

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

На правах рукописи



Лапин Дмитрий Александрович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВОГО ВОРОШИТЕЛЯ
СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Рембалович Георгий Константинович

Рязань – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Анализ состояния вопроса и постановка задач исследований	9
1.1 Анализ машинных технологий уборки картофеля	9
1.2 Анализ функционирования существующих сепарирующих органов картофелеуборочных машин	14
1.3 Анализ конструкций интенсификаторов сепарирующих элеваторов	20
1.4 Анализ теоретических работ по повышению производительности сепарирующих органов картофелеуборочных машин	28
1.5 Постановка задач исследования	36
Выводы к главе 1	37
Глава 2. Теоретическое обоснование параметров дискового ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин	38
2.1 Исследование эффективности интенсификаторов сепарирующих элеваторов по воздействию на компоненты картофельного вороха.....	38
2.2 Схема дискового ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины	46
2.3 Обоснование геометрических параметров дискового ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины	48
2.4 Теоретическое исследование жесткости пальцев	

дискового ворошителя	54
Выводы к главе 2	59
Глава 3. Экспериментальные исследования параметров дискового ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин	60
3.1 Программа лабораторных исследований	60
3.2 Исследование жесткости упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин	61
3.3 Исследование эксплуатационных показателей упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин	67
3.4 Лабораторные исследования сепарирующей способности пруткового элеватора с дисковым ворошителем	71
Выводы к главе 3	84
Глава 4. Полевые исследования картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором с дисковым ворошителем	85
4.1 Программа полевых исследований	85
4.2 Исследования размерно-весовых параметров культуры картофеля в конкретных условиях	85
4.3 Исследования функционирования картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором с дисковым ворошителем	87
4.4 Исследования эксплуатационных показателей картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором с дисковым ворошителем	90
Выводы к главе 4	97

Глава 5. Техничко-экономическая оценка применения картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором с дисковым ворошителем	98
5.1 Экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат	98
5.2 Экономический эффект от снижения потерь клубней	104
Выводы к главе 5	106
Заключение	107
Список литературы	109
Приложения	126

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Картофель возделывается во многих странах мира [12,13,90]. Объем мирового производства картофеля отраслевыми экспертами оценивается в 390 млн. тонн. Крупнейшими мировыми производителями картофеля являются Китай, Индия и Россия (25%, 12% и 9% соответственно) в общем объеме производства [91].

На данный момент времени наиболее ресурсозатратным технологическим процессом возделывания картофеля является его уборка, в общем процентном соотношении на его долю приходится порядка 75% всех трудозатрат и около 60% энергозатрат [17,58,83,87,90]. Снижение всех ресурсозатрат возможно благодаря применению новейших машинных технологий и современной сельскохозяйственной техники, которая соответствует всем предъявляемым к уборочным машинам агротехническим требованиям. Наравне с уменьшением затрат труда должны обеспечиваться: чистота клубней в таре 97% и более, потери не больше 4...6% клубней и повреждения не более 5% [42,64,83,107].

Сепарирующий элеватор является одним из распространенных рабочих органов в картофелеуборочных машинах. Он должен обеспечивать высокую полноту сепарации картофельного вороха и достаточную производительность, однако данные показатели достигаются лишь в ограниченном диапазоне условий использования [13,22,58,83,86,90]. Для повышения производительности сепарации на элеваторе в различных условиях использования его оснащают интенсификаторами различного типа. Таким образом, актуальной научно-технической задачей является создание и обоснование параметров интенсификаторов сепарирующих элеваторов, применение которых позволит достигать уровня агротехнических требований к картофелеуборочным машинам в широком диапазоне условий использования.

Степень разработанности темы Вопросами повышения производительности сепарации в картофелеуборочных машинах занимались Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Н.И. Верещагин, М.Н. Ерохин, А.Ю. Измайлов Р.Р.Камалетдинов, Н.Н. Колчин, М.Ю. Костенко, К.З. Кухмазов, Н.П. Ларюшин, В.А. Макаров, Г.Д. Петров, А.Г. Пономарев, К.А. Пшеченков, Г.К. Рембалович, В.И. Славкин, А.А. Сорокин, М.Б. Угланов, И.А. Успенский, В.Ф. Федоренко и др., а также ряд зарубежных исследователей: R. Peters, J. Winkelmann, P.C. Struik и др. Несмотря на большое количество работ процесс совершенствования средств для разделения компонентов картофельного вороха далеко не исчерпал себя.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ФБГОУ ВО РГАТУ на 2016...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 работы Повышение производительности картофелеуборочных машин путем обоснования параметров дискового ворошителя сепарирующего элеватора.

Объект исследования Воздействие рабочих элементов дискового ворошителя сепарирующего элеватора на картофельный ворох в уборочных машинах.

Предмет исследования Закономерности воздействия рабочих элементов дискового ворошителя на картофельный ворох.

Научная новизна работы:

-теоретическое обоснование параметров дискового ворошителя сепарирующего органа картофелеуборочных машин;

-экспериментальные зависимости, описывающие изменения показателей работы сепарирующего органа картофелеуборочных машин от параметров дискового ворошителя.

Практическая значимость работы:

-рациональные параметры дискового ворошителя сепарирующего рабочего органа картофелеуборочных машин;

-результаты оценки показателей работы картофелекопателя, оснащенного дисковым ворошителем.

Методология и методы исследования По методикам, базисом которых являлись основы фундаментальной теоретической механики, теории вероятности, сопротивления материалов и математической статистики, осуществлены теоретические исследования. В соответствии с планом факторного эксперимента проводились испытания в лаборатории. Анализ полученных данных выполнялся с помощью программ «STATISTICA 8.0» и «MathCAD 16».

Положения, выносимые на защиту:

-теоретическое обоснование параметров дискового ворошителя сепарирующего органа картофелеуборочных машин;

-результаты оценки функционирования картофелеуборочной машины, оснащенной сепарирующим элеватором с дисковым ворошителем, в рамках полевых исследований;

- результаты оценки технико-экономического эффекта внедрения картофелеуборочной машины, оснащенной дисковым ворошителем.

Реализация результатов исследования На основании проделанных исследований были изготовлены опытные образцы дискового ворошителя, которыми оборудованы картофелеуборочные машины (ООО «Подсосенки», Шацкий район Рязанской области), прошедшие хозяйственные испытания в 2015-2017 г.

Степень достоверности Сходимость результатов теоретических и лабораторных исследований (расхождение составило менее 5%), а также

положительные результаты апробации, подтвердили основные положения диссертации.

Апробация работы Результаты диссертационного исследования обсуждены на международных научно-технических конференциях Рязанского ГАТУ имени П.А. Костычева (2017, 2018 гг), и на международной научно-технической конференции БГАТУ (Республика Беларусь, 2018).

Публикации Основные положения диссертации опубликованы в печати в 11 научных работах, из них 4 статьи в источниках, включенных в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК РФ. Получен 1 патент РФ на изобретение. Общий объем публикаций составил 3,8 п.л., из них лично соискателю принадлежит 1,3 п.л.

Структура и объем работы В целом диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения (общих выводов), списка литературы из 136 наименований, приложения, изложена на 133 страницах, включает 37 рисунка и 15 таблиц.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Анализ машинных технологий уборки картофеля

При возделывании картофеля, наиболее трудозатратной технологической задачей является процесс механизированной уборки. Из общих трудозатрат и энергозатрат при возделывании на уборку приходится соответственно, около – 35%....70% и 40%...60% [10,21,58,83,90,107].

Принимая во внимание все технологические особенности процесса механизированной уборки картофеля его можно разделить на 3 основных способа [11,12,58]:

- 1) процесс сбора урожая простейшими машинами (картофелекопателями) с дальнейшим ручным подбором урожая;
- 2) процесс сбора урожая копателями-погрузчиками с погрузкой картофеля, во время процесса уборки, в кузов транспортного средства;
- 3) процесс сбора урожая картофелеуборочными комбайнами со сбором клубней в бункер.

В настоящий момент времени самыми перспективными можно считать два последних способа уборки урожая картофеля, так как они имеют большую производительность и лучшее качество работы с одновременным уменьшением затрат труда [12,58,99]. Тем не менее значительные площади под картофелем до сих пор убираются картофелекопателями, что связано с неравномерным уровнем технологического развития отдельных регионов и хозяйств (особенно хозяйств малых форм), с конкретными почвенно-климатическими и погодными условиями уборки и другими факторами.

Природно-климатические условия, влажность почвы, вид и состав почвы, качество собранного урожая (продовольственный, фуражный, семенной), урожайность, время хранения продукции, время выделенное на уборку, обеспечение хозяйства трудовыми и финансовыми ресурсами (позволяющие приобрести различный ассортимент техники для уборки,

переработки и хранения получаемой продукции). Это одни из многих факторов, влияющих на выбор технологии сбора урожая картофеля и на вид применяемой техники.

На сегодняшний день существуют различные технологии машинной уборки картофеля, как универсальные, рассчитанные на повсеместное распространение, так и специализированные, ориентированные на конкретные природно-климатические условия [12, 23, 26,40,86].

Отечественные и зарубежные сельхозпроизводители широко используют два основных способа уборки картофеля: отдельный и поточный [51,53,55,110]. При поточном способе уборки картофеля используются копатели-погрузчики и комбайны. При отдельном способе уборки, в основном, применяются различные копатели. Существует несколько способов уборки картофеля (комбинированный, поточно-перевалочный, отдельный двухфазный и др.), которые не нашли такого широкого распространения, как выше перечисленные [44,54,85]. При выборе технологии уборки картофеля нужно учитывать, что у каждой есть преимущества и недостатки, что ниже рассмотрено более подробно.

В нашей стране уборку картофеля чаще всего ведут элеваторными комбайнами, имеющими бункер для накопления клубней, позволяющий работать некоторое время при отсутствии транспортного средства [39,56].

При малоблагоприятных условиях, и во время сжатых сроков уборки урожая, (это больше подходит к отечественным условиям) наиболее правильным считается использовать технологию уборки с применением комбайнов элеваторного типа [41,69,74,86]. Данный тип машин производит непосредственно во время движения, загрузку рядом идущего транспортного средства без хранения урожая в бункере комбайна. Эта технология позволяет обеспечить большую производительность с одновременным снижением повреждений урожая. Несмотря на плюсы есть так же и минусы, они проявляются в более низкой степени очистки собранного урожая картофеля, из-за этого в технологической цепочке операций появляется дополнительный

цикл, заключающийся в послеуборочной обработке, что повышает себестоимость конечного продукта. Этого типа уборочные машины могут работать в режиме «non-stop» [109,122].

Технология уборки картофеля с одновременной сортировкой реализована на элеваторном комбайне Е-665/4 [111] в результате которой идет разделение собранного картофеля на клубни малого, среднего и крупного размера. Клубни малого размера поступают на складирование в отдельный бункер, а картофель среднего и крупного размера в кузов рядом идущего транспорта. Данная технология сокращает время сортировки на картофелесортировальном пункте и дает возможность после уборки доставлять собранный урожай непосредственно заказчику, экономить на перевозках, транспортируя клубни нужного размера.

Большую эффективность имеет технология уборки картофеля с применением бункерных комбайнов. Данную технологию применяют при благоприятных природно-климатических условиях, когда собранный урожай картофеля поступает на реализацию или хранение навалом. Применяемые в настоящее время картофелеуборочные комбайны имеют бункера массой 2, 3, 4 и более тонны. Разнообразное количество бункеров предоставляет возможность аграриям подбирать комбайн принимая во внимания условия хозяйств в котором им предстоит работать. Для выбора комбайна с определенной емкостью бункера следует учитывать такие факторы как длина гона, применяемые транспортные средства для вывоза собранного урожая, и урожайность на каждом поле. При использовании бункерных машин возможны повышенные повреждения клубней, что является следствием большого количества перегрузок убранный картофеля. Поврежденный картофель преимущественно предназначен для скорой реализации или для переработки [39, 40,84,88,112].

Существует технология уборки с использованием картофелеуборочных машин, имеющих сменные бункера [39,40]. Бункер служит для временного хранения и доставки собранного урожая с поля на

пункт послеуборочной обработки, где проводится выгрузка собранного урожая, очистка клубней от различных примесей, сортировка на фракции, погрузка в тары и транспортировка на хранение. Применение данной технологии помогает снизить объем перевалок урожая, повысить качество сельскохозяйственной продукции благодаря уменьшению его повреждений, увеличить производительность при уборке урожая. Данные виды комбайнов не выпускаются серийно, что в свою очередь ограничивает применение данной технологии в различных хозяйствах.

Технология машинной уборки картофеля с возможностью проведения дополнительной сепарации [49,67,72,85,89,109]. Клубненосный пласт подкапывается, во время прохождения картофелеуборочной техники, и производится его очистка на органах первичной сепарации. После в транспортное средство, оснащенное специальным кузовом идет загрузка убранных клубней, затем проходя через сепаратор примесей, картофельный ворох поступает в бункер накопитель (во время протекания этого процесса транспортное средство находится в движении). По окончании перевозки производится выгрузка на пункт послеуборочной обработки для завершения очистки картофеля от примесей и сортировку.

Технология уборки картофеля комбайном с бункером повышенной вместимости [39,40,109]. Клубни картофеля после накопления в бункере, установленном на комбайне, перегружаются в транспортное средство повышенной вместимости и перевозятся с поля на пункт послеуборочной обработки. На пункте послеуборочной обработки производится окончательная очистка, сортировка и распределение в тару. Благодаря применению представленной технологии происходит уменьшение интенсивности деградации почвенного слоя за счет снижения количества переездов техники по полю. Также уменьшаются затраты на эксплуатируемый парк машин, что связано с сокращением количества транспортных средств, предназначенных для вывоза картофеля с поля, и повышением качества получаемой продукции.

Двухфазная технология уборки картофеля реализуется с помощью копателей-валкоукладчиков и комбайнов подборщиков, а также копателями с ручным подбором клубней [12,119,120]. Технология уборки картофеля с применением копателя - валкоукладчика и подбором клубней комбайном бункерного или элеваторного типа. В этом случае процесс уборки можно осуществлять как отдельным способом, так и комбинированным в зависимости от типа почвы и урожайности культуры [52,85,90,130,132].

Технология с ручным подбором применяется в малых и средних хозяйствах, также при производстве семенного картофеля [43,119,120]. Преимуществом технологии с ручным подбором минимальные повреждения клубней картофеля и возможность проведения уборки в тяжелых почвенно-климатических условиях.

Представленный способ имеет недостатки, связанные с большими потерями клубней, малой производительностью и трудозатратами, возникающими при использовании ручной подборки и загрузки картофеля в транспортное средство [12].

Анализ опыта развитых европейских стран [12,58,90,113,123] показывает, что распределение картофеля в тару на комбайне во время уборки при благоприятных природно-климатических условиях является наиболее целесообразной технологией. Применение данной технологии сокращает количество поврежденных клубней и затраты на дополнительные операции, проводимые на пункте послеуборочной обработке за счет снижения количества перевалок продукции [76]. Современный технический уровень картофелеуборочных машин позволяет расфасовывать, ручным или автоматическим способом, собранный урожай в контейнеры различной емкости, ящики и мешки с последующей доставкой непосредственно заказчику.

Использование различных технологий уборки и соответствующей им картофелеуборочной техники объясняется не только конкретными природно-климатическими условиями, необходимым качеством готовой продукции,

площадью посадки, урожайностью картофеля, но и наличием в хозяйстве трудовых ресурсов, хранилищ и свободных транспортных средств в период уборки [83,85,86,90,131,133]. При выборе технологии уборки картофеля большое значение имеют финансовые возможности агрария, не каждый может себе позволить крупные расходы на покупку техники и им приходится приспособлять технологии под технику, имеющуюся в хозяйстве.

Поэтому в небольших хозяйствах широко распространенным остается способ уборки с применением копателя и последующим ручным подбором.

1.2 Анализ функционирования существующих сепарирующих органов картофелеуборочных машин

Большое внимание было обращено на анализ исследований сепарирующих органов картофелеуборочных машин. Они проводились для выявления перспектив совершенствования картофелеуборочных машин и повышения уровня их эксплуатационных и технологических показателей. Эффективность работы сепарирующего устройства для удаления примесей, сравнимых по размерам с клубнями, совместно с другими условиями, характеризуется отсутствием или незначительным содержанием в ворохе примесей, состоящих из растительного сырья.

Растительные остатки, попадающие на пункт сортировки, вносят трудности в послеуборочную обработку урожая по причине забивания и засорения рабочих органов и механизмов, что приводит к большим трудозатратам. Размер, скорость при ударе, коэффициент восстановления, аэродинамические, гидродинамические и другие свойства относятся к физико-механическим свойствам клубня, которые следует учитывать для интенсификации процесса сепарации. Рассмотрим подробно применяемые в конструкциях машин существующие и перспективные схемно-конструктивные решения рабочих сепарирующих органов.

В многочисленных научных трудах представлены разнообразные

сепарирующие органы и описаны принципы сепарации.

Изучению процесса сепарации почвенного картофельного вороха посвящены работы Борычева С.Н., Бышова Н.В., Верещагина Н.И., Герасимова С.В., Горячкина В.П., Глухих Е.А., Гудзенко И.П., Зиновьева Ю.И., Ерохина М.Н., Камалетдинова Р.Р., Колчина Н.Н., Костенко М.Ю., Крашенникова С.Н., Кривоногова Н.И., Кущева И.Е., Макарова В.А., Максимова Л.М., Мацепуро М.Г., Петрова Г.Д., Полуночева И.М., Врека J и других [11,12,17,19,21,22,28,33,34,43,44,45,46,54,56,57,58,83,85,86,90,107,114, 115,117,118,129].

Основой создания рабочих органов пневматического, гидравлического и механического принципа действия послужили данные исследований рассмотренных выше авторов.

Пневматические и пневмомеханические сепараторы имеют недостатки в виде высоких затрат энергии, малой технологической надежности при обработке вороха с повышенной влажностью вороха, высокого уровня шума, запыленности рабочих мест. Поэтому они не имеют широкого применения [1,135].

Обработка гидравлическими и гидромеханическими отделителями во влажной среде не только обеспечивает высокое качество очистки вороха, содержащего почвенные примеси, налипшие на клубни, но и подготовку продукции к реализации [83]. Однако эксплуатация таких устройств показала, что при массовом поступлении картофеля при уборке, гидроочистка является экономически невыгодной [92].

Ввиду приведенных выше данных подробнее рассмотрим вопрос применения сепарирующих органов механического принципа.

Петров Г.Д. предложил создавать сепараторы для определенного состояния почвы [83]:

- просеивающие устройства для сепарации сыпучей почвы;
- устройства для сепарации, схожих по размерам с картофелем, твердых комков почвы;

-устройства для сепарации влажной почвы;

По назначению, расположению в технологической схеме картофелеуборочной машины и допустимой секундной подаче картофельного вороха сепараторы подразделяют на типы [90,92]:

- сепараторы первичной очистки;
- сепараторы вторичной очистки.

Сепараторы первичной очистки основаны на принципе просеивания проходových частиц или продавливания их через зазоры между прутками. При просеивании отделяются мелкие частицы почвы оптимальной влажности, а влажная липкая почва продавливается между прутками элеватора. Продавливание осуществляется как путем прижатия почвы комкодавiteлем, так и за счет центробежной сепарации [97].

Сепараторы первичной очистки способны выделять в среднем от 70 до 95% примесей в зависимости от почвенно-климатических условий [83].

Основные требования, предъявляемые к рабочим органам данного вида это: высокая производительность до 150 кг/(с*м), низкие потери и повреждения клубней (2-3%), простота конструкции и высокая эксплуатационная надежность, высокая полнота отделения почвы (70-80%) [35,44,57,83].

Сорокин А.А. предложил подразделять существующие сепараторы механического принципа действия на 3 группы, классификация которых представлена [107] на рисунке 1.1: рабочие органы просеивной сепарации, рабочие органы выносной сепарации и рабочие органы комбинированной сепарации.

К основным видам первичных сепараторов картофелеуборочных машин относятся прутковые и клавишные конвейеры, кулачковые и барабанные грохоты а также грохоты, обеспечивающие колебательные движения решет [16,83].



Рисунок 1.1-Классификация сепараторов механического принципа действия [16]

С момента изобретения пруткового элеватора прошло более века, но это не мешает ему быть установленным на многих отечественных и зарубежных картофелеуборочных машинах. Он остается одним из основных рабочих органов для отделения (сепарирования) клубней от почвы и других примесей. Благодаря своей простоте и возможности одновременно с процессом сепарации перемещать пласт вверх при угле наклона около 20° он получил широкое распространение [70,83].

Прутковые конвейеры устанавливаются под углом к горизонту не более 23° , а просвет между прутками находится в пределах 22...25 мм. В

Великобритании и США эти просветы у элеваторов несколько больше [90,104]. Для сохранения части мелких клубней картофеля и меньшего повреждения их величина просвета уменьшается за счет пластмассовых и резиновых покрытий. Применение щеточных отделителей оправдано при большой засоренности камнями и комками [83].

Картофелеуборочная машина, передвигаясь по полю, с перепадами рельефа меняет свое положение относительно горизонта. Если машина имеет боковой наклон, то массы смещаются к одной стороне; если машина наклонена вперед, то они задерживаются; если машина наклоняется назад, то масса перемещается к выход. Элеваторный тип рабочего органа сепарации меньше других восприимчив к таким переменам положения машины.

Вместе со всеми преимуществами прутковый конвейер имеет существенные недостатки: наличие пруткового полотна увеличивает число поверхностей трения, что в конечном итоге приводит к ускорению изнашивания деталей в абразивной среде и увеличению затрат энергии для привода сепарирующего органа. Рабочая ветвь составляет менее 40% общей длины полотна.

Грохоты изначально использовались в горно-обогатительной промышленности, а затем их стали применять в картофелеуборочных машинах, однако в настоящее время почти не используются из-за высоких повреждений и низкой транспортирующей способности. В настоящее время на картофелеуборочных машинах широко применяются прутковые элеваторы [83].

Так же как и многие сепарирующие органы, различные конструкции грохотов имеют свои достоинства и недостатки.

Особенностью грохотов являются решетки, совершающие колебательные движения, которые позволяют менять просветы между прутками, без особых проблем, при помощи смены решет в требуемых диапазонах.

Недостатком грохотов также являются трудность уравнивания

инерционных сил возвратно-поступательных колебаний решет, из-за различного количества поступающей почвы, что вызывает вибрации рамы и снижает надежность конструкции [83,90].

Крупную группу сепарирующих органов составляют кулачковые грохоты. Достоинством данного типа грохотов является то, что в них отсутствуют места усиленного изнашивания, происходит качественная сепарация мелкой почвы от растительных примесей и отсутствие инерционных сил. Существенным минусом является повреждение клубней картофеля.

На ранних этапах в конструкциях картофелеуборочных машин, широкое применение находили барабанные грохоты, имеющие большую надежность, стойкость к изнашиванию, отсутствие неуравновешенных сил и возможность поднимать массу на значительную высоту. Из недостатков можно отметить снижение сепарирующей способности по причине забивания барабана остатками растительной массы и влажной почвой.

Установлено, что при уборке картофеля на сепарирующие органы двухрядной картофелеуборочной машины с одного гектара поступает до 1100 тонн почвы. А примеси почвы и растительных остатков составляют не менее 97% даже при урожайности 300 ц/га [44,58,90,120]. По данным Виноградова В.И., Сорокина А.А. [24,107] прутковые элеваторы способны выделить максимально только 89% почвы при высоком уровне агротехники возделывания и оптимальной влажности. По этой причине данные сепараторы имеют большую роль в процессе уборке, и от того, насколько хорошо они работают, будет зависеть качество сепарации вторичных сепарирующих органов, что в последующем повлияет на повреждаемость и чистоту картофеля в таре.

На среднем и тяжелом суглинке эффективность рабочих органов снижается особенно при повышенной влажности. Этот недостаток решается путем применения при работе сепарирующих органов пруткового типа разного рода интенсификаторов.

1.3 Анализ конструкций интенсификаторов сепарирующих элеваторов

С целью улучшения процесса просеивания компонентов картофельного вороха рабочими органами и повышения сепарирующей способности элеваторов в современных картофелеуборочных машинах применяются различные интенсификаторы. Разработаны способы и схемы пневматического [83], гидравлического и механического принципа действия, а также другие способы разрушения связей почвенных комков [45,47,58, 101,102,108, 116, 117].

Рассмотрим интенсификаторы с механическим типом привода (Рис.1.2.)

Интенсификаторы пруткового элеватора по месту установки можно разделить на 3 типа:

- размещенные между лемехом и элеватором;
- размещенные над поверхностью;
- размещенные под поверхностью.

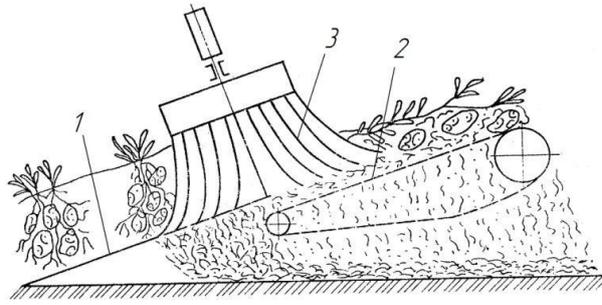
Интенсификаторы сепарации, размещенные между лемехом и элеватором, выполняют в виде пальцев (рисунок 1.3) [4], продольных шнеков с винтовой навивкой (рисунок 1.4) [12], прутковых барабанов (рисунок 1.5б) штифтовых и лопастных битеров (рисунок 1.5а) [12], .

Интенсификаторы сепарации, размещенные над поверхностью пруткового элеватора, выполняют в виде пальцев (рис. 1.6), подвижных экранов и решеток (рис. 1.7) [79] поперечных шнеков с винтовой навивкой (рис. 1.8) [6] и барабанов с центробежной сепарацией (рис. 1.9) [3], наклонных дисков и пайлерных валов (рис. 1.10) [78].

В свою очередь пальчатые интенсификаторы бывают вращающимися дисковыми (рис. 1.6 а) [77], колеблющимися вдоль направления движения элеватора (рис. 1.6 б) [5] и поперек движения элеватора (рис. 1.6 в) [2].

