-\frac{k \sin \theta}{m} t} * C_3 \right) dt \quad (2.60)$$

Тогда окончательное выражение закона движения компонента картофельного вороха запишется в виде:

$$y = \frac{gmf \cos \alpha}{k \sin \theta} t - \frac{m}{k \sin \theta} e^{-\frac{k \sin \theta}{m} t} * C_3 + C_4 \quad (2.61)$$

Для определения постоянных интегрирования  $C_1, C_2, C_3, C_4$ , выпишем уравнение 2.41, 2.43, 2.58, 2.61 и подставим начальные параметры при  $t=0$ ,  $x=0$ ,  $y=0$ ,  $V_x=V_{x0}$ ,  $V_y=0$ . Подставив начальные параметры в уравнение, имеем:

$$V_{x0} = \frac{gm(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{k \cos \theta} + C_1 \quad (2.62)$$

Сократив:

$$C_1 = V_{x0} - \frac{gm(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{k \cos \theta} \quad (2.63)$$

Для определения  $C_2$  подставим начальные параметры:

$$0 = -\frac{m}{k \cos \theta} \left( V_{x0} - \frac{gm(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{k \cos \theta} \right) + C_2 \quad (2.64)$$

Тогда  $C_1$  будет равно:

$$C_2 = \frac{mV_{x0}}{k \cos \theta} - \frac{gm^2(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{k^2 * \cos^2 \theta} \quad (2.65)$$

Запишем исходные выражения

$$V_y = \frac{gmf \cos \alpha}{k \sin \theta} + e^{-\frac{k \sin \theta}{m} t} * C_3 \quad (2.66)$$

Сократив:

$$y = \frac{gmf \cos \alpha}{k \sin \theta} t - \frac{m}{k \sin \theta} e^{-\frac{k \sin \theta}{m} t} * C_3 + C_4 \quad (2.67)$$

Для определения  $C_4$  подставим начальные параметры:

При  $t=0$ ,  $y=0$ ,  $V_{y0}=0$

$$0 = \frac{gmf \cos \alpha}{k \sin \theta} + C_3 \quad (2.68)$$

$$C_3 = -\frac{gmf \cos \alpha}{k \sin \theta} \quad (2.69)$$

$$0 = -\frac{m}{k \sin \theta} * \left( -\frac{gmf \cos \alpha}{k \sin \theta} \right) + C_4 \quad (2.70)$$

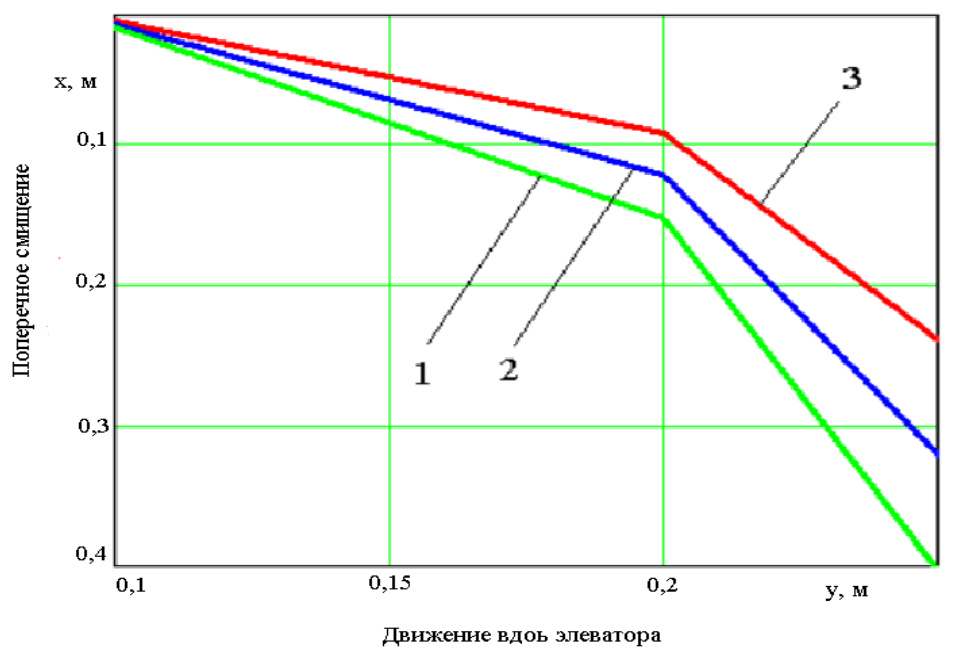
Тогда  $C_3$  будет равно:

$$C_4 = -\frac{gm^2 f \cos \alpha}{k^2 \sin^2 \theta} \quad (2.71)$$

Тогда окончательно уравнения закона движения компонента картофельного вороха будут

$$\begin{cases} x = \frac{gm(\sin \alpha - f \cos \alpha)}{k \cos \theta} t - \frac{m}{k \cos \theta} e^{-\frac{k \cos \theta}{m} t} * (V_{x0} - \frac{gm(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{k \cos \theta}) + \\ \quad + \frac{mV_{x0}}{k \cos \theta} - \frac{gm^2(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{k^2 * \cos^2 \theta} \\ y = \frac{gmf \cos \alpha}{k \sin \theta} t - \frac{m}{k \sin \theta} e^{-\frac{k \sin \theta}{m} t} * (-\frac{gmf \cos \alpha}{k \sin \theta}) + (-\frac{gm^2 f \cos \alpha}{k^2 \sin^2 \theta}) \end{cases} \quad (2.72)$$

Анализ траектории движения картофеля по элеватору показал, что с увеличением начальной скорости клубня, он преодолевает больший путь и смещается к центру элеватора, чем выше скорость, тем больше поперечное перемещение совершает клубень. Начальная скорость клубня зависит от соударения витков поперечного ворошителя с клубня. Учитывая, что начальная скорость клубня является результатом сложения окружной скорости поперечного ворошителя угла наклона витка и относительной скорости клубня движущегося по элеватору, мы можем обосновать параметры поперечного ворошителя. Допустим смещение клубня должно быть не менее 200 мм, на расстоянии 200-300 мм, тогда начальная скорость взаимодействия должна составлять около 0,5...1,5 м/с согласно (рисунку 2.9).



1 - начальная скорость 0,5 м/с; 2 - начальная скорость 1,0 м/с; 3 - начальная скорость 1,5 м/с

Рисунок 2.9 – Траектория движения клубня картофеля по полотну элеватора после воздействия поперечного ворошителя

Так как клубень находится в сложном движении, движется по полотну элеватора и взаимодействует с поперечным ворошителем, то полученное в результате соударения скорость клубня будет начальной скоростью. Таким образом, рассчитаем частоту вращения поперечного ворошителя.

$$\omega = \frac{\pi n}{30}$$

где:

$\omega$  - угловая скорость, рад/с

$n$  - частота вращения ворошителя, об/мин

Окружная скорость ворошителя:

$$V_{\text{окр}} = \omega \frac{d}{2} \quad (2.73)$$

где:

$d$  – диаметр ворошителя, м

Тогда начальная скорость клубня:

$$V_0 = V_{\text{окр}} \cos \theta \quad (2.74)$$

Тогда с учетом формул 2.73, 2.74, 2.75 определим параметры поперечного ворошителя:

$$V_0 = \frac{\pi n}{30} * \frac{d}{2} * \cos \theta \quad (2.75)$$

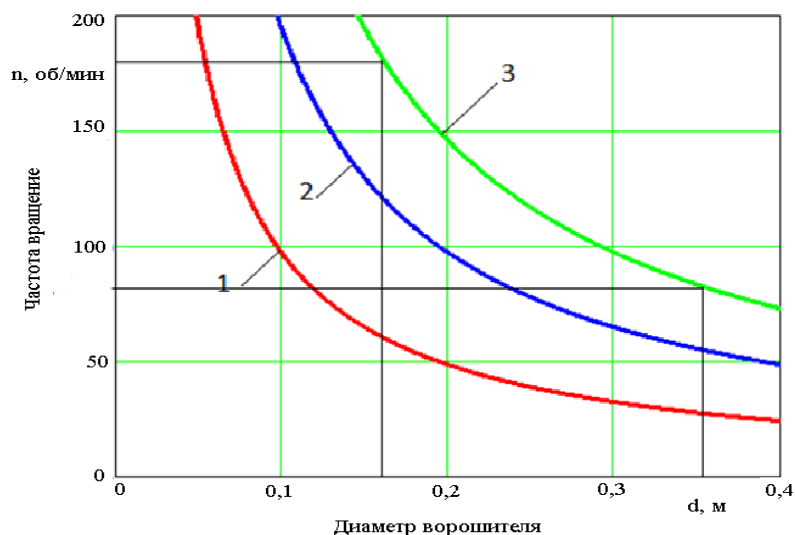
Отсюда частота вращения ворошителя будет равна:

$$n = \frac{60V_0}{\pi d \cos \theta}$$

Исследование частоты вращения поперечного ворошителя в зависимости от диаметра ворошителя скорости компонента картофельного вороха после их взаимодействия показали, что при диаметре ворошителя около 0,2 м, его частота вращения находится в пределах от 130 до 180 об/мин.

Принимаем следующие параметры ворошителя: диаметр 0,2 м, диаметр прутка спирали 15 мм с оболочкой из силиконовой трубки, толщиной стенки 5 мм.





1 - начальная скорость 0,5 м/с; 2 - начальная скорость 1,0 м/с; 3 - начальная скорость 1,5 м/с

Рисунок 2.10– Частота вращения поперечного ворошителя в зависимости от диаметра ворошителя и скорости компонента картофельного вороха после их взаимодействия

На основании исследования нами были выбраны четыре фактора, которые являются наиболее весомыми: скорость движения компонентов картофельного вороха, диаметр поперечного ворошителя, угол наклона витков и частота вращения поперечного ворошителя.

#### 2.4 Исследование напряжений, возникающих в оболочке витка поперечного ворошителя при взаимодействии с клубнем картофеля

Повреждения при механизированной уборке картофеля неизбежны. Исследованием повреждений клубней картофеля занимались Бышов Н.В. [8], Голиков А.А.[17], Камалетдинов Р.Р.[36] Костенко М.Ю.[43] и другие. Митрофановым В.С. установлено, что крупные клубни имеют большую инерционность и сильнее повреждаются, чем средние и мелкие; а также повторные удары увеличивают повреждения.

Исследованиями [43], установлено, что механические повреждения картофеля зависят от формы и массы клубня, также влияют сортовые особенности [43]. Определено, что наименьшее усилие появления трещин в клубне наблюдается при нагружении по длине клубня для сорта Лорх (720-817 Н), среднее усилие – по ширине (780-827 Н) и максимальное – по толщине (853-895 Н).

Костенко М.Ю. изучал влияние ударных нагрузок бойков различной площади на потемнение мякоти клубня. Исследования по моделированию повреждений клубней картофеля проводили с помощью маятникового копра с энергией удара около 0,704 Дж. Определяли объём повреждённой части клубня в зависимости от силы удара, формы бойка и площади контакта при ударе [43].

Исследованиями повреждения клубней картофеля установлено, что бойки с цилиндрической рабочей поверхностью и площадью контакта 2,4...2,7 см<sup>2</sup> имеют наименьшие повреждения. Критической является площадь контакта 1,4 см<sup>2</sup>. При её уменьшении наблюдается значительный рост повреждений клубней.

Следует отметить, что недостаточно исследованы вопросы использования эластичных покрытий для предотвращения повреждения клубня картофеля. При ударе клубня об витки поперечного ворошителя упругая оболочка будет нагружена давлениями снаружи и внутри. Внутреннее давление  $P_1$  на оболочку витков поперечного ворошителя обусловлено упругости их материала, а внешнее давление  $P_2$  – ударной нагрузкой клубней (рисунок 2.11 а).

На расчетной схеме бесконечно малый элемент оболочки  $abcd$  заключен между окружностями с радиусами  $r$  и  $r-dr$  и лучами с углами  $\theta$  и  $\theta+d\theta$ . Для простоты расчетов условно примем толщину оболочки равной единице (рисунок 2.11 б).

Рассмотрим радиальное смещение оболочки к центру прутка поперечного ворошителя, обозначив его через  $u$ , тогда окружное перемещение обозначим через  $v$ . Относительная радиальная деформация элемента  $\epsilon_r$  будет

осуществляться вдоль радиуса (стороны ab), а окружная деформация  $\varepsilon\theta$  – по окружности (вдоль дуги bc).

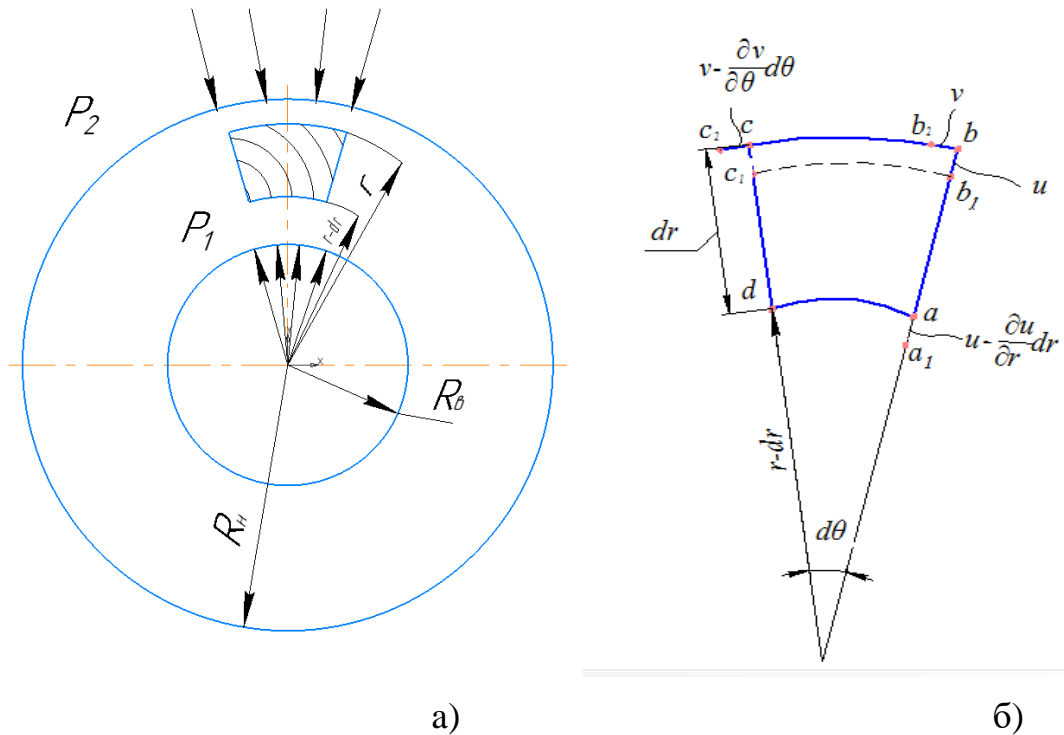


Рисунок 2.11 – Схема к расчету деформации элемента оболочки витка поперечного ворошителя

Применим принцип независимости действия сил и рассмотрим деформацию окружную, а потом радиальную деформацию бесконечно малого элемента. Окружная деформация вызвана разностью перемещений по окружности точек a и d (рисунок 2.11 б)

$$\varepsilon_{\theta}^{(1)} = \frac{bb_2 - cc_2}{bc} = \frac{v - v + \frac{\partial v}{\partial \theta} d\theta}{rd\theta} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial v}{\partial \theta} \quad (2,76)$$

где  $v$  – величина окружного перемещения, м;

$r$  – радиус дуги элемента  $bc$ , м;

$d\theta$  – полярный угол элемента оболочки витка;

$\frac{\partial v}{\partial \theta}$  – окружная относительная деформация;

Окружная деформация также обусловлена переходом дуги  $bc=r d\theta$  на радиус  $r^1=r-u$ , что вызывает уменьшение ее длины до размера  $b_1c_1=(r-u) d\theta$

$$\varepsilon_{\theta}^{(2)} = \frac{bc - b_1c_1}{bc} = \frac{rd\theta - (r-u)d\theta}{rd\theta} = \frac{u}{r} \quad (2,77)$$

где  $u$  – величина сжатия оболочки, м.

