

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



На правах рукописи

Кодиров Сайфиддин Тухтасинович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА
КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ**

Научная специальность:

05.20.01 - *Технологии и средства механизации сельского хозяйства*

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Рембалович Георгий Константинович

Рязань – 2022

Содержание

Введение	4
1. Состояние вопроса и задачи исследования	8
1.1. Современные технологии производства и уборки картофеля в России и в мире	8
1.2. Физико-механические и размерно-массовые свойства компонентов клубненосного вороха	15
1.3 Анализ схемно-конструктивных решений прутковых элеваторов картофелеуборочных машин	20
1.4 Анализ теоретических исследований по прутковым элеваторам ..	27
Выводы по главе 1	30
1.5 Постановка задач исследования	31
2. Теоретические исследования элеватора с комбинированными прутками картофелеуборочных машин	32
2.1. Предпосылки для совершенствования элеваторов картофелеуборочных машин	32
2.2. Перспективная конструктивно-технологическая схема элеватора с комбинированными прутками	34
2.3 Теоретические исследования движения комбинированных прутков элеватора картофелеуборочной машины	36
2.4. Обоснование параметров и режимов работы элеватора с комбинированными прутками	47
2.5 Исследование процесса соударения клубней картофеля с комбинированными прутками	52
Выводы по главе 2	55
3. Экспериментальные исследования комбинированных прутков элеватора картофелеуборочных машин	58

3.1 Программа, объект, методика экспериментальных исследований комбинированных прутков элеватора картофелеуборочных машин ..	58
3.2. Результаты экспериментальных исследований комбинированных прутков элеватора картофелеуборочных машин ..	61
Выводы по главе 3	70
4. Полевые исследования картофелеуборочных машин, оснащенных элеватором с комбинированными прутками	71
4.1. Программа исследования	71
4.2. Объект исследования и применяемое оборудование	71
4.3. Методика исследования	72
4.4. Результаты исследования	76
Выводы по главе 4	78
5. Техничко-экономический эффект от внедрения сепарирующего элеватора с комбинированными прутками в картофелеуборочных машинах	80
Выводы по главе 5	87
Заключение	88
Литература	90
Приложения	114

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования Культура картофеля является одной из наиболее востребованных в аграрном секторе, и широко возделывается как в Российской Федерации, так и в большинстве других стран мира. В России под посадками картофеля находится более 1,3 млн. гектар, при этом общий объём производства данной культуры достигает в среднем более 31 100 тыс. тонн. Существенная доля урожая картофеля производится с применением машинных или механизированных технологий, в том числе в тяжелых почвенно-климатических условиях, что приводит к снижению производительности и качественных показателей работы применяемых уборочных машин (комбайнов и копателей), к повышению потерь, повреждений клубней картофеля и к увеличению себестоимости производства. В большей части схемно-конструктивных решений картофелеуборочных машин как основное сепарирующее устройство применяется прутковый элеватор. При работе таких элеваторов возникают ударные нагрузки, и зачастую наблюдаются повышенные повреждения и потери клубней.

Степень разработанности темы. Исследования, направленные на повышение эффективности сепарирующих органов картофелеуборочных машин, проводили многие учёные, в частности, С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, Н.И. Верещагин, П.И. Гаджиев, А.Ю. Измайлов, Р.Р. Камалетдинов, Н.Н. Колчин, М.Ю. Костенко, Л.Л. Максимов, Г.Д. Петров, А.Г. Пономарев, К.А. Пшеченков, Г.К. Рембалович, А.В. Сибирев, В.И. Славкин, А.А. Сорокин, В.И. Старовойтов, М.Б. Угланов, И.А. Успенский и др., а также многие зарубежные исследователи: Н.Г. Байбобоев, Р. Петерс, Дж. Винкельманн, П.С. Струйк, и др. С появлением новых материалов и совершенствованием подходов к проектированию картофелеуборочных машин необходимо продолжение исследований в этой области.

Работа выполнена в соответствии с «Основными направлениями НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2021-2025 годы», тема 1 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве. Перспективы развития сельских территорий» (№ гос.рег. 122020200038-8), раздел 1.3 «Совершенствование технологий, разработка и повышение надежности технических средств возделывания, уборки, транспортировки, хранения и переработки сельскохозяйственных культур в агропромышленном комплексе».

Цель исследований – снижение потерь и повреждений клубней картофеля путём обоснования параметров элеватора с комбинированными прутками.

Задачи исследований:

- 1) провести анализ эффективности элементов конструкций сепарирующих элеваторов картофелеуборочных машин;
- 2) теоретически и экспериментально определить основные параметры элеватора с комбинированными прутками;
- 3) исследовать влияние разработанного элеватора с комбинированными прутками на показатели работы картофелеуборочных машин;
- 4) определить экономический эффект от внедрения предложенных решений.