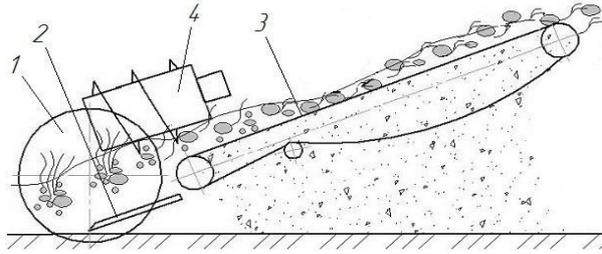


Рисунок 1.2 – Классификация интенсификаторов основного сепарирующего элеватора [127]



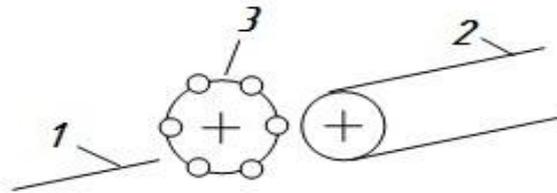
1 – лемех; 2 – элеватор; 3 – пальцы

Рисунок 1.3 – Технологическая схема пальчатого интенсификатора[4]



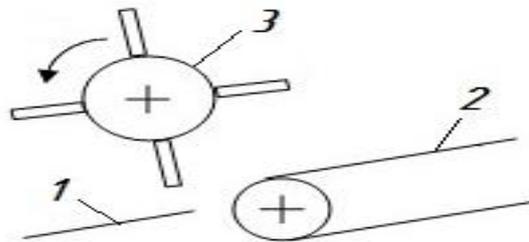
1 –выкапывающий диск; 2 – лемех; 3 – элеватор; 4 –шнек с винтовой навивкой

Рисунок 1.4 – Технологическая схема шнекового интенсификатора



1 – лемех; 2 – элеватор; 3 – прутковый битер

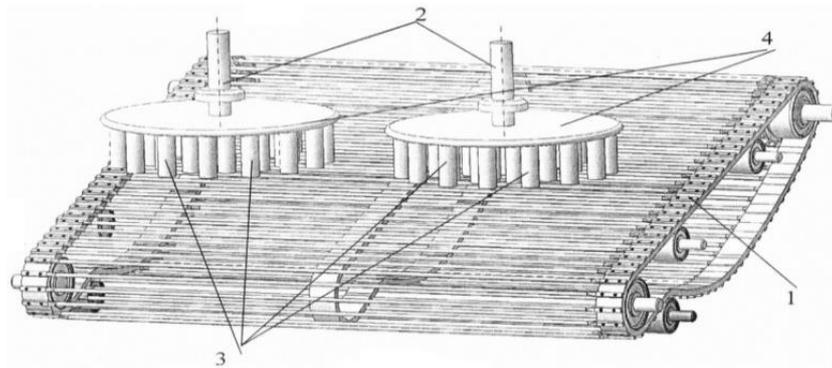
а)



1 – лемех; 2 – элеватор; 3 – штифтовый битер

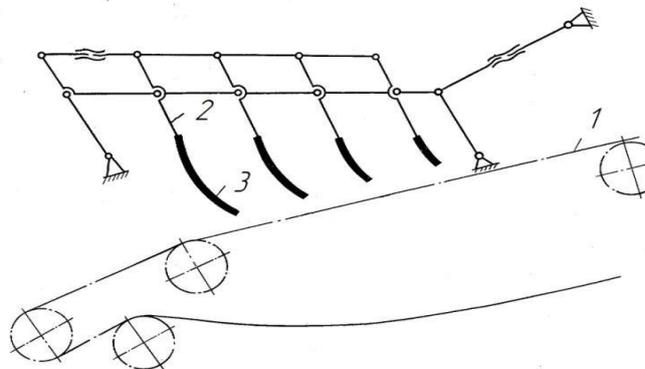
б)

Рисунок 1.5 – Технологическая схема битерных и барабанных интенсификаторов



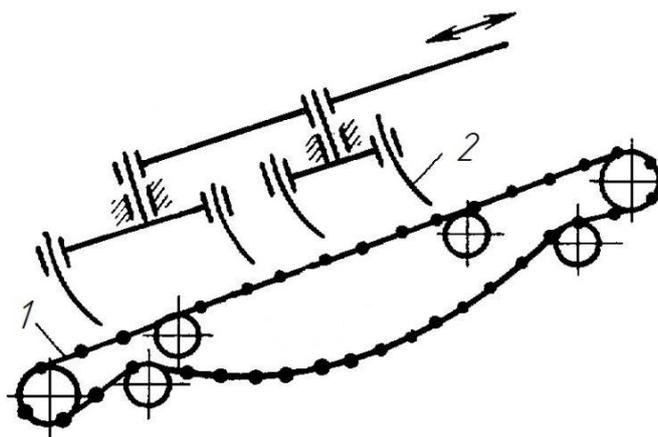
1 – элеватор; 2 – приводной вал; 3 – палец; 4- плоские обрешиненные
диски

a)



1 – элеватор; 2 – палец; 3 – резиновый наконечник

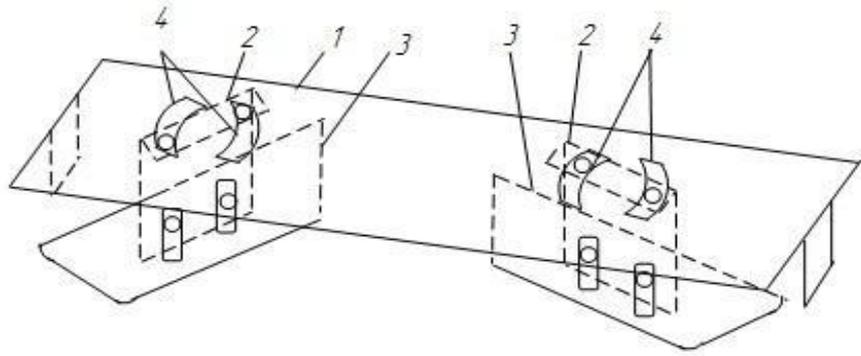
б)



1 – элеватор; 2 – палец

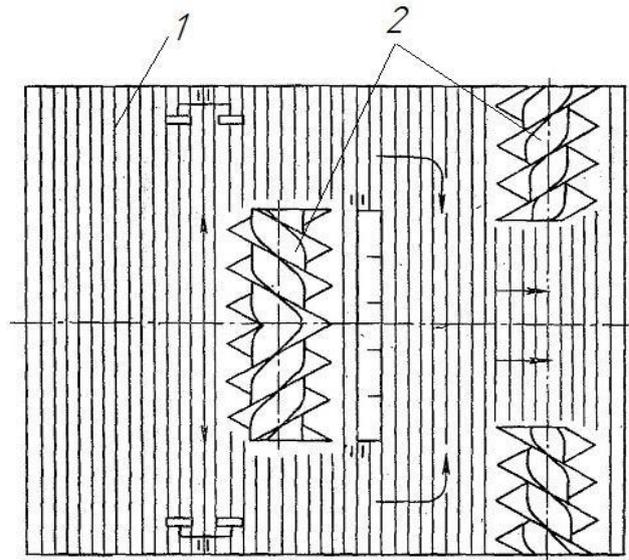
в)

Рисунок 1.6 – Технологические схемы пальчатых интенсификаторов



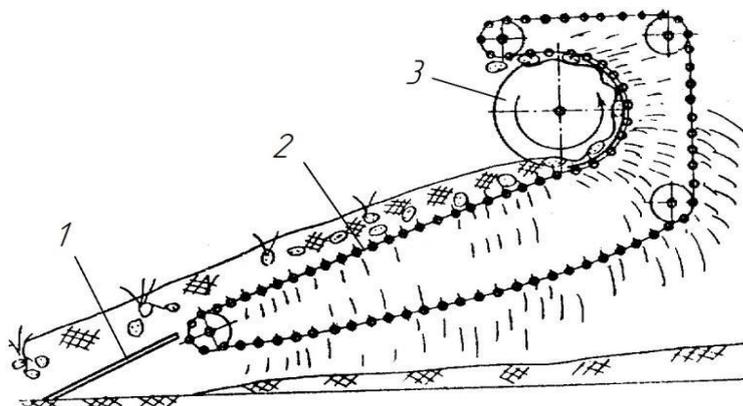
1 – рама; 2 – кронштейн; 3 – экран; 4 – регулировочные отверстия

Рисунок 1.7 – Технологическая схема подвесных экранов[79]



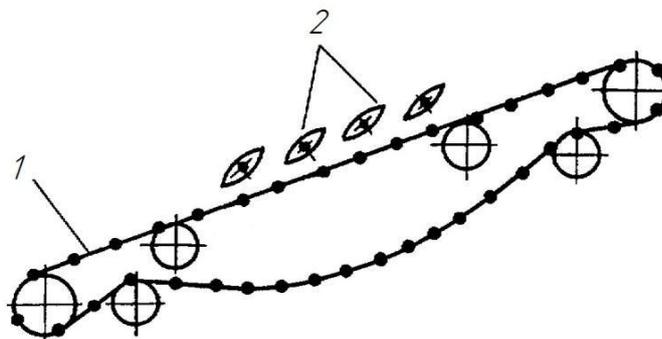
1 – элеватор; 2 – поперечный шнек с винтовой навивкой

Рисунок 1.8 – Технологическая схема шнекового интенсификатора[6]



1 – лемех; 2 – элеватор; 3 – баллон комкодавителя с ребрами

Рисунок 1.9 – Технологическая схема интенсификатора с центробежной сепарацией [3]



1 – элеватор; 2 – диски

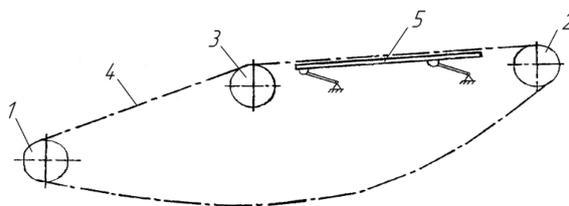
Рисунок 1.10 – Технологическая схема интенсификатора с наклонными дисками или пайлерами [78]

Интенсификаторы сепарации, размещенные под поверхностью пруткового элеватора представляют собой встряхиватели прутков или полотна элеватора, их выполняют в виде грохота (рисунок 1.11а) [82], винтовых поверхностей (рисунок 1.11б) [81], эксцентриковых звездочек приводного вала (рисунок 1.11в) [80] и кулачков на двуплечих рычагах (рисунок 1.11г) [7].

Среди всех интенсификаторов основного элеватора картофелеуборочных машин наибольшее применение получили кулачковые встряхиватели (рисунок 1.11г). Это связано с небольшой стоимостью и простотой конструкции. Наряду с этими плюсами кулачковые встряхиватели имеют и свои минусы, к которым относится невозможность создания высокочастотных колебаний основного элеватора, позволяющих разрушать мелкие почвенные комки [20].

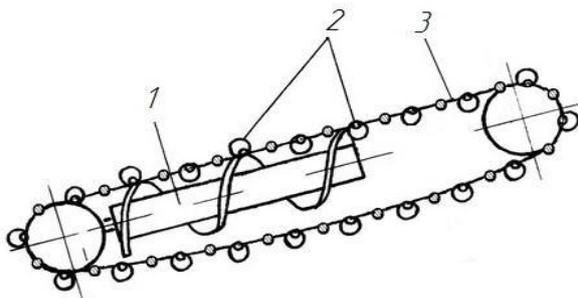
Интенсификаторы с эксцентриковыми звездочками (рисунок 1.11а) имеют недостаток: изменить интенсивность встряхивания возможно только при изменении скорости полотна, что влияет на производительность.

Многочисленные исследования сепараторов показывают, что конкретным почвенно-климатическим условиям соответствует определенный кинематический режим встряхивателей. Интенсивность встряхивания также определяется подачей картофельного вороха и сепарацией проходových частиц.



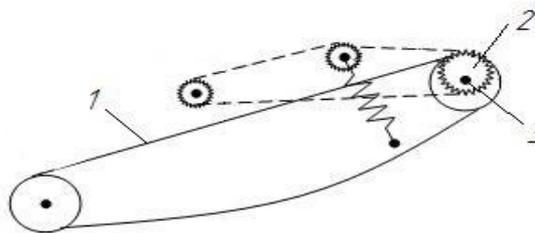
1 – ведомый ролик; 2 – приводной вал; 3 – поддерживающий ролик;
4 – элеватор; 5 – грохот

а)



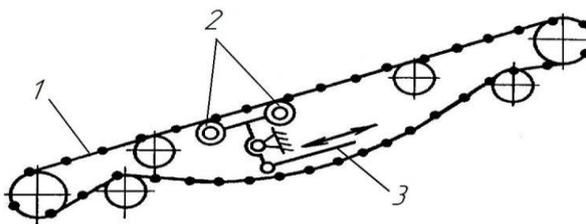
1 – винтовой поверхности; 2 – трубка комбинированного прутка;
3 – элеватор

б)



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

в)



1 – элеватор; 2 – ролики (кулачки); 3 – шатун

з)

Рисунок 1.11 – Технологические схемы интенсификаторов сепарации, размещенных под поверхностью пруткового элеватора

Интенсивность встряхивания с одной стороны зависит от толщины слоя картофельного вороха на сепараторе, с другой стороны достаточным слоем почвы, который предохраняет клубни от повреждений.

Недостаточная загрузка сепарирующего элеватора почвой требует снижения интенсивности встряхивания для исключения повреждений клубней, в некоторых случаях (на сухих песчаных почвах) встряхиватели отключают полностью [20,59].

Шнековый интенсификатор с расположенным под ним элеватором (рисунок.1.8) имеет меньшую сепарирующую способность из-за неполного использования сепарирующей поверхности, так называемых «мертвых зон».

Колесные пальчатые интенсификаторы (рисунок 1.6 б, в) имеют ряд недостатков, к которым относится низкая эффективность по причине расположения интенсификатора в начале элеватора, что ведет к появлению на элеваторе неохваченных зон.

Пальчатые интенсификаторы сепарации с вращательным движением пальцев (рисунок 1.6 а) интенсивно воздействуют на картофельный ворох и имеют широкий диапазон регулирования режимов работы, что увеличивает эффективность отделения примесей за счет разрушения структур в почвенной массе, и перераспределения пласта по площади полотна пруткового элеватора. Увеличение эффективности сепарации картофельного вороха при снижении повреждений клубней возможно благодаря применению предложенного устройства. При этом происходит увеличение эксплуатационной производительности картофелеуборочной машины. Предложенное устройство является универсальным и применимым во многих корнеклубнеуборочных машинах.

Опыт применения картофелеуборочных машин в условиях Центрального Нечерноземья показывает, что применение интенсификаторов размещенных над полотном основного элеватора без привода недостаточно эффективно, поэтому в настоящее время применяют интенсификаторы с приводом в большинстве картофелеуборочных машин [13,75,83,100].

1.4 Анализ теоретических работ по повышению производительности сепарирующих органов картофелеуборочных машин

Проблема повышения производительности сепарирующего органа картофелеуборочных машин не может быть решена без проведения предварительного анализа теоретических разработок в исследуемой области знаний.

Исследованию эксплуатационных показателей и показателей надежности картофелеуборочной техники посвящены работы М.Н. Ерохина, П.М. Волкова, М.М. Тененбаума [33,73,95] и др. Большое внимание уделено инженерно-технологическим и конструкторским методам повышения надежности и производительности картофелеуборочной техники в работах М.Н. Ерохина [33,96].

Надежность - свойство объекта сохранять во времени способность выполнять заданные функции, в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования (ГОСТ 27.002-2015) [30,31]. Данный промежуток времени устанавливается в период проектирования машин и механизмов, является исходным и конечным условием создания механизмов и закладывается в основание единого алгоритма проектирования. Надежность отличается от других показателей (прочности, упругости и т.д.) тем, что она может быть установлена только в результате длительных испытаний. Надежность является составной частью качества изделия.

Тем не менее, сельскохозяйственные машины, как по эксплуатационным условиям, так и конструктивным особенностям во многом отличаются от тех объектов, к которым применяется классическая теория надежности. Очень серьезно этот вопрос стоит в отношении картофелеуборочной техники.

Уровень надежности картофелеуборочной техники не позволяет

полностью механизировать процесс уборки. Механизированная уборка картофеля производится лишь на 45-47% площадей. При уборке картофеля лишь около 56% времени смены комбайн работает, а остальная часть времени уходит на устранение отказов и техническое обслуживание [61,98], что, естественно, сказывается на производительности.

Ремонтопригодностью, долговечностью, сохраняемостью и безотказностью характеризуется надежность узла и его составных частей. Рекомендуемые показатели выбираются исходя из особенностей и предназначения изделия, а также в различных случаях, в полном или частичном объеме.

Надежность всех составных деталей механизма в отдельности является составной частью надежности механизма в целом.

Увеличение надежности машины в целом рассматривается как увеличение надежности ее составных частей, и в рассматриваемом нами варианте это долговечность сепарирующего органа.

В работе [33] представлены данные статистики, указывающие на то, что узлы и детали, представляющие надежность картофелеуборочной техники имеют показатели не более 29 % от общего их количества. Также в работе отмечается многократное увеличение эксплуатационных затрат в виду малой приспособленности комбайнов к ремонтам. Согласно данным [34] примерно 32% деталей и сборочных узлов картофелеуборочных машин имеют среднее время на устранение отказа более 2 часов.

Как говорилось ранее, задачу повышения общей надежности картофелеуборочного комбайна следует рассматривать как задачу повышения надежности его узлов, в нашем случае дискового ворошителя и пруткового элеватора. Также повышение надежности интенсификатора сепарации можно рассматривать как повышение показателей факторов долговечности.

Функция факторов производственно-технологического, эксплуатационного и конструктивного характера является показателем

долговечности интенсификаторов сепарации картофелеуборочных комбайнов. С целью увеличения показателей долговечности возникает необходимость проведения анализа факторов непосредственно влияющих на данный показатель.

К ним относятся места сопряжений элементов конструкции, выполненные с рациональным и конструктивным подходом, действующие эксплуатационные нагрузки, рационально распределенные на элементы конструкции, выбор материала, основанный на рациональном подходе при изготовлении узлов и деталей.

Данные факторы производственно-технологического, эксплуатационного и конструкционного характера влияют на показатели долговечности картофелеуборочных машин и на показатели характеристик, описывающих свойства качества техники, в том числе её производительность.

Рассмотрим и проведем анализ основных исследований по созданию моделей процесса отделения примесей в картофелеуборочных машинах.

Моделированию и исследованиям технологических процессов сельскохозяйственных уборочных машин посвящены научные труды многих ученых, в частности, С.Н. Борычева, Н.В. Бышова, М.Н. Ерохина, В.Е. Зубкова, А.Ю. Измайлова, Н.Н. Колчина, Р.Р. Камалетдинова, М.Ю. Костенко, И.Е. Кущева, А.В. Пасина, Г.Д. Петрова, И.М. Полуночева, К.А. Пшеченкова, Ю.Ф. Скидана, В.Ф. Скробача, В.И. Славкина, А.А. Сорокина, Г.А. Трахтенбройта, М.Б. Угланова, И.А. Успенского [12,18,33,38,40,44,52,58,62,83,85,86,90,105,106,107,114,115,117] и др. Рассмотрим наиболее близкие из них к цели и поставленным задачами исследований в данной работе.

В работе Ю.Ф. Скидана [105] создана математическая модель выращивания сельскохозяйственных культур, которая показывает взаимосвязь множества элементов, представленных в виде технологической системы. Технологическая система является адаптивной, и она показывает

возможность создания оптимальных условий для выращивания растений, и для проверки надежности технологических систем при её создании. Данная модель не берет во внимание особенности культуры картофеля, а рассматривает их в целом, также рассматривается весь технологический процесс возделывания, а к технологии уборки большого внимания уделено не было.

В работе В.Ф. Скробача [106] создана технологическая модель работы линии обработки сельскохозяйственных культур, показывающая более значимые взаимодействия между экономическими и техническими факторами. Данная модель также берет во внимание такие факторы, как организационно-хозяйственные, и природно-климатические условия применения машин. Данная модель показана комплексом технологических звеньев поточной линии, в которую входит п агрегатов, помогающих выявить оптимальное количество звеньев поточной линии и агрегатов, исходя из выполнения заданного объема работ.

В работах Н.В. Бышова, С.Н. Борычева, И.Е. Кущева Г.Д. Петрова, А.А. Сорокина, И.А.Успенского [12,16,62,83,107,115] исследованы фундаментальные основы создания моделей технологического процесса картофелеуборочных машин. В них технологический процесс комбайна представлен как комплекс операций, выполняемых на рабочих органах картофелеуборочных машин в определенной последовательности. Дальнейшее развитие этих моделей продолжили ученики и последователи представленных выше авторов.

В работе профессора И.Е. Кущева [62] проведено изучение вопроса создания технологического процесса картофелеуборочной машины с параллельным расположением сепарирующих органов совместно с последовательным расположением. Так создана «разветвляющаяся» технологическая схема картофелеуборочного комбайна, которая в зависимости от внешних условий может изменить операции технологического процесса. Данная технологическая схема не внедрена в

серийно выпускаемых картофелеуборочных машинах, хотя имеет оригинальные и эффективные в определенных условиях решения.

Профессором И.А. Успенским [115] разработана модель технологического процесса картофелеуборочной машины. Функционирование уборочной машины представлено в виде динамической системы с большим количеством входных и выходных параметров которое происходит в непрерывно изменяющихся воздействиях внешнего характера. Входные параметры устанавливаются условиями эксплуатации уборочной техники, они зависят от технологии возделывания картофеля, вида и состояния почвы, свойств собираемой культуры и многих других факторов. Принимая во внимание, что в одном ряду с определенными факторами внешнего характера, воздействие, которых на выходные факторы оценивают детерминистическими методами, определенное воздействие на технику оказывают факторы случайного характера. Говорится, что для синтеза и анализа подобных систем возможно применение комбинированных (механико-статистических) методов, основа которых заключается в совместном применении аналитических (механико-математических) и вероятностно-статистических методов, фундамент последних основан на построении математических моделей, повторяющих работу реальных объектов.

Профессор И.А. Успенский предложил в основу модели то, что технологический процесс картофелеуборочной техники, возможно, показать в виде системы, у которой есть вектор-функции входных X , выходных Y , возмущающих воздействий Z и управляющих U . Благодаря применению воздействия, которое управляет параметрами технологического процесса, на выходе необходимо получить соответствие предъявленным агротехническим требованиям [115].

Процесс сепарации частиц является наиболее сложной проблемой в уборке картофеля, им занимались ведущие ученые.

Процесс сепарации М.Л. Летошнев представлял как многократные «примерки» по калибрующему признаку, который реализуется при сочетании сразу нескольких случайных факторов, учитывая вероятностный характер сепарации. Вероятность прохода частиц в этом случае определялась их расположением в границах площади отверстия, причем в пределах одного отверстия вероятность принималась равной [127].

Ученые Е.А. Непомнящий, В.М. Цециновский, В. Фишер [58,121,127] процесс сепарации представляли состоящим из двух фаз, происходящих одновременно. Во время первой фазы частиц с большей плотностью перемещались из верхних слоев в нижние, во время второй фазы просеиваются проходные частицы.

Для определения полноты сепарации частиц из слоя Е.А. Непомнящим [58,127] предложена формула:

$$\varepsilon = 1 - \frac{T}{e^{\tau_0}} \quad (1.1)$$

где: ε – полнота сепарации частиц из слоя;

T – время процесса сепарации, с;

τ_0 – постоянная времени процесса сепарации.

Для обоснования параметров сепаратора М.Е. Мацепуро исследовал закономерности просеивания почвы по длине элеватора [68]. В качестве характеристики процесса сепарации ε он предложил использовать показательную функцию:

$$\varepsilon = 1 - Q_0^{-(\alpha_1 x + 1)} \quad (1.2)$$

где: Q_0 – подача картофельного вороха на элеватор, кг;

α_1 – коэффициент, зависящий от типа и состояния почвы;

x – длина элеватора, м.

Для характеристики сепарации А.А. Сорокиным [107] введено понятие относительного коэффициента сепарации ξ :

$$\xi = \frac{Q_{max} - Q}{Q_{max}} \quad (1.3)$$

где: Q_{max} – подача картофельного вороха, кг/сек;

Q – сход картофельного вороха с элеватора, кг/сек.

Г.Д. Петров [83] предложил определять коэффициент полноты сепарации η при движении компонентов картофельного вороха в «один слой» по формуле:

$$\eta = 1 - l^{-k_2 T} + (1 - W) \cdot \frac{k_2}{k_2 - k_3} \cdot (l^{-k_2 T} - l^{-k_3 T}) \quad (1.4)$$

где: W – относительное содержание мелкой почвы в картофельном ворохе, %;

T – время процесса сепарации, с;

k_2 – коэффициент способности почвы к просеванию;

k_3 – коэффициент разрушаемости почвенных комков.

В работах В.И. Шляхетский [125] предложено для прогнозирования схода $Q_{сх}$ картофельного вороха использовать первоначальную подачу поступающего на элеватор вороха Q_0 .

$$Q_{сх} = Q_0 \cdot k_{\eta} \cdot k_4 \cdot k_5 \quad (1.5)$$

где: k_{η} – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства почвы;

k_4, k_5 – коэффициенты усиления.

В.Е. Шишин [124] при исследовании процесса сепарации картофельного использовал закон сохранения массы, учитывая баланс проходových и непроходových частиц для любого промежуточного участка элеватора. Определение общей выходной массы $\Delta M_{вх}$ для данного участка производилось по формуле:

$$\Delta M_{вх} = \Delta M_n + \sum_i^{n-1} \Delta M_{вх} \quad (1.6)$$

где: ΔM_n – масса потока промежуточного участка, кг;

$\Delta M_{вх}$ – выходная масса промежуточного участка, кг.

Анализ вышеизложенных работ показал, что вероятностно-статистические методы наиболее точно отражают физическую сущность сепарации клубненосного вороха.

В тоже время ряд авторов Борычев С.Н., Бышов Н.В., Верещагин Н.И., Горячкин В.И., Колчин Н.Н., Кривоогов Н.И., Кущев И.Е., Летошнев Н.М, Мацепуро М.Е., Петров Г.Д., Сафразбемян О.А., Сорокин А.А, Угланов М.Б., Фирсов Н.В. и др. [12,14,16,21,28,52,62,68,83,107,114,118] отмечают зависимость сепарации от кинематических режимов сепарирующих рабочих органов. Интенсивность сепарации почвы ими характеризуется двумя условиями: движением вороха с отрывом и допустимой величиной подбрасывания над поверхностью сепарирующего рабочего органа из-за возможных повреждений клубней картофеля. Движение компонентов картофельного вороха с отрывом обеспечивается, когда вертикальная составляющая ускорения g_n больше ускорения свободного падения:

$$g_n > g, \quad (1.7)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

Н.В. Фирсовым [118] определена минимальную скорость v_{min} полотна движения элеватора с эллиптическими встряхивателями:

$$v_{min} = \pi \cdot \sqrt{a \cdot \cos \alpha} \quad (1.8)$$

где: a – больший радиус эллиптической звездочки, м.

Г.Д. Петров предложил выражение для определения минимальной скорости полотна элеватора, обеспечивающей отрыв частиц: [83]

$$v_{min} = \sqrt{\frac{g \cdot a}{(1-c)^2}} \quad (1.9)$$

где: c – отношение меньшего радиуса эллиптической звездочки к большему.

Кривоогов Н.И предложил зависимость для определения скорости истечения почвы через прутковые элеваторы и грохоты [59]:

$$v_n = \frac{a \cdot Q^b}{\rho} \quad (1.10)$$

где: a и b -коэффициенты зависящие от почвы;

Q^b -подача картофельного вороха, кг/с

ρ -плотность почвы, кг/м³.

Интенсивность сепарации определял по формуле:

$$q = a \cdot Q_H^b \cdot \left[1 - \frac{a \cdot (1-b) \cdot B \cdot l}{Q_H^{1-b}} \right]^{\frac{b}{1-b}} \quad (1.11)$$

где: Q_H^b – начальная подача картофельного вороха, кг/с.

При регулировании подачи клубненосного вороха на сепарирующие рабочие органы картофелеуборочных машин следует руководствоваться толщиной почвенной прослойки между элеватором и клубнями, которая во многом зависит от влажности почвы. Увеличение скорости картофелеуборочного комбайна способствует снижению повреждений клубней, так как увеличивается толщина амортизирующей почвенной прослойки на сепарирующих рабочих органах. E. Spiess [136] ,. C.L. Paterson, I. Brecka [129,134] выяснили, что процент поврежденных клубней существенно увеличивается при отклонении от оптимальной скорости агрегата.

1.5 Постановка задач исследования

На основании данных проведенного анализа, можно сделать вывод, что производительность прутковых элеваторов во многом ограничивается возможностью повышения интенсивности сепарации применительно к конкретным условиям. Одним из перспективных путей совершенствования разделения компонентов вороха является использование интенсификаторов различных типов, в том числе приводных ворошителей, расположенных над поверхностью сепарирующего элеватора. Поэтому целью работы является повышение производительности картофелеуборочных машин путем обоснования параметров дискового ворошителя сепарирующего элеватора.

В соответствии с поставленной целью были определены дальнейшие задачи исследований:

- теоретически обосновать параметры дискового ворошителя сепарирующего органа картофелеуборочных машин;

- экспериментально уточнить рациональные значения параметров дискового ворошителя сепарирующего органа картофелеуборочных машин;
- оценить функционирование картофелеуборочной машины, оснащенной сепарирующим элеватором с дисковым ворошителем, в рамках полевых исследований;
- оценить технико-экономический эффект внедрения картофелеуборочных машин, оснащенных дисковым ворошителем.

Выводы к главе 1

1. Выявлено, что на сегодняшнее время прутковый элеватор является наиболее эффективным сепаратором, работающим по принципу просеивания.
2. На основании проведенного анализа интенсификаторов сепарации пруткового элеватора установлена необходимость новых исследований по их совершенствованию с целью повышения производительности.
3. Выявлено что повышение производительности сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин в различных климатических и почвенных условиях достигается применением интенсификаторов, оснащенных приводом для равномерного распределения вороха по рабочей зоне сепаратора.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВОГО ВОРОШИТЕЛЯ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

2.1 Исследование эффективности интенсификаторов сепарирующих элеваторов по воздействию на компоненты картофельного вороха

С целью улучшения процесса разделения компонентов картофельного вороха рабочими органами и повышения сепарирующей способности элеваторов в современных конструкциях картофелеуборочных машин применяются средства для разрушения комков и связей – интенсификаторы. Разработаны способы и схемы пневматического [83], гидравлического и механического принципа действия, однако наибольшее распространение получили рабочие органы механического принципа действия из-за низких энергозатрат [45,47,58,83, 101,108, 116, 117].

Интенсификаторы пруткового элеватора подразделяются по месту установки:

- размещенные над поверхностью;
- размещенные под поверхностью.

В качестве модели для исследования силового воздействия на компоненты картофельного вороха рассмотрим частицу, расположенную на двух прутках полотна элеватора. Для обеспечения просева частиц необходимо обеспечить условия:

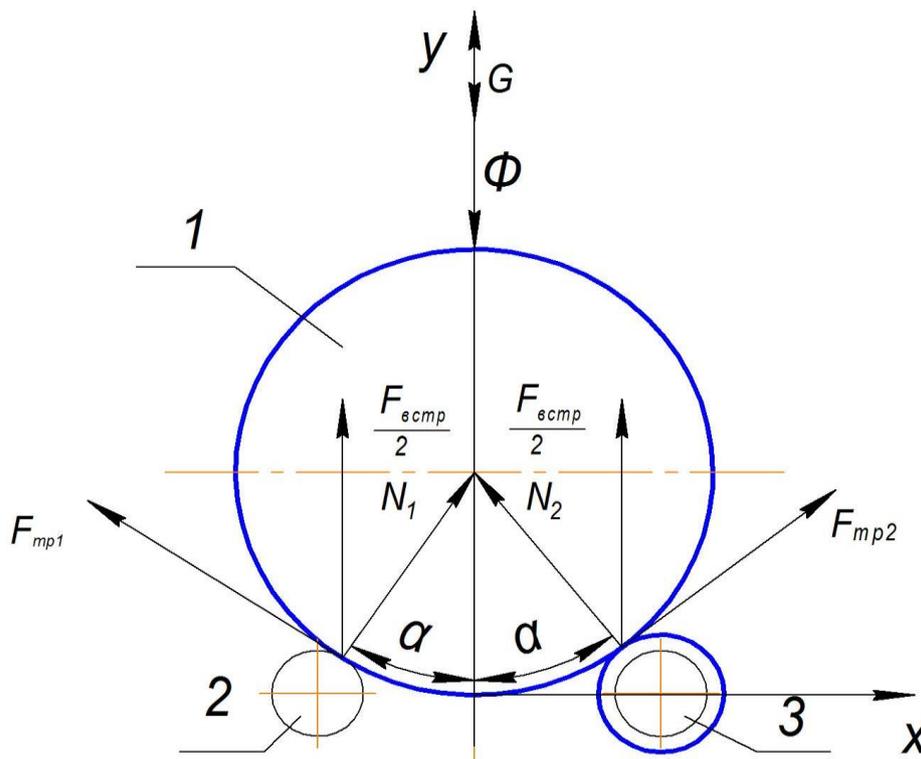
1.Чтобы размер частицы соответствовал величине просвета между прутками

2.Обеспечить переориентацию (движение) частицы относительно прутков.