Тогда полная окружная деформация запишется в виде

$$\varepsilon_{\theta} = \varepsilon_{\theta}^{(1)} + \varepsilon_{\theta}^{(2)} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{u}{r} \quad (2,78)$$

Первым слагаемым  $\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial v}{\partial \theta}$  выражения (2,78) пренебрегаем, потому что при большом радиусе оболочки будет мало. Радиальное сжатие стороны бесконечно малого элемента  $ab$  определяется разностью перемещений точек  $a$  и  $b$ , в радиальном направлении  $ab=dr$ :

$$\varepsilon_r = \frac{bb_1 - aa_1}{ab} = \frac{u - (u - \frac{\partial u}{\partial r} dr)}{dr} = \frac{\partial u}{\partial r} \quad (2,79)$$

где  $dr$  – перемещение произвольной точки при сжатии оболочки (приращение радиус вектора);

$\frac{\partial u}{\partial r}$  – радиальная деформация бесконечно малого элемента.

При объемном сжатии относительные радиальная и окружная деформации для элемента оболочки похожи с учетом допущений на выражения для относительной деформации при плосконапряженном состоянии. Применив закон Гука для плоского напряжённого состояния имеем, что радиальная деформация определяется выражением [4]:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} (\sigma_r - \mu \sigma_{\theta}) ; \quad (2,80)$$

где  $E$ – модуль упругости материала оболочки, Па;

$\mu$  - коэффициент Пуассона материала оболочки.

$\sigma_r$  - радиальное напряжение оболочки, Па;

Определим условия перемещения при радиальной деформации приравняв выражения (2,79) и (2,80), в результате:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r} = \frac{1}{E} (\sigma_{\theta} - \mu \sigma_r) \quad (2,81)$$

Определим напряжения при радиальной деформации, проинтегрировав выражение (2,81) [4]:

$$\sigma_r = \frac{(p_2 - p_1)k_1^2}{1 - k_1^2} \cdot \frac{1}{k_2^2} + \frac{p_1 k_1^2 - p_2}{1 - k_1^2} \quad (2,82)$$

где

$$k_1 = \frac{R_g}{R_n}, \quad k_2 = \frac{r}{R_g}, \quad R_g \leq r \leq R_n \quad (2,83)$$

$k_1$  – коэффициент соотношения наружного и внутреннего радиусов оболочки;

$k_2$  - коэффициент соотношения внутреннего радиуса и текущего радиуса.

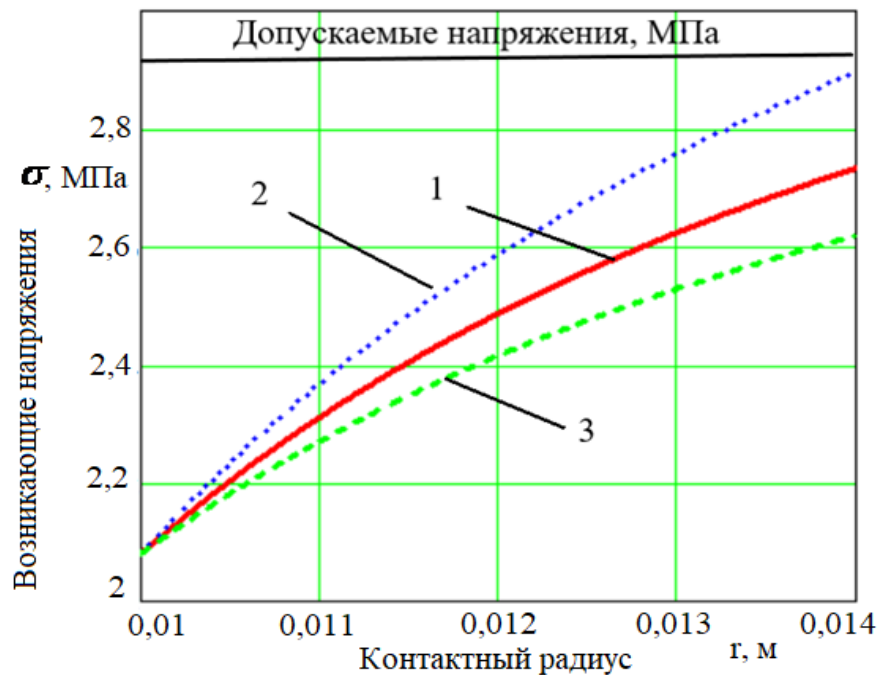
Учитывая, что давление клубня  $P_2$ , действующее на оболочку снаружи, превышает давление на оболочку  $P_1$  со стороны витка, пренебрегаем давлением  $P_1$ . Тогда выражение для радиального напряжения оболочки можно записать в виде:

$$\sigma_r = \frac{P_2}{1 - k_1^2} \left( \frac{k_1^2}{k_2^2} - 1 \right) \quad (2,84)$$

Полученное выражение радиальных напряжений оболочки от давления клубня при ударе позволяет определить возникающие напряжения при контакте клубня с оболочкой для разных толщины и модуля упругости материала оболочки. Следует отметить, что наибольшие напряжения возникают на поверхности оболочки.

На основании формулы (2,84) в программе MathCAD был построен график напряжений возникающих в эластичной оболочке витка в зависимости от ее толщины (рисунок 2.12).

В качестве исходных параметров при построении графика использовались толщина покрытия, его механические характеристики и давление (напряжение), возникающее при взаимодействии картофеля с витком поперечного ворошителя.



1—толщина покрытия витка 5 мм; 2— толщина покрытия витка 4 мм; 3 – толщина покрытия витка 6 мм

Рисунок 2.12 – Зависимость напряжений, возникающих в эластичном покрытии витка поперечного ворошителя, от толщины покрытия в различных его слоях (силиконовая трубка ГОСТ ИСО 14644-1)

Анализ зависимости напряжения при различной толщине эластичного покрытия показал, что покрытие в виде силиконовой трубки ГОСТ ИСО 14644-1. Способствует уменьшению давления в покрытии убывает от места контакта к центру. анализируя возможность повреждения клубней картофеля. Мы рассматривали трубки толщиной 4-5-6 мм. Трубки толщиной 4 мм имеют наибольшее контактное напряжение, которые близки к допустимым напряжениям повреждения клубней [43].

Трубки толщиной 5-6 мм обеспечивают высокую эластичность и способствуют снижению контактных напряжений. В результате нами были выбраны трубки с толщиной стенки 5 мм (ГОСТ ИСО 14644-1), из которых выполнялось покрытие витков поперечного ворошителя[30].

Для улучшения качественных показателей сепарирующих рабочих органов предложено устанавливать поперечный ворошитель, который

устанавливают над прутковым элеватором с возможностью изменения расстояния между ним и прутками элеватора. Навивки поперечного ворошителя взаимодействуют с почвенными комками и клубня, в результате чего происходит дополнительное разрушение комков и смещение вороха в среднюю часть элеватора. Предотвращение раскатывания клубней за картофелекопателем способствует снижению трудозатрат при подборе картофеля. Установка эластичных трубок на витки поперечного ворошителя уменьшает повреждения клубней. Трубки толщиной 5-6 мм обеспечивают высокую эластичность и способствуют снижению контактных напряжений при взаимодействии витков поперечного ворошителя с клубнями картофеля. В результате нами были выбраны трубки с толщиной стенки 5 мм (ГОСТ ИСО 14644-1), из которых выполнялось покрытие витков поперечного ворошителя.

## **Выводы по главе 2**

1. Для перемещения почвенных комков, которые поступают с картофельным ворохом с основного пруткового элеватора на каскадный прутковый элеватор установлен поперечный ворошитель. Навивка спиралей имеет правое и левое направление и просвет между витками. Спирали навиты из проволоки, на которую надет силиконовые трубки.

2. При полете компонентов вороха при переходе с одного элеватора на другой они приобретают определенную скорость и ударяются о прутки, при этом клубни, обладая упругостью, меняют траекторию, движение и скорость. Дальность полета компонента картофельного вороха составляет около 0,25...0,35 м, высота падения около 0,07...0,15 м. Установлено, что максимальная скорость соударения об элеватор не превысит 2,5 м/с. При этом следует учитывать, что элеватор движется в сторону падения компонентов, поэтому абсолютная скорость соударения будет определяться за вычетом скорости движения элеватора.

3. Исследования скорости компонентов после отскока от прутков элеватора показали, что повторная скорость соударения об элеватор не

превысит 1,5 м/с. При взаимодействии компонентов картофельного вороха с поперечным ворошителем следует учитывать относительную скорость каскадного элеватора.

4. Исследование частоты вращения поперечного ворошителя в зависимости от диаметра ворошителя, скорости компонента картофельного вороха для необходимого смещения компонентов картофельного вороха по элеватору показать, что частота вращения ворошителя должна находиться в пределах от 130 до 180 об/мин при диаметре ворошителя около 0,2 м. На основании исследования нами были выбраны четыре фактора, которые являются наиболее весомыми: скорость движения компонентов картофельного вороха, диаметр поперечного ворошителя, угол наклона витков<sup>15</sup> и частота вращения поперечного ворошителя.

5. В результате нами были выбраны в качестве покрытия витков поперечного ворошителя трубки с толщиной стенки 5 мм (ГОСТ ИСО 14644-1), из которых выполнялось покрытие витков поперечного ворошителя. Трубки из силикона (ГОСТ ИСО 14644-1) толщиной 5 мм обеспечивают высокую эластичность и способствуют снижению контактных напряжений клубней картофеля.



## **ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **3.1 Объект и предмет исследования**

Объектом лабораторного исследования является сепарирующее элеваторное полотно с поперечным ворошителем картофелекопателя.

Предметом лабораторных исследований являются полученные в ходе экспериментов зависимости, полноты выделения примесей и смещения клубней, от частоты вращения поперечного ворошителя, подачи клубненосного вороха.

Объектами полевых исследований приняты: серийный и усовершенствованный картофелекопатели КСТ-1,4. В конструкции усовершенствованного картофелекопателя был применен предложенный поперечный ворошитель.

Предполагается, что проведенные исследования позволят получить следующие результаты:

- определить степень повреждений картофельных клубней;
- определить потери урожая.

Результат данного исследования предполагает выполнение уточнений размерных, количественных и массовых параметров кустов картофеля согласно сортам.

### **3.2 Программа и методика экспериментальных исследований**

Лабораторные исследования проходили на инженерном факультете и УНИЦ «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им П.А. Костычева».

Перед выполнением программы лабораторных и полевых исследований были изучены массогабаритные характеристики клубней некоторых сортов

картофеля по причине того, что данный показатель является одним из значимых факторов, влияющих на работу сепарирующего рабочего органа [7, 49, 62, 66,74].

Программой лабораторных исследований предусмотрено следующее [7]:

1. Исследование смещения клубней картофеля на элеваторном полотне с применением поперечного ворошителя картофелеуборочной машины.

2. Исследование сепарации на элеваторном полотне с применением поперечного ворошителя картофелеуборочной машины.

3. Экспериментально уточнить параметры поперечного ворошителя сепарирующего элеватора по критериям количества поврежденных картофельных клубней, потерям и удаленных почвенных примесей.

4. Провести полевые исследования картофелекопателя с предложенным поперечным ворошителем сепарирующего элеватора и провести технико-экономическую оценку его работы.

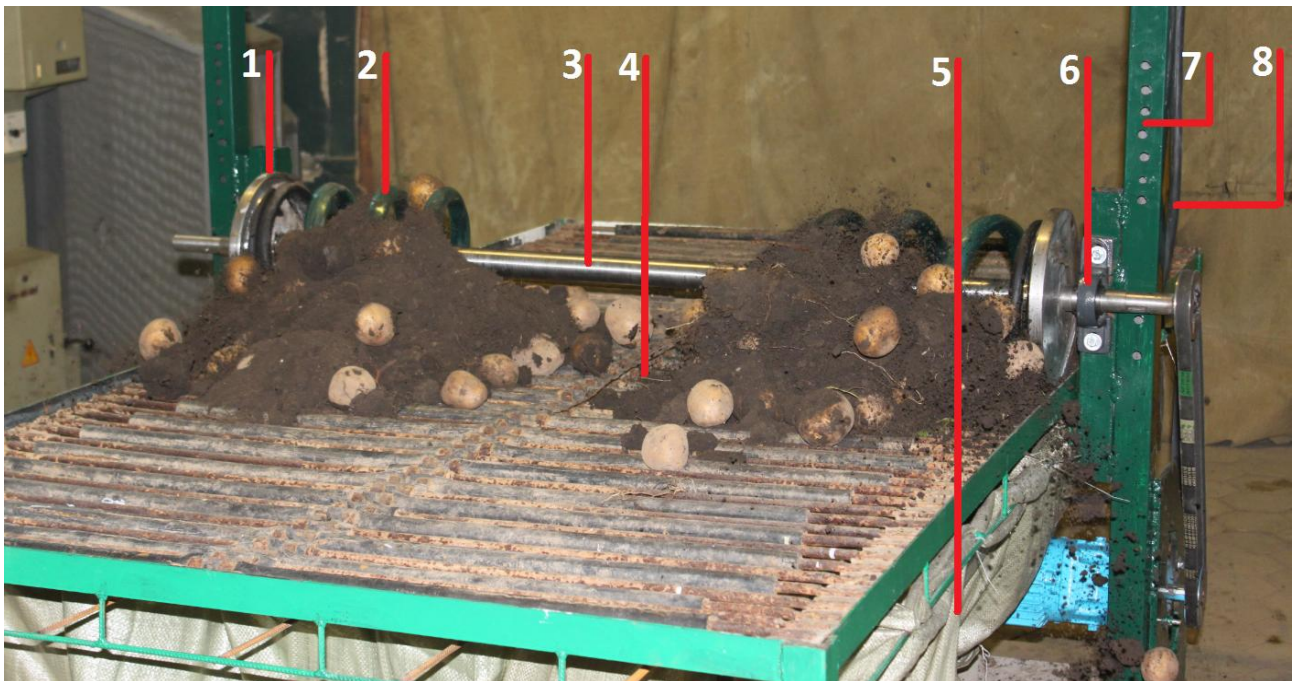
Необходимо учитывать прочностные и размерно-массовые коэффициенты, и иные характеристики компонентов клубненосного вороха для обоснования параметров сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин с усовершенствованным технологическим процессом [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

### **3.3 Описание конструкции экспериментальной установки и применяемого оборудования**

Эксперименты были проведены на лабораторной установке (рис. 3.1). Лабораторная установка представляет собой подвижную платформу (тележку), на которую устанавливается прутки элеватора. Над подвижной платформой смонтирована арка, на которой установлен поперечный ворошитель. Поперечный ворошитель выполнен в виде двух спиралей с правой и левой навивкой из проволоки (круг диаметром 15 мм). Спирали имеют покрытие в виде силиконовой трубки наружным диаметром 0,025 м. Привод

поперечного ворошителя осуществлялись помощьюременной передачи через сменные приводные шкивы от асинхронного мотор-редуктора мощностью 0,55 КВт.