Объект исследования. Процесс работы элеватора с комбинированными прутками.

Предмет исследования Теоретические и экспериментальные закономерности процесса взаимодействия элеватора, оснащенного комбинированными прутками, с клубненосным ворохом.

Научная новизна заключается в установлении аналитических зависимостей, описывающих взаимодействие клубненосного вороха с комбинированными прутками элеватора картофелеуборочной машины.

Теоретическая значимость заключается в обосновании параметров комбинированных прутков элеватора картофелеуборочной машины.

Практическая значимость заключается в результатах: исследования влияния разработанного элеватора с комбинированными прутками на показатели работы картофелеуборочных машин, оценки технико-экономического эффекта от внедрения картофелекопателя, оснащенного комбинированными прутками.

Методология и методы исследования. Исследования проводились на основе общепризнанных методов теоретической механики, теории вероятности, сопротивления материалов и математической статистики. Экспериментальные исследования проводили на основе планов многофакторного эксперимента. Анализ полученных данных выполнялся с помощью программ «STATISTICA 10», «Microsoft Excel» и «MathCAD 15». Лабораторно-полевые исследования проводили согласно ГОСТ 28713-2018, ГОСТ Р 52777-2007, ГОСТ Р 52778-2007, ГОСТ Р 53056-2008.

Положения, выносимые на защиту:

1. Обоснованные параметры элеватора с комбинированными прутками и методика их обоснования.
2. Результаты оценки влияния разработанного элеватора с комбинированными прутками на показатели работы картофелеуборочной машины.
3. Технико-экономический эффект применения элеватора с комбинированными прутками в картофелеуборочной машине.

Реализация результатов исследования. На основании исследований были изготовлены опытные образцы сепарирующих элеваторов с комбинированными прутками, которыми оборудован картофелекопатель КТН-2В (с. Подвязье Рязанского района Рязанской области), на котором проводились хозяйственные исследования в 2020-2021 г. на общей площади 2,4 га.

Степень достоверности результатов исследований. Сходимость результатов теоретических и лабораторных исследований (расхождение

составило менее 5%), а также положительные результаты апробации, подтвердили основные положения диссертации.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов: на 71-й Международной научно-практической конференции «Современные вызовы для АПК и инновационные пути их решения» (Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2020); на 9-й Международной научно-практической конференции «Техника и технологии: пути инновационного развития» (Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020); на Международной студенческой научно-практической конференции «Научно-практические аспекты инновационного развития транспортных систем и инженерных сооружений» (Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2020); на Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Н.Н. Колчина (Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2021).

Публикации.

Основные положения диссертации опубликованы в печати в 4 научных работах, из них 3 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. Общий объем публикаций составил 1,5 п.л., из них лично соискателю принадлежит 0,85 п.л.

Структура и объем работы. В целом диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения (общих выводов), списка литературы из 150 наименований, приложений, изложена на 120 страницах, включает 32 рисунка и 7 таблиц.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обзор и анализ современных технологий производства и уборки картофеля в России и мире, агротехнических требований, предъявляемых к уборке картофеля и работе картофелеуборочной техники, физико-механических свойств компонентов клубненосного вороха, анализ конструкций прутковых элеваторов – необходимые элементы научного поиска, предваряющие и обосновывающие необходимость и основные направления дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

1.1. Современные технологии производства и уборки картофеля в России и в мире

Картофель возделывают в большинстве природных зон Российской Федерации. Общий валовый сбор картофеля в стране в 2019 году составил 7 554,4 тыс. тонн. Крупнейшие регионы-производители представлены на рисунке 1.1.

Рязанская область является одним из многих регионов, где картофель традиционно возделывается [9,16]. Производство картофеля в Рязанской области в 2021 году во всех категориях хозяйств составило 240,6 тыс. тонн картофеля, в том числе сельскохозяйственных организациях 118,7 тыс. тонн картофеля. Валовый сбор картофеля в 2021 году вырос на 6,1% в сравнении 2020 годом. В тоже время наблюдается некоторый недостаток техники для уборки картофеля, на один картофелеуборочный комбайн в 2020 году приходилось 84 га посадок картофеля. Урожайность картофеля в Российской Федерации в 2020 году составила 166 ц/га, а в 2021год - 160ц/га. Площади занятые картофелем в хозяйствах всех категорий по стране в 2020 году составили 1188,238 тыс.га, а в 2021год – 1146,276 тыс.га. В Рязанской области площади занятые картофелем в 2021 году составили 16,512 тыс.га, в 2021 году составили 94,905% к 2020 году [86].