Рассмотрим компонент картофельного вороха, который перекрывает просвет между прутками элеватора, и исследуем необходимую величину

силы для обеспечения движения частицы при различных способах интенсификации. Интенсификаторы, работающие на принципе подбрасывания полотна элеватора вместе с картофельным ворохом называют встряхивателями, для подбрасывания только картофельного вороха применяют комбинированные прутки [58]. Раздавливание комков в зазоре между прутками элеватора осуществляют при помощи комкодавителей и центробежной сепарации [58]. Для смещения компонентов картофельного вороха по полотну элеватора над ним устанавливают ворошители и шнеки [65,77].

Рассмотрим усилие нагружения компонента картофельного вороха при работе встряхивателей (рисунок 2.1).



1-компонент картофельного вороха, 2-пруток, 3-обрезиненный пруток

Рисунок 2.1 – Расчетная схема к определению усилий воздействия на компонент картофельного вороха при работе встряхивателя полотна элеватора.

Так как ускорения встряхивания полотна элеватора известны, применим принцип Даламбера и введем силу инерции Φ . При подбрасывании частицы с помощью встряхивателей полотна элеватора уравнения равновесия выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned}\sum F_{kx} &= 0, N_1 \sin \alpha - N_2 \sin \alpha - F_{mp1} \cos \alpha + F_{mp2} \cos \alpha = 0 \\ \sum F_{ky} &= 0, F_{встр} - \Phi - G + N_1 \cos \alpha + F_{mp1} \sin \alpha + N_2 \cos \alpha + F_{mp2} \sin \alpha = 0 \\ F_{mp1} &= f \cdot N_1, F_{mp2} = f \cdot N_2\end{aligned}\quad (2.1)$$

где: N_1, N_2 – силы реакции опор компонента картофельного вороха, Н;

F_{mp1}, F_{mp2} – сила трения о трубку комбинированного прутка, Н;

f – коэффициент трения прутка о компонент картофельного вороха;

α – угол контакта компонента с прутка, град;

Φ – сила инерции компонента картофельного вороха, Н;

G – вес компонента картофельного вороха, Н.

Допустив, что клубень располагается на прутках элеватора симметрично, имеем

$$N_1 = N_2 = N \quad (2.2)$$

Тогда выражение (2.1) можно записать в виде

$$\begin{aligned}\sum F_{ky} &= 0, F_{встр} - \Phi - G + 2N \cos \alpha + 2F_{mp} \sin \alpha = 0 \\ F_{mp1} &= f \cdot N_1, F_{mp2} = f \cdot N_2\end{aligned}\quad (2.3)$$

Преобразуем выражение (2.3)

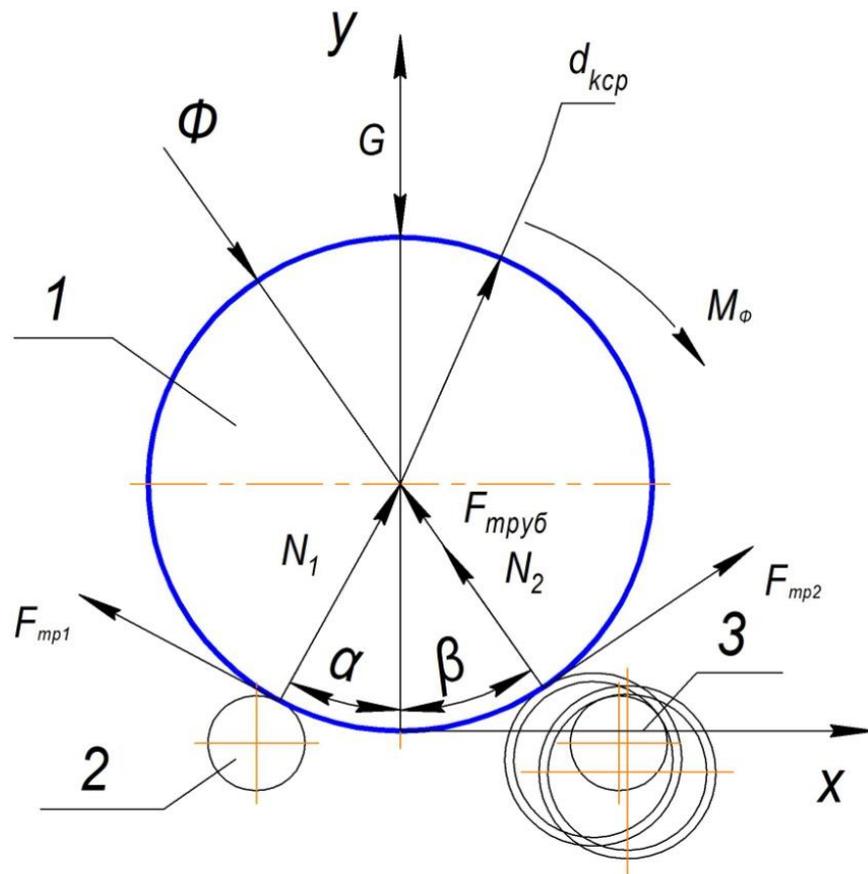
$$F_{встр} = m \cdot a + m \cdot g - 2N \cos \alpha - 2F_{mp} \sin \alpha \quad (2.4)$$

Учитывая, что при подбрасывании частицы значение реакций опор равно нулю окончательно имеем

$$F_{встр} = m \cdot (a + g) \quad (2.5)$$

Применение элеватора с комбинированными прутками предполагает уменьшение энергозатрат на разрушение компонентов картофельного вороха и их переориентацию, так как при этом подбрасывается не все полотно, а

только комбинированные прутки вместе с расположенными на них ворохом (рисунок 2.2).



1-компонент картофельного вороха, 2-пруток, 3-комбинированный пруток

Рисунок 2.2 – Расчетная схема к определению усилий воздействия на компонент картофельного вороха при работе комбинированных прутков элеватора

Рассмотрим равновесие компонента, расположенного на элементе полотна с комбинированными прутками:

$$\sum F_{kx} = 0, N_1 \sin \alpha - N_2 \sin \beta - F_{mp1} \cos \alpha + F_{mp2} \cos \beta + \Phi \sin \beta - F \sin \beta = 0$$

$$\sum F_{ky} = 0, -G + F_{mp1} \sin \alpha + F_{mp2} \sin \beta + N_1 \cos \alpha + N_2 \cos \beta + F_{пруб} \cos \beta - \Phi \cos \beta = 0$$

$$\sum M = 0, F_{mp2} \cdot R - F_{mp1} \cdot R - M_\phi = 0$$

(2.6)

где: $F_{\text{труб}}$ - сила воздействия трубки комбинированного прутка на ком
картофельного вороха, Н;

M_{Φ} – момент сил инерции, Нм;

$$M_{\Phi} = \varepsilon \cdot I \quad (2.7)$$

I – момент инерции компонента картофельного вороха (шара), кгм²;

$$I = \frac{2}{5} \cdot m \cdot R^2 \quad (2.8)$$

R - радиус компонента, м;

ε - угловое ускорение компонента, рад/с²

$F_{\text{тр}2}$ – сила трения о трубку комбинированного прутка, Н;

f_2 - коэффициент трения компонента о трубку комбинированного
прутка;

β - угол контакта компонента о трубку комбинированного прутка, град.

Момент сил инерции с учетом выражений (2.7) и (2.8) выглядит
следующим образом

$$M_{\Phi} = \frac{2}{5} \cdot m \cdot a \cdot R \quad (2.9)$$

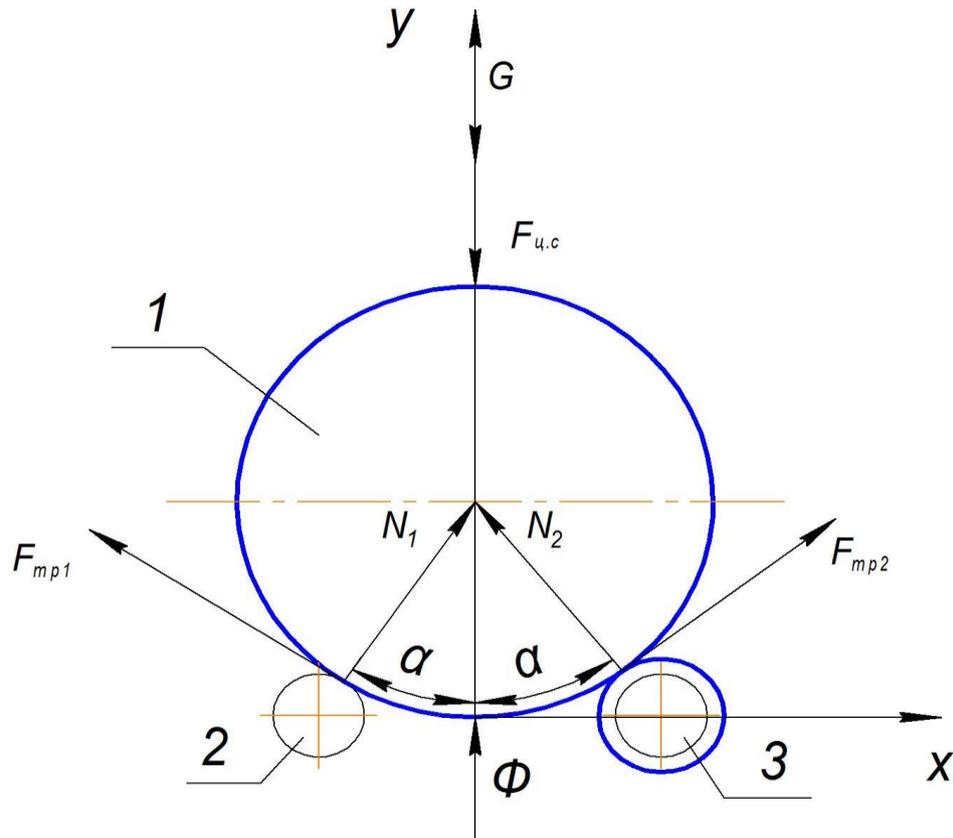
Выразим величину $F_{\text{труб}}$. Окончательно получим:

$$F_{\text{труб}} = \frac{m \cdot g}{\cos \beta} + m \cdot a \cdot \left(1 - \frac{2}{5} \cdot \text{tg} \beta - \frac{2}{5 \cdot f_2}\right) - N_1 \cdot \left(f_1 \cdot \sin \alpha + f_1 \cdot \sin \beta + \cos \alpha + \frac{f_1}{f_2} \cdot \cos \beta\right) \quad (2.10)$$

Максимальные значения силы $F_{\text{труб}}$ будут при максимальных
значениях угла β . Предельное значение угла β стремится к α . Приравняв α
и β и учитывая, что при подбрасывании силы реакции опор компонента
картофельного вороха равны нулю, максимальная величина необходимого
усилия будет выглядеть следующим образом

$$F_{\text{труб}} = \frac{m \cdot g}{\cos \alpha} + m \cdot a \cdot \left(1 - \frac{2}{5} \cdot \text{tg} \alpha - \frac{2}{5 \cdot f_2}\right) \quad (2.11)$$

Рассмотрим силовое взаимодействие при работе элеватора с центробежной сепарацией (рисунок 2.3)



1-компонент картофельного вороха, 2-пруток, 3-обрезиненный пружок

Рисунок 2.3 – Расчетная схема к определению усилий воздействия на компонент картофельного вороха при работе элеватора с центробежной сепарацией

Под влиянием центробежной силы сепарации уравнение равновесия будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \sum F_{kx} &= 0, N_1 \sin \alpha - N_2 \sin \alpha - F_{мп1} \cos \alpha + F_{мп2} \cos \alpha = 0 \\ \sum F_{ky} &= 0, \Phi - F_{ц.с} - G + N_1 \cos \alpha + F_{мп1} \sin \alpha + N_2 \cos \alpha + F_{мп2} \sin \alpha = 0 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Отсюда

$$\begin{aligned}
 N_1 &= N_2 = N \\
 F_{\text{цс}} &= \Phi + 2N \cos \alpha - G
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

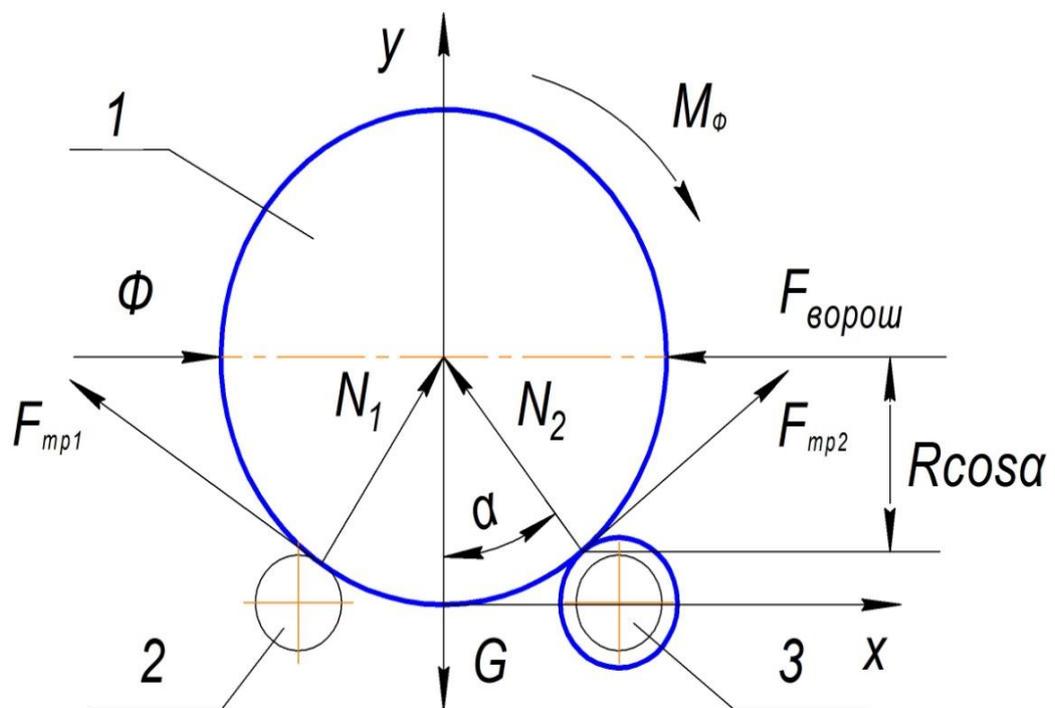
Преобразовав, получим

$$F_{\text{цс}} = m \cdot a + m \cdot g - 2N \cos \alpha
 \tag{2.14}$$

Учитывая, что максимальное усилие прижатия компонента к прутками ограничивается прочностными свойствами компонента, приравняем опорные реакции к усилию разрушения

$$F_{\text{цс}} = m \cdot (a + g) + F_{\text{разруш}}
 \tag{2.15}$$

Ворошитель осуществляет перемещение компонента картофельного вороха вдоль полотна элеватора (рисунок 2.4).



1-компонент картофельного вороха, 2-пруток, 3-обрезиненный пруток

Рисунок 2.4 – Расчетная схема к определению усилий воздействия на компонент картофельного вороха при работе ворошителя, установленного над полотном элеватора.

При работе ворошителя уравнение равновесия будут иметь вид:

$$\begin{aligned}\sum X &= (N_1 - N_2) \cdot \sin \alpha + (F_{mp1} - F_{mp2}) \cdot \cos \alpha - F_{вор} + \Phi = 0 \\ \sum Y &= (N_1 - N_2) \cdot \cos \alpha + (F_{mp1} + F_{mp2}) \cdot \sin \alpha - G = 0 \\ \sum M &= -M_\phi - F_{mp1} \cdot R + F_{mp2} \cdot R = 0\end{aligned}\tag{2.16}$$

Выразим значение усилия пальца ворошителя для нарушения равновесия – начала движения компонента.

$$F_{вор} = (N_1 - N_2) \cdot \sin \alpha + (F_{mp2} - F_{mp1}) \cdot \cos \alpha + \Phi\tag{2.17}$$

Окончательно имеем

$$F_{вор} = m \cdot a \cdot \left(\frac{2}{5} \cdot \cos \alpha - \frac{2}{5 \cdot f} \cdot \sin \alpha + 1 \right)\tag{2.18}$$

Для анализа возможных способов интенсификации сепарации сравним выражения для возмущающей силы, которая обеспечивает движения – формулы (2.5), (2.11), (2.15), (2.18).

Наибольшее усилие необходимо для реализации способов, связанных с раздавливанием компонентов (формула 2.15). При этом способе необходимо учитывать не только усилие разрушения комков, но и прочностные свойства клубней, чтобы не вызывать повреждения картофеля. Данные способы интенсификации весьма чувствительны к изменению загрузки и при увеличении подачи могут приводить к значительным повреждениям картофеля.

Анализ способов, связанных с применением встряхивателей и комбинированных прутков (формулы 2.5 и 2.11), показывает, что данные устройства менее энергоемки, чем комкодаватели и устройства центробежной сепарации. На энергозатраты при работе встряхивателей помимо массы подбрасываемого картофельного вороха будет влиять масса полотна элеватора. Следует отметить, что данный способ интенсификации наиболее универсален, позволяет улучшить сепарацию и разрушать почвенные комки.

Элеваторы с комбинированными прутками локально воздействуют на картофельный ворох в зоне расположения интенсификатора и не требуют подбрасывания всего полотна элеватора. В результате вращения трубок комбинированных прутков происходит не только подбрасывание компонентов, но и ускорение движения проходových частиц почвы в зазоре между прутками.

Наименьшее усилие требуется для интенсификации сепарации почвы с помощью ворошителя, установленного над полотном элеватора (сравнение формул 2.5, 2.11, 2.15, 2.18). Данный способ возможно применять для разрушения комков при увеличении скорости воздействия ворошителя. Поэтому для разрушения комков применяют вращающиеся навстречу потоку картофельного вороха активаторы. Следует отметить, что эффективная работа любых интенсификаторов возможна при оптимальной загрузке рабочих органов почвой, так как значительное увеличение массы компонентов существенно увеличит энергозатраты на сепарацию почвы [65].

Интенсификация сепарации позволяет обеспечить перемещение компонентов относительно полотна, их разрушение и способствует просеву проходových частиц почвы. Применение ворошителей, установленных над полотном элеватора, обеспечивает снижение энергозатрат для сепарации почвы. Таким образом, для интенсификации сепарации почвы на элеваторах следует сосредоточиться на исследованиях параметров и режимов ворошителей, установленных над полотном элеватора.

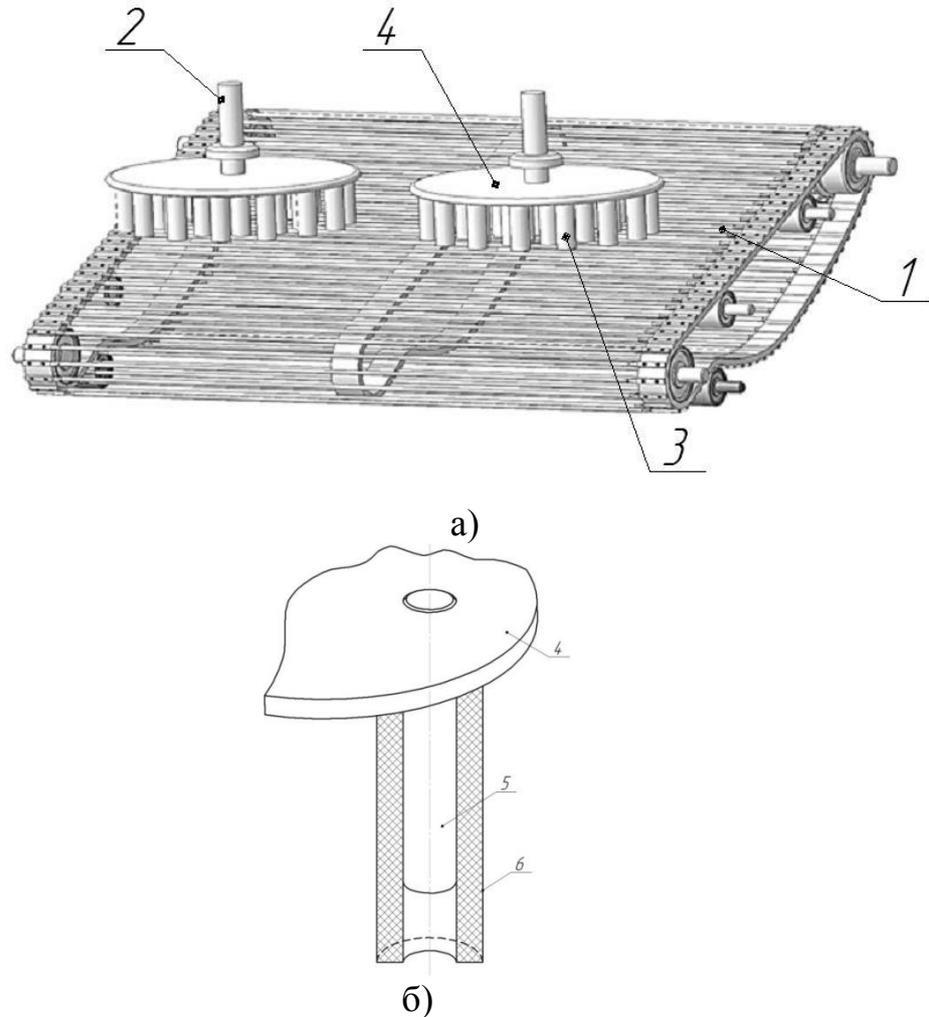
2.2 Схема дискового ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины

На основании работ Г.Д. Петрова, Г.К. Рембаловича, А.А. Сорокина, [64,83,94,99,107] можно сделать вывод о неравномерности распределения клубненосного вороха по ширине сепарирующего элеватора. В результате происходит ухудшение сепарации почвы, и увеличение нагрузки на

последующие рабочие органы. Для решения этой проблемы было предложено применение в конструктивно-технологической схеме сепарирующего элеватора дискового ворошителя.

Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины (рисунок 2.5) содержит сепарирующий элеватор 1 и установленные над ним дисковые ворошители 2 сепарации с размещенными на них пальцами 3, причем ворошители 2 выполнены в виде плоских обрезиненных дисков 4, вращающихся вокруг своих осей в плоскостях, расположенных под острыми углами к плоскости рабочей ветви элеватора 1, а пальцы 3 выполнены в виде металлических стержней 5 (рисунок 2.5) с закрепленными на них резиновыми трубками 6, с возможностью изменения длины свободного конца трубки 6 на металлическом стержне 5[37] (Приложение А).

Устройство работает следующим образом. Картофельный ворох с подкапывающего рабочего органа (на рисунке не показан) поступает на полотно сепарирующего элеватора 1. По мере продвижения совместно с полотном элеватора происходит сепарация части примесей и их удаление сквозь просветы между прутками полотна, но этот процесс не всегда протекает достаточно эффективно. В момент начала контакта дискового ворошителя с картофельным ворохом в последний плавно внедряются пальцы, которые закреплены консольно на нижней стороне дисков ворошителя. Плавность входа пальцев в пласт обеспечивается за счет того, что пальцы выполнены в виде резиновых трубок, закрепленных на металлических стержнях. Поскольку пальцы выполнены с возможностью изменения длины свободного конца трубки на металлическом стержне, при изменении погодных условий, обеспечивается щадящее воздействие и снижение повреждений клубней картофеля. Возможность изменения жесткости пальцев повышает эффективность сепарации за счет разрушения локальных структурообразований в ворохе и его перераспределения по площади пруткового элеватора[37].



1 – сепарирующий элеватор, 2 – дисковый ворошитель; 3 – палец; 4 – резиновый диск;
5 – металлический стержень; 6 – полимерная трубка

Рисунок 2.5 – Сепарирующий элеватор с дисковыми ворошителями:
а) вид общий, б) рабочий элемент (палец) дискового ворошителя[37].

2.3 Обоснование геометрических параметров дискового ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины

Для обоснованного выбора параметров предлагаемого сепаратора необходимо проведение теоретических исследований, направленных на изучение траекторий движения компонентов картофельного вороха.

Примем следующие допущения: срез гребня имеет форму перевернутой параболы; клубненосный ворох имеет однородную структуру во всех точках; компоненты клубненосного вороха движутся вместе с

рабочей поверхностью пруткового элеватора скольжения; уборочный агрегат движется с постоянной скоростью; диски ворошителя вращаются равномерно.

Учитывая, что полотно элеватора движется равномерно с постоянной скоростью V_n , диски с упругими пальцами, будут вызывать относительное перемещение компонентов картофельного вороха по полотну. Исследуем движение компонентов картофельного вороха в подвижной системе координат, движущейся со скоростью элеватора (рисунок 2.6).

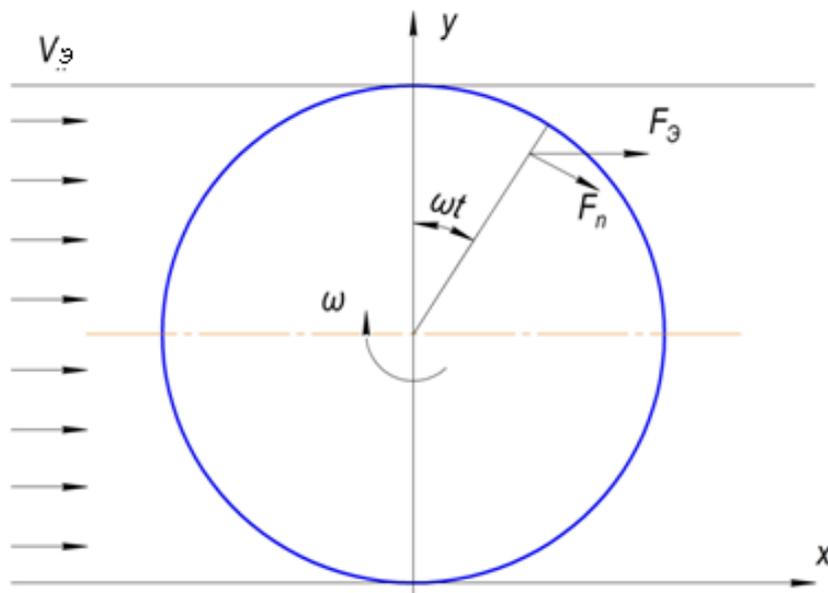


Рисунок 2.6 - Схема к определению закона движения компонентов картофельного вороха под действием дискового ворошителя

Так как, картофельный ворох неравномерно распределён по ширине полотна элеватора [66], то усилия, действующие на пальцы ворошителя, меняются по ширине полотна. Для предотвращения сгуживания массы между полотном элеватора и интенсификатором, рамка с дисковым ворошителем выполнена с возможностью подъёма.

При проведении исследования введем следующие допущения:

- не учитываем вертикальные перемещения компонентов вороха, ввиду его незначительной высоты;
- силы сопротивления движению упругих пальцев ворошителя в

ворохе определяются площадью взаимодействия;

- взаимодействие вороха с полотном элеватора определяется силами трения, зависящими от высоты вороха.

Рассмотрим взаимодействие дисковых ворошителей с картофельным ворохом (рис. 2.3). Учитывая, что дисковые ворошители располагаются каждый в своей рабочей зоне по ширине полотна, рассмотрим один диск с упругими пальцами.

Запишем дифференциальные уравнения движения компонентов картофельного вороха по элеватору:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_э + F_n \cos(\omega t) \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = -F_n \sin(\omega t) \end{cases} \quad (2.19)$$

где: $F_э$ – усилие воздействия элеватора на картофельный ворох, Н;

m – масса компонента вороха, кг;

F_n – усилие воздействие пальца дискового ворошителя на компоненты картофельного вороха, Н;

ω – угловая скорость дисковых ворошителей, c^{-1} .

Исследованиями установлено, что картофельный ворох неравномерно распределяется на элеваторе картофелеуборочной машины, повторяя форму картофельной грядки. Допустим, что распределение картофельного вороха по ширине описывается полиномом вида:

$$h = A + B \cdot b + C \cdot b^2 \quad (2.20)$$

где: A, B, C – коэффициенты зависящие от почвенно климатических условий;

h – высота картофельного вороха на элеваторе, м;

b – ширина распределения картофельной грядки на элеваторе, м.

Учитывая, что размер дисковых ворошителей равен ширине распределения картофельной грядки на элеваторе, можно записать:

$$b = r \cdot \cos(\omega t) \quad (2.21)$$

где: r – радиус расположения пальцев на дисковых ворошителях, м;

t – время поворота дисков с пальцами от начального положения, с.

Тогда усилие сопротивления пальцев дискового ворошителя определится выражением:

$$F_n = k \cdot b_n \cdot h \quad (2.22)$$

или:

$$F_n = k \cdot b_n \cdot (A + B \cdot r \cdot \cos(\omega t) + C \cdot r^2 \cdot \cos^2(\omega t)) \quad (2.23)$$

где: k – коэффициент сопротивления картофельного вороха, Н/м²;

b_n – ширина пальца дискового ворошителя, м.

Перемещение компонентов картофельного вороха относительно полотна элеватора возможно в случае преодоления внутреннего трения внутри компонентов вороха, либо в случае преодоления сил трения всего картофельного вороха по полотну элеватора. Так как прутковый сепаратор с дисковым ворошителем устанавливается в начале технологического процесса при достаточной высоте вороха, то наиболее вероятен первый случай – преодоления сил внутреннего трения:

$$F_{\text{вн}} = f_{\text{вн}} \cdot N \quad (2.24)$$

где: $f_{\text{вн}}$ – коэффициент внутреннего трения компонентов картофельного вороха на элеваторе;

N – сила нормального давления вороха на элеватор, Н.