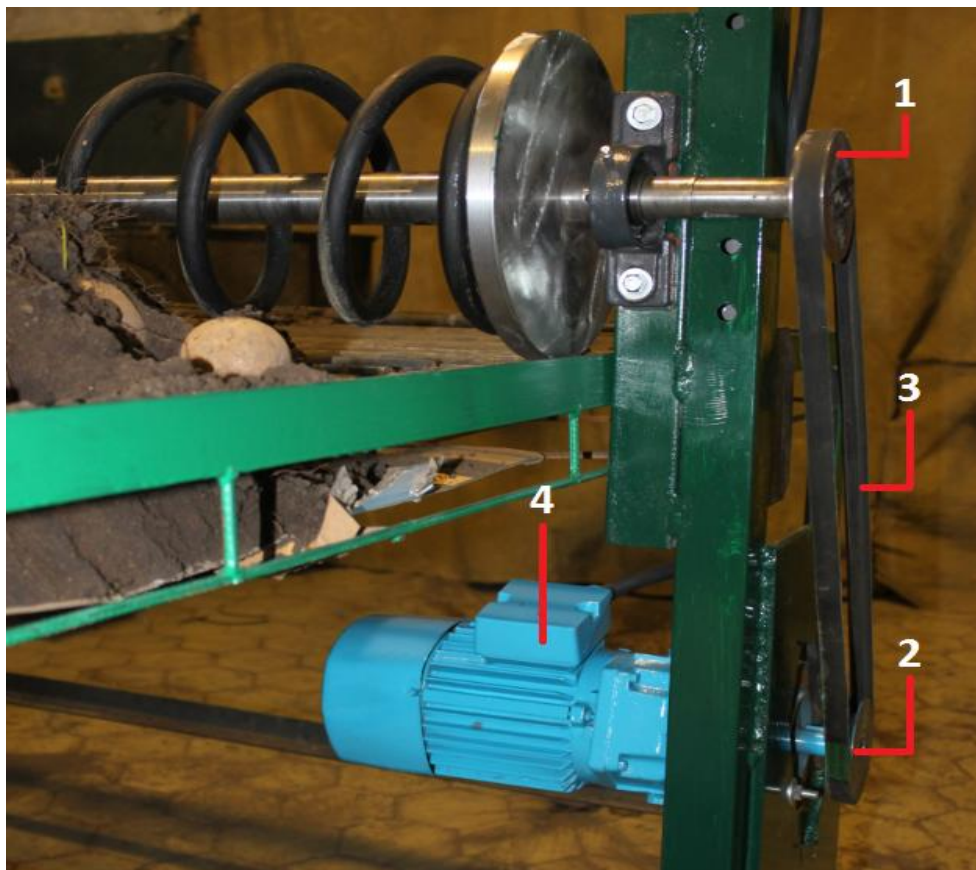
Сбор просеявшихся почвенных частиц осуществляется ячейках решетки, расположенной под полотном пруткового элеватора, в емкости представляющих собой мешки. Это позволяет отслеживать сепарацию не только вдоль элеватора, но и по его ширине. Для привода подвижной платформы(тележки)имеется лебедка, на катушку которой наматывали стальной тросдиаметром 3 мм (ГОСТ 3066-80) , с блоком шестерен цепной и двигателем мощностью 1000 Вт и частотой вращения 500 об/мин[66].



1-фланец; 2-пружина; 3- приводной вал; 4-полотно элеватора 5-тара для сбора примесей; 6-подшипник в корпусе; 7-арка; 8- провод питания.

Рисунок 3.1 – Поперечный ворошитель с приводом

В лабораторном исследовании влажность почвы определяли посредством стандартной методики согласно ГОСТ 20915-2011 [18] с применением стационарного сушильного шкафа, лабораторных весов и набора алюминиевых бюксов.



1-2- шкив; 3-ремень привода; 4-мотор-редуктор.

Рисунок 3.2 – Система привода поперечного ворошителя

Элеваторное полотно, используемое в конструкции картофелекопателя КСТ-1,4 устанавливали на подвижную платформу. Отсепарированные составляющие вороха собирались в мешки, расположенные под полотном элеватора, а комки почвы, клубни и растительные остатки оставались на полотне.

Для проведения исследований было применено следующее измерительное оборудование и приборы:

- лабораторные весы Delta ТВН-35;
- линейка металлическая 0...1000 мм,  $\pm 1$  мм;
- рулетка Р-10УЗК  $\pm 1$  мм;
- штангенциркуль 0...160 мм ШЦ-111,  $\pm 1$  мм.

Для оценки результатов измерений применялась (ПК) Aspire TC-605.

### **3.4 Методика исследования смещения клубней картофеля на элеваторном полотне с применением поперечного ворошителя картофелеуборочной машины**

В зависимости от сорта, технологии возделывания и почвенно-климатических условий в широких пределах изменяются свойства картофеля. Согласно априорной информации для лабораторных исследований принимались следующие условия: влажность почвы 22-24 %, почва - средний суглинок, камни отсутствуют, содержание клубней в картофельном ворохе составляет 20-40 %.

Для усовершенствования технологического процесса и оптимизации режимов и параметров работы органа интенсификации просеивной сепарации картофелеуборочной машины нами были проведены лабораторные исследования.

Так как скорость второго элеватора картофелекопателя составляет около 1,5 м/с, то необходимую массу вороха определяли по следующей формуле (3.2).

Скорость лабораторной установки задавалась с помощью лебедки для изменения частоты вращения поперечного ворошителя, применялись сменные шкивы. Подачу вороха устанавливали с помощью специально изготовленных шаблонов, которые определяли высоту его расположения на прутковом полотне. Все эксперименты проводились с 3-х кратной повторностью, обработки подвергались усредненные данные.

Для определения параметров работы поперечного ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины проведен эксперимент по плану  $3^2$ . Необходимо провести исследование качественных показателей (количество повреждений картофельных клубней, качество выделения примесей) серийных картофелеуборочной машины (картофелекопателей).

Для исследования выбраны следующие переменные факторы:

$x_1$  – частота вращения поперечного ворошителя, мин<sup>-1</sup>;

$x_2$  – подача картофельного вороха, кг/с.

Лабораторные исследования сепарирующего элеватора с поперечным ворошителем проводились в два этапа, сначала изучали влияние параметров поперечного ворошителя на сепарацию картофельного вороха.

Параметры по данным факторам представлены в таблице 3.1.

Полноту сепарации примесей, которые удаляются при воздействии на картофельный ворох предложенного поперечного ворошителя картофелеуборочной машины, можно определить следующим образом:

$$Q = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

где:  $m_1$  – масса примесей в таре;

$m_2$  – масса примесей на подающем полотне элеватора.

По итогам лабораторного исследования, материалы опытов обрабатывались программой STATISTIKA v10.

В соответствие с [72] и согласно исследованиям главы 4 данной работы были выбраны основные физико-механические свойства вороха и его состав.

Таблица 3.1 – Уровни и интервалы варьирования факторов при исследовании сепарации картофельного вороха с применением разработанного поперечного ворошителя.

№	Факторы	Единицы измерения	Основной уровень		Верхний уровень		Нижний уровень		Интервал варьирования
			Натуральное значение	Кодированное значение	Натуральное значение	Кодированное значение	Натуральное значение	Кодированное значение	Натуральное значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Частота вращения	об/мин	200	0	300	+1	100	-1	100
2	Подача вороха	кг/с	70	0	90	+2	50	-1	20

Априори было определено, что скорость картофельного вороха на подающем транспортере составляет  $v_B = 1,75$  м/с.

Масса вороха определялась по следующей формуле:

$$m_{\text{вор}} = \frac{Q_B}{v_э}, \quad (3.2)$$

где:

$Q_B$  – необходимая подача вороха;

$v_э$  – линейная скорость перемещения полотна элеватора.

Скорость перемещения полотна элеватора в ходе исследований составляла 1,75 м/с, и поддерживалась постоянной на протяжении эксперимента.

Изменение частоты вращения поперечного ворошителя  $x_1$  осуществляли установив шкивов на вал разного диаметра. Частота вращения приводного вала поперечного ворошителя варьировался в диапазоне 100 – 300 об/мин.

Второй этап исследований предполагал исследование смещения клубней картофельного вороха по ширине пруткового полотна под воздействием поперечного ворошителя. Согласно программе исследований, целью экспериментов ставилось определение рациональных параметров поперечного ворошителя при сепарации – полноте выделения почвенных примесей  $Q_{\text{пр}}$  и смещении клубней картофеля по элеватору. Величины полноты сепарации  $Q_{\text{пр}}$  и количества смещенных клубней картофеля по элеватору от параметров поперечного ворошителя представляли в виде зависимостей.

Для исследования смещения клубней по элеватору использовали предварительные результаты экспериментов по исследованию сепарации: частоту вращения поперечного ворошителя и подачу картофельного вороха.

Параметры по факторам при исследовании смещения клубней картофельного вороха с применением разработанного поперечного ворошителя представлены в таблице 3.2.

Все экспериментальные исследования были произведены с трехкратным повторением. Математическим аппаратом для обработки результатов лабораторных исследований с решением поставленной задачи является теория и методы математических статистических решений.

Преобразование от кодированного к действительному значению фактора осуществлялся согласно следующей формулы:

$$x_i^K = \frac{x_i^D - x_{i0}^D}{\delta_i}, \quad (3.5)$$

где:

$x_i^K$  – кодированное значение  $i$ -ого фактора;

$x_i^D$  – действительное значение  $i$ -ого фактора;

$\delta_i$  – действительное значение интервала варьирования  $i$ -ого фактора;

$x_{i0}^D$  – действительное значение  $i$ -ого фактора на нулевом уровне.

Таблица 3.2 – Уровни и интервалы варьирования факторов при исследовании смещения клубней картофельного вороха с применением разработанного поперечного ворошителя.

№	Факторы	Единицы измерения	Основной уровень		Верхний уровень		Нижний уровень		Интервал варьирования
			Натуральное значение	Кодированное значение	Натуральное значение	Кодированное значение	Натуральное значение	Кодированное значение	Натуральное значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Частота вращения	об/мин	160	0	200	+1	120	-1	40
2	Подача вороха	кг/с	60	0	70	+2	50	-1	10

Обработка и оценка результатов исследования проводились следующим образом.

Проводился расчет коэффициентов регрессии:



– для линейных членов:

$$a_i = \frac{\sum_{j=0}^N x_{ij} \bar{y}_i}{N}, \quad (3.6)$$

– для свободного члена:

$$a_0 = \frac{\sum_{i=0}^N \bar{y}_i}{N}, \quad (3.7)$$

– для членов комбинированного взаимодействия:

$$a_{ij} = \frac{\sum_{i=0}^N x_{ij} x_{qj} \bar{y}_i}{N}, \quad (3.8)$$

где:

$x_{ij}$  – значение фактора  $i$  в опыте  $j$ ;

$\bar{y}_i$  – среднее арифметическое значение выходного параметра для одного опыта  $j$  при повторениях  $m$ ;

$N$  – количество опытов;

$x_{qj}$  – значение фактора  $q$  в опыте  $j$ .

Необходимо провести проверку значимости некоторых коэффициентов регрессии по причине того, что они могут оказаться крайне малыми величинами, которыми можно пренебречь [20].

Значимость коэффициентов регрессии проверяли исходя из абсолютных значений доверительного интервала. Проверку значимости коэффициентов регрессии осуществляли по критерию Стьюдента согласно следующей формулы.

$$t = \frac{|a_i|}{\delta_{ai}}, \quad (3.9)$$

где:

$t$  – определенное значение критерия Стьюдента при заданном уровне значимости;

$|a_i|$  – абсолютное значение  $i$ -ого коэффициента регрессии;

$\delta_{ai}$  – квадратичная ошибка коэффициента регрессии.

Далее с табличным значением  $t$ -критерия  $t_{\text{табл}}(0,05; f_y)$  сравнивается с рассчитанным значением ( $f_y$  – значение степени свободы эксперимента; 0,05 – уровень значимости исследования).

Значение степени свободы эксперимента определяется по следующей формуле:

$$f_y = N \cdot (m - 1), \quad (3.10)$$

где  $m$  – число повторений в опыте  $j$ .

Выборочная дисперсия коэффициентов регрессии, необходимая для нахождения квадратичной ошибки, определяется согласно следующей формуле:

$$\delta_{ai}^2 = \frac{\delta_y^2}{N}, \quad (3.11)$$

где  $\delta_y^2$  – дисперсия воспроизводимости.

Определим дисперсию воспроизводимости по следующей формуле:

$$\delta_y^2 = \sum_{j=1}^N \frac{\delta_j^2}{N}, \quad (3.12)$$

где  $\delta_j^2$  – дисперсия опыта  $j$  при повторениях  $m$ .

Определим дисперсию опыта  $j$  при повторениях  $m$  по следующей формуле:

$$\delta_j^2 = \frac{\sum_{k=1}^m (y_i - \bar{y}_i)^2}{m-1}, \quad (3.13)$$

где  $y_i$  – значение выходного параметра в опыте  $j$ .

Однородность дисперсий опытов характеризует воспроизводимость модели. При помощи критерия Кохрена оценивается однородность дисперсий согласно следующей формулы:

$$G_{\text{max}} = \frac{\delta_{j\text{max}}^2}{\sum_{j=1}^N \delta_j^2}. \quad (3.14)$$

В случае, если выполняется следующее условие, то гипотеза об однородности принимается:

$$G_{max} < G_{табл}(0,05; f_N; f_u), \quad (3.15)$$

где:

$G_{табл}$  – табличное значение критерия;

$f_N$  – число независимых оценок дисперсий;

$f_u$  – число степеней свободы, характерной для каждой оценки:

$$f_u = N \cdot (m - 1). \quad (3.16)$$

Регрессионные уравнения необходимо проверить на способность с заданной точностью описывать поверхность отклика, т.е. на адекватность.

Для проверки и оценки адекватности моделей применяется F-критерий Фишера, который выражается следующей формулой:

$$F = \frac{\delta_{ag}^2}{\delta_y^2}. \quad (3.17)$$

где:

$\delta_y^2$  – ошибка опыта (дисперсия воспроизводимости);

$\delta_{ag}^2$  – дисперсия адекватности:

$$\delta_{ag}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \bar{y}_{iT})^2}{N - a}, \quad (3.18)$$

где:

$\bar{y}_i$  – среднее значение параметра оптимизации в опыте  $j$  при повторениях  $m$ ;

$\bar{y}_{iT}$  – значение параметра оптимизации, определяемое из уравнения регрессии с условиями для опыта  $j$ ;

$N$  – количество опытов;

$a$  – количество определяемых коэффициентов модели.

Далее необходимо сравнить полученное значение критерия Фишера с табличным  $F_{табл}(0,05; f_{ag}; f_y)$ ,

где  $f_{ag}$  – число степеней свободы дисперсии воспроизводимости:

$$f_{ag} = N - a. \quad (3.19)$$

Если выполняется следующее условие:

$$F < F_{табл}, \quad (3.20)$$

то ошибку гипотезы об адекватности результатов эксперимента, описанных представленными уравнениями регрессии, можно считать до 5%, т.е. верной с 95%-ой вероятностью.

### **3.5 Методика полевых исследований**

Параметры картофельной культуры находятся в широких пределах, исходя из сорта, технологии возделывания и почвенно-климатических условий [13, 66].

Исходя из этого требуется непрерывное уточнение научных знаний в рассматриваемой области. Изученные данные были применены при проведении лабораторных и полевых исследованиях, а также при обосновании параметров и разработке средства интенсификации картофельной сепарации.

Испытания серийного и усовершенствованного картофелекопателя КСТ-1,4, оснащенного предложенным поперечным ворошителем сепарации клубненосного вороха основного пруткового элеватора картофелеуборочной машины проводили на базе УИИЦ «Агротехнопарк», п. Стенькино Рязанского района Рязанской области.