Вес картофельного вороха, приходящийся на один палец дискового ворошителя пропорционален объёму картофельного вороха. Объём картофельного вороха:

$$V = \frac{\pi r^2}{n} \cdot h \quad (2.25)$$

где: V – объём картофельного вороха, приходящийся на один палец дискового ворошителя, м³;

n – количество пальцев на дисковом ворошителе.

Тогда вес объёма картофельного вороха, приходящийся на один палец дискового ворошителя:

$$P = m \cdot g = V \cdot \gamma \cdot g = \frac{\pi r^2}{n} \cdot h \cdot \gamma \cdot g \quad (2.26)$$

где: γ – объёмная масса картофельного вороха, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

m – масса компонента вороха, кг;

P – вес объёма картофельного вороха, приходящийся на один палец дискового ворошителя, Н.

Тогда нормальное давление картофельного вороха на элеваторе, приходящийся на один палец дискового ворошителя будет:

$$N = P = \frac{\pi r^2}{n} \cdot h \cdot \gamma \cdot g \quad (2.27)$$

Подставив полученные выражения (2.20), (2.23), (2.24), (2.27) в уравнение (2.19), получим:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = f_{\text{вн}} \cdot \left(\frac{\pi r^2}{n} \cdot (A + B \cdot r \cdot \cos(\omega t) + C \cdot r^2 \cdot \cos^2(\omega t)) \cdot \gamma \cdot g \right) + \\ + k \cdot b_n \cdot (A + B \cdot r \cdot \cos(\omega t) + C \cdot r^2 \cdot \cos^2(\omega t)) \cdot \cos(\omega t) \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = -k \cdot b_n \cdot (A + B \cdot r \cdot \cos(\omega t) + C \cdot r^2 \cdot \cos^2(\omega t)) \cdot \sin(\omega t) \end{cases} \quad (2.28)$$

Проведём преобразование выражений. Окончательно получим:

$$\begin{cases} x = x_o + \frac{f_{\text{вн}}}{m} \cdot \gamma \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot r^2}{n} \cdot \left[\left(\frac{C}{4} \cdot r^2 + \frac{A}{2} \right) \cdot t^2 - \frac{B \cdot r}{\omega^2} \cdot \cos \omega t - \frac{C \cdot r^2}{8 \cdot \omega^2} \cdot \cos 2\omega t \right] + \\ + \frac{k \cdot b_n}{m} \cdot \left[\frac{B \cdot r}{4} \cdot t^2 - \frac{3 \cdot C \cdot r^2 + 4 \cdot A}{4 \cdot \omega^2} \cdot \cos \omega t - \frac{B \cdot r}{8 \cdot \omega^2} \cdot \cos 2\omega t - \frac{C \cdot r^2}{36 \cdot \omega^2} \cdot \cos 3\omega t \right] + V_{x_o} \cdot t \\ y = y_o + \frac{k \cdot b_n}{m \cdot \omega} \cdot \left[\frac{B \cdot r}{2} \cdot t + \frac{4A + C \cdot r^2}{4 \cdot \omega} \cdot \sin \omega t + \frac{B \cdot r}{4 \cdot \omega} \cdot \sin 2\omega t + \frac{C \cdot r^2}{36 \cdot \omega} \cdot \sin 3\omega t \right] + V_{y_o} \cdot t \end{cases} \quad (2.29)$$

Исследования поперечного профиля картофельного вороха на начале элеватора позволили установить зависимость изменения его высоты от ширины расположения картофельного вороха по поперечным габаритам элеваторного полотна (рис. 2.7).

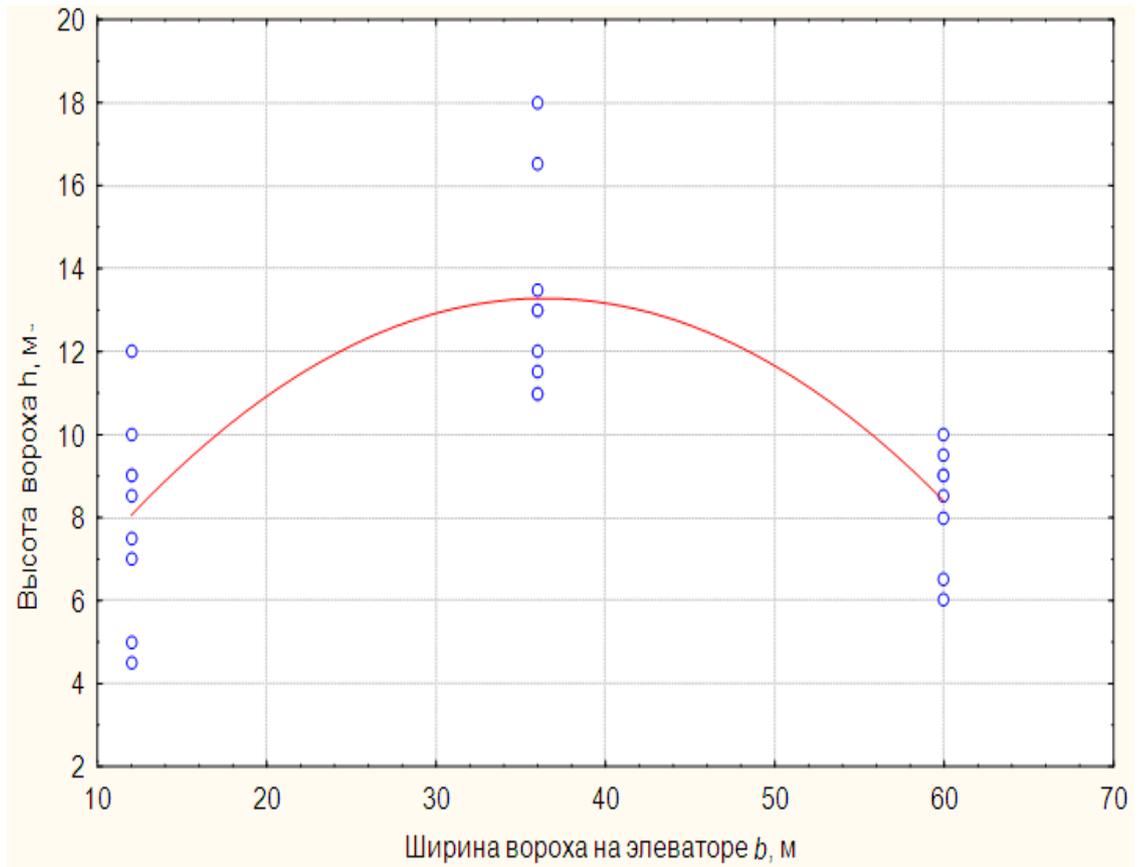


Рисунок 2.7 – Расположение картофельного вороха по ширине элеватора

Поперечный профиль картофельного вороха на элеваторе описывается уравнением (2.30). Адекватность модели характеризуется коэффициентом детерминации $R^2 = 0.78$.

$$h = 1,6528 + 0,6389b - 0,0088b^2 \quad (2.30)$$

На основании выражений (2.29), (2.30) с помощью программы MathCAD были исследованы траектории движения компонентов картофельного вороха. Исходными параметрами для моделирования были: масса компонента картофельного вороха, подача картофельного вороха, коэффициент сопротивления картофельного вороха, коэффициент внутреннего трения, угловая скорость дисковых ворошителей, радиус расположения и количество пальцев, скорость элеватора [9,66]. В результате проведённых исследований получены траектории движения компонентов картофельного вороха под действием дисковых ворошителей (рисунок 2.8).

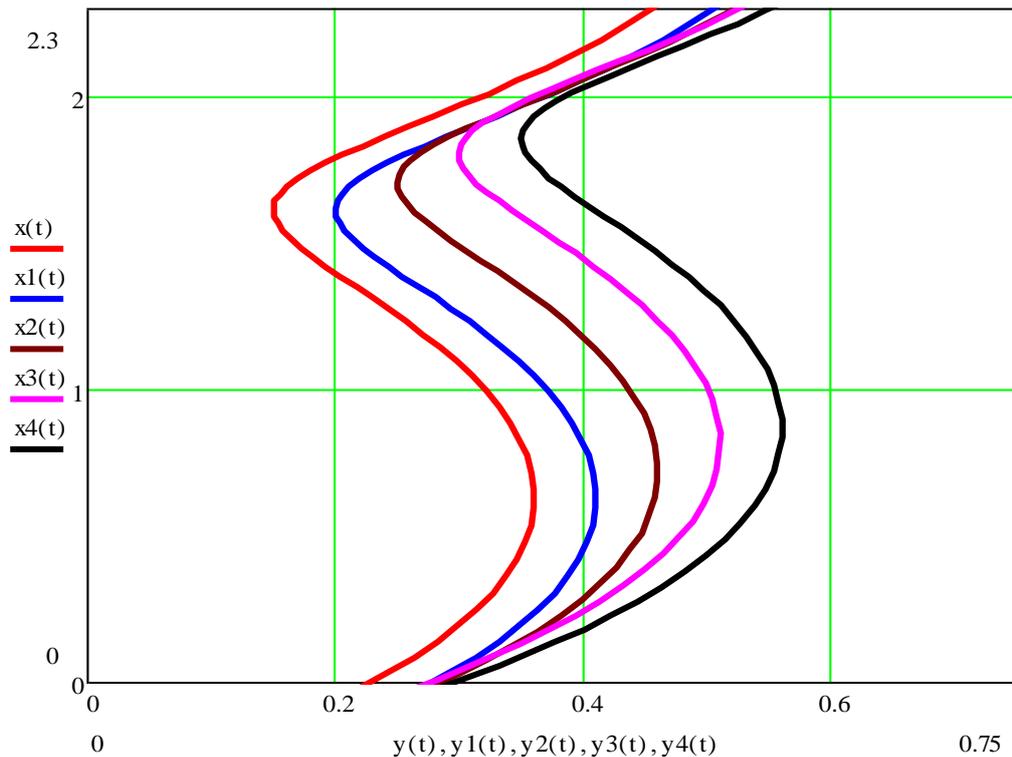


Рисунок 2.8 – Траектории движения компонентов картофельного борова

Анализ показал [66], что перемещение компонентов картофельного борова зависит от расположения пальцев на диске борошителя. Анализ траекторий позволил установить основные параметры дискового борошителя: расстояние между пальцами – 0,15...0,2 м; угловая скорость – 5,6...6,2 рад/с, радиус расположения пальцев – 0,25...0,28 м.

2.4 Теоретическое исследование жесткости пальцев дискового борошителя

Теоретические исследования, направлены на обнаружение закономерностей, описывающих процесс взаимодействия клубня и упругих элементов, при котором повреждения клубней остаются на допустимом уровне, а удаление примесей почвы (и следовательно, возможность повышения производительности) улучшается. В процессе создания модели рассматривались упругие элементы с поперечным сечением в виде кольца [10,27].

Проанализируем взаимодействие компонента картофельного вороха с упругим элементом с поперечным сечением в форме кольца (рисунок 2.9) для определения его геометрических параметров.

Условие движения компонента картофельного вороха по сепарирующей поверхности элеватора выглядит следующим образом:

$$F_k \cdot \cos \theta_{\max} > F_{mp} = N_A \cdot f = F_k \cdot f \cdot \sin \theta_{\max} \quad (2.31)$$

где: F_{mp} – величина силы трения между компонентом картофельного вороха и упругим элементом, H ;

θ_{\max} – максимальный угол прогиба продольной оси элемента, rad ;

f – коэффициент трения компонента картофельного вороха об упругий элемент;

N_A – нормальная реакция поверхности упругого элемента, H .

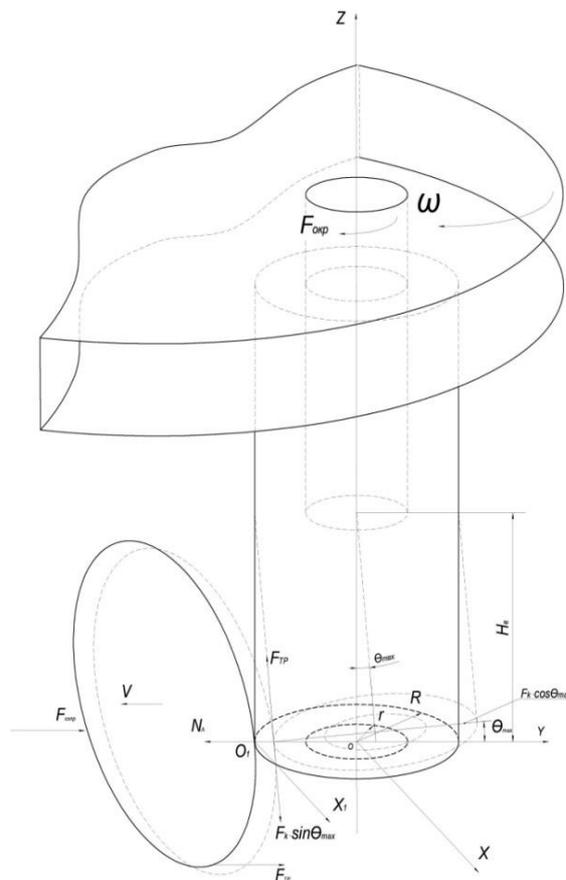


Рисунок 2.9 – Упругий элемент с поперечным сечением в форме кольца

Преобразовав выражение (2.31), получим:

$$\theta_{\max} > \arctg(f) \quad (2.32)$$

Для соблюдения условия движения компонента картофельного вороха (2.32) необходимо, чтобы угол трения был меньше угла прогиба упругого элемента.

Допустим, что деформация упругого элемента (рисунок 2.9) представлена как прямой поперечный изгиб. Запишем дифференциальное уравнение прямого поперечного изгиба:

$$E \cdot I_x \cdot \frac{d^2 y}{dz^2} = M(z) \quad (2.33)$$

где E – модуль Юнга для упругого материала элементов, $МПа$;

I_x – момент инерции поперечного сечения упругого элемента в виде кольца, $м^4$;

$M(z)$ – изгибающий момент, $Н \cdot м$.

Величина изгибающего момента будет определяться величиной усилия компонента картофельного вороха и длиной упругого участка элемента:

$$M(z) = F_k \cdot z \quad (2.34)$$

где z – расстояние от конца металлического стержня упругого элемента до искомого сечения, $м$.

По теореме Штейнера определим момент инерции упругой части элемента относительно оси X :

$$I_x = I_{x_1} + c^2 \cdot S \quad (2.35)$$

где I_{x_1} – момент инерции сечения упругой части элемента относительно центральной оси X_1 , $м^4$;

c – расстояние между центральной осью и точкой приложения X и X_1 , $м$;

S – площадь сечения кольца упругой части элемента, $м^2$.

Момент инерции относительно центральной оси X_1 для кольца рассчитывается:

$$I_{x_1} = \frac{\pi \cdot (R^4 - r^4)}{4} \quad (2.36)$$

где: R - внешний радиус упругого элемента, m ;

r - внутренний радиус упругого элемента, m .

$$S = \pi \cdot (R^2 - r^2) \quad (2.37)$$

$$c = r \quad (2.38)$$

$$I_x = \frac{\pi \cdot (R^4 - r^4)}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \quad (2.39)$$

Выражение (2.33) принимает вид:

$$\frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{F_k \cdot (H_{эл} - z)}{E_{эл} \cdot \frac{\pi \cdot (R^4 - r^4)}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2)} \quad (2.40)$$

$$A = \frac{F_k}{E_{эл} \cdot \frac{\pi \cdot (R^4 - r^4)}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2)} \quad (2.41)$$

$$\frac{dy}{dz} = A \cdot (H_{эл} \cdot z - \frac{z^2}{2}) + C_1 \quad (2.42)$$

Проинтегрировав выражение, получаем:

$$\frac{dy}{dz} = \theta = \frac{F_k}{E_{эл} \cdot (\frac{\pi \cdot (R^4 - r^4)}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2))} \cdot (H_{эл} \cdot z - \frac{z^2}{2}) + C, \quad (2.43)$$

где: θ - угол прогиба продольной оси упругого элемента, rad ;

C - постоянная интегрирования.

$$y = \int \left[(H_{эл} \cdot z - \frac{z^2}{2}) \cdot A + C_2 \right] dz = (\frac{H_{эл} \cdot z^2}{2} - \frac{z^3}{6}) \cdot A + C_1 \cdot z + C_2 \quad (2.44)$$

Значение постоянной интегрирования C найдем из уравнения (2.44) при условии неподвижности металлического стрержня упругого элемента ($\theta = 0, z=0$):

$$C_1 = 0, C_2 = 0 \quad (2.46)$$

$$\theta = \frac{F_k}{E_{эл} \cdot (\frac{\pi \cdot (R^4 - r^4)}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2))} \cdot (H_{эл} \cdot z - \frac{z^2}{2}) \quad (2.47)$$

Максимальное значение θ_{\max} (рисунок 2.9) при $z = H_{\text{эл}}$. Исходя из этого выражение (2.47) выглядит следующим образом:

$$\theta_{\max} = \frac{F_k}{E_{\text{эл}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot (R^4 - r^4)}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \right)} \cdot \frac{H_{\text{эл}}^2}{2} \quad (2.48)$$

Выразим из выражения модуль Юнга материала:

$$E_{\text{эл}} > \frac{2}{5} \cdot \frac{F_k \cdot H_{\text{эл}}^2}{f \cdot \pi \cdot (R^4 - r^4)} \quad (2.49)$$

Окончательно прогиб пальца с учетом начальных условий определяется следующим выражением при $z = H_{\text{эл}}$

$$y = \frac{F_k}{E_{\text{эл}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot (R^4 - r^4)}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \right)} \cdot \frac{H_{\text{эл}}^3}{3} \quad (2.50)$$

Анализ формул 2.48 и 2.50 показал, что величина изгиба пальца и его деформация будут существенно зависеть от размеров поперечного сечения длины упругой части.

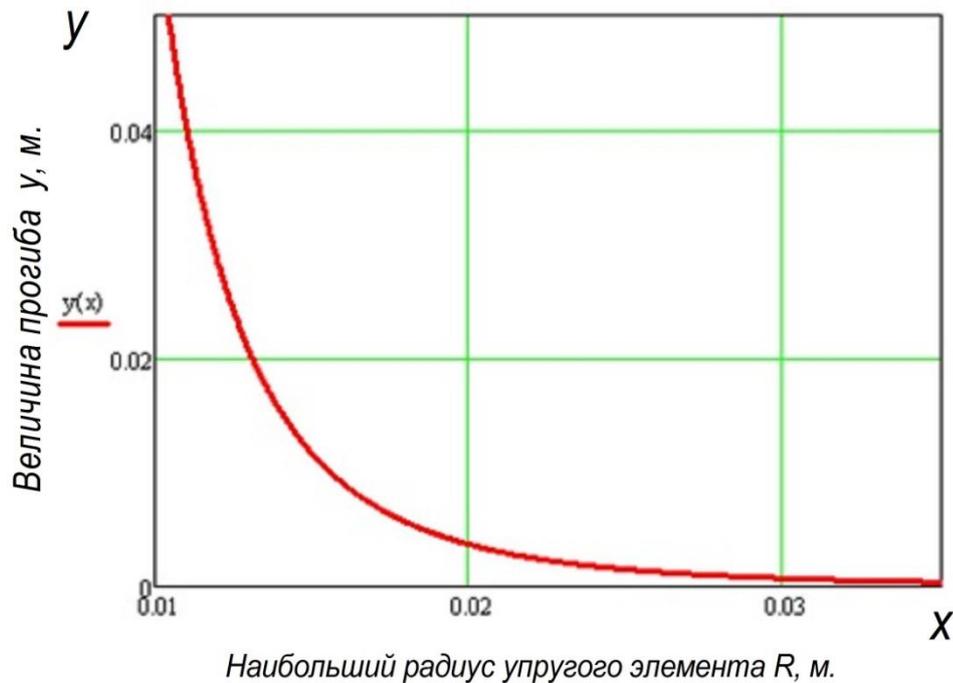


Рисунок 2.10 – Зависимость деформации пальца от внешнего радиуса трубчатой упругой части

На основании математического моделирования при принятых параметрах: внешний диаметр упругой части $D=0,02\dots0,035$ м., внутренний диаметр упругой части $d=0,012\dots0,016$ м, усилие воздействия компонентов картофельного вороха на упругую часть пальца $F=140\dots180$ Н., модуль Юнга $E=20 \cdot 10^6$ Па, высота упругой части $H_{эл}=0,04\dots0,06$ м, установлено, что необходимая жесткость упругой трубчатой части пальца должна находиться в пределах от 3,7 кН/м до 4,8 кН/м.

Выводы к главе 2

1. Для увеличения эффективности процесса отделения примесей и производительности картофелеуборочной техники предложено использовать сепарирующий элеватор, оснащенный дисковым ворошителем с пальцами переменной жесткости.

2. Теоретически обоснованы параметры дискового ворошителя сепарирующего элеватора: расстояние между пальцами – 0,15...0,2 м; угловая скорость – 5,6...6,2 с⁻¹, радиус расположения пальцев – 0,25...0,28 м; палец выполнен в виде трубки из полимерного материала с размерами поперечного сечения: внешний диаметр упругой части 0,020...0,035 м, внутренний диаметр упругой части 0,012...0,016 м, высота упругой части $H_{эл}=0,04\dots0,06$ м,

3. Установлено, что необходимая жесткость упругой трубчатой части пальца дискового ворошителя должна находиться в пределах от 3,7 кН/м до 4,8 кН/м при подаче вороха от 50 до 70 кг/с на один рядок. Полученные значения жесткости пальцев будут обеспечивать наивысшую, при данных условиях, производительность устройства, что даст возможность снизить нагрузку на последующие рабочие органы, тем самым создав предпосылки для повышения производительности машины в целом.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВОГО ВОРОШИТЕЛЯ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

3.1 Программа лабораторных исследований

Теоретические исследования определили взаимосвязь производительности сепарации от применения предложенного устройства и выбора различных материалов изготовления его рабочих элементов.

Предложенное на основании теоретических исследований устройство, обладает конструктивно-технологическими отличиями, в сравнении с существующими устройствами. Для определения влияния конструктивных параметров на работу устройства необходимо провести уточнение параметров рабочих органов для отделения почвенного вороха картофелеуборочных машин с учетом разнообразных характеристик картофельного вороха путем проведения лабораторных исследований.

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

Программа экспериментальных исследований включала следующие основные направления:

- исследование жесткости упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин;
- исследование эксплуатационных показателей упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин;
- исследования сепарирующей способности элеватора с дисковым ворошителем.

3.2 Исследование жесткости упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин

Исследования жесткости пальцев пруткового [15] сепаратора с дисковым ворошителем в лабораторных условиях необходимы для оценки жесткости пальцев, изготовленных из различных материалов, и их обоснованного выбора в соответствии с заданными требованиями по уборке картофеля.

Жесткость – это отношение усилия деформации к величине отгиба. Оценивается коэффициентом жесткости:

$$c = \frac{F}{\Delta l} \quad (3.1)$$

где: с-коэффициент жесткости, Н/м;

F-усилие деформации, Н;

Δl -величина отгиба, м.

3.2.1 Методика исследования жесткости упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин

Для проведения исследования были предложены пальцы с различными поверхностными покрытиями:

- шланга резинового (ГОСТ 18698-79) внутренним диаметром 0,016м и наружным 0,026 м состоящего из внутреннего резинового слоя (резина марки ИРП-1265), нитяного каркаса (усиления) (полиамидная комплексная нить марки А по ГОСТ 22693-98) с несколькими промежуточными слоями из резины,

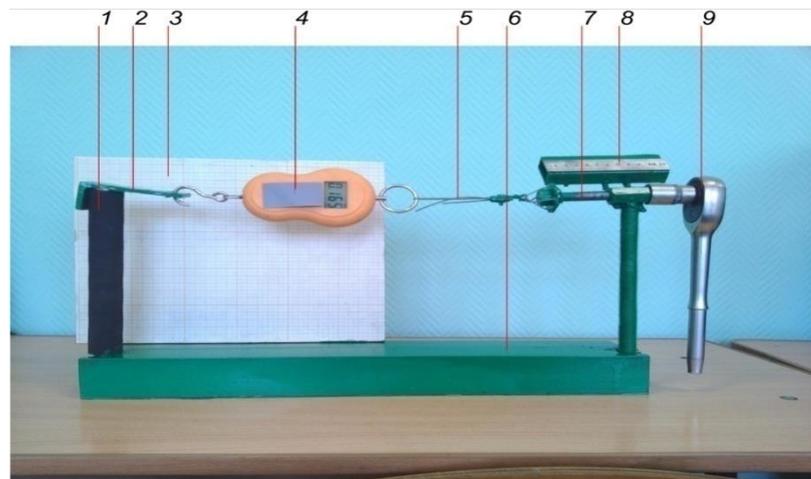
- шланга из поливинилхлорида (ТУ 2247-001-10641390-2015) армированного (нить полиамидная ГОСТ 22693-98) серия Б;

- шланга из поливинилхлорида (ТУ 2247-001-10641390-2015) армированного (нить полиамидная ГОСТ 22693-98) серия МТ;

- шланга из поливинилхлорида (ТУ 2247-001-10641390-2015) серия МН;

- вулканизированной резины (ГОСТ 6467-79) наружным диаметром 0,025 м.

Исследования проводились на лабораторной установке, представленной на рисунке 3.1.



1-палец с упругим покрытием, 2-захват пальца, 3- измерительная панель с миллиметровыми делениями, 4-измерительный динамометр, 5-металлический трос, 6-основание, 7- винт натяжителя, 8-линейка натяжителя, 9-рукоятка натяжителя

Рисунок 3.1– Лабораторная установка для определения жесткости пальцев

Лабораторная установка состоит из основания, на которое крепится измерительная панель с миллиметровыми делениями, пальца с упругим покрытием для проведения эксперимента, винта натяжителя для деформации пальца, рукоятки винта натяжителя, захвата пальца, измерительного динамометра в виде весов DAM ELECTRONIC SCALE (50 кг), металлического троса.

Эксперименты проводились по следующей методике: палец устанавливался на основание лабораторной установки. На пальце с металлической сердцевиной устанавливалось съёмное упругое покрытие. Высота пальца менялась с шагом в 10 миллиметров. На пальце крепился захват, связанный с измерительным динамометром в виде весов DAM ELECTRONIC SCALE, с другой стороны которого был закреплён

металлический (нерастягивающийся) трос и винт натяжителя. Вращая рукоятку винта натяжителя деформировали упругое покрытие пальца, и через каждые 5 мм деформации с помощью динамометра проводили измерения силы натяжения до тех пор пока захват не соскочит с пальца. Испытания проводились в трехкратной повторности.

3.2.2 Результаты исследования жесткости упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин

На основании полученных данных были составлены таблицы и графики зависимости.

Таблица 3.1 – Результаты исследования усилия деформации упругой части покрытия пальца из шланга резинового (ГОСТ 18698-79), Н.

	Длина упругой части 10 мм	Длина упругой части 20 мм	Длина упругой части 30 мм	Длина упругой части 40 мм	Длина упругой части 50 мм
Отгиб 5 мм	81,0	35,0	29,0	25,0	18,0
Отгиб 10 мм	160,0	80,0	75,0	54,0	36,0
Отгиб 15 мм	239,0	151,0	130,0	85,0	55,0
Отгиб 20 мм	342,0	178,0	165,0	101,0	85,0
Отгиб 25 мм	403,0	202,0	185,0	118,0	102,0
Отгиб 30 мм	601,0	220,0	212,0	140,0	110,0

Таблица 3.2 – Результаты исследования усилия деформации упругой части покрытия пальца из поливинилхлорида (ТУ 2247-001-10641390-2015) армированный (нить полиамидная ГОСТ 22693-98) серия Б, Н;

	Длина упругой части 10 мм	Длина упругой части 20 мм	Длина упругой части 30 мм	Длина упругой части 40 мм	Длина упругой части 50 мм
Отгиб 5 мм	79,0	41,0	20,0	15,0	12,0
Отгиб 10 мм	161,0	98,0	57,0	26,0	19,0
Отгиб 15 мм	238,0	182,0	108,0	54,0	47,0
Отгиб 20 мм	342,0	201,0	143,0	102,0	81,0
Отгиб 25 мм	439,0	239,0	180,0	141,0	101,0

Таблица 3.3 – Результаты исследования усилия деформации упругой части покрытия пальца из поливинилхлорида (ТУ 2247-001-10641390-2015) серия МН, Н;

	Длина упругой части 10 мм	Длина упругой части 20 мм	Длина упругой части 30 мм	Длина упругой части 40 мм	Длина упругой части 50 мм
Отгиб 5 мм	82,0	23,0	14,0	11,0	8,0
Отгиб 10 мм	161,0	41,0	30,0	21,0	14,0
Отгиб 15 мм	240,0	72,0	55,0	33,0	28,0
Отгиб 20 мм	339,0	87,0	62,0	40,0	33,0
Отгиб 25 мм	401,0	101,0	71,0	45,0	40,0

Таблица 3.4 – Результаты исследования усилия деформации упругой части покрытия пальца из поливинилхлорида (ТУ 2247-001-10641390-2015) армированный (нить полиамидная ГОСТ 22693-98) серия МТ, Н;

	Длина упругой части 10 мм	Длина упругой части 20 мм	Длина упругой части 30 мм	Длина упругой части 40 мм	Длина упругой части 50 мм
Отгиб 5 мм	75,0	24,0	18,0	12,0	8,0
Отгиб 10 мм	161,0	53,0	32,0	26,0	18,0
Отгиб 15 мм	232,0	112,0	76,0	54,0	36,0
Отгиб 20 мм	345,0	140,0	101,0	84,0	69,0
Отгиб 25 мм	398,0	169,0	142,0	110,0	81,0

Таблица 3.5 – Результаты исследования усилия деформации упругой части покрытия пальца из вулканизированной резины (ГОСТ 6467-79), Н;

	Отгиб 5 мм	Отгиб 10 мм	Отгиб 15 мм	Отгиб 20 мм	Отгиб 25 мм
Длина упругой части 200 мм	24,0	50,0	94,0	140,0	161,0

На основании полученных данных были построены графические зависимости (рис.3.2...3.6).