С целью проведения стандартной агротехнической оценки картофельных клубней в полевых условиях были определены условия проведения испытаний и выделены учетные делянки. Методика сравнительных полевых испытаний серийного и усовершенствованного картофелекопателя КСТ-1,4 была следующая. Все испытания были проведены согласно ГОСТ 28713-90 и СТО АИСТ 8.5-2010 [18,19,87].

С целью определения потерь картофельных клубней на серийном и усовершенствованном картофелекопателях были установлены ось с рулоном пленки, которая свободно вращалась. В ходе сбора картофельных клубней на пленке накапливался ворох, который сходил с элеватора исследуемого картофелекопателя.

В процессе работ на серийном и усовершенствованном картофелекопателях КСТ-1,4 потери клубней определялись следующим образом:

$$P_k = \frac{m_k^1}{m_k^1 + m_k^2}, \quad (3.21)$$

где:

$m_k^1$  – масса засыпанных почвой картофельных клубней;

$m_k^2$  – масса собранных картофельных клубней.

Величина потерь картофельных клубней устанавливалась по результатам расчетов. Оценка результатов полевых исследований проводилась с применением ноутбук (HP 250 G6 Notebook PC) в лабораторных условиях. Проводились хронометрические наблюдения с целью получения эксплуатационных показателей.

### **Методика исследования функционирования картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором с поперечным ворошителем**

Исследования функционирования картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором с поперечным ворошителем проводились в период уборки картофеля 2017...2019 гг.

Сепарация почвенных примесей и потери клубней изучались на картофелекопателе КСТ-1,4, оснащенным сепарирующим элеватором с поперечным ворошителем. На задней части рамы были смонтированы крючки для крепления рулона пленки намотанной на трубу. При движении агрегата на рабочей скорости по учетной делянке пленку фиксировали и по мере ее разматывания на нее поступал, сходящий с каскадного элеватора картофельный ворох. Картофельный ворох разбирали на почву, комки, камни, растительные остатки и клубни, а затем взвешивали с точностью до 5г.

Затем пленку убирали и определяли неподкопанные и присыпанные почвой клубни с помощью граблей и лопаты. Потери клубней определяли с помощью по формулы:

$$P_{кл} = \frac{m_{кл}^1}{m_{кл}^1 + m_{кл}^2} \quad (3.22)$$

где  $m_{кл}^1$  – масса неподкопанных и присыпанных почвой клубней, кг.

$m_{кл}^2$  – масса клубней обнаруженных на пленке, кг.

Повреждения клубней определяли как отношение по массе поврежденных клубней к общей массе в процентах, так и в расчете на 100 клубней. Полученные данные сравнивали и анализировали [70,71,72].

Проведение сравнительных исследований серийного и модернизированного картофелекопателей осуществляли в течение уборочного сезона 2017...2019 гг. Полученные данные заносили в специальные таблицы.

### **Выводы по главе 3**

1. Разработаны программа и методика лабораторных исследований, учитывающая агротехнические характеристики картофельных растений. Предложена факторная методика исследований качественных показателей картофелекопателей.

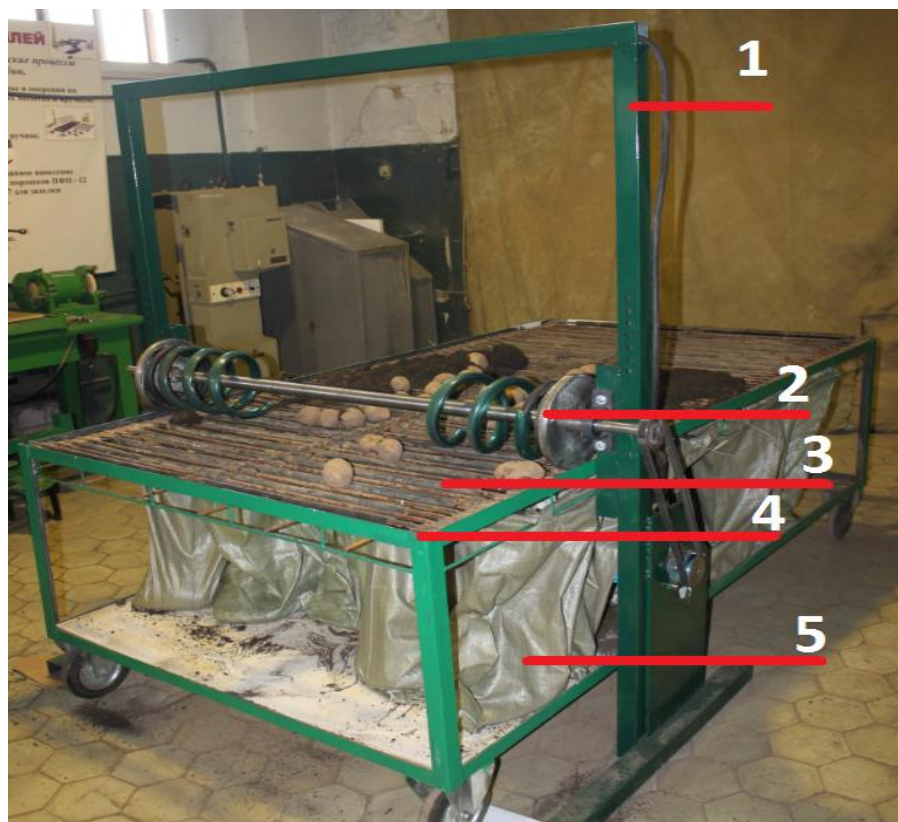
2. Предложено математическое описание для методики лабораторных исследований. Для обработки результатов выбран математический аппарат на основе теории и методов математических статистических решений.

3. Разработаны программа и методика полевых исследований, учитывающая массогабаритные и прочностные характеристики картофельных клубней. В полевых условиях агротехническая оценка и установление условий для проведения испытаний осуществляется согласно стандартов.

## ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1 Результаты исследования сепарации почвы на элеваторе , оборудованном поперечным ворошителем

Экспериментальные исследования сепарирующего элеватора с поперечным ворошителем проводились на лабораторной установке, которая представлена на рисунке 4.1. Прутковый элеватор лабораторной установки установлен на тележке, которая состоит из рамы на колесах, устройства для крепления мешков под просеиваемую почву.



1 – арка; 2 – поперечный ворошитель; 3 – полотно элеватора; 4 - тележка;  
5 – тара для сбора примесей.

Рисунок 4.1 – Общий вид лабораторной установки для исследования сепарирующей способности пруткового элеватора с поперечным ворошителем

Почву, применяемую в экспериментах, специально готовили. Требуемую влажность достигали путем полива почвы

выдерживанием в течении суток. Влажность почвы определяли с помощью бюксов, в которые помещали образцы почвы, взятой в трех различных местах почвенного канала на разной глубине с интервалом 0,05 м. Затем бюксы с почвой взвешивались на весах ВЛТК-500. Сушку почвенных проб проводили при температуре равной  $105 \pm 2$  °С в сушильном шкафу в течение 1 ч. После этого пробы почвы взвешивали с погрешностью не более 0,1 г и рассчитывали полученную влажность. Требуемую твердость почвы получали с помощью уплотнения с измерением твердости.

Подготовленную почву с клубнями картофеля укладывали на поверхность элеватора, разложенного на подвижной тележке. Для придания формы почвенного вороха использовали шаблоны, которые также позволяли регулировать подачу почвы. Дополнительно подачу изменяли скоростью движения тележки в диапазоне от 50 кг/с до 90 кг/с.

Под прутковым элеватором закреплены мешки на специальном устройстве с ячейками размером 320 мм на 220 мм. Мешки применялись для сбора просеянной почвы. Взвешивание подаваемого и просеянного вороха производили электронными весами. Опыты выполняли в трехкратной повторности.

При экспериментальных исследованиях поперечного ворошителя сепарирующего элеватора на смещение клубней и полноту сепарации проводились многофакторные эксперименты. Матрица планирования и результаты статистической обработки реализации многофакторного эксперимента  $3^2$ , учитывающих полноту сепарации примесей представлены в приложении В.

Лабораторные исследования проведены на органе первичной сепарации со средством интенсификации картофельной сепарации. Положительным является отсутствие забивания лабораторной установки почвенными примесями.

При обработке опытных данных нами получено уравнение регрессии, показывающее зависимость сепарации почвенных примесей от частоты



вращения поперечного ворошителя и подачи картофельного вороха. Уравнение регрессии приведено ниже:

$$Q = 0,93 - 0,04x_1 - 0,07x_2 - 0,04x_1^2 - 0,01x_2^2 \quad (4.1)$$

где  $x_1$  – частота вращения приводного вала устройства поперечного ворошителя,

$x_2$  – подача клубненосного вороха.

На основании уравнения регрессии, построена поверхность отклика. Зависимость сепарации почвы от частоты вращения и подачи почвы. Наиболее значимым фактором является частота вращения поперечного ворошителя.

Наиболее значимым фактором является чистота вращения поперечного ворошителя. Из рисунка 4.2 видно, что рациональными значениями факторов в кодированном виде являются частота вращения  $-0.4$ , подача картофельного вороха  $-0.5$ .

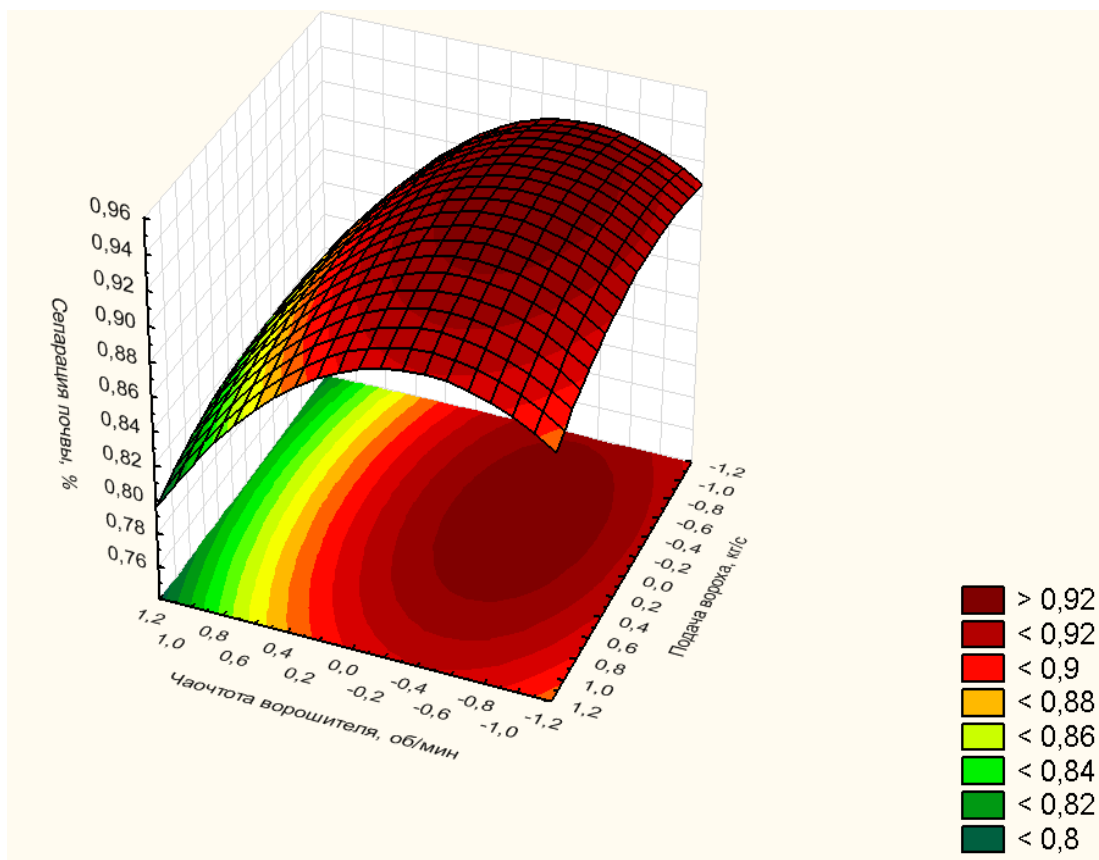


Рисунок 4.2 – Зависимость сепарации почвенных примесей от частоты вращения поперечного ворошителя и подачи картофельного вороха.

Анализ графика показал, что рациональным значением является частота вращения поперечного ворошителя на уровне  $-0,4$ , и подача почвы  $-0,5$ . Раскодирование параметров поперечного ворошителя позволило установить, что соответствует реальным значениям: частота вращения поперечного ворошителя на уровне  $-160$  об/мин, и подача почвы  $-60$  кг/с. Подставив в уравнение регрессии (4.1) полученные значения соответствуют полноте сепарации  $0,96$ .

При работе поперечного ворошителя происходит сепарация почвы – просеивание между прутками полотна элеватора. Поэтому в процессе исследований поперечного ворошителя мы изучил равномерность просеивания почвы по ширине пруткового элеватора. Результаты распределения просеивания почвы по ширине элеватора приведены в приложении В

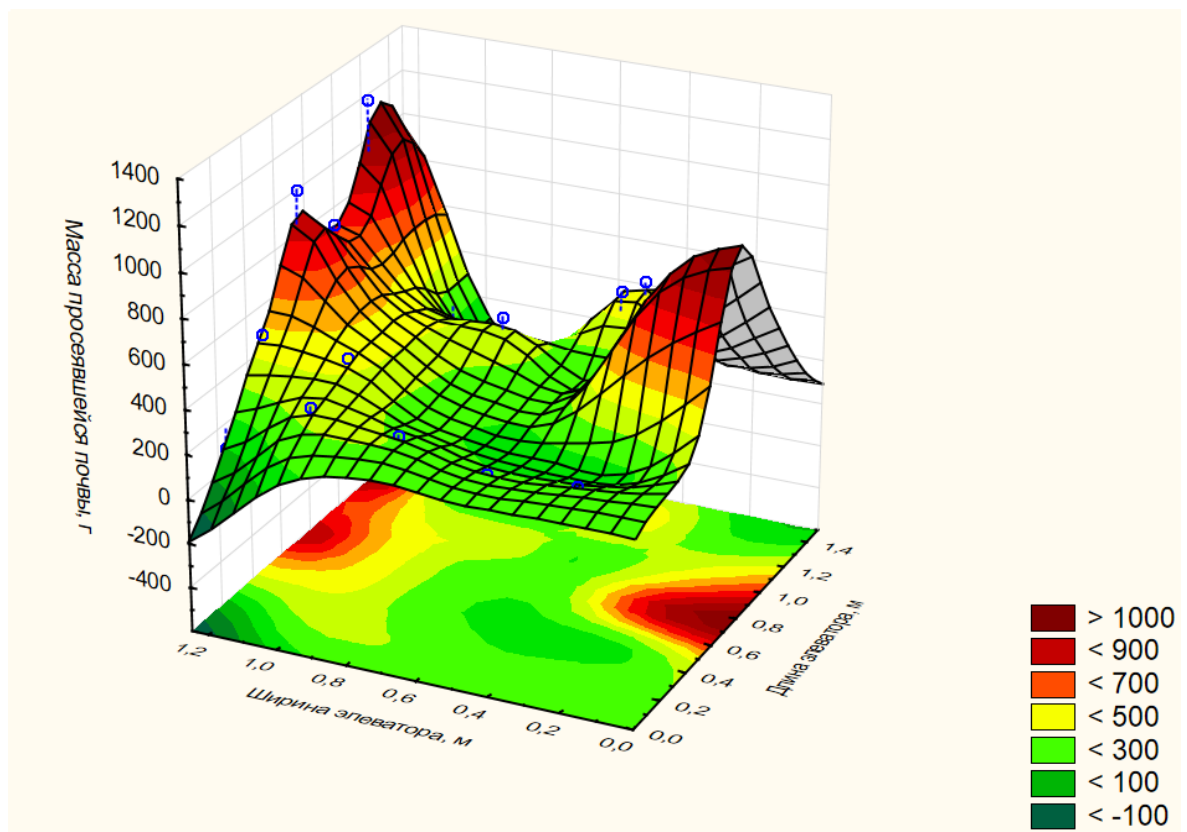


Рисунок 4.3 – График массы просеявшейся почвы по ширине и длине элеватора при воздействии поперечного ворошителя

Анализ графика показал, что основная сепарация происходит по краям полотна элеватора – там, где установлены спирали поперечного ворошителя.