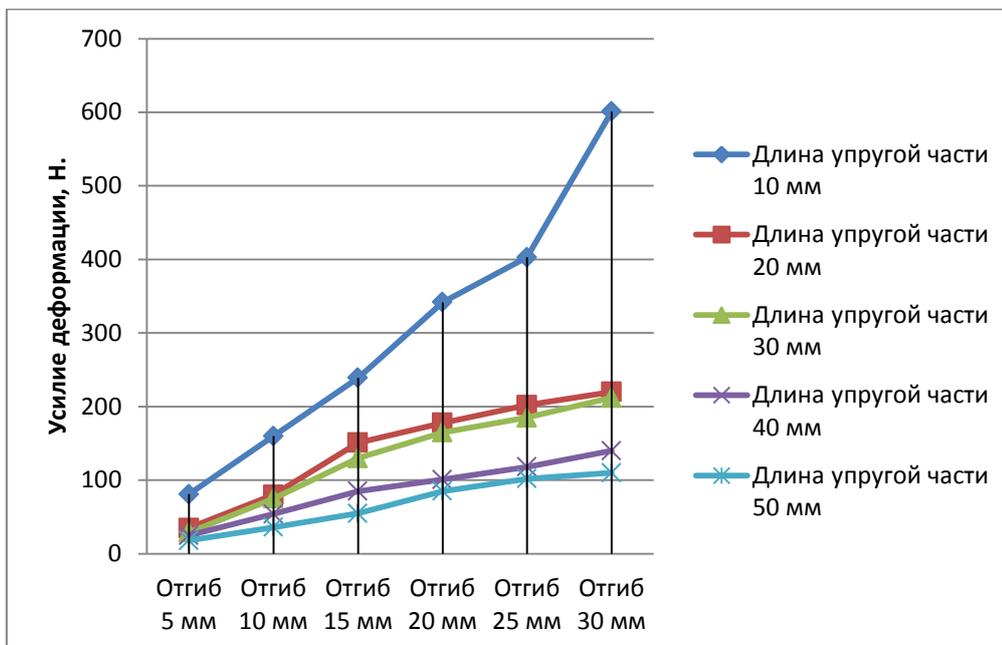


Рисунок 3.2 – Зависимость усилия деформации упругой части пальца от отгиба пальца резинового состоящего из внутреннего резинового слоя (резина марки ИРП-1265), нитяного каркаса (усиления) (полиамидная комплексная нить марки А по ГОСТ 22693-98) с несколькими промежуточными слоями из резины

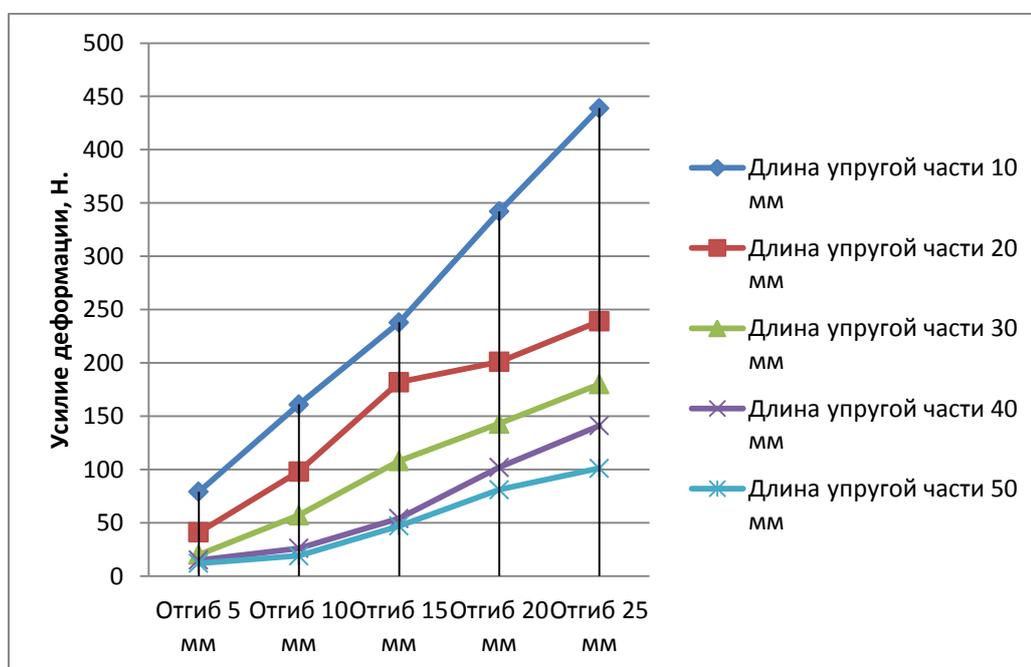


Рисунок 3.3 - Зависимость усилия деформации упругой части пальца от отгиба пальца из поливинилхлорида (ТУ 2247-001-10641390-2015) армированный (нить полиамидная ГОСТ 22693-98) серия Б;

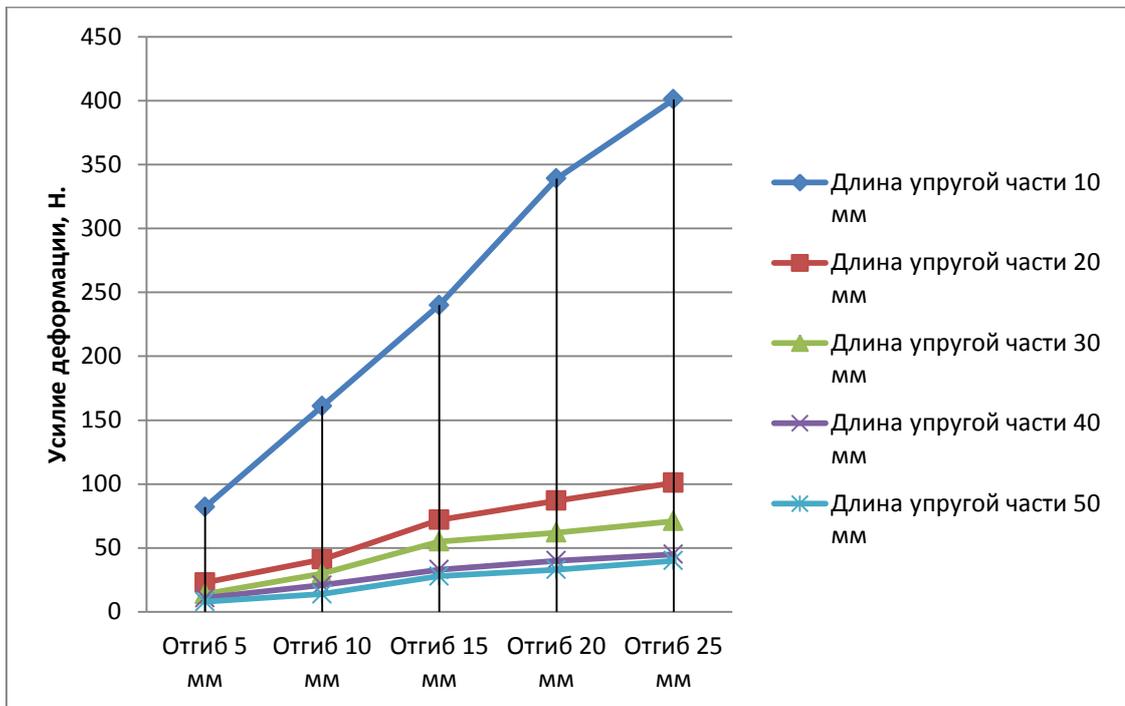


Рисунок 3.4 - Зависимость усилия деформации упругой части пальца от отгиба пальца из поливинилхлорида (ТУ 2247-001-10641390-2015) серия МН

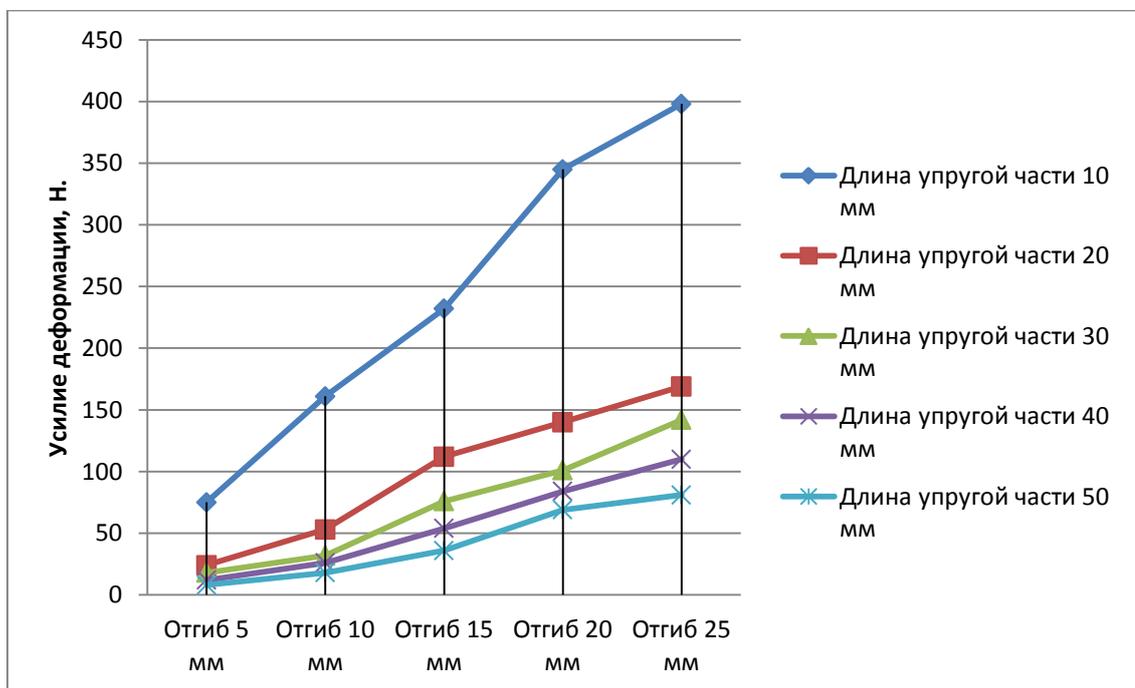


Рисунок 3.5 - Зависимость усилия деформации упругой части пальца от отгиба пальца из поливинилхлорида (ТУ 2247-001-10641390-2015) армированный (нить полиамидная ГОСТ 22693-98) серия МТ;

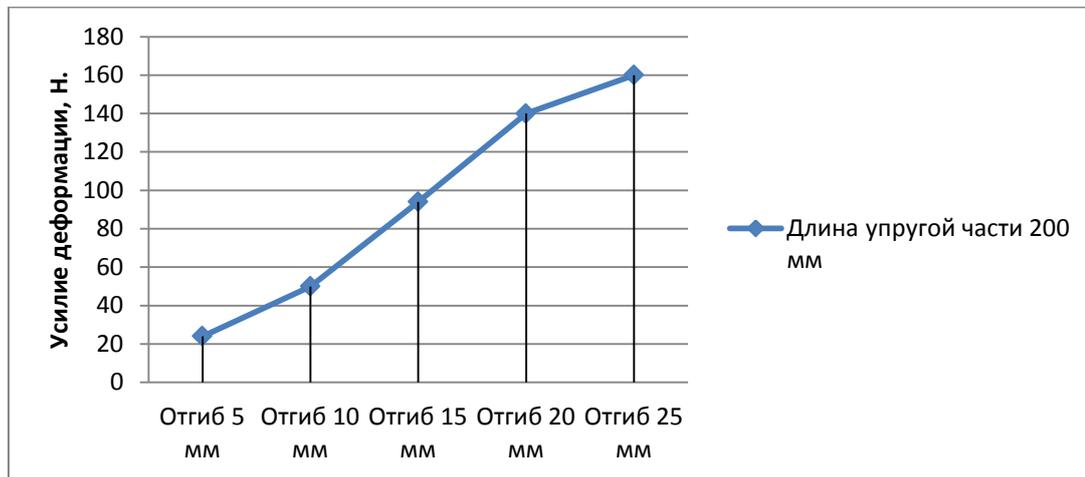


Рисунок 3.6 - Зависимость усилия деформации упругой части пальца от отгиба пальца из вулканизированной резины (ГОСТ 6467-79);

Анализ жесткости различных покрытий показал изменчивость жесткости от изменения длины эластичной части пальца.

3.3 Исследование эксплуатационных показателей упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин

Основным элементом, вступающим во взаимодействие с картофельным ворохом, являются пальцы дискового ворошителя. При взаимодействии с картофельным ворохом пальцы предложенного устройства должны обеспечивать требуемые агротехнологические параметры и иметь достаточные эксплуатационные показатели и надежность [24,35,63,73]. Поэтому встает вопрос выбора параметров пальцев, материала их изготовления, отвечающих заданным требованиям. Для уточнения этих параметров были проведены лабораторные испытания.

3.3.1 Методика исследования эксплуатационных показателей упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин.

Исследования износа [63] пальцев пруткового сепаратора с дисковым ворошителем в лабораторных условиях необходимы для сравнительной оценки пальцев, изготовленных из различных материалов.

Исследования проводились на кафедре технологии металлов и ремонта машин инженерного факультета ФГБОУ ВО РГАТУ в течение 2015...2017 гг.

Для проведения испытаний использовались пальцы, представленные в пункте 3.1

Исследования проводились на лабораторной установке (рисунок 3.9). Под дисковым ворошителем параллельно ему было установлено полотно пруткового сепаратора, и при вращении дискового ворошителя пальцы вступали с ним во взаимодействие.

Исследования проходили следующим образом. На первом этапе на дисковый ворошитель пруткового сепаратора устанавливались два пальца, изготовленные из материала по ГОСТ 18698-79, каждый находился в перпендикулярном положении относительно полотна пруткового сепаратора. Количество пальцев равно двум с целью увеличить контактные нагрузки на пальцы дискового ворошителя [63].

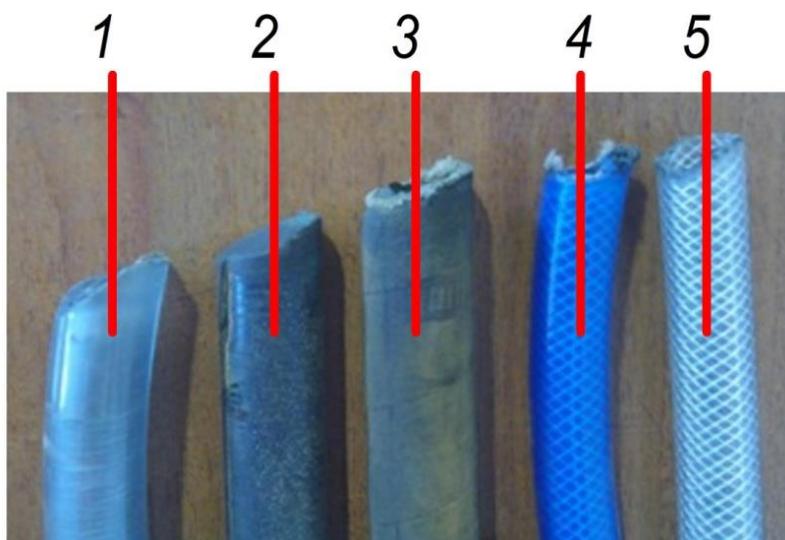
После включения электропитания лабораторной установки дисковый ворошитель начинал вращаться, и испытуемые пальцы вступали в контакт с полотном пруткового сепаратора. С периодичностью в 5 минут происходили измерения износа исследуемых пальцев. Измерения происходили с помощью угольника ГОСТ 3749-77, палец располагался по длине на оси Y и по ширине на оси X.

После исследования испытуемых пальцев определялся износ. Всего на первом этапе было испытано пять пальцев, из них 3 вида пальцев исключили из дальнейших исследований из-за значительной величины износа. Было выявлено что пальцы, изготовленные из поливинилхлорида (ТУ 2247-001-10641390-2015) серия Б, серия МТ и серия МН не подходят в качестве покрытия пальцев по причине большого износа раньше минимального срока измерения и поэтому результаты испытаний не регистрировались. Дальнейшие действия проводились с двумя оставшимися видами пальцев.

На следующих этапах на дисковый ворошитель пруткового сепаратора устанавливались пальцы, изготовленные из выше представленных материалов. Исследования проходили по той же методике, что и на первом этапе.

3.3.2 Результаты исследования эксплуатационных показателей упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин

Визуально результаты исследования представлены на рисунке 3.7.



- 1- поливинилхлорид серия МН ;2- вулканизированная резина (ГОСТ 6467-79);
 3-армированная резина (ГОСТ 18698-79); 4- поливинилхлорид серия Б;
 5- поливинилхлорид МТ;

Рисунок 3.7- Общий вид изношенных пальцев

По полученным данным была рассчитан общий износ пальцев по формуле (3.2). Результаты исследований были записаны с таблицу 3.6 и таблицу 3.7.

$$U = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (3.2)$$

где U-общий износ пальца, мм

X- величина износа пальца по ширине, мм

Y-величина износа пальца по длине, мм

Таблица 3.6 – Результаты исследования пальца на износ с покрытием из шланга резинового (ГОСТ 18698-79)

№ испытания	Время, мин	Y, мм	X, мм	U, мм
1	5	4	1	4,12
	10	8	12	14,42
	15	10	20	22,36
	20	10	23	25,07
2	5	3	2	3,6
	10	7	13	14,76
	15	11	22	24,59
	20	11	24	26,4
3	5	4	2	4,47
	10	7	11	13
	15	10	21	23,2
	20	10	23	25
4	5	3	1	3,1
	10	8	12	14,4
	15	10	21	23,2
	20	10	24	26
5	5	4	2	4,4
	10	9	13	15,8
	15	11	20	22,8
	20	1	24	26

Таблица 3.7 – Результаты исследования пальца на износ с покрытием из вулканизированной резины (ГОСТ 6467-79)

№ испытания	Время, мин	Y, мм	X, мм	U, мм
1	5	4	6	7,2
	10	8	14	16,1
	15	10	23	25
2	5	3	4	5
	10	8	13	15,2
	15	11	23	25,4
3	5	4	4	5,6
	10	7	14	15,6
	15	11	24	26,4
4	5	4	5	6,4
	10	7	12	13,8
	15	10	22	24,1
5	5	3	6	6,7
	10	9	14	16,6
	15	11	23	25,4

На основании приведенных в таблице данных был построен график .

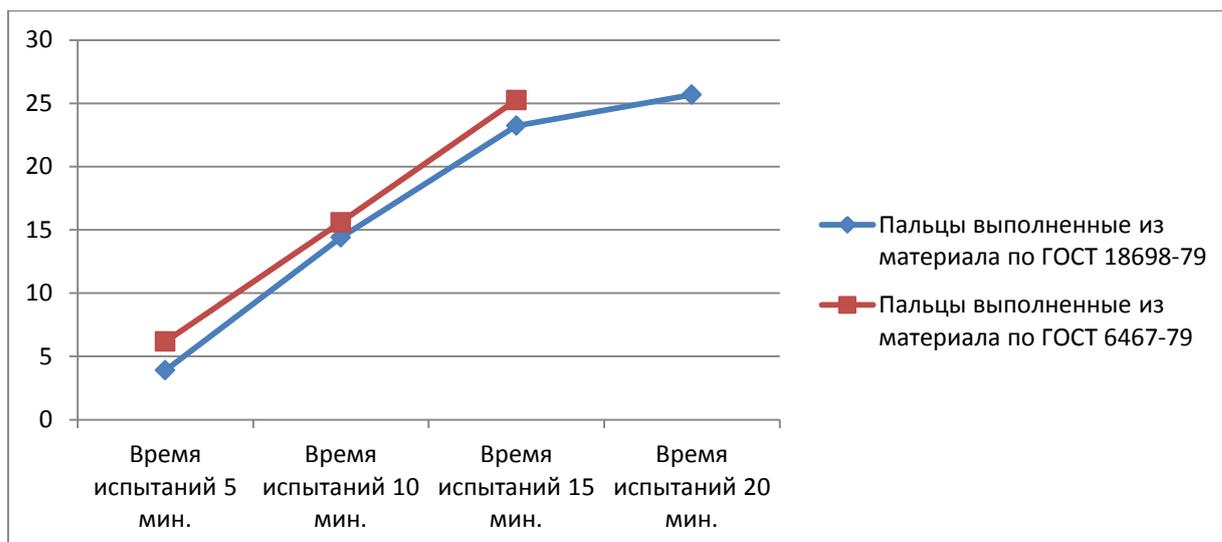


Рисунок 3.8– График общего износа пальцев

Проведя исследование упругих элементов дискового ворошителя можно сделать выводы о том что наиболее подходящими считаются пальцы, изготовленные из металла с оплеткой из шланга резинового (ГОСТ 18698-79) внутренним диаметром 0,016м и наружным 0,026 м состоящей из внутреннего резинового слоя(резина марки ИРП-1265), нитяного каркаса (усиления) (полиамидная комплексная нить марки А по ГОСТ 22693-98) с несколькими промежуточными слоями из резины. Данный вид пальцев во время исследований показал наилучший результат из всех выше представленных и может быть рекомендован для эксплуатации на картофелеуборочных машинах с целью повышения их срока службы и производительности.

3.4 Лабораторные исследования сепарирующей способности пруткового элеватора с дисковым ворошителем

С целью анализа агротехнических показателей при работе пруткового элеватора с дисковым ворошителем была принята программа лабораторных исследований, состоящая из этапов:

1. Исследование качественных показателей работы пруткового элеватора, оснащенного дисковым ворошителем.
2. Исследование равномерности распределения вороха по ширине элеватора.
3. Обработка результатов исследований и их оценка.

3.4.1 Методика исследования сепарирующей способности пруткового элеватора с дисковым ворошителем

Для определения сепарирующей способности пруткового элеватора [25,58,90,103] с дисковым ворошителем использовалась лабораторная установка общий вид, которой представлен на рисунке 3.9. Лабораторная установка состоит из пруткового элеватора установленного на тележке, состоящей из рамы, подвесного устройства с мешками и колес.



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

Рисунок 3.9 – Общий вид лабораторной установки для исследования сепарирующей способности пруткового элеватора с дисковым ворошителем

Над поверхностью пруткового элеватора установлен дисковый ворошитель с пальцами, имеющими покрытие из шланга (ГОСТ 18698-79)

внутренним диаметром 0,016м и наружным 0,026 м, состоящее из внутреннего резинового слоя (резина марки ИРП-1265), нитяного каркаса (усиления) (полиамидная комплексная нить марки А по ГОСТ22693) с несколькими промежуточными слоями из резины. Привод рабочих органов осуществлялся при помощи асинхронного электродвигателя 4АМХ71В4У3 мощностью 0,75 кВт, посредством ременной передачи через приводные шкивы. Крутящий момент от двигателя через шкивы проходит через промежуточный вал снижения оборотов, далее поступает на шкив привода дискового ворошителя и через прямую ременную передачу приводит в движение второй дисковый ворошитель.



1-дисковый ворошитель; 2-шкив; 3-полотно элеватора; 4-ремень привода; 5-электродвигатель; 6-выключатель; 7-провод питания.

Рисунок 3.10 – Дисковый ворошитель с приводом

Под рабочей поверхностью полотна пруткового элеватора для сбора почвенных примесей предусмотрены емкости в виде мешков. Привод подающей тележки осуществляется при помощи лебедки, она состоит из вала на который наматывается стальной трос (ГОСТ 3066-80) диаметром 3 мм, цепной передачи с передаточным отношением $i = 2,5$ (ведущая звездочка

имеет 48 зубьев, ведомая – 19 зубьев, шаг цепи $t = 12,7$ мм) и двигателя мощностью 1000 Вт с количеством оборотов равными 500об/мин. Во время проведения испытаний скорость подающей тележки может меняться, также изменяется частота вращения дисковых ворошителей путем перестановки ремней привода между шкивами различного диаметра.

Почва, применяемая в экспериментах, с целью достижения требуемой влажности, увлажнялась с помощью полива поверхности и выдерживания в течении суток. Для определения влажности проводили отбор проб общей массой не менее 1кг на глубине до 0,25 м с интервалом 0,05 м в трех различных местах. Тщательно перемешав делались две тестируемые пробы массой около 50 г. После осуществляется высушивание почвенных проб в сушильном шкафу при температуре равной 105 ± 2 °С в течение 1 ч с дальнейшим охлаждением и взвешиванием с погрешностью не более 0,1 г. определяли влажность.

С целью задания требуемой твердости почву, с помощью трамбовки, уплотняли, и с применением твердомера Ревякина производили измерения твердости. Подачу картофельного вороха изменяли от 50 кг/с до 90 кг/с.

Подготовленный ворох укладывался на поверхность пруткового элеватора, расположенного на подающей тележке. Для придания ему формы, схожей с подаваемым от подкапывающих органов картофелекопателя, использовались шаблоны. Под поверхностью пруткового элеватора для сбора просеянной почвы были установлены мешки, закрепленные на решетки с размером ячеек 328 мм на 214 мм. Определение массы подаваемого и просеиваемого вороха производили при помощи электронных весов. Повторность опытов трехкратная.

Применение данной методики и предложенной лабораторной установки позволяет исследовать сепарирующую способность пруткового элеватора, оснащенного дисковым ворошителем. Принципиальным отличием является применение лабораторной установки. В отличие от других установок, где прутковый элеватор копировал принцип работы

реальных машин, тележка движется вместе с полотном элеватора, что позволяет распределить почву на полотне элеватора и более подробно изучить процесс воздействия дискового ворошителя, и уменьшить влияние таких факторов как колебания полотна. Применение данной лабораторной установки позволяет получить более точные результаты исследования, особенно при исследовании ворошителей.

Различные режимы и условия функционирования устройства являются важными агротехническим показателями, для определения влияния дисковых ворошителей на сепарирующую способность пруткового элеватора был проведен многофакторный эксперимент по плану.



Рисунок 3.11 – Исследование эффективности функционирования дискового ворошителя

Оценка эффективности работы пруткового сепаратора с дисковыми ворошителями производится по характеру процесса отделения примесей картофельного вороха. Процесс отделения примесей характеризуется полнотой сепарации. Этот показатель определяется количеством просеянной почвы за проход полотна элеватора.

Для определения полноты просеивания почвы используется формула (3.3):

$$\varepsilon = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_x}{m_n}, \quad (3.3)$$

где: ε - полнота сепарации почвы;

$m_1 \dots m_x$ - масса почвы в 1...x мешках соответственно, кг;

m_n - масса вороха, находящаяся на полотне элеватора, кг.

Переменными факторами выступали: x_1 – частота вращения дискового ворошителя, с^{-1} ; x_2 – подача вороха, кг/с.

Уровни и интервалы варьирования приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8. Уровни и интервалы варьирования факторов при исследовании разработанного дискового ворошителя.

№	Факторы	Единицы измерения	Основной уровень		Интервал варьирования	Верхний уровень		Нижний уровень	
			Натуральное значение	Кодированное значение		Натуральное значение	Кодированное значение	Натуральное значение	Кодированное значение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	X_1	с^{-1}	6,3	0	1,0	7,3	+1	5,3	-1
2	X_2	кг/с	70	0	20	90	+1	50	-1

После проведения лабораторного исследования, материалы эксперимента обрабатывались программой STATISTIKA v6.

Получены уравнения регрессии, устанавливающие связь между факторами и параметром оптимизации, представленные ниже.

Модель уравнения регрессии, оценивающая комплексное влияние определяющих факторов (X_1 – частота вращения дискового ворошителя; X_2

– подача вороха) на параметр оптимизации (\mathcal{E} – полнота сепарации почвенных примесей) по плану Бокса-Бенкина имела следующий вид:

$$\mathcal{E} = b_1 + b_2 \cdot X_1 + b_3 \cdot X_2 + b_4 \cdot X_1^2 + b_5 \cdot X_1 \cdot X_2 + b_6 \cdot X_2^2 \quad (3.4)$$

где: $b_1 \dots b_6$ – коэффициенты уравнения регрессии с кодированными членами;

x_1 – частота вращения дискового ворошителя, c^{-1} ;

x_2 – подача вороха, кг/с;

Переход от натуральных значений факторов к кодированным осуществляется по формуле:

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

где: x_i^H и x_i^K – натуральное и кодированное значения i -го фактора;

x_{i0}^H – натуральное значение i -го фактора на нулевом уровне;

δ_i – натуральное значение интервала варьирования i -го фактора.

Обработка полученных данных и оценка результатов лабораторного эксперимента происходила следующим образом.

Рассчитывали коэффициенты уравнения регрессии:

- для свободного члена:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^N \overline{y_j}}{N}, \quad (3.6)$$

- для линейных членов:

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} \overline{y_j}}{N}, \quad (3.7)$$

- для членов смешанного взаимодействия:

$$b_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} x_{qj} \overline{y_j}}{N} \quad (3.8)$$

где: \bar{y}_j - среднее значение функции оптимизации для одного j -го опыта при "m" повторностях;

N - число опытов;

x_{ij} - значение i -го фактора в j -ом опыте;

x_{qj} - значение q -го фактора в j -ом опыте.

Для оценки коэффициентов регрессии была произведена проверка их значимости, что позволило исключить пренебрежимо малые коэффициенты, [90,93].

При многофакторном эксперименте принято, что доверительные интервалы для всех коэффициентов будут равными друг другу. Чтобы коэффициент регрессии считается значимым, его абсолютное значение должно превышать абсолютное значение доверительного интервала. Проверку значимости коэффициентов регрессии осуществляли по критерию Стьюдента по формуле:

$$t = \frac{|b_i|}{\delta_{bi}}, \quad (3.9)$$

где: $|b_i|$ - абсолютное значение i -го коэффициента регрессии;

t - значение критерия Стьюдента при заданном уровне значимости;

δ_{bi} - среднеквадратическая ошибка коэффициента регрессии.

Вычисленное значение критерия сравнивалось с табличным значением $t_{\text{табл.}}(0,05;f_y)$, где 0,05 - уровень значимости исследований, f_y - число степеней свободы в эксперименте, причем:

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

Для определения среднеквадратической ошибки δ_{bi} находили выборочную дисперсию коэффициентов регрессии по формуле:

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

где δ_y^2 - выборочная дисперсия коэффициентов регрессии,

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

где δ_j^2 - дисперсия в j -ом опыте при "m" повторностях.

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

где: y_j - значение функции оптимизации в j -ом опыте;

m - число повторностей V_j -ом опыте.

Для оценки воспроизводимости модели вычисляли однородность дисперсий опытов с помощью критерия Кохрена:

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

Вычисленное значение критерия Кохрена G_{\max} сравнивали с табличным значением $G_{\text{табл}}(0,05; f_N; f_u)$, и оценивали однородность гипотезы.

где: f_N - число независимых оценок дисперсий;

f_u - число степеней свободы каждой оценки.

$$f_u = N \cdot (m - 1), \quad (3.15)$$

Уравнения регрессии проверяли на способность точно описывать поверхность отклика, то есть на адекватность. Адекватность оценивали с помощью критерия Фишера, равного отношению дисперсии адекватности δ_{ag}^2 и дисперсии воспроизводимости δ_y^2 :

$$F = \frac{\delta_{ag}^2}{\delta_y^2}, \quad (3.16)$$

Дисперсию адекватности модели вычисляли по формуле:

$$\delta_{ag}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\bar{y}_j - \bar{y}_{jT})^2}{N - a}, \quad (3.17)$$

где: $\overline{y_j}$ - среднее значение функции оптимизации в j - ом опыте при "m" повторностях;

$\overline{y_{jT}}$ - значение параметра оптимизации, вычисленное по уравнению регрессии для условий j - го опыта;

a - число определяемых коэффициентов уравнения регрессии.

Вычисленное значение критерия Фишера сравнивали с табличным значением $F_{\text{табл}}(0,05; f_{ag}, f_y)$

где: f_{ag} - число степеней свободы дисперсии воспроизводимости.

$$f_{ag} = N - a, \quad (3.18)$$

Гипотезу об адекватности описания полученными уравнениями регрессии результатов эксперимента считали верной с 95% вероятностью если $F < F_{\text{табл}}$.

3.4.2 Результаты исследования сепарирующей способности пруткового элеватора с дисковым ворошителем

После реализации многофакторного эксперимента (приложение Б) проводилась статистическая обработка его результатов (табл. 3.9.)

На основании полученных данных были построены графики просеивания почвы на полотне элеватора с применением дискового ворошителя (рисунок 3.11), а также график распределения почвы по ширине полотна элеватора(рисунок 3.12).

Проведя анализ графиков (рисунков 3.12, 3.13) можно сделать вывод, что применение дискового ворошителя при работе пруткового элеватора помогает улучшить просеивание и распределение по ширине почвы на элеваторе. Наиболее выражено этот процесс происходит в зоне действия ворошителя, а также, за счет смещения почвы, в центре элеватора. Следует отметить малое распределение и просеивание почвы в зоне, близкой к краям элеватора.

Таблица 3.9 – Матрица планирования и результаты многофакторного эксперимента, проведенного на органе первичной сепарации – основном элеваторе с дисковым ворошителем

№	Факторы и их взаимодействия		Полнота сепарации почвенных примесей, %
	X_1	X_2	
	2	3	4
1	-1	-1	0,93
2	0	-1	0,91
3	+1	-1	0,89
4	-1	0	0,94
5	0	0	0,92
6	+1	0	0,83
7	-1	+1	0,83
8	0	+1	0,85
9	+1	+1	0,81

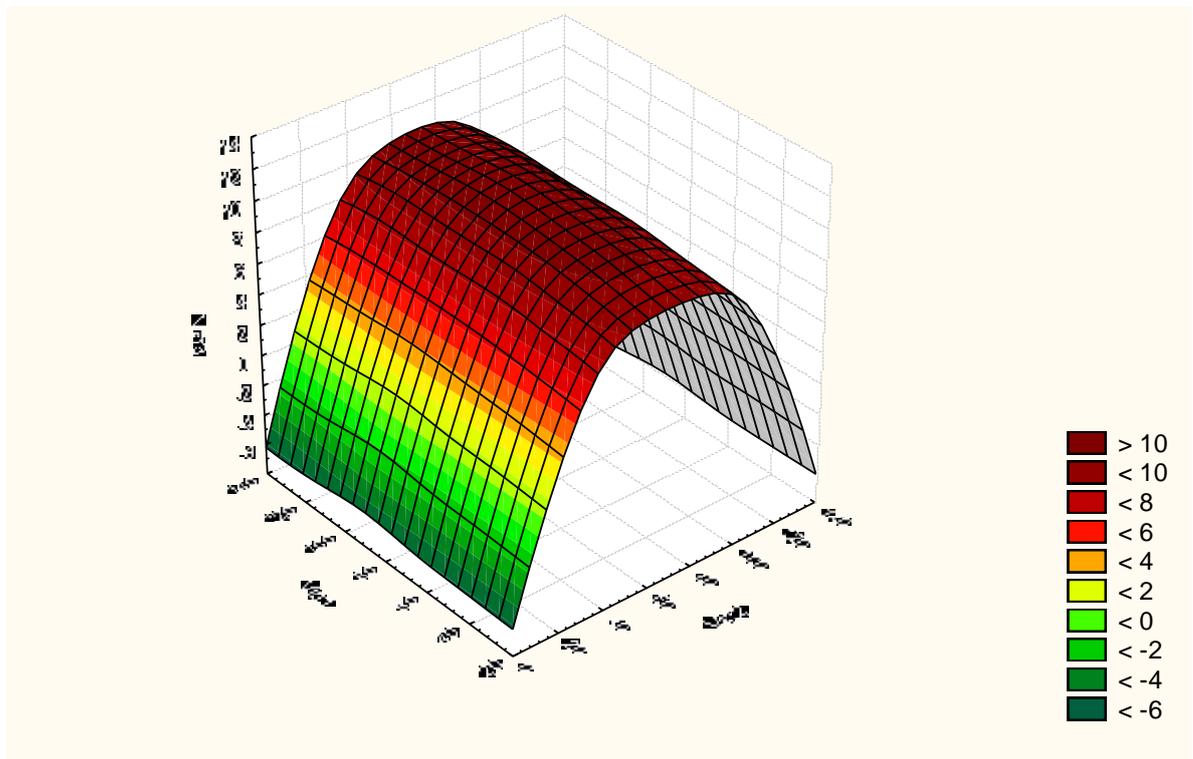


Рисунок 3.12- Графики просеивания почвы на полотне элеватора с применением дискового ворошителя

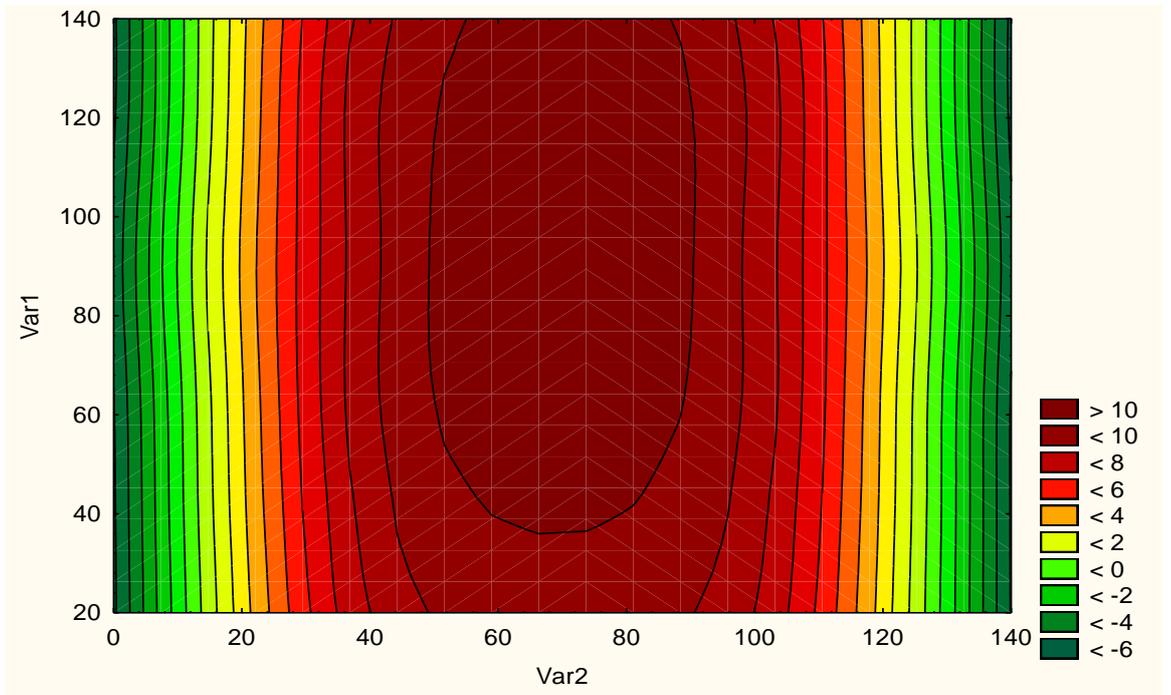


Рисунок 3.13- График распределения почвы по ширине полотна элеватора

По итогам лабораторных исследований получили уравнение регрессии, характеризующее полноту сепарации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & 0,9111 - 0,0283 \cdot X_1 - 0,04 \cdot X_2 - 0,0217 \cdot X_1^2 + 0,005 \cdot X_1 \cdot X_2 \\ & - 0,0267 \cdot X_2^2 \end{aligned} \quad (3.19)$$

y – полнота сепарации почвенных примесей;

X_1 – частота вращения дискового ворошителя, с^{-1} ;

X_2 – подача картофельного вороха на элеватор вороха кг/с ;

Адекватность данной математической модели составила 86,6 %, коэффициент корреляции с опытными данными 0,930. На основании полученных уравнений регрессий был построен график зависимости сепарирующей способности от загрузки элеватора и частоты вращения дискового ворошителя (рисунок 3.13).

Анализ графика и уравнений регрессий показал что рациональными значениями факторов будут: кодированное значение частоты вращения дискового ворошителя $-(-0,7)$; кодированное значение подачи картофельного

вороха на элеватор вороха $(-0,8)$. Наибольшую значимость имеет фактор «подача картофельного вороха». Следует отметить что существенное увеличение загрузки рабочих органов приводит к тому что при просеивании почвы возникают дополнительные помехи со стороны других компонентов вороха. В результате этого почва сначала просеивается через картофельный ворох на элеваторе, и только потом через прутки, т.е. чем выше слой на элеваторе, тем меньше сепарация почвы. Влияния частоты вращения дискового ворошителя на скорость просеивания незначительна в сравнении с подачей, при этом скорость у ворошителя должна способствовать относительному перемещению компонентов картофельного вороха, слишком высокая скорость ворошителя способствует разгону компонентов что приводит к разбрасыванию и препятствует просеву. Малая скорость не оказывает воздействия на взаимное перемещение; для лучшей сепарации скорость перемещения должна соотносится со скоростью просеивания частиц.

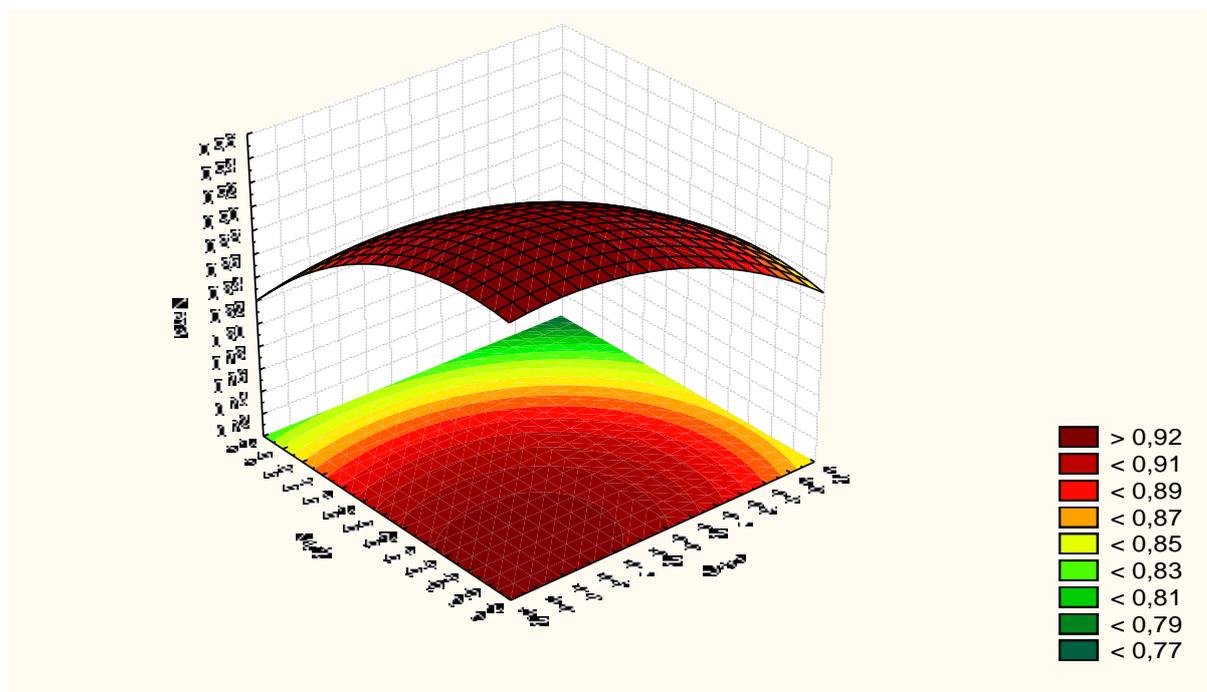


Рисунок 3.14- График зависимости сепарирующей способности от загрузки элеватора и частоты вращения дискового ворошителя

В результате раскодирования факторов получено, что значения частоты вращения дискового ворошителя- $5,6 \text{ с}^{-1}$, а подачи вороха 54 кг/с , при этом полнота выделения примесей $\mathcal{E} = 0,937889$.

Выводы к главе 3

1. В результате экспериментальных исследований уточнены рациональные значения параметров дискового ворошителя. Установлено, что при изготовлении упругих элементов (пальцев) рационально применение шланга резинового (ГОСТ 18698-79) внутренним диаметром $0,016 \text{ м}$ и наружным $0,026 \text{ м}$, состоящего из внутреннего резинового слоя (резина марки ИРП-1265), нитяного каркаса (усиления) (полиамидная комплексная нить марки А по ГОСТ 22693-98) с несколькими промежуточными слоями из резины, высота упругой части $0,04 \text{ м}$.

2. Проведенный анализ распределения просеивания почвы по полотну элеватора показал улучшение в зоне работы дискового ворошителя и в центральной части элеватора. Выявлено, что наилучшая сепарация почвы $\mathcal{E} = 0,94$ наблюдается при угловой скорости дискового ворошителя $5,6 \text{ с}^{-1}$. Расхождение с результатами теоретических исследований составляет менее 5% .

ГЛАВА 4. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН, ОСНАЩЕННЫХ СЕПАРИРУЮЩИМ ЭЛЕВАТОРОМ С ДИСКОВЫМ ВОРОШИТЕЛЕМ

4.1 Программа полевых исследований

Перед проведением полевых исследований модернизированной картофелеуборочной машины, были в конкретных почвенно-климатических условиях изучены размерно-весовые параметры выбранных сортов картофеля, являющиеся одними из самых значимых факторов, влияющих на работу сепарирующих органов [8,28, 29,32,50,71].

В зависимости от сорта картофеля, а также от почвенно-климатических условий и технологий возделывания, свойства клубня могут меняться в широких пределах [8,28,50,71,128], это условие заставляет расширять и уточнять знания в представленной области. Данные исследования необходимы для получения данных с целью их использования в проектировании рабочих органов сепарации картофелеуборочных машин, а также в обосновании параметров интенсификаторов сепарации, и брались во внимание во время проведения лабораторных исследований [18,19,36,129].

Программой полевых исследований были предусмотрены:

1. Определение размерно-весовых параметров клубней картофеля сортов, выращиваемых в Рязанской области.
2. Полевые исследования модернизированного и серийного картофелекопателя КТН-2В, оснащенного дисковым ворошителем.

4.2 Исследования размерно-весовых параметров культуры картофеля в конкретных условиях

Для проведения исследования и определения размерно-весовых параметров культуры картофеля были выбраны одни из наиболее распространенных сортов в Рязанской области, такие как «Ред Скарлетт», «Луговской», «Удача». Исследование количественных и размерно-весовых

параметров клубней картофеля проводилось в заданных почвенно-климатических условиях.

4.2.1 Методика исследований размерно-весовых параметров культуры картофеля

Работа проводилась в хозяйствах Касимовского и Шацкого районов Рязанской области.

Исследование картофельных клубней по стандартной методике агротехнической оценки проводили в условиях обрабатываемого поля, также определялись условия проведения испытаний. С целью реализации стандартной методике агротехнической оценки клубней картофеля, по диагоналям поля были отмечены учетные делянки, на которых определялись условия проведения экспериментальных исследований. Определение размерных характеристик и массы клубней различных сортов картофеля проводилось на основе 100 измерений.

4.2.2 Результаты исследований размерных характеристик и массы клубней картофеля

В результате проведенных исследований уточнены массовые и количественные параметры картофельных кустов, а так же размерные параметры клубней картофеля сортов «Ред Скарлетт», «Луговской» и «Удача». Полученные данные представлены в табл. 4.1.

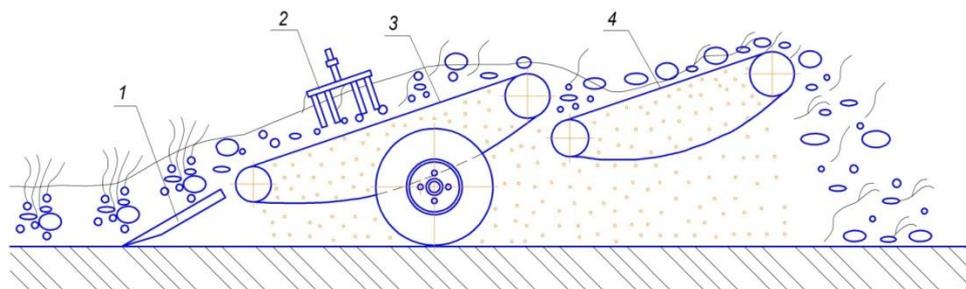
Таблица 4.1 – Размерно-весовые параметры картофельного куста

№ п/п	Сорт	Количество клубней на кусте, шт.	Масса клубней, г	Урожайность клубней, т/га	Средние размеры клубней			
					Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Средняя масса, г
1	«Ред Скарлетт»	8,3	585,0	18,1	65,6	54,2	41,8	68,9
2	«Луговской»	7,6	557,5	16,6	63,3	45,6	38,8	73,2
3	«Удача»	9,1	703,2	23,5	64,2	51,9	43,4	77,3

4.3 Исследования функционирования картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором с дисковым ворошителем

При проведении исследований определялись:

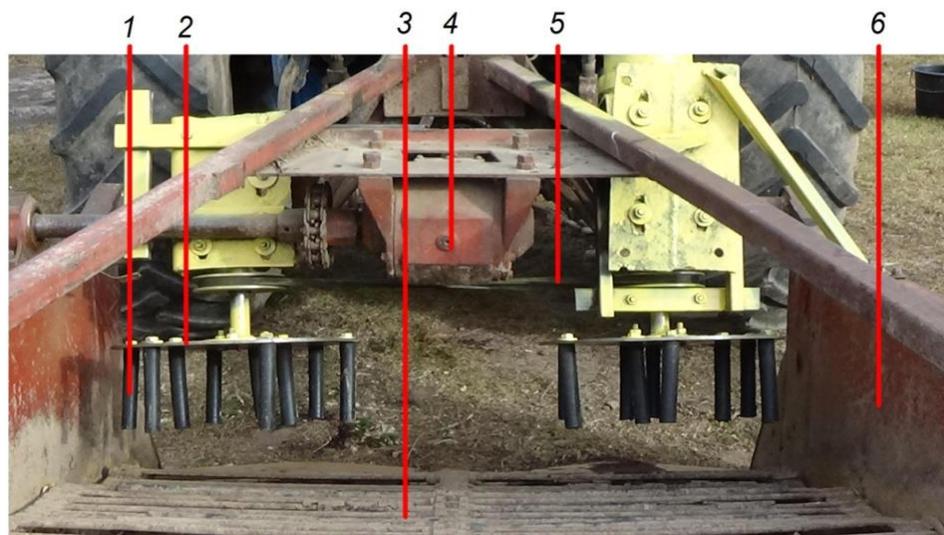
- полнота сепарации почвенных примесей;
- повреждений клубней;
- потерь клубней.



1 – лемех; 2 – дисковый ворошитель; 3 – основной сепарирующий элеватор; 4 – каскадный сепарирующий элеватор;

Рисунок 4.1-Конструктивно-технологическая схема модернизированного картофелекопателя КТН-2В

Объектами полевых исследований выступали: серийный и модернизированный картофелекопатель КТН-2В.



1-пальцы с упругими элементами, 2-дисковый ворошитель, 3-элеватор, 4-редуктор, 5-ременная передача, 6-картфелекопатель КТН-2В, 7-шквив.

Рисунок 4.2–Общий вид модернизированного картофелекопателя КТН-2В оборудованного дисковым ворошителем

Отличие модернизированной машины от базовой состоит в использовании в конструкции машины разработанного дискового ворошителя [37] (рис.4.1), установленного над поверхностью пруткового элеватора.

4.3.1 Методика исследования функционирования картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором с дисковым ворошителем

Методика проведения полевых исследований по сравнению серийного и модернизированного картофелекопателя КТН-2В заключается в следующем. Сроки проведения: периоды массовой уборки картофеля (сентябрь-октябрь) 2015...2017 гг.(приложение В).

С целью установления полноты сепарации почвенных примесей и потерь клубней на картофелекопателе были смонтированы крючки, на которые укладывали стержень с наматываемым рулоном пленки. Когда модернизированный картофелекопатель КТН-2В подъезжал к учетной деланке на концы пленки закреплялись на поле и пленка разматывалась на почве за счет поступающей массы со второго элеватора. По мере движения картофелекопателя на пленку поступал сходящий с элеватора картофельный ворох, который затем анализировали[48].

Потери клубней определяли путем сбора клубней на поверхности почвы, а затем клубней, присыпанных почвой и рассчитывали по формуле:

$$P_{\text{кл}} = \frac{m_{\text{кл}}^1}{m_{\text{кл}}^1 + m_{\text{кл}}^2} \quad (4.1)$$

где $m_{\text{кл}}^1$, $m_{\text{кл}}^2$ – масса клубней, соответственно, присыпанных почвой и лежащих на поверхности, кг.

Определение повреждений клубней производили по стандартной методике, изложенной в литературе [90].

Сравнительные исследования серийного и модернизированного картофелекопателей проводили в течение уборочного сезона (данные

получены за 2015...2017 гг.) через каждые 5 дней. Полученные сведения были сведены в таблицы 4.2

4.3.2 Результаты исследования функционирования картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором с дисковым ворошителем

Результаты сравнительных хозяйственных исследований серийного и модернизированного картофелекопателя (приложение В) приведены в табл. 4.2 [60].

Таблица 4.2 – Параметры участка и результаты исследований серийного и модернизированного картофелекопателя КТН-2В

Наименование данных	Картофелекопатель КТН-2В	
	Серийный	Модернизированный
1	2	3
1. Период проведения испытаний	сентябрь 2015-2017 г.	
2. Сорты исследуемого картофеля	«Луговской», «Удача»	
3. Урожайность клубней картофеля, т/га	23,5	
4. Тип ботвы	подсохшая	
5. Высота гребня грядки, см	22	
6. Максимальная глубина залегания клубня, см	18	
7. Ширина междурядья, см	70	
8. Тип почвы и ее механический состав	серая лесная, средний суглинок	
9. Влажность почвы, %	24,3...27,4	
10. Твердость почвы, МПа	0,42	
11. Засоренность исследуемого участка сорняками, т/га	1,7	
12. Температура воздуха, °С	12	
13. Температура почвы на глубине залегания клубней, °С	8	
14. Предшествующая обработка	механическое удаление ботвы	

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3
15. Рабочая скорость агрегата, км/ч	2,5	2,7
16. Глубина хода лемеха, см	18	18
17. Качество выполнения технологического процесса, %:		
17.1. Количество клубней на поверхности	94,3	97,0
17.2. Оставлено в почве	0,8	0,8
17.3. Присыпано почвой	4,9	2,2
17.4. Всего потерь	5,7	3,0
18. Повреждения клубней, всего по массе, %:	1,96	2,83
18.1. Содрана кожура от 1/4 до 1/2 поверхности клубня	0,31	0,63
18.2. Содрана кожура более 1/2 поверхности клубня	-	-
18.3. Срезы мякоти глубиной более 5 мм	0,55	0,83
18.4. Трещины длиной более 20 мм	0,25	0,31
18.5. Раздавленные клубни	-	-
18.6. Резаные клубни	0,18	0,19
18.7. Потемнение мякоти от удара глубиной более 5 мм	0,67	0,87

Таким образом, проведенные сравнительные исследования серийного и модернизированного картофелекопателей подтвердили преимущества применения разработанного дискового ворошителя в конструкции уборочных машин. Применение дискового ворошителя позволило снизить потери на 47%, увеличить производительность на 12% в сравнении с серийным картофелекопателем. В тоже время несколько увеличились повреждения клубней, но они соответствуют агротехническим требованиям для картофелекопателей.

4.4 Исследования эксплуатационных показателей картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором с дисковым ворошителем

С целью сравнения эксплуатационных показателей серийной и модернизированной картофелеуборочной машины, в конструкции которых использован разработанный дисковый ворошитель, была принята следующая программа исследований:

- 1) уточнить трудоемкость работ по техническому обслуживанию и ремонту серийного и модернизированного картофелекопателя КТН-2В ;
- 2) определить среднюю наработку на отказ картофелеуборочной машины до и после модернизации в целом;
- 3) рассчитать основные эксплуатационные показатели картофелеуборочной машины: коэффициенты использования времени смены, технической готовности, технического обслуживания и эксплуатационной надежности.

4.4.1 Методика эксплуатационных показателей картофелеуборочных машин, оснащенных сепарирующим элеватором с дисковым ворошителем

Объектом исследований выступали серийный и модернизированный картофелекопатели КТН-2В, а также непосредственно разработанный основной элеватор с дисковым ворошителем, установленный на картофелеуборочной машине. За основу была взята стандартная методика испытаний [61, 98].

При составлении плана работ по техническому обслуживанию и ремонту требуется определить удельный простой в ремонте с учетом модернизации картофелеуборочной машины, а также произвести корректировку нормативов трудоемкости выполнения операций технического обслуживания и текущего ремонта.

Трудоемкость технического обслуживания определялась по следующей методике. В список обязательных работ по видам технического обслуживания включали работы, которые необходимо проводить с разработанным дисковым ворошителем основного элеватора. Работы по техническому обслуживанию и ремонту выполнял слесарь третьего разряда. После выполнения необходимых работ по техническому обслуживанию картофелекопатели эксплуатировались до следующего планового

обслуживания. В процессе каждого обслуживания определяли его продолжительность с помощью хронометража.

Трудоемкость работ по техническому обслуживанию определяли по формуле:

$$\bar{t}_{ГО} = \frac{\sum_{i=1}^n t_j}{n} \quad (4.2)$$

где: t_j — трудоемкость j -го обслуживания, чел·ч;

n — число повторностей обслуживания.

Трудоемкость j -го обслуживания определяли по формуле:

$$t_j = T_j \cdot N \quad (4.3)$$

где: T_j — продолжительность j -го обслуживания, ч;

N — число работников, выполняющих данный вид обслуживания, чел.

Улучшение процесса сепарации за счет применения разработанного устройства в модернизированном картофелекопателе позволило увеличить его скорость движения при уборке, что повысило производительность картофелекопателя в сравнении с серийным. За то же время чистой работы модернизированные картофелекопатели убрали большую площадь. Определение времени простоя и трудоемкости текущего ремонта картофелекопателя производили в расчете на гектар убранной площади (физические единицы проделанной работы) и на время чистой работы.

Время чистой работы определяли по наработке в гектарах убранной (площади физических единиц выполненной работы) и теоретической производительности за один час чистой работы в контрольную смену [90].

Теоретическую производительность картофелекопателя за чистое время работы определяли:

$$W_q = 0.1 \cdot B_p \cdot V_R \quad , \quad (4.4)$$

где: W_q - теоретическая производительность картофелекопателя за 1 час чистой работы в контрольную смену, га/ч

B_p - ширина захвата картофелекопателя, м;

V_k - рабочая скорость картофелекопателя, км/ч.

Для определения трудоемкости текущего ремонта были выполнены работы по монтажу и демонтажу частей дискового борошителя на картофелекопателе, также дисковый борошитель был разобран на отдельные детали, а затем был собран в единое целое. Время, затраченное для данной операции, регистрировалось с помощью хронометража.

Во время уборки регистрировались отказы на картофелекопателе и отдельно на дисковом борошителе. По окончании сезона уборки полученные данные обрабатывались и рассчитывалась трудоемкость выполнения операций текущего ремонта картофелекопателя с установленным дисковым борошителем.