Рисунок 4.4 – Общий вид лабораторной установки во время исследований

Вращение ворошителя способствует не только сосредоточению клубней в средней части элеватора для образования валка клубней картофеля по середине элеватора уборочной машины. Также взаимодействия поперечного ворошителя с почвенными комками способствует их разрушению. Анализ повреждений клубни картофеля показал незначительное увеличение повреждений в пределах агротехнических требований.

#### **4.2 Результаты исследования смещения клубней на элеваторе, оборудованном поперечным ворошителем**

Эффективность работы пруткового сепаратора с поперечным ворошителем определяется характером процесса смещения компонентов картофельного вороха. Процесс смещения компонентов картофельного вороха характеризуется количеством смещенных клубней за один проход полотна элеватора.

При обработке опытных данных нами получено уравнение регрессии, показывающее зависимость смещения компонентов картофельного вороха от частоты вращения поперечного ворошителя и подачи картофельного вороха. Уравнение регрессии приведено ниже:

$$K_{см} = 61,13 - 0,03x_1 - 0,20x_2 - 0,30x_1^2 + 0,50x_1x_2 - 0,40x_2^2 \quad (4.2)$$

где  $x_1$  – частота вращения поперечного ворошителя,  
 $x_2$  – подача клубненого вороха.

На основании уравнения регрессии, построена поверхность отклика. Зависимость количества смещенных компонентов от частоты вращения и подачи клубненого вороха. Наиболее значимым фактором является подача картофельного вороха.

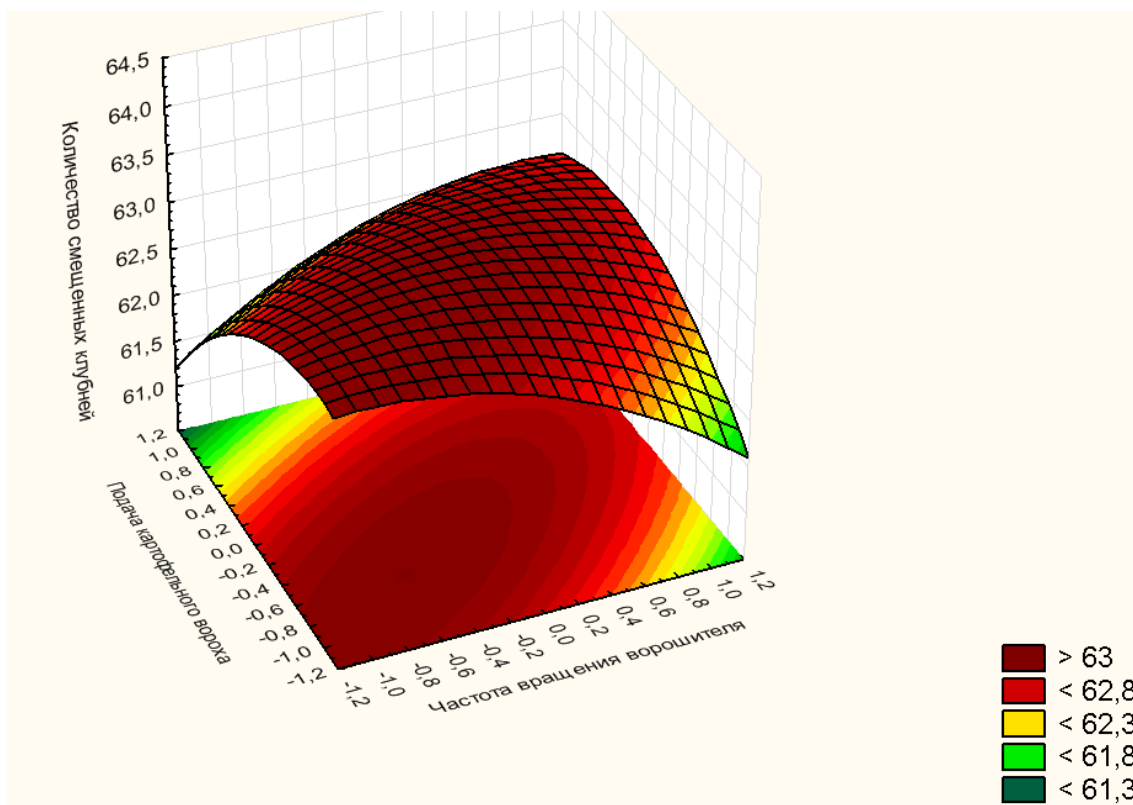


Рисунок 4.5– Количество смещенных клубней картофеля в среднюю часть элеватора

Анализ графика показал, что после раскодирования рациональным значением является частота вращения поперечного ворошителя – 136 об/мин и подача почвы – 53 кг/с. Подставив в уравнение регрессии (4,2) полученные значения соответствуют количеству смещенных клубней картофеля в среднюю часть элеватора 63,2.

Произведенная проверка воспроизводимости полученных моделей при уровне значимости 0,05 по оценке по критерию Кохрена подтверждает гипотезу об адекватности представленных моделей.

Таким образом, на основании двух этапов экспериментов уточнены рациональные параметры поперечного ворошителя диаметром 0,2 м, спирали которого имеют покрытие в виде силиконовой трубки: частота вращения поперечного ворошителя должна составлять 136 об/мин, подача картофельного вороха – 53 кг/с.

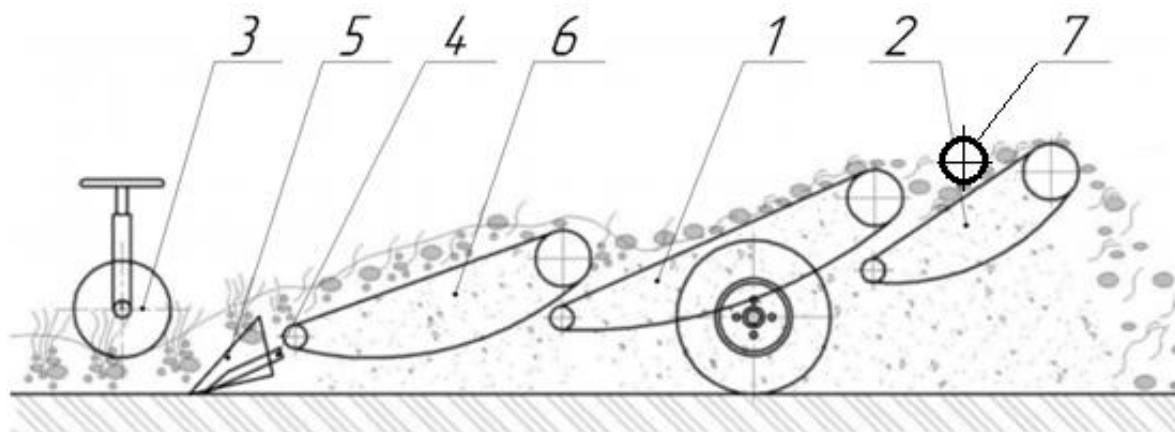


Рисунок 4.6 – Исследование эффективности функционирования поперечного ворошителя

Результаты лабораторных исследований позволили подтвердить эффективность применения поперечного ворошителя установленного над прутковым элеватором картофелекопателя, что позволяет повысить полноту просеивания почвы на прутковом элеваторе и обеспечить смещение клубней картофеля в середину картофелекопателя.

### 4.3 Результаты полевых исследований функционирования картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором поперечным ворошителем

Усовершенствованный картофелекопатель, оборудованный поперечным ворошителем, проходил экспериментальные исследования в УИИЦ «Агротехнопарк», п. Стенькино Рязанского района Рязанской области.



1 – дополнительный сепарирующий элеватор; 2 – каскадный сепарирующий элеватор; 3 – копирующий каток; 4 – лемех; 5 – нож;  
6 – основной сепарирующий элеватор; 7 – поперечный ворошитель;

Рисунок – 4.7 Конструктивно-технологическая схема модернизированного картофелекопателя КСТ-1,4

Сравнительные полевые испытания серийного картофелекопателя КСТ-1,4 и экспериментального картофелекопателя КСТ-1,4, оснащенного поперечным ворошителем (патент РФ на изобретение № 2672492) показали, что:

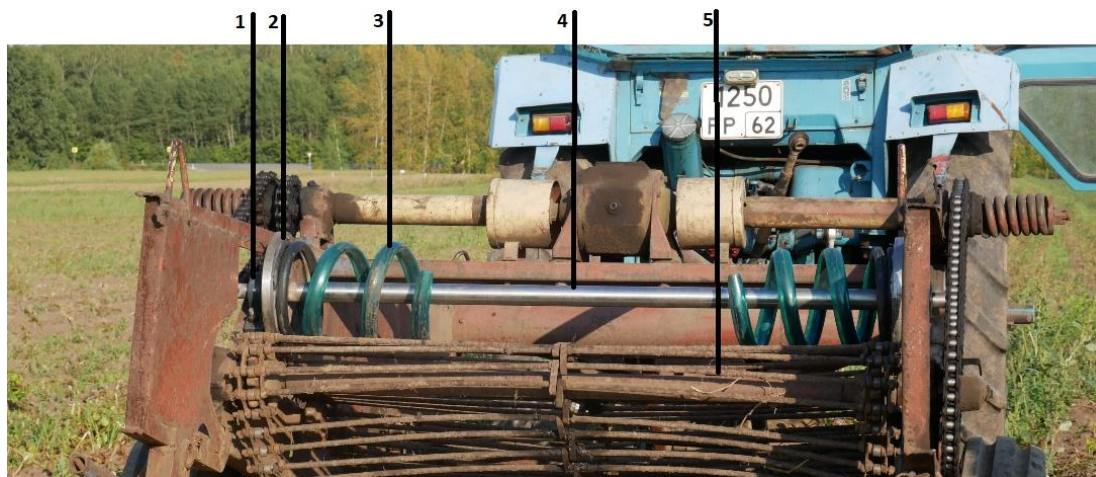
- повреждения клубней экспериментального картофелекопателя КСТ-1,4, оснащенного поперечным ворошителем повысились с 1,96 % до 2,88%;

- потери клубней экспериментального картофелекопателя КСТ-1,4, оснащенного поперечным ворошителем снизились с 5,5% до 2,1%.

- в связи с увеличением интенсивности процесса сепарации появляется возможность повышения рабочей скорости движения экспериментального

картофелекопателя КСТ-1,4, оснащенного поперечным ворошителем с 2,4 до 2,6 км/ч что позволяет увеличить производительность.

Отличие усовершенствованной машины от базовой версии в том, что используется нами разработанной конструкции поперечного ворошителя [63] (рис.4.8), установленного над поверхностью пруткового элеватора.



1-подшипник в корпусе, 2-фланец, 3-пружина с покрытием из силикона, 4-приводной вал, 5-элеватор.

Рисунок 4.8—Общий вид усовершенствованного картофелекопателя КСТ-1,4 с установленным поперечным ворошителем

Сравнительные испытания серийного и усовершенствованного копателей показали улучшение показателей качества уборки картофелекопателя, оборудованного поперечным ворошителем. Использование поперечной ворошителя позволило снизить потери клубней на 61,8% (в относительном выражении) и увеличить производительность модернизированного копателя на 8,3% в сравнении с серийным. При этом ущерб клубням увеличился незначительно, но они соответствуют сельскохозяйственным требованиям. Общая площадь картофеля, убранная экспериментальной машиной за 2019 год, составила 1 га.

## Выводы по главе 4

1. Исследование сепарации почвенных примесей от частоты вращения поперечного ворошителя и подачи картофельного вороха позволило установить, что рациональным значением является частота вращения поперечного ворошителя – 160 об/мин, и подача почвы – 60 кг/с, полученные значения соответствуют полноте сепарации 0,96.

2. На основании двух этапов экспериментов уточнены рациональные параметры поперечного ворошителя диаметром 0,2 м, спирали которого имеют покрытие в виде силиконовой трубки: частота вращения поперечного ворошителя должна составлять 136 об/мин, подача картофельного вороха – 53 кг/с.

3. Результаты лабораторных исследований позволили подтвердить эффективность применения поперечного ворошителя установленного над прутковым элеватором картофелекопателя, что позволяет повысить полноту просеивания почвы на прутковом элеваторе и обеспечить смещение клубней картофеля в середину картофелекопателя.

4. В ходе исследований экспериментально установленная частота вращения поперечного ворошителя соответствует теоретически установленному диапазону частот – 130 – 160 об/мин. Погрешность расхождения результатов с теоретическими исследованиями не превышает 5%.

5. Полевые исследования картофелекопателя КСТ-1,4 оборудованного поперечным ворошителем показали, что применение поперечного ворошителя позволяет снизить потери клубней на 61,8%, увеличить его производительность на 8,3%.



## ГЛАВА 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ, ОСНАЩЕННОГО ПОПЕРЕЧНЫМ ВОРОШИТЕЛЕМ

### 5.1 Экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат

Чтобы рассчитать технический и экономический эффект от внедрения в технологию поперечного ворошителя разделительного типа применяли методику[50], используя данные за 2019 год.

Согласно методике, для расчета необходимо сравнить совокупность затрат серийной и усовершенствованной версий.

Для техники с поперечном ворошителем экономический эффект рассчитывается как произведение разницы между приведенными к единице затратами серийной  $Z_1$  и усовершенствованной  $Z_2$  версий на норму годового объема работ [50]:

$$Э_э = (Z_1 - Z_2) \cdot B_2, \quad (5.1)$$

Выше рассматриваемые потери также представляют собой совокупность операционных затрат общего характера  $Z_{экс}$  и нормативной прибыли  $H_{п}$  [43,50,72]:

$$Z = Z_{экс} + H_{п}, \quad (5.2)$$

$H_{п}$ – нормативная прибыль от капитальных вложений, руб/га.

В таблице 5.1 приведены исходные данные, согласно методики приведенной Д.А. Лапиным, на содержание и эксплуатацию [46, 50].

Существующие эксплуатационные затраты принято разделять на постоянные (амортизационные) и переменные (зависящие от типа и объемов механизированной работы, годовой нагрузки) [50].

К переменным затратам, относят затраты, которые зависят от годовой загрузки. Это такие затраты как: затраты на техническое обслуживание и ремонт, топливо-смазочные материалы и оплату труда механизаторов[50].