Трудоемкость текущего ремонта за чистое время работы определяли по формуле:

$$t_{TPB} = \frac{\sum_{i=1}^k T_{TPi} \cdot N_i}{L_B}, \quad (4.5)$$

где: T_{TPi} — продолжительность устранения i -го отказа, ч;

N_i — число работников необходимых для устранения i -го отказа, чел,

L_B — наработка за время эксплуатации, ч;

k — общее число отказов за период эксплуатации.

Трудоемкость текущего ремонта в расчете на гектар убранной площади определяли по формуле:

$$t_{TP\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^k T_{TPi} \cdot N_i}{L_{\Pi}}, \quad (4.6)$$

где: L_{Π} — наработка за время эксплуатации, га.

Средняя наработка на отказ является важнейшей характеристикой надежности при совершенствовании картофелеуборочных машин.

Среднюю наработку на отказ определяли по формуле:

$$\bar{L}_{BO} = \frac{L_B}{k}, \quad (4.7)$$

$$\bar{L}_{ПО} = \frac{L_{\Pi}}{k}, \quad (4.8)$$

где: \bar{L}_{BO} — средняя наработка на отказ в часах чистой работы, ч;

$\bar{L}_{ПО}$ — средняя наработка на отказ в гектарах убранной площади, га.

k - число отказов.

Основными показателями, характеризующими эффективность эксплуатации картофелеуборочных машин, являются коэффициент технической готовности, коэффициент использования времени смены, коэффициент технического обслуживания, коэффициент эксплуатационной надежности машин [30,33,90].

Коэффициент технической готовности определяли по формуле:

$$\alpha_T = \frac{L_B}{L_B + T_{TP} + T_{ТО}}, \quad (4.9)$$

где: $T_{ТО}$ - время на проведение технического обслуживания одной машины в год, ч.

Общая продолжительность проведения технического обслуживания на одну машину в год определяли по формуле:

$$T_{ТО} = \frac{t_{EO}}{N_{EO}} \cdot \frac{L_B}{T_{CM} \cdot \tau} + \frac{t_{ТО1}}{N_{ТО1}} \cdot \frac{L_B}{\Pi_{ТО1}}, \quad (4.10)$$

где: t_{EO} - трудоемкость проведения одного обслуживания ЕО, чел-ч;

N_{EO} - количество обслуживающего персонала при проведении ЕО, чел;

$t_{ТО1}$ - трудоемкость проведения одного обслуживания ТО-1, чел-ч;

N_{TO1} - количество обслуживающего персонала при проведении ТО-1, чел;

Π_{TO1} - периодичность проведения работ ТО-1, $\Pi_{TO1} = 60$ ч;

τ - коэффициент использования времени смены.

Коэффициент использования времени смены определяли по формуле:

$$\tau = \frac{T_P}{T_{CM}}, \quad (4.11)$$

где: T_P – чистое рабочее время смены (определялось путем хронометража в контрольную смену), ч.

Коэффициент технического обслуживания определяли по формуле:

$$\alpha_{TO} = \frac{L_B}{L_B + T_{TO}}, \quad (4.12)$$

где: T_{TO} — простой машины в техническом обслуживании, ч.

Коэффициент эксплуатационной надежности определяли по формуле:

$$\alpha_{ЭН} = \frac{L_B}{L_B + T_{TP}}, \quad (4.13)$$

Определив вышеперечисленные показатели, можно оценить степень влияния изменений, внесенных в конструкцию, на эксплуатационные показатели машины. Оценка приведена в таблице 4.3.

4.4.2 Результаты эксплуатационных показателей картофелеуборочных машин

Результаты исследования показателей технической эксплуатации серийного и модернизированного картофелеуборочных машин приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Результаты сравнительных исследований эксплуатационных показателей серийного и модернизированного картофелекопателя

Показатель	Единицы измерений	Картофелекопатель КТН-2В	
		Серийная	Модернизированная
1	2	3	4
Количество машин	ед.	1	1
Средняя рабочая скорость	км/ч	2,5	2,7
Ширина захвата	м	1,4	1,4
Наработка за период исследований (в среднем на 1 машину): - в часах чистой работы	ч	114,28	105,82
Средняя годовая наработка: - в часах чистой работы	ч	57,14	52,91
Производительность	га/ч	0,29	0,33
Среднегодовое кол-во отказов в расчете на 1 машину	ед.	2,34	1,83
Средняя наработка на отказ в часах чистой работы:	ч	48,8	57,8
Средняя наработка на отказ в гектарах убранной площади	га	17,1	21,9
Трудоемкость работ: - ЕО - ТО-1	чел·ч чел·ч	0,12 1,04	0,14 1,11
Трудоемкость текущего ремонта в расчете: - на чистое время работы - на гектар убранной площади	чел·ч/ч чел·ч/га	0,10 0,29	0,10 0,26
Коэффициент использования времени смены	-	0,84	0,89
Коэффициент технической готовности	-	0,88	0,88
Коэффициент технического обслуживания	-	0,97	0,97
Коэффициент эксплуатационной надежности	-	0,91	0,91

В целом отмечено увеличение наработки на отказ в расчете на гектар убранной площади, что связано с уменьшением остановок по технологическим причинам и увеличением производительности работы из-за увеличения рабочей скорости движения агрегата при уборке (таблица 4.2). Установлено, что усложнение конструкции картофелеуборочных машин в связи с их модернизацией не оказало значительного влияния на общую

эксплуатационную надежность, поскольку коэффициенты технической готовности, технического обслуживания и эксплуатационной надежности машин после усовершенствования практически не изменились.

Выводы к главе 4

1. Уточнены размерно-весовые характеристики (Длина, ширина, толщина, средняя масса) клубней картофеля сортов «Ред Скарлетт», «Луговской» и «Удача», соответственно:

- 66,7 мм, 53,4 мм, 42,1 мм и 69,3 г;

- 63,3мм, 44,6мм, 39,1мм и 73,4г;

- 64,5мм, 52,1мм, 43,4мм и 77,3 г.

2. В результате полевых исследований картофелекопателя КТН-2В с дисковым ворошителем на среднесуглинистых почвах нормальной влажности установлено, что применение дискового ворошителя позволило снизить потери картофеля на 47%, увеличить производительность на 12% в сравнении с серийным картофелекопателем. В тоже время несколько увеличились повреждения клубней, но они соответствуют агротехническим требованиям для картофелекопателей.

3. Установлено, что усложнение конструкции картофелекопателей в связи с их модернизацией не оказало значительного влияния на общую эксплуатационную надежность, поскольку коэффициенты технической готовности, технического обслуживания и эксплуатационной надежности машин после усовершенствования практически не изменились.

ГЛАВА 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН, ОСНАЩЕННЫХ СЕПАРИРУЮЩИМ ЭЛЕВАТОРОМ С ДИСКОВЫМ ВОРОШИТЕЛЕМ

5.1 Экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат

Расчет технико-экономического эффекта использования дискового ворошителя сепарирующего элеватора на картофелеуборочной машине делался по стандартной методике с применением литературы [126], исходные данные показаны ниже (табл. 5.1).

Данные для оценки экономического эффекта взяты за 2017 г.

Экономический эффект от внедрения модернизированной картофелеуборочной машины: картофелекопателя КТН-2В с установленным на нем разработанным дисковым ворошителем определяли, сравнивая приведенные затраты серийного и модернизированного варианта (в расчете на одну машину). В конструкции модернизированной машины применялся разработанный дисковый ворошитель.

Экономический эффект от внедрения модернизированной картофелеуборочной машины, оборудованной дисковым ворошителем [126]:

$$\mathcal{E}_3 = (Z_1 - Z_2) \cdot B_2, \quad (5.1)$$

где \mathcal{E}_3 - экономический эффект от внедрения модернизированной картофелеуборочной машины, оборудованной дисковым ворошителем, руб;

Z_1 и Z_2 – приведенные затраты на единицу работы, производимой с помощью серийной и модернизированной картофелеуборочных машин, руб/га;

B_2 – нормативный годовой объем работ картофелеуборочной машины.

Приведенные затраты равны сумме эксплуатационных затрат и нормативной прибыли [58,90,126]:

$$Z = Z_{\text{экс}} + H_{\text{П}}, \quad (5.2)$$

где: $Z_{\text{экс}}$ – эксплуатационные затраты, руб/га;

$H_{\text{П}}$ – нормативная прибыль от капитальных вложений (модернизации картофелеуборочной машины), руб/га.

Эксплуатационные затраты (расходы на содержание и эксплуатацию) включают комплекс затрат [126] (табл. 5.1).

Эксплуатационные затраты подразделяются на постоянные и переменные в зависимости от вида и объема выполняемых за год механизированных работ, то есть годовой загрузки. К постоянным затратам, независящим от изменения годовой загрузки, относят амортизационные отчисления и расходы на содержание [126].

К переменным затратам, зависящим от годовой загрузки, относят затраты на техническое обслуживание и ремонт, топливо-смазочные материалы и оплату труда механизаторов [126].

Амортизационные отчисления определяли по формуле:

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

где: Z_a – амортизационные отчисления, руб/га;

B – балансовая стоимость машины, руб;

H_d – норма амортизационных отчислений, %;

$T_{\text{год}}$ – годовая загрузка машины, ч;

W_{τ} – техническая производительность машины, га/ч.

Балансовая стоимость машины (B) определяли по формуле:

$$B = \Pi \cdot K_{\text{П}}, \quad (5.4)$$

где: Π – оптовая цена машины, руб;

K_n – коэффициент, учитывающий издержки на доставку машины в хозяйства при покупке. Его принимают равным $K_n = 1,2$.

Техническая производительность определяется по формуле:

$$W_\tau = 0.1 \cdot B_p \cdot V_R \cdot \tau, \quad (5.5)$$

где B_p – ширина захвата машины, м;

V_k - рабочая скорость агрегата, км/ч;

τ - коэффициент использования времени смены.

Таблица 5.1. Исходные данные для технико-экономической оценки применения модернизированной картофелеуборочной машины, оборудованной дисковым ворошителем (усредненные цены за 2017г.)

№	Наименование показателей	Единицы измерения	Источник	Картофелеуборочная машина	
				Картофелекопатель КТН-2В	
				Базовый вариант	Новый вариант
1	2	3	4	5	6
1	Марка трактора, с которым агрегируется машина		Техническое описание	МТЗ-82	МТЗ-82
2	Цена машины	руб.	Прейскурант	140000	180000
3	Нормативная годовая загрузка машины	час	НСМ для экономической оценки с/х техники	200	200
4	Количество обслуживающего персонала	чел.	Техническое описание	1	1
5	Сумма часовой оплаты с учётом всех видов доплат трактористам V разряда	руб./ч	НСМ	85,5	85,5
6	Сумма часовой оплаты с учётом всех видов доплат рабочим на подборе	руб./ч	НСМ	48,8	48,8

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6
7	Урожайность картофеля	т/га	Протокол испытаний	23,5	23,5
8	Норма амортизационных отчислений по машине	%	НСМ	12,5	12,5
9	Норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание машины	%	НСМ	7,0	7,0
10	Расход ГСМ	кг/ч	НСМ	12,0	12,1
11	Комплексная цена 1 кг ГСМ	руб.	НСМ	36	36
12	Закупочная цена картофеля: - продовольственного - повреждённого	руб./т	НСМ НСМ	9000 4600	9000 4600
13	Срок службы машины	лет	НСМ	8	8
14	Рабочая скорость	км/ч	Протокол испытаний	2,5	2,7
15	Ширина захвата	м	Техническое описание	1,4	1,4
16	Потери клубней	%	Протокол испытаний	5,7	3,0
17	Повреждения клубней	%	Протокол испытаний	1,96	2,83
18	Площадь места для хранения машины	м ²	Техническое описание	5,6	5,6
19	Удельная стоимость 1 м ² машиноместа	руб/м ²	НСМ	170	170
20	Норматив отчислений на амортизацию и ремонт мест хранения техники	%	НСМ	8,0	8,0
21	Годовой объём работ, выполненных машиной	га	Протокол испытаний	20	20
22	Коэффициент использования времени смены		Протокол испытаний	0,84	0,89

Как показали проведенные сравнительные полевые исследования машин значение коэффициента использования времени смены зависит в значительной степени от величины T_0 - времени технологических остановок [126]. Полученный по данным проведенного хронометража для серийной и модернизированной картофелеуборочных машин коэффициент использования времени смены приведен в таблице 5.1.

Затраты на техническое обслуживание и ремонт определяли по формуле:

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

где Z_{TO} - затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб/га;

H_{TO} - норматив затрат на техническое обслуживание и ремонт, %;

$T_{год}$ - годовая загрузка машины, ч;

Затраты на горюче-смазочные материалы определяли по формуле:

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

где $Z_{ГСМ}$ - затраты на горюче-смазочные материалы, руб/га;

$H_{ГСМ}$ - норма расхода горюче-смазочных материалов, кг/ч;

$Ц_{ГСМ}$ - комплексная цена горюче-смазочных материалов, руб/кг.

Затраты на хранение определяли по формуле:

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

где H_{XP} - норматив затрат на хранение одной машины, руб.

Данный норматив определяли по формуле:

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

где S_k - площадь, занимаемая машиной, m^2 ;

K_{XP} - удельная стоимость 1 m^2 машиноместа, руб/ m^2 ;

H_{XP}^d - норматив затрат на амортизацию и ремонт мест хранения техники, %.

Для серийной и модернизированной картофелеуборочных машин норматив затрат на хранение одной машины одинаков.

Величину оплаты труда механизаторов определяли по формуле:

$$Z_o = \frac{C_{\text{тар}} \cdot L}{W_{\tau}}, \quad (5.10)$$

где Z_o - оплата труда механизаторов, руб/га;

$C_{\text{тар}}$ - тарифная ставка механизатора за выполняемую работу, руб/ч;

L - число механизаторов, чел.

Величину оплаты труда рабочих на подборе определяли по формуле:

$$Z_p = \frac{C^{\text{н}}_{\text{тар}} \cdot L_p}{W_{\tau}} \quad (5.11)$$

Z_p - оплата труда рабочих на подборе, руб/га;

L_p - число рабочих на подборе, чел;

$C^{\text{н}}_{\text{тар}}$ тарифная ставка рабочих на подборе за выполненную работу, руб/ч;

Результаты расчета эксплуатационных затрат представлены (таблице 5.2).

Таблица 5.2. – Результаты расчета эксплуатационных затрат.

№	Статьи затрат	Обозначение	Единицы измерения	Картофелекопатель КТН-2В	
				Базовый вариант	Новый вариант
1	2	3	4	5	6
1	Амортизационные отчисления	Z_a	руб./га	375	421,8
2	Техническое обслуживание и ремонт	$Z_{\text{то}}$	руб./га	210	236
3	Горюче-смазочные материалы	$Z_{\text{гсм}}$	руб/га	1542,85	1361,25
4	Хранение техники	$Z_{\text{хр}}$	руб/га	1,36	1,19
5	Оплата труда механизаторов	Z_o	руб/га	305,35	267,18
6	Оплата труда рабочих на подборе	Z_p	руб/га	2091,42	1830
7	Итого эксплуатационных затрат	$Z_{\text{экс}}$	руб/га	4525,98	4117,42

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4	5	6
8	Удельные капиталовложения	K_y	руб/га	3000	3335
9	Нормативная прибыль от капиталовложений	H_{Π}	руб/га	450	506,25
10	Приведенные затраты на единицу выполненной работы	3	руб/га	4975,98	4623,67

Нормативную прибыль от капиталовложений определяли по формуле:

$$H_{\Pi} = E_n \cdot K_y, \quad (5.12)$$

где E_n - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений ($E_n=0,15$);

K_y - удельные капиталовложения, руб/га.

Удельные капиталовложения определяем:

$$K_y = \frac{B}{T_{\text{год}} \cdot W_r}, \quad (5.13)$$

С помощью выражений (5.1) и (5.2) определяем приведенные затраты и годовой экономической эффект от использования усовершенствованных машины в результате снижения эксплуатационных затрат (табл. 5.2).

Кроме указанной годовой экономии, полученной в результате улучшения технико-экономических показателей работы модернизированной картофелеуборочной машины, оборудованной дисковым ворошителем, имеется экономический эффект от снижения потерь клубней при уборке картофеля.

5.2 Экономический эффект от снижения потерь клубней

Экономический эффект от снижения потерь клубней при работе модернизированной картофелеуборочной машины, оборудованной дисковым ворошителем определяли по формуле:

$$\mathcal{E}_{\Pi} = B_{\Gamma} \cdot Y_{\kappa} \cdot a_{\Pi} \cdot C_{\Pi}, \quad (5.14)$$

где a_{Π} - коэффициент снижения потерь;

Y_{κ} - средняя урожайность картофеля, т/га;

C_{Π} - цена продовольственного картофеля, руб/т.

Следует отметить, что при использовании дисковых борошителей повышаются повреждения клубней, при этом экономический убыток определяли по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{пов}} = B_2 \cdot Y_2 \cdot a_{\text{нк}} \cdot C_p \quad (5.15)$$

где $a_{\text{нк}}$ - коэффициент снижения повреждений клубней;

C_p – разница цены продовольственных и повреждённых клубней, руб.

По результатам проведенных расчетов определяли годовой экономический эффект (табл.5.3).

Таблица 5.3. Годовой экономический эффект от применения модернизированной картофелеуборочной машины, оборудованной дисковым борошителем.

№	Статьи затрат	Обозначение	Единицы измерения	Картофелекопатель КТН-2В
1	2	3	4	5
1	Годовой экономический эффект в результате снижения эксплуатационных затрат	$\mathcal{E}_{\text{э}}$	руб/га	352,23
			руб	7044,6
2	Экономический эффект от снижения потерь клубней	\mathcal{E}_{Π}	руб/га	5710,5
			руб	114210
3	Экономический эффект (убыток) от снижения (повышения) повреждений клубней	$\mathcal{E}_{\text{пов}}$	руб/га	-899,58
			руб	-17991,6

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5
4	Суммарный годовой экономический эффект	$\text{Э}_{\text{сум}}$	руб/га	5163,15
			руб	103263

Суммарный экономический эффект от внедрения модернизированной картофелеуборочной машины, оборудованной дисковым ворошителем составил 103263 руб. в год (5163,15 руб. в расчете на 1 га) .

Использование в конструкции картофелекопателя КТН-2В разработанного дискового ворошителя является экономически выгодным, что доказано приведенными выше расчетами.

Выводы к главе 5

1. По результатам расчетов был доказан технико-экономический эффект применения модернизированного картофелекопателя КТН-2В, оснащенного сепарирующим элеватором с дисковым ворошителем.

2. Установлено, что технико-экономический эффект от внедрения на картофелеуборочной машине сепарирующего элеватора, оснащенного дисковым ворошителем, составит 5163,15 руб. в расчете на 1 га уборочной площади.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Теоретически обоснованы параметры дискового ворошителя сепарирующего элеватора: расстояние между пальцами – 0,15...0,2 м; угловая скоростью – 5,6...6,2 с⁻¹, радиус расположения пальцев – 0,25...0,28 м; палец выполнен в виде трубки из полимерного материала с размерами поперечного сечения: внешний диаметр упругой части 0,020...0,035 м, внутренний диаметр упругой части 0,012...0,016 м, высота упругой части $H_{эл}=0,04...0,06$ м, при этом необходимая жесткость упругой трубчатой части пальца должна находиться в пределах от 3,7 кН/м до 4,8 кН/м.

2. В результате экспериментальных исследований уточнены рациональные значения параметров дискового ворошителя. Установлено, что при изготовлении упругих элементов пальцев рационально применение шланга резинового (ГОСТ 18698-79) внутренним диаметром 0,016 м и наружным 0,026 м, состоящего из внутреннего резинового слоя (резина марки ИРП-1265), нитяного каркаса (усиления) (полиамидная комплексная нить марки А по ГОСТ 22693-98) с несколькими промежуточными слоями из резины, высота упругой части 0,04 м. Выявлено, что сепарация почвы $\varepsilon=0,94$ наблюдается при угловой скорости дискового ворошителя 5,6 с⁻¹. Расхождение с результатами теоретических исследований составляет менее 5%.

3. В результате полевых исследований функционирования усовершенствованных картофелеуборочных машин (на примере картофелекопателя КТН-2В) на среднесуглинистых почвах установлено, что применение дискового ворошителя позволило увеличить производительность на 12% в сравнении с серийной машиной.

4. Техничко-экономический эффект от внедрения на картофелеуборочной машине сепарирующего элеватора, оснащенного дисковым ворошителем, составит 103263 руб. при уборке площади в 20 га со средней урожайностью клубней картофеля 23,5 т/га.

Рекомендации производству:

1. Для повышения производительности картофелеуборочных машин возможно использовать дисковый ворошитель, установленный над сепарирующим элеватором.

2. Рекомендуемые параметры дискового ворошителя при его использовании на картофелекопатель КТН -2В: расстояние между пальцами – 0,15...0,2 м; угловая скорость – 5,6...6,2 рад/с, радиус расположения пальцев – 0,25...0,28 м, длина пальца 200мм, высота упругой части 40 мм при жесткости 4,67 кН/м.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В перспективе целесообразно продолжить научные исследования в направлении совершенствования сепарирующих органов картофелеуборочных машин для различных условий их использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. № 927170 СССР, М.кл.8 А01D33/08. Устройство для отделения примесей от корнеклубнеплодов / В.А. Хвостов, Н.Н. Колчин, В.В. Золотарев, Г.Д. Петров, Ю.И. Кириенко, В.М. Фурлетов – Оpubл. 15.05.82, Бюл. № 18.
2. А.с. №1130224 СССР, М.кл.8 А01D33/08. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины / Б.И. Максимов, Г.А. Трахтенбройт, Э.С. Рейнгарт, А.В. Соколов, Л.И. Левчук – Оpubл. 23.12.84, Бюл. №47.
3. А.с. №1687069 СССР, М.кл.8 А01D17/00. Навесной картофелекопатель / А.А. Сорокин, Н.Н. Лутхов, Р. Гайипов, И.Г. Гаджиев – Оpubл. 30.10.1991, Бюл. № 40.
4. А.с. №1690586 СССР, М.кл.8 А01D17/00. Подкапывающе-сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины / М.М. Шумило, А.Ф. Завгородний, Б.А. Козаченко – Оpubл. 15.11.91, Бюл. №42.
5. А.с. №735205 СССР, М.кл.8 А01D15/01. Корнеклубнеуборочная машина / Э.С. Рейнгарт, Л.И. Левчук, Н.Ф. Диденко, В.А. Филиппова – Оpubл. 25.05.80, Бюл. №19.
6. А.с. №735206 СССР, М.кл.8 А01D15/01. Корнеклубнеуборочная машина / Э.С. Рейнгарт, Л.И. Левчук, Н.Ф. Диденко, И.И. Мейлахс и А.И. Дятликович – Оpubл. 25.05.80, Бюл. №19.
7. А.с. №893165 СССР, М.кл.8 А01D33/08. Устройство для встряхивания полотна элеватора / Г.Д. Петров, Р.Р. Джапаридзе, В.Т. Амеличев, Э.С. Рейнгарт, Л.И. Левчук – Оpubл. 30.01.81, Бюл. №48
8. Адлер Ю.П., Макарова Е.Б., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.:Наука,1976.-279с.
9. Алферов Г. С., Лутхов Н.Н. Исследование взаимодействия дискового подкапывающего рабочего органа с почвой // Рабочие органы и устройства для возделывания, уборки и послеуборочной обработки

корнеклубнеплодов и овощей: Сб.науч.тр./НПО ВИСХОМ. - М.: НПО ВИСХОМ, 1990. - С.32-43.

10. Борычев С.Н. «Обоснование параметров и разработка ботвоудаляющего рабочего органа картофелеуборочных машин». – Дис... канд. техн. наук. – Рязань: РГСХА им. П.А. Костычева, 2000,

11. Борычев С.Н. Проблемы при уборке корнеклубнеплодов/ С.Н. Борычев, С.С. Рогов, И.А. Успенский// Сб. научных трудов РГСХА. Энергосберегающие технологии использования и ремонта машино-тракторного парка. Научно-практическая конференция.- 2004.-N 1.-С.57-58

12. Борычев, С.Н. Машинные технологии уборки картофеля с использованием усовершенствованных копателей, копателей-погрузчиков и комбайнов: дис. докт. техн. наук: 05.20.01 / С.Н. Борычев. - Рязань, 2008. – 484 с

13. Братушков Н.В. Особенности машинных технологий производства картофеля и овощей в Московской обл. Сборник научных докладов «Земледельческая механика в растениеводстве», труды ВИМ, т. 4, М., 2001 г., с. 179-187.,

14. Бышов Н.В. Влияние кинематических и конструктивных параметров центробежно-выжимного сепаратора картофелеуборочной машины на сепарацию почвы //Юбилейный сборник научных трудов. Т.1. – Рязань: РГСХА, 1999. – С. 264-266

15. Бышов Н.В. Исследование жесткости упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин/ Н.В.Бышов, С.Н.Борычев, Д.А.Лапин, М.Ю. Костенко, Г.К. Рембалович, // Современные проблемы освоения новой техники, технологии, организации технического сервиса в АПК. Материалы Международной научно-практической конференции БГАТУ. – Минск: 2018.

16. Бышов Н.В. Научно-методические основы расчета сепарирующих рабочих органов и повышение эффективности

картофелеуборочных машин / Н.В. Бышов // Дис. ... докт. техн. наук. – Рязань, 2000. – 414с.

17. Бышов Н.В. Перспективы применения системно-информационного подхода к формированию качества плодоовощной продукции при уборке, транспортировке и хранении/ Н.В.Бышов, С.Н.Борычев, И.А.Успенский, М.Ю. Костенко, Г.К. Рембалович, Н.А. Костенко, Д.А.Лапин //Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета . – 2016.– №123. – С. 841 – 855. [Электронный ресурс]. URL:<http://ej.kubagro.ru/2016/09/pdf/57.pdf>

18. Бышов, Н.В. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных машин / Н.В. Бышов, А.А. Сорокин, И.А. Успенский [и др.]// учебное пособие.-Рязань, РГАТУ,2005.-284 с.,

19. Бышов, Н.В. Проектирование рабочих органов картофелеуборочных машин: учебное пособие / Н. В. Бышов, А.А. Сорокин, С.Н. Борычев [и др.]; М-во с/х Рос. Федерации. Федерации, РГСХА. – Рязань: РГСХА, 2004. – 365 с.

20. Бышов, Н.В. Теоретические и практические основы применения современных сепарирующих устройств со встряхивателями в картофелеуборочных машинах / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.К. Рембалович [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №89. – С. 866 – 876. [Электронный ресурс]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/58.pdf>.

21. Верещагин Н.И. Обоснование процесса и средств механизации картофеля, снижающих повреждение картофеля. Дис. докт.техн.наук в форме научного доклада – М.:1991.-33с.

22. Верещагин Н.И., Пшеченков К.А. Рабочие органы машин для возделывания, уборки и сортировки картофеля. – М.: Машиностроение, 1965. – 268 с.

23. Верещагин, Н.И. Современные машинные технологии производства картофеля / Н.И. Верещагин - Техника и оборудование для села, №8, 2004, с. 16 – 19; №9, 2004, с. 12 – 14 (продолжение).

24. Виноградов, В.И. Повреждаемость клубней картофеля на сепарирующих рабочих органах картофелеуборочных машин / В.И. Виноградов, А.П. Дорохов, А.Д. Погуляев // Сб. научных трудов Челябинского ИМЭСХ.-1974.-№93.-С.86-88.,

25. Волченков Д.А. Методика исследований сепарирующей способности пруткового элеватора с дисковым ворошителем/, Д.А.Лапин, Н.Г. Бойбобоев, Ш.И. Гуломов // Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса. Материалы 69-ой Международной научно-практической конференции ФГБОУ ВО РГАТУ. – Рязань: 2018.

26. Высокопроизводительный комплект для уборки картофеля / С.С. Туболев [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. - №10. – С. 11-16.,

27. Голиков, А.А. Теоретические исследования усовершенствованного пруткового конвейера картофелеуборочной машины / А.А. Голиков, Г.К. Рембалович, А.В. Паршков [и др.]// В сб. «Наука и образование XXI века. Материалы IV межрегиональной научно-практической конференции СТИ 25 октября 2013 г.». – Рязань: Изд-во НОУ ВПО СТИ, 2013. – с. 167 – 176.

28. Горячкин В.П. О сортировании картофеля // Горячкин В.П. Собрание сочинений. Т.2. – М.: Колос, 1965. – С.190-191

29. ГОСТ 20915-75 «Техника сельскохозяйственная. Методы определения условий испытаний». – М.: Издательство стандарт, 1975. – 86 с.

30. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения

31. ГОСТ 13377-67. Надежность в технике. Термины

32. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования).- М.1973. -336с.

33. Ерохин М.Н. Принципы повышения надежности и эффективности эксплуатации сельскохозяйственной техники. Диссертация на соискание ученой степени доктора тех.наук. МГАУ им.В.П.Горячкина.М.1994

34. Ерохин, М.Н. Повышение надежности и ремонтпригодности сепарирующих горок корнеклубнеуборочных машин / М.Н.Ерохин, Н.А. Выскребенцев, Г.Л. Нерсисян // Сб научных трудов Московского ГАУ по материалам Международной научно–практической конференции посвященной памяти академика В.П. Горячкина. – М., – 1998. – С. .78 – 83.

35. Жистин Е.А. О повреждении клубней картофеля на рабочих поверхностях сепараторов./Научно-технический бюллетень ВНИИМСХ вып.№56//М. 1983

36. Заводнов, С. В. Исследования взаимодействия клубней картофеля с рабочими органами сельскохозяйственных машин /С. В. Заводнов // Дис. ... канд. техн. наук. – М., 2002. – 186 с.