Для определения амортизационных (постоянных издержек) используют выражение, численно равное отношению произведения балансовой цены устройства  $B$  и показателю амортизационных отчислений ( $H_d$ ) на произведение увеличенной в 100 раз годовой нагрузки единицы техники  $T_{год}$ , ее производительности  $W_\tau$ :

$$Z_a = \frac{B \cdot H_d}{100 \cdot T_{год} \cdot W_\tau}, \quad (5.3)$$

Для серийной картофелеуборочной машины величина амортизационных отчислений равна:

$$Z_a = \frac{168000 \cdot 12,5}{100 \cdot 200 \cdot 0,294} = 357,14 \text{ руб./га}$$

Для модернизированной картофелеуборочной машины имеем:

$$Z_a = \frac{216000 \cdot 12,5}{100 \cdot 200 \cdot 0,340} = 397,06 \text{ руб./га}$$

Величина балансовой стоимости машины ( $B$ ) численно равна произведению оптовой стоимости единицы техники  $\Pi$  на постоянную 1,2, отражающую затраты на доставку машины  $K_\Pi$ :

$$B = \Pi \cdot K_\Pi, \quad (5.4)$$

Для серийной картофелеуборочной машины имеем:

$$B = \Pi \cdot K_\Pi = 140000 \cdot 1,2 = 168000 \text{ руб.}$$

Для модернизированной картофелеуборочной машины имеем:

$$B = \Pi \cdot K_\Pi = 180000 \cdot 1,2 = 216000 \text{ руб.}$$

Техническая производительность численно равна произведению ширины захвата единицы техники, рабочей скорости агрегата, постоянной времени смены и коэффициента 0,1:

$$W_\tau = 0,1 \cdot B_p \cdot V_R \cdot \tau, \quad (5.5)$$

Для серийной картофелеуборочной машины имеем:

$$W_\tau = 0,1 \cdot 1,4 \cdot 2,4 \cdot 0,80 = 0,268 \text{ га/ч}$$

Для модернизированной картофелеуборочной машины имеем:

$$W_\tau = 0,1 \cdot 1,4 \cdot 2,6 \cdot 0,88 = 0,320 \text{ га/ч}$$

Таблица 5.1. Исходные данные для проведения технико-экономической оценки модернизированного варианта (использовались средние цены, актуальные на 2019г.)

Наименование показателей	Единицы измерения	Картофелекопатель КСТ-1,4	
		Серийный	Усовершенствованный
1	2	3	4
Марка трактора		МТЗ-82	МТЗ-82
Цена копателя	руб.	168000	216000
Нормативная годовая загрузка машины	час	200	200
Количество обслуживающего персонала	чел.	1	1
Часовая оплата трактористов V разряда с учётом всех видов доплат	руб./ч	195,64	195,64
Часовая оплата рабочим на подбор с учётом всех видов доплат	руб./ч	91,78	91,78
Урожайность картофеля	т/га	20,2	20,2
Коэффициент амортизационных отчислений	%	12,5	12,5
Коэффициент отчислений на ремонт и техническое обслуживание	%	7,0	7,0
Расход ГСМ	кг/ч	12,0	12,1
Комплексная цена 1 кг ГСМ	руб.	47	47
Закупочная цена картофеля: - продовольственного - повреждённого	руб./т	9000 5027,15	9000 5027,15
Срок службы картофелекопателя	лет	8	8
Рабочая скорость	км/ч	2,4	2,6
Ширина захвата	м	1,4	1,4
Потери клубней	%	5,5	2,1
Повреждения клубней	%	1,93	2,88
Площадь для хранения картофелекопателя	м <sup>2</sup>	5,6	5,6
Удельная стоимость 1 м <sup>2</sup> места для хранения картофелекопателя	руб/м <sup>2</sup>	170	170
Норма финансирования на амортизацию и ремонт мест хранения техники	%	8,0	8,0
Годовая загрузка картофелекопателя	час	200	200
Коэффициент использования времени смены		0,80	0,88

Согласно выше представленным данным, постоянная учета времени смены определяется величиной временного промежутка технических остановок  $T_0$  [50].

Для определения затрат на ремонт и обслуживание используют выражение, численно равное отношению произведения балансовой цены устройства Б и показателю издержек на ремонт и обслуживание ( $H_{TO}$ ) на произведение увеличенной в 100 раз годовой загрузки единицы техники  $T_{год}$ , ее производительности  $W_{\tau}$ :

$$Z_{TO} = \frac{B \cdot H_{TO}}{100 \cdot T_{год} \cdot W_{\tau}}, \quad (5.6)$$

Для серийной картофелеуборочной машины имеем:

$$Z_{TO} = \frac{168000 \cdot 7}{100 \cdot 200 \cdot 0,268} = 219 \text{ руб./га}$$

Для модернизированной картофелеуборочной машины имеем:

$$Z_{TO} = \frac{216000 \cdot 7}{100 \cdot 200 \cdot 0,320} = 236 \text{ руб./га}$$

Издержки на смазочные и горючие материалы численно равны отношению произведения нормы их расходов  $H_{ГСМ}$  и совокупной цены  $\Pi_{ГСМ}$  к производительности машины  $W_{\tau}$ :

$$Z_{ГСМ} = \frac{H_{ГСМ} \cdot \Pi_{ГСМ}}{W_{\tau}}, \quad (5.7)$$

Для серийной картофелеуборочной машины имеем:

$$Z_{ГСМ} = \frac{12 \cdot 47}{0,268} = 2104,47 \text{ руб./га}$$

Для модернизированной картофелеуборочной машины имеем:

$$Z_{ГСМ} = \frac{12,1 \cdot 47}{0,320} = 1777,18 \text{ руб./га}$$

Издержки, образующие в результате хранения одной единицы техники численно равны отношению норм на хранение  $H_{XP}$  к производительности единицы техники  $W_{\tau}$  и ее годовой нагрузки  $T_{год}$ :

$$Z_{XP} = \frac{H_{XP}}{T_{год} \cdot W_{\tau}}, \quad (5.8)$$

Для серийной картофелеуборочной машины имеем:

$$Z_{XP} = \frac{76,16}{200 \cdot 0,268} = 1,42 \text{ руб./га},$$

Для модернизированной картофелеуборочной машины имеем:

$$z_{XP} = \frac{76,16}{200 \cdot 0,320} = 1,19 \text{ руб./га},$$

Норма затрат на хранение численно равна произведению квадратных метров, занимаемых единицей техники  $S_k$ , удельной цене за 1 кв м места  $K_{XP}$ , амортизационной постоянной за хранение, отнесенной к 100 :

$$H_{XP} = \frac{S_k \cdot K_{XP} \cdot H_{XP}^d}{100}, \quad (5.9)$$

Для серийной картофелеуборочной машины имеем:

$$H_{XP} = \frac{5,6 \cdot 170 \cdot 8}{100} = 76,16 \text{ руб.}$$

Для модернизированной картофелеуборочной машины имеем:

$$H_{XP} = \frac{5,6 \cdot 170 \cdot 8}{100} = 76,16 \text{ руб.}$$

Таким образом, согласно расчетам величина  $H_{XP}$  одинакова в обоих случаях.

Трудовая оплата численно равна отношению тарифной ставки  $C_{тар}$ , количеству работающих механизаторов  $L$  к производительности единицы техники:

$$z_o = \frac{C_{ТАР} \cdot L}{W_{\tau}}, \quad (5.10)$$

Для серийной картофелеуборочной машины имеем:

$$z_o = \frac{195,64 \cdot 1}{0,268} = 730 \text{ руб./га}$$

Для модернизированной картофелеуборочной машины имеем:

$$z_o = \frac{195,64 \cdot 1}{0,320} = 611 \text{ руб./га}$$

Трудовая оплата рабочих на подборе численно равна отношению произведения тарифной ставки  $C_{тар}$  на число рабочих  $L_p$  к производительности единицы техники:

$$z_p = \frac{C_{тар}^n \cdot L_p}{W_{\tau}} \quad (5.11)$$

Для серийной картофелеуборочной машины имеем:

$$z_p = \frac{91,78 \cdot 15}{0,268} = 5136,94 \text{ руб./га}$$

Для модернизированной картофелеуборочной машины имеем:

$$z_p = \frac{91,78 \cdot 15}{0,320} = 4302,18 \text{ руб./га}$$

В таблице 5.2 представлены результаты расчетов, согласно методики приведенной Д.А. Лапиным [46, 50].

Таблица 5.2. – Результаты расчета эксплуатационных затрат

Статьи затрат	Обозначение	Единицы измерения	Картофелекопатель КСТ-1,4	
			Серийный	Усовершенствованный
1	2	3	4	5
Амортизационные отчисления	$Z_a$	руб./га	357,14	397,06
Отчисления на техническое обслуживание и ремонт	$Z_{то}$	руб./га	219	236
Стоимость горюче-смазочных материалов	$Z_{гсм}$	руб/га	2104,47	1777,18
Затраты на хранение техники	$Z_{хр}$	руб/га	1,42	1,19
Оплата труда механизаторов	$Z_o$	руб/га	730	611
Оплата труда рабочих на подборе	$Z_p$	руб/га	5136,94	4302,18
Итого эксплуатационных затрат	$Z_{экс}$	руб/га	8568,97	7324,61
Удельные капиталовложения	$K_y$	руб/га	3134,32	3375
Нормативная прибыль от капиталовложений	$H_{п}$	руб/га	470,14	506,25
Приведенные затраты на единицу выполненной работы	$Z$	руб/га	9039,11	7830,86

Величина нормативной прибыли от капиталовложений (Н) численно равна произведению постоянной 0,15 (физический смысл – отражается эффективность капиталовложений) на величину удельных капиталовложений

$$H_{п} = E_H \cdot K_y, \quad (5.12)$$

Для серийной картофелеуборочной машины имеем:

$$H_{II} = 0.15 \cdot 3134,32 = 470,14 \text{ руб./га}$$

Для модернизированной картофелеуборочной машины имеем:

$$H_{II} = 0.15 \cdot 3375 = 506,25 \text{ руб./га}$$

Удельные капиталовложения численно равны отношению балансовой цены устройства  $B$  к производительности единицы техники и годовой нагрузки:

$$K_v = \frac{B}{T_{\text{год}} \cdot W_{\tau}}, \quad (5.13)$$

Для серийной картофелеуборочной машины имеем:

$$K_v = \frac{168000}{200 \cdot 0,268} = 3134,32 \text{ руб./га}$$

Для модернизированной картофелеуборочной машины имеем:

$$K_v = \frac{216000}{200 \cdot 0,320} = 3375 \text{ руб./га}$$

Используя формулы (5.14) и (5.15) высчитываем приведенные затраты и годовой экономический эффект (табл. 5.2).

Для модернизированной техники (с поперечным ворошителем) экономический эффект рассчитывается как произведение разницы между приведенными к единице затратами серийной  $Z_1$  и усовершенствованной  $Z_2$  версия на норму годового объема работ [89]

$$\mathcal{E}_s = (Z_1 - Z_2) \cdot B_2, \quad (5.14)$$

тогда

$$\mathcal{E}_s = (9039,11 - 7830,86) \cdot 64 = 77328 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты численно равны совокупности эксплуатационных затрат  $Z_{\text{экс}}$  и нормативной прибыли  $H_{II}$  [73,89]:

$$Z = Z_{\text{экс}} + H_{II}, \quad (5.15)$$

Снижение затрат по варианту серийной картофелеуборочной машины:

$$Z = 8567,97 + 470,14 = 9039,11 \text{ руб./га}$$

Приведенные затраты по варианту модернизированной картофелеуборочной машины:

$$З = 7324,61 + 506,25 = 7830,86 \text{ руб./га}$$

## 5.2 Экономический эффект от снижения потерь клубней

Экономический эффект от варианта модернизации машины для уборки картофеля численно равен произведению постоянной уменьшения потерь  $У_k$  величины урожайности  $a_{п}$  стоимости целевого продукта  $Ц_{п}$ :

$$\mathcal{E}_{п} = B_{г} \cdot Y_{к} \cdot a_{п} \cdot Ц_{п}, \quad (5.16)$$

тогда

$$\mathcal{E}_{п} = 64 \cdot 20,2 \cdot 0,034 \cdot 9000 = 395596 \text{ руб.}$$

Коэффициент снижения потерь =  $0,055 - 0,021 = 0,034$ .

Полученные данные сведем в таблицу 5.3, согласно методики приведенной Д.А. Лапиным [50].

Таблица 5.3. Годовой экономический эффект от применения усовершенствованного картофелекопателя КСТ-1,4 с поперечным ворошителем

Статьи затрат	Обозначение	Единицы измерения	Величина эффекта
1	2	3	4
Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат	$\mathcal{E}_{э}$	руб/га	1208,25
		руб	77328
Экономический эффект от снижения потерь клубней	$\mathcal{E}_{п}$	руб/га	6180,65
		руб	395562
Экономический убыток от повышения повреждений клубней	$\mathcal{E}_{пов}$	руб/га	-762,37
		руб	-48792
Суммарный годовой экономический эффект	$\mathcal{E}_{сум}$	руб/га	7388,90
		руб	472890

Необходимо обратить внимание, на то, что при использовании поперечного ворошителя увеличивался ущерб клубням, в то время как



экономический ущерб был численно равен произведению постоянной минимизации повреждений клубней  $a_{пк}$  постоянной уменьшения потерь  $У$ , разницы между ценами целевого продукта и поврежденного  $Ц_p$

$$\Delta_{пов} = B_2 \cdot Y_2 \cdot a_{пк} \cdot Ц_p \quad (5.17)$$

$$\Delta_{пов} = 64 \cdot 20,2 \cdot (0,0193 - 0,0288) \cdot (9000 - 5027,15) = -48792 \text{ руб.}$$

Общий экономический эффект достигнутый путем внедрения усовершенствованного картофелекопателя, который оснащен поперечным ворошителем составил 7388,90 рубля на 1 га уборочной площади при годовой загрузке 200 часов.

### **Выводы к главе 5**

1. Расчет годового экономического эффекта от применения картофелекопателя КСТ-1.4 оборудованного поперечным ворошителем составляет 7388,90 рубля на 1 га уборочной площади при годовой загрузке 200 часов.

2. Установлено, экономический эффект от внедрения картофелекопателя, оборудованного поперечным ворошителем получен за счет снижения потерь и повышения производительности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ исследований показал, что в настоящее время наиболее эффективными являются прутковые элеваторы. Установлена необходимость исследований по усовершенствованию технологического процесса просевных рабочих органов картофелеуборочных машин. Для измельчения почвенных комков, и смещения клубней в среднюю часть пруткового элеватора смонтирован поперечный ворошитель. Навивка спиралей имеет правое и левое направление.

2. При полете компонентов вороха при переходе с одного элеватора на другой они приобретают определенную скорость и ударяются опрутки, при этом клубни, обладая упругостью, меняют траекторию, движение и скорость. Дальность полета компонента картофельного вороха составляет около 0,25...0,35 м, высота падения около 0,07...0,15 м. Установлено, что максимальная скорость соударения об элеватор не превысит 2,5 м/с. При этом следует учитывать, что элеватор движется в сторону падения компонентов, поэтому абсолютная скорость соударения будет определяться за вычетом скорости движения элеватора. Установлено, что скорость компонентов после отскока от прутков элеватора не превысит 1,5 м/с.

3. Теоретическими исследованиями установлено, что для необходимого смещения компонентов картофельного вороха по элеватору частота вращения ворошителя должна находиться в пределах от 130 до 180 об/мин при диаметре ворошителя 0,2 м.

4. Экспериментально определено, что диаметр поперечного ворошителя должен составлять 0,2 м, спирали ворошителя имеют покрытие в виде силиконовой трубки с толщиной стенки 0,05 м, частота вращения поперечного ворошителя должна составлять 136 об/мин при подаче картофельного вороха – 53 кг/с. Расхождение результатов с теоретическими исследованиями не превышает 5%.

5. При проведении полевых исследований копателя КСТ-1,4, оборудованного поперечным ворошителем, в условиях среднеглинистых почв и

влажностью 18-22% установлено уменьшение потерь клубней на 61,8% при увеличении производительности на 8,3% в сравнении с серийным. Повреждения клубней в обоих вариантах соизмеримы.

б. Экономический эффект, достигнутый путем внедрения усовершенствованного картофелекопателя, который оснащен поперечным ворошителем составил 7388,90 рубля на 1 га уборочной площади при годовой загрузке 200 часов.

#### **Рекомендации производству:**

Применение поперечного ворошителя, установленного над сепарирующим элеватором, позволяет повысить производительность копателя и снизить трудозатраты при подборе клубней. При использовании поперечного ворошителя в конструкции картофелекопателя КСТ-1,4 параметры ворошителя должны быть следующими: скорость вращения 136 об/мин; диаметр прутка с покрытием 0,025 м; диаметр ворошителя 0,2 м; длина поперечного ворошителя 0,025-0,030 м с каждой стороны элеватора.

#### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

В дальнейшем необходимо продолжить научные исследования в области совершенствования ворошителей, установленных над сепарирующим элеватором машин для уборки картофеля в различных условиях применения.

### Список литературы

1. Аникин, Н. В. Техничко-эксплуатационные показатели автотракторной и сельскохозяйственной техники при возделывании и уборке картофеля [Текст] : монография / Н.В. Аникин, И.Н. Кирюшин, И.А.Успенский. - Рязань : РГАТУ, 2011. - 153 с.
2. Байрамгулов, Г.Г. Обоснование рациональных параметров картофелекопателя к мотоблоку [Текст] / Г.Г. Байрамгулов, Р.Р. Камалетдинов // Достижения науки и инновации – аграрному производству : материалы национальной научной конференции. – Уфа : БГАУ, 2017. - С. 126-129.
3. Безносюк, Р. В. Совершенствование органа выносной сепарации картофелеуборочных машин [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 : защита 04.07.2013 / Безносюк Роман Владимирович - Рязань, 2013. - 18 с.
4. Беляев, Н. М. Сопротивление материалов [Текст] : [Учеб. пособие для втузов] / Н.М. Беляев. - 15-е изд., перераб. - Москва : Наука, 1976. - 607 с.
5. Борычев, С. Н. Машинные технологии уборки картофеля с использованием усовершенствованных копателей, копателей-погрузчиков и комбайнов [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Борычев Сергей Николаевич. – Рязань, 2008. - 483 с.
6. Бышов, Д. Н. Разработка рабочего органа выносной сепарации со встряхивающим механизмом (на примере картофелеуборочного комбайна КПК-2-01) [Текст] : монография / Д.Н. Бышов, П. Н. Дыков, А. А. Горохов - Рязань : РГАТУ, 2014. - 114 с.
7. Бышов, Д. Н. Усовершенствованный технологический процесс и орган выносной сепарации картофелеуборочных машин [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Бышов Дмитрий Николаевич, - Рязань , 2011. - 142 с.
8. Бышов, Н. В. Научно-методические основы расчета сепарирующих рабочих органов и повышение эффективности картофелеуборочных машин [Текст] : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.20.01 / Н.В. Бышов. - Рязань, 2000. – 414 с.

9. Бышов, Н.В. Обоснование параметров поперечного ворошителя, пруткового элеватора картофелеуборочных машин [Текст] // Н.В. Бышов, А.А. Рузимуродов, В.Д. Липин // Вестник РГАТУ. – 2020. – № 1. – С. 81-87.

10. Верещагин, Н. И. Комплексная механизация возделывания, уборки и хранения картофеля [Текст] / Н.И. Верещагин, К.А. Пшеченков. - Москва : Колос, 1977. - 351 с.

11. Верещагин, Н. И. Обоснование процесса и средств механизации уборки картофеля, снижающих повреждения клубней [Текст] : автореферат дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Н.И.Верещагин. - Москва, 1991. - 35 с.

12. Верещагин, Н. И. Уборка картофеля в сложных условиях [Текст] / Н. И. Верещагин, К. А. Пшеченков, В. С. Герасимов. - М. : Колос, 1983. - 208 с.

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

14. Воронков, В. В. Интенсификация сепарирующей способности прутковых элеваторов картофелеуборочных машин за счет предварительного разрушения клубненосного пласта [Текст] / В.В. Воронков // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2014. - № 3. – С.14 – 18.

15. Высокопроизводительный комплект для уборки картофеля [Текст] / С.С. Туболев, Колчин Н.Н., Пшеченков К.А. [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. - №10. – С. 11-16.

16. 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 (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – №01(105). С.

356 – 366. – IDA [article ID]: 1051501019. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/19.pdf>, 0,688 у.п.л.

17. Голиков, А. А. Совершенствование технологического процесса и рабочего органа сепарации картофелеуборочных машин [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Голиков Алексей Александрович. - Рязань, 2014. - 138 с.

18. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний [Текст]. - Введ. 2013-01-01 – М.: Стандартиформ, 2013. – 23 с.

19. ГОСТ 28713-90. Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Машины для уборки картофеля. Методы испытаний [Текст]. - Введ. 01.07.91– М.: Стандартиформ, 2005. – 7 с.

20. Дрейпер, Норман Ричард. Прикладной регрессионный анализ [Текст] / Норман Р. Дрейпер, Гарри Смит ; [пер. с англ. и ред. М. Власенко и др.]. - 3-е изд. – Москва : Диалектика, 2007. - 911 с.

21. Звягинцев, П.С. Экономическая оценка инновационной сельскохозяйственной техники (государственных проектов и программ) [Текст] / П.С. Звягинцев, В.В. Михеев, А.Г.Пономарев // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России : Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина. – М.: ВНИИМСХ, 2013. - С. 286-290.

22. Зернов, В.Н. Воспроизводство мини-клубней в оригинальном семеноводстве картофеля, технологические приемы возделывания и их эффективность [Текст] / В.Н. Зернов, А.Г. Пономарев // Агротехника и энергообеспечение. - 2018. - № 4 (21). - С. 57-64.

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

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

25. Измайлов, А.Ю. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства [Текст] / А.Ю. Измайлов, Н.Н. Колчин, Я.П. Лобачевский // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2015. - №2. - С.45-48.

26. Измайлов, А.Ю. Создание интенсивных машинных технологий и энергонасыщенной техники для производства основных групп продовольствия [Текст] / А.Ю. Измайлов, Ю.Х. Шогенов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2016. - № 3. - С. 2-5.

27. Ильинский, А.С. Хранение картофеля в РФ [Текст] / А.С. Ильинский, Н.Н. Колчин, Б.А. Нефедов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. - 2017. - № 3. - С. 96-100.

28. Индустрия картофеля [Текст] : (справочник) / Российская акад. с.-х. наук, ГНУ Всероссийский науч.-исслед. ин-т картофельного хоз-ва им. А. Г. Лорха, ГНУ Всероссийский науч.-исслед. ин-т крахмалопродуктов, ГНУ Всероссийский научно-исследовательский ин-т механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства, КУП Чувашской Республики "Агро-Инновации" ; [принимали участие : Е. А. Симаков и др.] ; под ред. В. И. Старовойтова. - Изд. 2-е, доп. - Москва : НПФ АгроНИР, 2013. - 272 с.

29. Исследование влияния эластичных оболочек рабочих органиков картофелеуборочных машин на характер взаимодействия с клубнями [Текст] // Н.В. Бышов, А.А. Рузимуродов, Г.К. Рембалович, [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – 2020. – № 3. – С. 98-103.

30. Исследование жесткости упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин [Текст] / Н.В.Бышов, С.Н.Борычев, Д.А.Лапин [и др.] // Современные проблемы освоения новой техники, технологии,

организации технического сервиса в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции БГАТУ. – Минск: 2018. – С.294 – 301.

31. К вопросу об исследованиях по хранению картофеля [Текст] / С. Н. Борычев, А. Ф. Владимиров, Д. В. Колошеин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. - 2019. - № 2(42). - С. 129-135.

32. Калинин, А.Б. Мировые тенденции и современные технические системы для возделывания картофеля [Текст] : учебное пособие / А. Б. Калинин, В. А. Ружьев, И. З. Теплинский. – СПб.: Проспект Науки, 2016. – 160 с.

33. Камалетдинов, Р. Р. Научно-методологическое обоснование технологий и технических средств возделывания и уборки картофеля на основе объектно-ориентированного моделирования [Текст] : автореферат дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Камалетдинов Рим Рашитович . - Уфа, 2017. - 40 с.

34. Камалетдинов, Р. Р. Обоснование рациональных параметров сепаратора корнеклубнеплодов с вращающейся внутренней разделительной поверхностью в форме усеченного конуса [Текст] / Р.Р. Камалетдинов, Р.Ш. Аблеев, // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - 2018. - № 4 (48). - С. 128-135.

35. Камалетдинов, Р. Р. Особенности разрушения почвенных комков на просеивающих сепараторах картофелеуборочных машин [Текст] / Р.Р. Камалетдинов, З.С. Рахимов, Р.К. Абдрахманов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. - 2018. - Т. 13. - № 4 (51). - С. 109-113.

36. Камалетдинов, Р. Р. Результаты испытаний экспериментального образца картофелекопателя к тракторам малого класса тяги [Текст] / Р.Р. Камалетдинов, А.А. Кутлубаев // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК : материалы международной научно-практической конференции в рамках XXVIII Международной



специализированной выставки "Агрокомплекс-2018". – Уфа : Башкирский государственный аграрный университет, 2018. - С. 85-88.

37. Камалетдинов, Р. Р. Рекомендации по совершенствованию рабочих органов машин для уборки картофеля [Текст] / Р. Р. Камалетдинов ; Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Башкирский гос. аграрный ун-т". - Уфа : Башкирский ГАУ, 2012. - 43, [1] с.

38. Камалетдинов, Р. Р. Фрикционный сепаратор корнеклубнеплодов [Текст] / Р.Р. Камалетдинов, И.Р. Сабирзянов // Сельский механизатор. - 2014. - № 8. - С. 4.

39. Колчин, Н.Н. Выставка POTATOEUROPE 2015 [Текст] /Н.Н. Колчин, Н.В. Бышов, А.Г. Пономарев //Картофель и овощи. – 2016. - №1. - С. 24-27.

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

41. Колчин, Н.Н.Машинная уборка картофеля: от швырялки до комбайна [Текст] / Н.Н.Колчин, Н.В. Бышов, А.Г. Пономарев // Картофель и овощи. - 2015. - № 6. - С. 28-33.

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

43. Костенко, М. Ю. Технология уборки картофеля в сложных полевых условиях с применением инновационных решений в конструкции и обслуживании уборочных машин : [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 : защищена 26.04.2011 / Костенко Михаил Юрьевич. - Рязань, 2011. - 464 с.

44. Костенко, М. Ю. Исследование сепарирующей способности прутковых элеваторов [Текст] / М. Ю. Костенко, Н. А. Костенко // Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава Рязанского

государственного агротехнологического университета им. П.А.Костычева. – Рязань, 2008. – С. 146–148.

45. Кущев, И. Е. Разработка разветвляющейся технологии уборки картофеля с обоснованием параметров и режимов работы сепарирующих устройств [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Кущев Иван Евгеньевич. - Рязань, 1999. - 466 с.

46. Лапин, Д. А. Обоснование параметров дискового ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Лапин Дмитрий Александрович. - Рязань, 2018. - 133 с.

47. Машинные технологии и техника для производства картофеля [Текст] / С.С. Туболев, С.И. Шеломенцев, К.А. Пшеченков [и др.]– М.: Агроспас. – 2010. – 311 с.

48. Международный независимый институт аграрной политики : Мировой рынок картофеля [Электронный ресурс] : сайт / МНИАП, 2016 – Режим доступа: <http://мниап.рф/analytics/Mirovoj-rynok-kartofela/>

49. Методика исследований сепарирующей способности пруткового элеватора с дисковым ворошителем [Текст] / Д.А.Волченков, Д.А.Лапин, Н.Г., Бойбобоев [и др.]. // Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса : Материалы 69-ой Международной научно-практической конференции ФГБОУ ВО РГАТУ. – Рязань, 2018. - С.111 – 116.

50. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники [Текст] / А.В. Шпилько, В.И. Драгайцев, П.Ф. Тулапин [и др.] – М.: ВНИИЭСХ, 1998 - 219 с.

51. Методология формирования технологий и технических средств для выполнения работ в селекции и семеноводстве картофеля [Текст] / В.Н. Зернов, Н.Н. Колчин, А.С.Дорохов [и др.] // Картофелеводство : материалы научно-практической конференции. Под редакцией С.В. Жеворы. - Красково : Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха", 2017. - С. 78-88.

52. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа : [www.mcx.ru/](http://www.mcx.ru/)

53. Михеев, В.В. К вопросу механизации уборки топинамбура [Текст] / В.В.Михеев, В.И. Еремченко, П.А. Еремин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2018. - Т. 48. - № 3. - С. 65-70.

54. Михеев, В.В. Технико-экономическое обоснование направлений совершенствования машинных технологий возделывания картофеля и овощей [Текст] / В.В. Михеев, П.С. Звягинцев, А.Г. Пономарев // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России : сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики академика В.П. Горячкина. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2013. - С. 179-184.

55. Некоторые аспекты снижения повреждений плодов при уборочно-транспортных работах [Электронный ресурс] / 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. - Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27176740>

56. Новые технические решения сепарирующих органов картофелеуборочных машин [Электронный ресурс] / 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. - Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28103201>

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

58. Основы снижения энергозатрат в сельскохозяйственном производстве [Текст] : монография / И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев. - Рязань : РГАТУ, 2010. - 202 с.

59. Оценка перспективной технологической схемы картофелеуборочного комбайна [Текст] / И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко [и др.] //Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. - 2018. - № 1 (49). - С. 262-269.

60. Павлов, В. А. Повышение эффективности функционирования картофелеуборочных машин за счет совершенствование системы выносной сепарации [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Павлов Виталий Александрович ; Рязань, 2014. - 19 с.

61. Паршков, А. В. Совершенствование технологического процесса и органа вторичной сепарации картофелеуборочной машины [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Паршков Андрей Викторович. - Рязань, 2008. - 172 с.

62. Пат. 2592111 Российская Федерация, МПК А01D17/10, А01D33/08. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины [Текст] / А. А. Голиков, И. А. Успенский, Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, Г. К. Рембалович. И. А. Юхин, Д. А.Лапин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU). - № 2015104275/13 ; заявл. 10.02.15 ; опубл. 20.07.16. - Бюл. № 20. - 3 с.

63. Пат. 2672492 Российская Федерация, МПК А01D 17/22 А01D 33/08. Картофелекопатель [Текст] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, М.Ю. Костенко, Д.Н.Бышов, В.Д. Липин, А.А. Рузимуродов, Д.В. Калмыков ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU). – № 2018100708 : заявл. 01.10.2018: опубл. 15.11.2018. - 11 с.

64. Перспективная модель картофелеуборочного комбайна [Текст] / А. А. Сорокин, Н. В. Бышов, И. А. Успенский [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2000. - №7. – С.25 – 28.

65. Перспективы применения системно-информационного подхода к формированию качества плодоовощной продукции при уборке, транспортировке и хранении / [Электронный ресурс] Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский [и др.]// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. - № 123. - С. 841-855. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27509825>.

66. Петров, Г. Д. Картофелеуборочные машины [Текст] / Г. Д. Петров. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1984. - 320 с.

67. Петухов, С.Н.Обоснование потребности объемов производства семенного картофеля в Российской Федерации [Текст] / С.Н. Петухов // Инновации в сельском хозяйстве. - 2018. - № 4 (29). - С. 275-284.

68. Применение и развитие машинных технологий производства картофеля [Текст] // Н.Н. Колчин, В.Н. Зернов, С.Н. Петухов [и др.] / Картофелеводство : материалы научно-практической конференции. Под редакцией С.В. Жеворы. – Красково : Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха", 2017. - С. 89-97.

69. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных машин [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по спец. 311300 "Механизация сельского хозяйства" / Н. В. Бышов, А. А. Сорокин, И. А. Успенский [и др.]. - Рязань : РГСХА, 2005. - 284 с.

70. Пути повышения агротехнических показателей работы картофелеуборочных машин [Текст] / А.В. Старунский, Д.А.Лапин, В.В.Акимов [и др.]// Современные тенденции развития науки и технологий . – 2017. – N1-2. – С. 34 – 37.