37. Заявка на полезную модель №2018128249/13(045240) . Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины/ Д.А.Лапин , Н.В.Бышов, С.Н.Борычев и др. // от 01.08.2018 г.

38. Зубков, В.Е. Совершенствование процесса сепарации корнеклубнеплодов / В.Е. Зубков. Дис... докт. техн. наук. – Луганск, 2009. – 425 с.

39. Измайлов А.Ю. Разработка технологии перевозки картофеля с применением контейнеров емкостью 4т. выполняющих роль межсменных компенсаторов[Текст] / А.Ю.Измайлов, Н.Е. Евтушенков, // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. 2014. С. 320-322.

40. Измайлов А.Ю. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства[Текст] /А.Ю.Измайлов, Н.Н. Колчин, Я.П.

Лобачевский, Н.Г.Кынев// Сельскохозяйственные машины и технологии 2015-№2-С.43-47.

41. 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.

42. Калинин, А.Б. Современные технологии возделывания картофеля / А.Б. Калинин // Аграрный эксперт. – 2004. № 3.

43. Камалетдинов Р.Р. Результаты испытаний экспериментального образца картофелекопателя к тракторам малого класса тяги[Текст]/Камалетдинов Р.Р. Кутлубаев А.А.// В сборнике: Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПКматериалы международной научно-практической конференции в рамках XXVIII Международной специализированной выставки "Агрокомплекс-2018". Башкирский государственный аграрный университет. 2018. С. 85-88..

44. Камалетдинов Р.Р. Научно-методологическое обоснование технологий и технических средств возделывания и уборки картофеля на основе объектно-ориентированного моделирования: автореф. дис...д.т.н. 05.20.01 [Текст] / Р.Р. Камалетдинов; Башкир. гос. аграр. ун-т Уфа 2017 г. -22с.

45. Камалетдинов Р.Р. Рекомендации по совершенствованию рабочих органов машин для уборки картофеля 2-е издание [Текст] / Р.Р. Камалетдинов // Уфа 2014- 44 с.

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

47. Канатьев А .А. В. Перспективные направления интенсификации подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин/ А. В.

Канатъева, Д.А.Лапин, А. С.Лучина, М. А. Фархатов // Молодой ученый . – 2017. – N11-3. – С. 7 – 10.

48. Кардашевский С.В., Погорелый Л.В., Фудиман Г.М. Испытания сельскохозяйственной техники. – М.: Машиностроение, 1979. – 288 с., ил.

49. Карташов С.Г. Новый способ и устройство для уборки и трёхстадийной очистки клубней топинамбура[Текст] /С.Г.Карташов// Вестник ВИЭСХ. 2017. № 3 (28). С. 114-119

50. Каспарова С.А., Никулина Л.Б., Мальцева Л.В. Физико-механические свойства клубней картофеля. Труды ВИСХОМ, вып.32.- М.,1962.С.15-30

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

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

53. Колчин Н.Н. Развитие отечественного сельскохозяйственного машиностроения - важнейшая неотложная государственная задача [Текст] /Н.Н. Колчин,А.Г.Пономарев, А.Г Аксенов// Современные задачи инженерных наук -2000-№2.-С. 261-267

54. Колчин Н.Н. и др. Технологии и комплексы машин для возделывания важнейших сельскохозяйственных культур. Часть 1. Картофель. М. ИНФРА-М., 1997, 104 с., ил.

55. Колчин, Н.Н. Производство картофеля за рубежом. Картофель и овощи, № 2, 2010, стр. 28 – 31.

56. Колчин, Н.Н. Современная техника для машинного производства картофеля / Н.Н. Колчин // Тракторы и сельхозмашины. — 2011. – №6. – С. 51 – 54.

57. Костенко, М.Ю. Исследование сепарирующей способности прутковых элеваторов / М.Ю. Костенко, Н.А. Костенко // Сборник научных

трудов профессорско-преподавательского состава ФГОУ ВПО РГАТУ имени П.А. Костычева, Рязань, 2008 – С. 146-148.

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

59. Кривоногов Н.И. Исследование первичной сепарации почвы в картофелеуборочных машинах с целью обоснования параметров сепараторов с активным встряхивателем. / Н.И. Кривоногов // Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1968. – 170 с

60. Кузьмин, А.В. Методы снижения повреждаемости клубней картофеля и совершенствования картофелеуборочных машин / А.В. Кузьмин. Дис... докт. техн. наук. – М., 2005. – 240 с.

61. Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., Ачкасов К.А. Надежность и ремонт машин. М., Колос, 2000. – 776 с

62. Куцев И.Е. Разработка разветвляющейся технологии уборки картофеля с обоснованием параметров и режимов работы сепарирующих устройств: Автореф. дис. докт. техн. наук. – Рязань, 1999. – 36 с.

63. Лапин Д.А. Исследование надежности упругих элементов дискового ворошителя картофелеуборочных машин/ Д.А.Лапин, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, Ш.Б.Акбаров // Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса. Материалы 69-ой Международной научно-практической конференции ФГБОУ ВО РГАТУ. – Рязань: 2018.

64. Лапин Д.А. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочных машин для работы в тяжелых условиях/Д.А.Лапин, Г.К. Рембалович, И.А.Успенский//Инновационные подходы к развитию агропромышленного комплекса региона. Материалы 67-ой Международной научно-практической конференции ФГБОУ ВО РГАТУ. – Рязань: 2016. – С. 83 – 86.

65. Лапин Д.А. Сравнение интенсификаторов сепарирующих элеваторов по воздействию на компоненты картофельного вороха [Текст]/Д.А. Лапин// В журн. «Вестник РГАТУ». – 2018 г. – С. 135 – 137.

66. Лапин Д.А. Теоретические исследования траекторий движения компонентов картофельного вороха на прутковом элеваторе уборочной машины при работе дисковых интенсификаторов/ Д.А.Лапин, Д.А.Волченков, И.И. Гришин, Б.А. Нефедов. // Международный научный журнал. – 2017. – №6. – С. 107 – 112.

67. Лачуга Ю.Ф. Интенсивные машинные технологии, роботизированная техника и цифровые системы для производства основных групп сельскохозяйственной продукции [Текст] /Ю.Ф.Лачуга, А.Ю.Измайлов, Я.П.Лобачевский, Ю.Х.Шогенов //Техника и оборудование для села. 2018. № 7. С. 2-7

68. Мацепуро М.Е. Технологические основы механизации уборки картофеля / М.Е. Мацепуро. – Минск: АН БССР, 1959. – 324 с.

69. Машинные технологии и техника для производства картофеля / С.С. Туболев [и др.]. – М.: Агроспас, 2010. - 316 с.

70. Митков В.В. Разработка технологического процесса механической очистки корнеплодов и обоснование параметров конвейера-очистителя кормовой свеклы: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Глеваха, 1987. – 17 с.

71. Митрофанов В.С. Физико-механические свойства картофеля. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин / В.С. Митрофанов. – Машгиз, 1940. – Т.5.

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

73. Основы теории и расчета с/х машин на прочность и надежность. Под ред. П.М. Волкова, М.М. Тененбаума. М.: Машиностроение, 1977. – 310 с.

74. Паршков, А.В. Совершенствование технологического процесса и органа вторичной сепарации картофелеуборочных машин / А.В. Паршков // Дис..канд.техн.наук.-Рязань, 2008.-145 с

75. Пат. 2592111, RU, МПК G01R 27/26, G01N 27/60. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины/ А.А. Голиков, И.А.Успенский, Н.В.Бышов, С.Н.Борычев, Г.К.Рембалович, И.А.Юхин, Д.А.Лапин [и др.] – Оpubл. 20.07.2016, бюл. № 20.

76. Пат. RUS 2622692 Российская Федерация, МПК A01D33/10 (2006.01) Контейнерная система сбора картофеля для безбункерного комбайна [Текст] / Евтюшенков Н.Е., Елизаров В.П., Еремченко В.И., Иванов М.В., Измайлов А.Ю., Калинин Г.А., Крюков М.Л., Наумов Ю.Н., Пономарев А.Г.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. - № 2016123065; заявл. 10.06.2016; опубл. 19.06.2017 Бюл. № 17

77. Патент №157146, RU, A01D33/08. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины/ Д.А. Волченков, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, И.А. Успенский, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, А.А. Голиков – Оpubл. 20.11.2015, Бюл. №32

78. Патент №2267899, RU, М.кл.8 A01D33/08. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины / С.Н. Борычев – Оpubл. 20.01.2006, Бюл. №2.

79. Патент №38260, RU, М.кл.8 A01D33/00. Картофелеуборочная машина / М.Б. Угланов, Р.А. Чесноков, В.Н. Носов, А.А. Титов, А.В. Карапузкин, С.Н. Сачков – Оpubл. 10.06.2004, Бюл. №16

80. Патент №47166, RU, М.кл.8 A01D33/00, 17/08. Картофелеуборочная машина / М.Б. Угланов, Р.А. Чесноков, В.Н. Носов, А.А. Титов, С.Н. Сачков – Оpubл. 27.08.2005, Бюл. №24

81. Патент №81031, RU, М.кл.8 A01D 33/08. Сепарирующий транспортер уборочной машины / М.Б. Латышенко, М.Ю. Костенко, И.Н. Горячкина, Н.А. Костенко – Оpubл. 10.03.2009, Бюл. №7.

82. Патент №91666, RU, М.кл.8 А01D33/08. Наклонный сепарирующий рабочий орган уборочной машины / О.В. Гордеев, В.И. Гордеев – Оpubл. 27.02.2010, Бюл. №6

83. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины\ Г.Д.Петров. М. Машиностроение, 1984-320 с.

84. Пшеченков К.А. Картофель: убрать эффективно [Текст] / К.А.Пшеченков, С.В.Мальцев, Д.Г.Семёнов// Картофель и овощи. 2016. № 9. С. 24-26.

85. Пшеченков К.А. Технологии выращивания и уборки картофеля[Текст] / К.А.Пшеченков, В.Н.Зейрук, С.В.Мальцев// В сборнике: Развитие новых технологий селекции и создание отечественного конкурентоспособного семенного фонда картофеля Материалы международной научно-практической конференции. Сер. "Картофелеводство" Под редакцией С.В. Жеворы. 2016. С. 278-299.

86. Пшеченков К.А. Технология комбайновой уборки картофеля на суглинистых почвах в центральном регионе России/ К.А.Пшеченков, С.В. Мальцев, А.В. Смирнов// Картофель и овощи-2018-№4.-С. 19-21

87. Пшеченков К.А. Уборка картофеля[Текст] /К.А.Пшеченков, Г.Л.Белов, С.В.Мальцев, А.В.Смирнов// Земледелие -2018-№5.-С. 23-26

88. Пшеченков К.А., Уборка, послеуборочная доработка и хранение семенного картофеля[Текст]/К.А.Пшеченков, С.В.Мальцев //Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 55. С. 209-212.

89. Пшеченков К.А.Технология выращивания и уборки картофеля в центральном регионе России [Текст] / К.А. Пшеченков, В.Н. Зейрук, С.В. Мальцев// Картофелеводство-2017-С. 48-59

90. Рембалович Г.К. Повышение эффективности уборки картофеля на тяжелых суглинистых почвах совершенствованием сепарирующих органов комбайнов/ Г.К. Рембалович. Дис. ...докт..техн.наук.-Рязань, 2014.- 517 с.

91. Рембалович Г.К., Бойко А.И. Перспективные конструкции сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин в России и за рубежом. / Материалы научной конференции молодых ученых и специалистов МСХА им. К.А. Тимирязева. - М., 2005. - С. 223-226.

92. Рембалович Г.К., Бойко А.И., Борычев С.Н., Успенский И.А. Сепарирующие рабочие органы картофелеуборочных машин / Сб. научных трудов посвященный 55-летию РГСХА / РГСХА. – Рязань, 2004. – С. 363 – 364.

93. Рембалович Г.К., Борычев С.Н., Успенский И.А. Лабораторные исследования разработанной продольной горки с отбойным валиком в виде наклонных дисков картофелеуборочной машины // Повышение эффективности функционирования механических систем: Сб. трудов по материалам международной научно-технической конференции / МГУ им. Н.П. Огарева. – Саранск, 2004. С. 374 – 378.

94. Рембалович, Г.К. Исследование равномерности просеивания почвы по ширине конвейера первичной сепарации в картофелеуборочных машинах. / Г.К Рембалович // В журн. «Вестник РГАТУ». – 2013 г., № 4. - С. 79-82.

95. Рембалович, Г.К. Перспективы повышения технологической надежности рабочих органов картофелеуборочных машин при работе в сложных условиях. / Г.К. Рембалович, А.А. Кутыркин, И.А. Успенский [и др.] // В сб. «Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем. Материалы всероссийской научно-технической конференции». – Саранск, 2009. - с. 321-323.

96. Рембалович, Г.К. Повышение надежности технологического процесса и технических средств машинной уборки картофеля по параметрам качества продукции / Г.К. Рембалович, И.А. Успенский, Р.В. Безносюк [и др.] // В журн. «Техника и оборудование для села». – 2012 г., № 3 стр. 6-8.

97. Рембалович, Г.К. Совершенствование первичной сепарации в картофелеуборочных машинах / Г.К. Рембалович, Н.А. Рязанов, И.А.

Успенский - Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011, №10. - С. 5- 6.

98. Рембалович, Г.К. Сравнительная оценка эксплуатационной надежности картофелекопателей. / Г.К. Рембалович, С.Н. Борычев, И.А. Успенский // В журн. «Тракторы и сельхозмашины». – 2010 г., № 2. - С. 46-47.

99. Рембалович, Г.К. Теоретические основы исследования рабочих органов на основе моделирования процесса вторичной сепарации в картофелеуборочных машинах/ Рембалович Г.К., Безносок Р.В. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №89. – [Электронный ресурс]. URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/57.pdf>. (дата обращения: 07.07.2013).

100. Рогов С.С. Совершенствование технологического процесса и органа первичной сепарации почвы в картофелеуборочных машинах / С.С. Рогов // Дис. ... канд. техн. наук. – Рязань, 2009. – 185 с.

101. Рязанов, Н.А. Усовершенствованный технологический процесс и интенсификатор основного элеватора картофелеуборочных машин / Н.А. Рязанов. Дис. ...канд. техн. наук. – Рязань, 2012. - 144 с.

102. 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.

103. Сибирёв А.В.Методика определения величины схода вороха лука-севка с поверхности сепарирующего пруткового элеватора[Текст] / А.В. Сибирёв //В сборнике: Научное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса регионов РФ Материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 640-644.

104. Симанович В. С., Гончаров А. А. Усовершенствование линии обработки корнеклубнеплодов. // Механизация и электрификация сельского

хозяйства: Межвед. Темат. Сб. / ЦНИИМЭСХ. – НЗ СССР. – Минск, 1985. – Вып. 28. – с. 48-58.

105. Скидан, Ю.Ф. Моделирование технологических систем возделывания сельскохозяйственных культур/ Ю.Ф.Скидан. Дис....докт,техн.наук.- Новосибирск, 1989.-275 с.

106. Скробач, В.Ф. Повышение эффективности функционирования поточных технологических линий возделывания сельскохозяйственных

107. Сорокин, А.А. Теория и расчет картофелеуборочных машин / А.А. Сорокин. – М.: ВИМ, 2006. – 158 с.

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

109. Туболев, С.С. Машинные технологии и техника для производства картофеля / С.С. Туболев, С.И. Шеломенцев, К.А. Пшеченков [и др.] – М.: Агроспас. – 2010. – 316 с.

110. Туболев, С.С. Развитие отечественного сельскохозяйственного машиностроения на примере производства специальной техники для картофелеводства и овощеводства. / С.С. Туболев, Н.Н. Колчин // – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 68 с.

111. Туболев, С.С. Современный картофелеуборочный комбайн. / С.С. Туболев, С.И. Шеломенцев // Тракторы и сельхозмашины, № 2, 2008. - С.10-13.

112. Тульчеев, В.В. Стратегия технологической и организационно-экономической модернизации картофелепродуктового комплекса АПК Российской Федерации в XXI столетии / В.В. Тульчеев, Н.Д. Лукин; под ред. И.В. Савченко. – М.: Россельхозакадемия, 2010. – 273 с,

113. Тульчеев, В.В. Формирование и эффективное функционирование агропромышленного комплекса Российской Федерации в рыночных условиях / В.В. Тульчеев. – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2004. – 272 с,

114. Угланов, М.Б. Разработка комплекса машин для уборки картофеля на основе совершенствования рабочих органов и рационального их сочетания / М.Б. Угланов. Дис..докт.техн.наук.-Ленинград. 1989.-408 с.

115. Успенский И.А. Основы совершенствования технологического процесса и снижения энергозатрат картофелеуборочных машин / И.А.Успенский. Дис. ...докт..техн.наук.-Москва, 1997.-396 с.

116. Успенский И.А. Перспективная схема картофелеуборочного комбайна с взаимозаменяемыми сепарирующими модулями/ И.А.Успенский, Д.А. Волченков, Г.К. Рембалович, А.А. Голиков, О.В.Филюшин, Д.А.Лапин, // Техника и оборудование для села . Рязань: 2015. №6. – С.35– 38.

117. Успенский, И.А. Основы снижения энергозатрат в сельскохозяйственном производстве (на примере картофеля)/ И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, Н.В. Бышов[и др.] // Монография.-Рязань 2010.-276 с,316

118. Фирсов Н.В. Проектирование и расчет рабочих органов картофелеуборочных машин // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. – Т. 5. – М., Л.: Машгиз, 1940. – С. 29- 47.

119. Хомидов Р.Д. Настраиваемые параметры рабочего органа для уборки корнеклубнеплодов на базе мотоблока[Текст]/ Р.Д. Хомидов, Р.Р. Камалетдинов // В сборнике: Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXVII Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2017». Башкирский государственный аграрный университет. 2017. С. 294-297.

120. Хомидов Р.Д. Некоторые аспекты механизации возделывания картофеля в личных подсобных хозяйствах[Текст] / Р.Д. Хомидов, А.А. Котлубаев, Р.Р. Камалетдинов //Наука молодых – инновационному развитию АПК 2015-С. 378-380.

121. Цециновский В.М. Обобщенное уравнение кинетики сепарирования //Сообщения и рефераты ВНИИЗ. – 1962. – Вып. 23. – С. 5-25.
122. Цюкер Р. Исследования по улучшению качества работы картофелеуборочных комбайнов и сведения по новым узлам для уменьшения повреждаемости картофеля и процессов послеуборочной обработки. Доклад гл. конструктора ФЕБ ВЕЙМАР-ВЕРК Р ЦЮКЕР. – 1984. – 11 с.
123. Черноиванов, В.И. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства / В.И. Черноиванов, А.А. Ежевский, В. Ф. Федоренко. – М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2012. – 284 с.
124. Шишин В.Е. Определение длины рабочей ветви полотна сепарирующего элеватора // Механизация и электрификация соц. с/х. – 1983. – № 2. – С. 27-28.
125. Шляхетский В.И. Статистические исследования технологического процесса комбайновой уборки картофеля: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1973. – 28 с.
126. Шпилько А. В., Драгайцев В. И., Тулапин П. А. и др. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. /ВНИИЭСХ. –М., 1998, - 219 с.
127. Якутин, Н.Н. Совершенствование технологического процесса и средства интенсификации сепарации картофелеуборочных машин / Н.Н. Якутин // Дис. ... канд. техн. наук. – Рязань, 2014. – 123 с.
128. Brandt, T. L. Storage characteristic of six potato cultivars / T.L. Brandt, G. E. Kleinkopf, M. J. Frazier // American Journal Of Potato Research. – 2000 (Vol. 77). – P. 393.
129. Brecka I., Hanovsek B. Metodyke zjistovani, odolnosti brambor protimechanickemu poskoreni. – Sbornik Mechan. Fak. Vysoke Skoly Zemed. V Praze, 1977, s. 119-141.

130. Brinkmann, W. Geräte und Verfahren für die Kartoffelproduktion / W. Brinkmann, H. Heege, F. Tebrügge // Landwirtschaftliches Lehrbuch 4. – Landtechnik Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1985. – S. 339-362
131. Glaser M. Einsatz der Zwei – Gammaenergie – Transmissions – methode zur Bestimmung des Beimengungsanteiles in Erntegut. // Arbeiten zur Mechanisierung der Pflanzen – und Tierproduktion. – 1986. – N 10. – s. 38-49.
132. Godesa, T. Determination of minimal cutting speed by flailing potato vines. Acta agriculturae slovenica / T. Godesa // Ljubljana, 2004; Vol. 83, – N 1, – P. 137–146.
133. Kirchmeier, H. Kartoffelernte mit dem Selbstfahrer? / H. Kirchmeier, G. Wendl // Lohnunternehmen, 2002; Jg. 57, – N 9, – S. 16–18
134. Paterson C.L. Adjust Potato Harvester Speed To Reduce Bruising. University of Idaho College of Agriculture, Current Information Series, 1975, N 263, p. 1-4.
135. Petersen T., Hampf H. Einsatz einer pneumatischen Trennanlage in der Annahmestrecke des Kartoffellagerhauses Broderstorf. Agrartechnik. – Berlin, 1984. – Bd. 34, Jg. 7. – s. 314-316.
136. Spiess E. Bedeutende Knollenbeschädigungen beim Kartoffelvollernverfahren – Versuchsergebnisse. – Schweiz. Landwirtschaftliche Forschung, 1976, Jg. 15, s. 175-186.

Приложения

Федеральная служба по интеллектуальной
собственности
Федеральное государственное бюджетное
учреждение

Форма N 91 ПМ-2016
911,371,401



«Федеральный институт
промышленной собственности»
(ФИПС)

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993
Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

ФГБОУ ВО РГАТУ, Безносок Р.В.
ул. Костычева, 1
г. Рязань
390044

На № - от -
Наш № 2018128249/13(045240)
При переписке просим ссылаться на номер заявки и
сообщить дату получения настоящей
корреспонденции от **21.08.2018**

УВЕДОМЛЕНИЕ

о положительном результате формальной экспертизы

заявки на полезную модель

(21) Заявка № 2018128249/13(045240)

(22) Дата подачи заявки 01.08.2018

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

(54) Название полезной модели Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочной машины

(51) МПК

A01D33/00 (2006.01)

1	ЛГТ 01.08.2018 ППЭ 01.08.2018 ППД 01.08.2018 ЗАП 01.08.2018	200134
---	--	--------



2

Формальная экспертиза заявки на полезную модель, проведенная в соответствии с п. 1 и п. 3 ст. 1390 Кодекса*, завершена с положительным результатом.

Экспертиза заявки по существу, предусмотренная п. 1 ст. 1390 Кодекса*, будет проведена:

- в отношении заявленной формулы полезной модели

Уведомляем заявителя о том, что ходатайство о предоставлении права на уплату пошлины в уменьшенном размере удовлетворено.

Государственный
эксперт по
интеллектуальной
собственности II
категории отдела
формальной экспертизы
заявок на изобретения
ФИПС

Документ подписан электронной подписью
Сведения о сертификате ЭП
Сертификат
47B226AB0002000017C0
Владелец Склярова
Ирина Александровна
Срок действия с 13.02.2018 по 01.04.2030

И. А. Склярова
8(499)240-55-63

*Сведения о состоянии делопроизводства по заявкам размещаются на сайте ФИПС по адресу «www.fips.ru» в разделе «Информационные ресурсы/Открытые реестры»;

**Информация, представленная в дополнительных материалах, может быть представлена на ознакомление третьим лицам в соответствии с п. 2 ст. 1394 Кодекса* после публикации сведений о выдаче патента;

***При изменении адреса для переписки по заявке заявитель обязан сообщить об этом незамедлительно.

* Гражданский кодекс Российской Федерации Часть четвертая от 18 декабря 2006 г. N 231-ФЗ с изменениями и дополнениями.

**Положение о патентных и иных пошлинах за совершение юридически значимых действий, связанных с патентом на изобретение, полезную модель, промышленный образец, с государственной регистрацией товарного знака и знака обслуживания, с государственной регистрацией и предоставлением исключительного права на наименование места происхождения товара, а также с государственной регистрацией отчуждения исключительного права на результат интеллектуальной деятельности или средство индивидуализации, залога исключительного права, предоставления права использования такого результата или такого средства по договору, перехода исключительного права на такой результат или такое средство без договора, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 10.12.2008 N 941 с изменениями.

***Административный регламент предоставления Федеральной службой по интеллектуальной собственности государственной услуги по государственной регистрации полезной модели и выдаче патента на полезную модель, его дубликата утвержден приказом Минэкономразвития России от 30.09.2015 N 702, зарегистрирован 25.12.2015, регистрационный N 40245.

****Правила составления, подачи и рассмотрения документов, являющихся основанием для совершения юридически значимых действий по государственной регистрации полезных моделей, и их формы утверждены приказом Минэкономразвития России от 30.09.2015 N 701, зарегистрированы 25.12.2015, регистрационный N 40244.

*****Требования к документам заявки на выдачу патента на полезную модель утверждены приказом Минэкономразвития России от 30.09.2015 N 701, зарегистрированы 25.12.2015, регистрационный N 40244.

Х

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО РГАТУ

Л.Н. Лазуткина

«03» 09 2018 г.



Комиссия в составе председателя - к.т.н., доцента, декана инженерного факультета А.Н. Бачурина, членов: к.т.н., доцента кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка Д.Н. Бышова, начальника кабинета кафедры «Технологии металлов и ремонта машин» Н.Н. Щипачева в период с 06.02.2017 по 05.06.2017 принимала участие в проведении лабораторных исследований эффективности функционирования разработанного средства интенсификации сепарации картофелеуборочных машин (заявка на полезную модель №2018128249/13(045240) от 01.08.2018).

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

Программа лабораторных исследований.

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

Результаты исследований

После реализации многофакторного эксперимента проводилась статистическая обработка его результатов (таблица 1).

Таблица 1 – Матрица планирования и результаты многофакторного эксперимента, проведенного на органе первичной сепарации – основном элеваторе с дисковым ворошителем

№	Факторы и их взаимодействия		Полнота сепарации почвенных примесей, %
	X_1	X_2	
	2	3	4
1	-1	-1	0,93
2	0	-1	0,91
3	+1	-1	0,89
4	-1	0	0,94
5	0	0	0,92
6	+1	0	0,83
7	-1	+1	0,83
8	0	+1	0,85
9	+1	+1	0,81

По итогам лабораторных исследований получили уравнение регрессии, характеризующее полноту сепарации. Адекватность данной математической модели составила 0,866 коэффициент корреляции с опытными данными 0,930.

1. На основании данных приведенных в таблице 1, полученных при проведении лабораторных исследований элеваторного полотна со средством интенсификации сепарации, установлено, что полнота выделения примесей -94%;
2. Проведенные лабораторные исследования эффективности функционирования разработанного рабочего органа подтвердили теоретические расчеты и позволили определить оптимальную величину угловой скорости дискового ворошителя 5,6 рад/с и подачу вороха 54 кг/с.
3. Применение дискового ворошителя при работе пруткового элеватора помогает улучшить просеивание и распределение по ширине почвы на элеваторе. Наиболее выражено этот процесс происходит в зоне действия ворошителя, а также, за счет смещения почвы, в центре элеватора. Следует отметить малое распределение и просеивание почвы в зоне, близкой к краям элеватора.

На всех режимах работы устройства сгруживания и забивания лабораторной установки почвенными примесями не наблюдалось.

Комиссия считает, что использование дискового ворошителя позволяет повысить полноту сепарации почвы на прутковом элеваторе и увеличить производительность картофелеуборочных машин.

Председатель комиссии:

Декан инженерного факультета

к.т.н., доцент

А.Н. Бачурин

Члены комиссии:

к.т.н., доцент кафедры «ЭМТП»

начальник кабинета кафедры «ТМиРМ»

Д.Н. Бышов

Н.Н. Щипачев

Исполнитель:

аспирант

Д.А.Лапин

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО РГАТУ

Л.Н. Лазуткина

«22» 09 2018 г.



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

Мы, нижеподписавшиеся, представитель федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ) в лице руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы:

д.т.н., доцента Рембаловича Георгия Константиновича

и представитель ООО «Подсосенки» Шацкого район Рязанской области

(наименование организации, предприятия)

в лице Синицина Константина Юрьевича

составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы на тему: «Обоснование параметров дискового ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин», выполненной на кафедре «Технологии металлов и ремонта машин» ФГБОУ ВО РГАТУ в 2015...2018 годах внедрены в ООО «Подсосенки» Шацкого района Рязанской области

(предприятие, организация)

путем сравнительных полевых испытаний серийного картофелекопателя КТН-2В и экспериментального картофелекопателя КТН-2В, оснащенного средством интенсификации сепарации (заявка на полезную модель №2018128249/13(045240) от 01.08.2018). Общая площадь картофеля, убранная за 2015-2018 годы, составила 40 га.

Внедрение результатов исследования дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект:

1. Агротехнические показатели при работе серийного картофелекопателя КТН-2В и экспериментального картофелекопателя КТН-2В, оснащенного средством интенсификации сепарации, составили соответственно:

-повреждения клубней- 1,96% и 2,83%;

-потери клубней-5,7% и 3,0%.

2. В связи с увеличением интенсивности процесса сепарации появляется возможность повышения рабочей скорости движения агрегатов при уборке с 2,5 до 2,7 км/ч что позволяет увеличить производительность работы с 0.29 до 0.34 га/ч.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению:

Признать оснащение картофелекопателя КТН-2В разработанным средством интенсификации сепарации (заявка на полезную модель №2018128249/13(045240)) целесообразным и экономически обоснованным.

Исполнители:

Д.т.н., профессор М.Ю. Костенко

К.т.н., доцент Р.В. Безносюк

аспирант Д.А. Лапин

Научный
руководитель
работы К. Рембалович



Генеральный директор ООО
«Подсосенки» Шацкого района
Рязанской области К.Ю. Сивинин