71. Рембалович, Г. К. Исследование равномерности просеивания почвы по ширине конвейера первичной сепарации в картофелеуборочных машинах [Текст] / Г.К. Рембалович // Вестник РГАТУ. – 2013. – № 4. – С. 79–82.

72. Рембалович, Г. К. Повышение эффективности уборки картофеля на тяжелых суглинистых почвах совершенствованием сепарирующих органов комбайнов [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Рембалович Георгий Константинович. - Саранск, 2015. - 516 с.

73. Рембалович, Г.К. Сравнительная оценка эксплуатационной надежности картофелекопателей [Текст] / Г.К. Рембалович, С.Н. Борычев, И.А. Успенский // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. - № 2. - С. 46-47.

74. Рогов, С. С. Совершенствование технологического процесса и органа первичной сепарации почвы в картофелеуборочных машинах [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Рогов Сергей Сергеевич. - Рязань, 2009. - 185 с.

75. Рузимуродов, А.А. Анализ конструкции картофелеуборочных машин [Текст] / А.А. Рузимуродов // Национальная научно-практическая конференция «Научно-инновационные технологии как фактор устойчивого развития отечественного агропромышленного комплекса» РГАТУ 12 декабря 2019 г. Часть III. – Рязань : Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета, 2020 - С. 210-214.

76. Рузимуродов, А.А. Обзор технологического процесса картофелеуборочных машин [Текст] / А.А. Рузимуродов // IVМеждународной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии в земледелии» Ярославская ГСХА, 27.02. 2019 г. С. 96-103.

77. Рязанов, Н. А. Усовершенствованный технологический процесс и интенсификатор основного элеватора картофелеуборочных машин [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Рязанов Николай Анатольевич. – Рязань, 2011. - 144 с.

78. Сабирзянов, И.Р. Разработка конструкции и оптимизация параметров устройства для сепарации корнеклубнеплодов [Текст] / И.Р.

Сабирзянов, Р.Р. Камалетдинов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2014. - № 6 (50). - С. 72-74.

79. Селекции и семеноводству картофеля необходима механизация [Текст] // А.Г. Пономарев, Н.Н. Колчин, В.Н. Зернов [и др.] //Картофель и овощи. - 2017. - № 3. - С. 22-24.

80. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины : [Текст] / Под общ. ред. Г. Е. Листопада. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Агропромиздат, 1986. - 687,[1] с.

81. Сибирёв, А.В. Методика определения величины схода вороха лука-севка с поверхности сепарирующего пруткового элеватора [Текст] / А.В. Сибирёв //Научное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса регионов РФ : материалы международной научно-практической конференции. – Лесниково : Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2018. -С. 640-644.

82. Современный взгляд на производство картофеля [Электронный ресурс] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, А.А. Симдянкин [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2017. - № 128. - С. 146-153. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=29187925>.

83. Сорокин, А. А. Картофелеуборочный комбайн с центробежным сепаратором [Текст] / А.А.Сорокин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1971. – № 10. – С. 17.

84. Сорокин, А. А. Теория и расчет картофелеуборочных машин [Текст] / А.А. Сорокин. – М.: ВИМ, 2006. – 158 с.

85. Сорокин, А.А. Конструктивные схемы картофелеуборочных комбайнов в аграрном секторе России [Текст] / А.А.Сорокин, А.Г. Пономарев // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2013. - №6. - С. 22-25.

86. Способ контроля скрытых повреждений клубней картофеля / М.Ю. Костенко, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев [и др.] [Электронный ресурс] //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского

государственного аграрного университета. 2016. № 120. С. 1166-1187. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=26469966>.

87. СТО АИСТ 8.5-2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки и послеуборочной обработки картофеля. Методы оценки функциональных показателей [Текст] . – Дата введения 07.04.15.

88. Теоретические и практические основы применения современных сепарирующих устройств со встряхивателями в картофелеуборочных машинах [Электронный ресурс] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.К. Рембалович [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №89. – С. 488 – 498. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=22986935>.

89. Теоретические исследования процесса интенсификации первичной сепарации в картофелеуборочных машинах динамическим методом [Электронный ресурс] / Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко, Д. Е. Каширин [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета . - 2014. – №102(08). – С.417 – 431. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=22628249>.

90. Теоретические исследования усовершенствованного пруткового конвейера картофелеуборочной машины [Текст] / А.А. Голиков, Г.К. Рембалович, А.В. Паршков [и др.] // Наука и образование XXI века : Материалы VIII Международной научно-практической конференции. НОУ ВПО Современный технический институт 25 октября 2013 г. – Рязань: НОУ ВПО СТИ, 2013. – С. 167 – 176.

91. Технологические и биологические предпосылки разработки инновационной технологии получения миниклубней картофеля[Текст] / С.Н. Петухов, А.Г. Аксенов, А.В.Сибирев [и др.]// Агротехника и энергообеспечение. - 2019. - № 4 (25). - С. 31-41.

92. Тульчеев, В.В. Стратегия технологической и организационно-экономической модернизации картофелепродуктового подкомплекса АПК



Российской Федерации в XXI столетии [Текст] / В.В. Тульчеев, Н.Д. Лукин; под ред. И.В. Савченко. – М.: Россельхозакадемия, 2010. – 273 с.

93. Угланов, М. Б. Справочник механизатора-картофелевода [Текст] / М. Б. Угланов. - М. : Агропромиздат, 1986. - 205,[3] с.

94. Уменьшение энергетических затрат в сельскохозяйственном производстве (на примере картофеля) [Электронный ресурс] / Н.В. Бышов, С.Н.Борычев, И.А.Успенский [и др.] //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2016. - № 120. - С. 375-398. – Режим доступа : <https://elibrary.ru/item.asp?id=26469942>.

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

96. Успенский, И. А. Основы совершенствования технологического процесса и снижения энергозатрат картофелеуборочных машин [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Успенский Иван Алексеевич. - Москва, 1997. - 396 с.

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

98. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] : сайт. – Режим доступа : [http : www.gks.ru /](http://www.gks.ru/)

99. Фонд продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН : Состояние продовольственной безопасности и питания в мире [Электронный ресурс] : сайт / ФАО, 2020. - Режим доступа : [http : www.fao.org](http://www.fao.org)

100. Хомидов, Р.Д. Настраиваемые параметры рабочего органа для уборки корнеклубнеплодов на базе мотоблока [Текст] / Р.Д. Хомидов, Р.Р. Камалетдинов //Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК : материалы Международной научно-практической

конференции в рамках XXVII Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2017». – Уфа : Башкирский государственный аграрный университет, 2017. - С. 294-297.

101. Хомидов, Р.Д. Некоторые аспекты механизации возделывания картофеля в личных подсобных хозяйствах [Текст] / Р.Д. Хомидов, А.А. Котлубаев // Актуальные проблемы гуманитарных наук : материалы Международного конкурса научно-исследовательских работ студентов (бакалавры и магистры) высших учебных заведений. - Уфа : Башкирский государственный аграрный университет, 2016. - С. 311 – 314.

102. Юхин, И. А. Агрегат для внутрихозяйственных перевозок плодоовощной продукции с устройством стабилизации положения кузова [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Юхин Иван Александрович. – Рязань, 2011. - 157 с.

103. Якутин, Н. Н. Совершенствование технологического процесса и средства интенсификации сепарации картофелеуборочных машин [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Якутин Николай Николаевич. - Рязань, 2014. - 132 с.

104. Beschadigungsarme Kartoffelernte [Text] / A. Specht // Landtechnik. – 1966.- Jg. 21. - №12. – s. 28 – 33.

105. Edna P. Hasson. Separation and Characterization of Potato Lipid Acylhydrolases [Text] / Edna P. Hasson, George G. Laties // Plant Physiol. - 1976. - № 57(2). — s. 142–147.

106. Glaser, M. Einsatz der Zwei – Gammaenergie – Transmissions – methode zur Bestimmung des Beimengungsanteiles in Erntegut [Text] / Glaser, M. // Arbeiten zur mechanisierung der Pflanzen – und Tierproduktion . - №10. – 1986. – s. 38 – 49.

107. Graichen, G. Kartoffelernte mit dem Rodelader E 684 [Text] / G. Graichen //Agrotechnik. - 1978. - № 7. - s. 296-297.

108. Kartoffeln “sanft” ernten [Text] //Agrartechnikinternational. – 1983. - Juli. – s. 10 – 11.

109. Liske P. Baugruppen zur Verminderung der Kartoffellbelastungen in der Annahmesrteke bei schwierigen Einsatzbedigungen [Text] / P. Liske, L. Fischer // Agrartechnik. - Bd. 37. - Jg. 8. – 1987. – s. 352 – 353.

110. Ruzimurodov A.A. Study of soil separation at a potato chain with a cross rotating agitator / Kostenko M.Yu., Ruzimurodov A.A., Byshov D.N., Golakhov A.A., Yakutin N.N. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great. 2020. C. 012032.

ПРИЛОЖЕНИЯ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2672492

**КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЬ**

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

Авторы: *Бышов Николай Владимирович (RU), Борычев Сергей Николаевич (RU), Костенко Михаил Юрьевич (RU), Бышов Дмитрий Николаевич (RU), Липин Владимир Дмитриевич (RU), Рузимуродов Абдугафор Абдусоторович (RU), Калмыков Дмитрий Вадимович (RU)*

Заявка № 2018100708

Приоритет изобретения 10 января 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 15 ноября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 10 января 2038 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности


 I.P. Ильев


РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 672 492** <sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
A01D 17/22 (2006.01)  
A01D 33/08 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
A01D 17/22 (2006.01); A01D 33/08 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2018100708, 10.01.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
10.01.2018Дата регистрации:  
15.11.2018Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 10.01.2018

(45) Опубликовано: 15.11.2018 Бюл. № 32

Адрес для переписки:  
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ ВО  
РГАТУ, кафедра технические системы в АПК,  
Липину В.Д.

(72) Автор(ы):

Бышов Николай Владимирович (RU),  
Борьчев Сергей Николаевич (RU),  
Костенко Михаил Юрьевич (RU),  
Бышов Дмитрий Николаевич (RU),  
Липин Владимир Дмитриевич (RU),  
Рузимуродов Абдугафор Абдусоторович  
(RU),  
Калмыков Дмитрий Вадимович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Рязанский государственный  
агротехнологический университет имени  
П.А. Костычева" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2541384 C2, 10.02.2015. RU  
2267901 C1, 20.01.2006. SU 954033 A1,  
30.08.1982. US 2077462 A, 20.04.1937.

RU 2 672 492 C 1

RU 2 672 492 C 1

## (54) КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЬ

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскохозяйственному машиностроению. Картофелекопатель содержит лемеха, закрепленные на шатунах, шарнирно установленных на эксцентриках, скоростной, основной и каскадный прутковые элеваторы, ходовые и опорные колеса, винтовой механизм для регулирования глубины подкапывания клубненосного пласта, эллиптические звездочки и установленный над ними в направлении движения вороха интенсификатор, выполненный в виде приводного вала с фланцами. Интенсификатор установлен над каскадным

прутковым элеватором с возможностью изменения расстояния между ним и прутками элеватора. На приводном валу интенсификатора между фланцами установлены спиральные пружины сжатия, навитые с просветом между витками с правой и левой навивкой. Пружины изготовлены из проволоки круглого сечения, а поверхности проволоки выполнены из материала с высоким коэффициентом трения, например резины. Обеспечивается усиленное разрушающее воздействие на почвенные комки, улучшенная сепарация почвы, а также снижаются потери клубней картофеля. 5 ил.

**Приложение Б**

Матрица планирования и результаты многофакторного эксперимента, проведенного на органе первичной сепарации – основном элеваторе с поперечным ворошителем

№	Частота	Подача	Сепарация почвы
1	0	+1	0,92
2	0	0	0,93
3	0	-1	0,91
4	-1	+1	0,89
5	-1	0	0,94
6	-1	-1	0,92
7	+1	+1	0,83
8	+1	0	0,83
9	+1	-1	0,85

## Приложение В

Количество смешенных клубни к средней части элеватора.

№	Частота вращение	Подача картофеля вороха	Количество смешенных клубни к средней части элеватора
1	0	+1	61
2	0	0	62
3	0	-1	64
4	-1	+1	66
5	-1	0	68
6	-1	-1	69
7	+1	+1	65
8	+1	0	67
9	+1	-1	63
10	0	+1	61
11	0	0	68
12	0	-1	62
13	-1	+1	64
14	-1	0	66
15	-1	-1	68
16	+1	+1	69
17	+1	0	65
18	+1	-1	67
19	0	+1	63
20	0	0	64
21	0	-1	63
22	-1	+1	65
23	-1	0	62
24	-1	-1	63



## окончание приложения В

1	2	3	4
25	+1	+1	64
26	+1	0	68
27	+1	-1	66
28	0	+1	69
29	0	0	64
30	0	-1	67
31	-1	+1	68
32	-1	0	65
33	-1	-1	63
34	+1	+1	62
35	+1	0	66
36	+1	-1	61
37	0	+1	62
38	0	0	64
39	0	-1	66
40	-1	+1	68
41	-1	0	69
42	-1	-1	65
43	+1	+1	67
44	+1	0	63
45	+1	-1	61

## Приложение Г



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО РГАТУ

Д.Н. Лазуткина

«09» 2019 г.

## Акт

Комиссия в составе председателя – декана инженерного факультета А.Н. Бачурина, к.т.н., доцента, членов: декана автодорожного факультета, д.т.н., доцента Г.К. Рембаловича, доцента кафедры технологии и металлов и ремонта машин, к.т.н. Р.В. Безносюка, начальника кабинета кафедры технологии металлов и ремонта машин Н.Н. Щипачева в период с 06.02.2019 по 05.06.2019 принимала участие в проведении лабораторных исследований эффективности функционирования разработанного поперечного ворошителя картофелеуборочных машин (патент РФ на изобретение № 2672492.)

Место проведения испытаний – лаборатория кафедры «Технологии металлов и ремонта машин» (ауд. №22) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский агротехнологический университет имени П.А.Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

Программа лабораторных исследований.

1. Исследование качественных показателей работы. Проведение многофакторного эксперимента по исследованию смещения клубней картофеля и сепарации почвы на прутковом элеваторе, оснащенный поперечным ворошителем.
2. Исследование равномерности распределения почвы по ширине элеватора.

Установлено, что наиболее значимым фактором, влияющим на смещение клубней картофеля и сепарацию почвы на прутковом элеваторе,

## продолжение приложения Г

оснащенном поперечном ворошителем, является частота вращения поперечного ворошителя. Подача картофельного вороха в меньшей степени оказывает влияние на количество смещенных клубней. Рациональными параметрами поперечного ворошителя являются частота вращения 200 об/мин, подача картофельного вороха – 60 кг/с.

Комиссия считает, что использование поперечного ворошителя, установленного над прутковым элеватором позволяет повысить полноту сепарации почвы на прутковом элеваторе, сформировать валок клубней картофеля и увеличить производительность картофелеуборочных машин.

Председатель комиссии:

Декан инженерного факультета

к.т.н., доцент

А.Н.Бачурин

Члены комиссии:

доктор технических наук, доцент

Г. К. Рембалович

к.т.н.

Р. В. Безносюк

начальник кабинета кафедры

технологии металлов и ремонта машин

Н.Н. Щипачев

Исполнитель:

аспирант

А.А. Рузимуродов



**окончание приложения Г**

Признать оснащение картофелекопателя КСТ-1.4 разработанным поперечным ворошителем целесообразным и экономически обоснованным.

Директор УИИЦ «Агротехнопарк»

Ю.В. Доронкин

  
\_\_\_\_\_

(подпись)

Исполнители:

 к.т.н., Р. В. Безносюк

 А.В. Кузнецов

 А.А. Рузимуродов