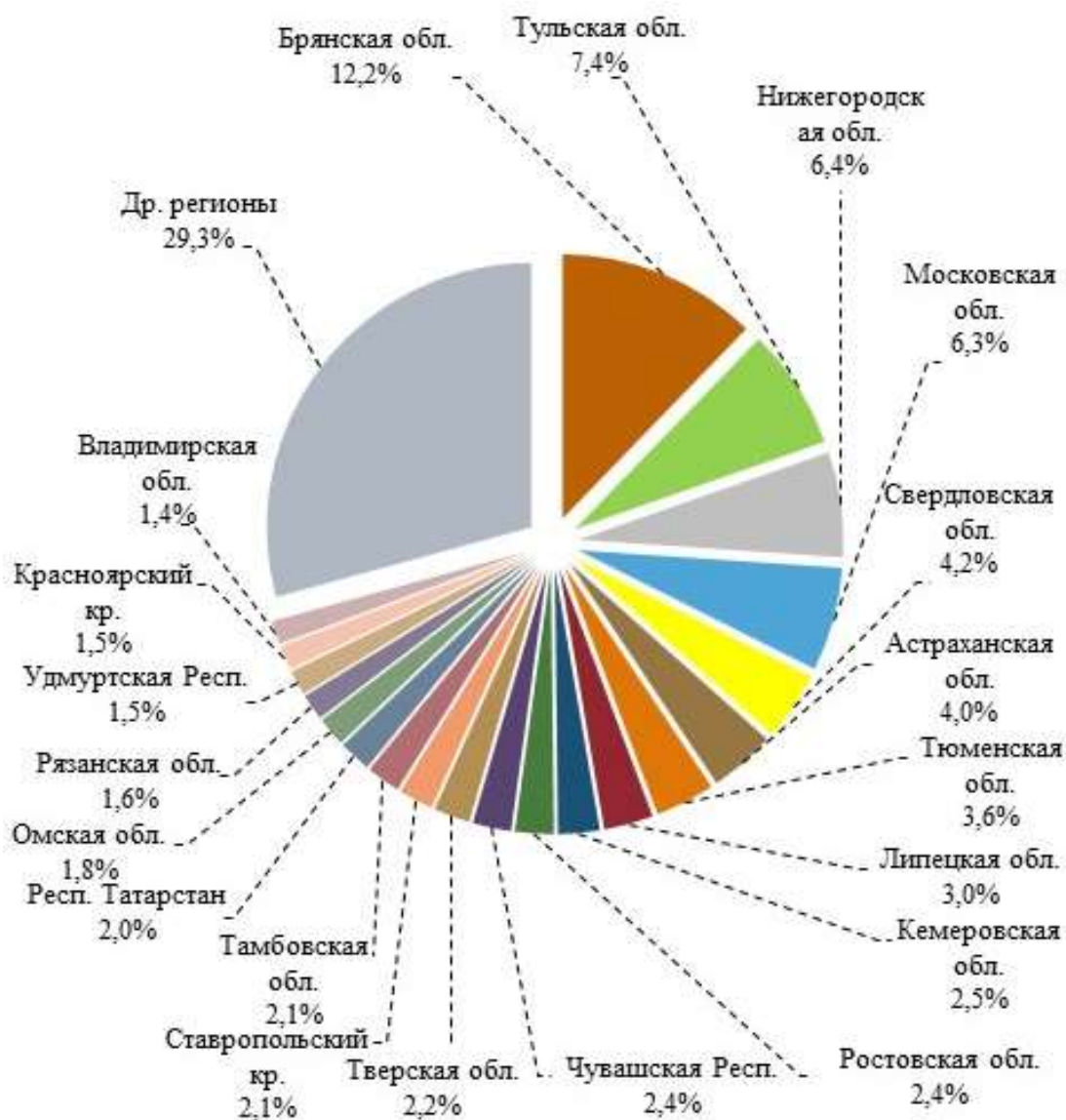


Рисунок 1.1 – Структура производства картофеля в Российской Федерации на 2019 год на примере крупнейших регионов-производителей (по данным [86])

«Выращивание картофеля в любых почвенно-климатических условиях становится высокорентабельным только при правильном выборе и применении технологии возделывания. Эффективность возделывания картофеля определяют три основных фактора: урожайность культуры, качество продукции - выход товарной фракции и затраты на производство» [65].

В настоящее время для производства картофеля применяется несколько основных технологий [1,6,20,21,30,39], каждая из которых имеет свои особенности [40,45,46,53,65,119] (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Основные особенности технологий возделывания картофеля, применяемых в России [6,65,74]

Технология	Ширина междурядий	Тип почв	Защита от сорняков
Заворовская	70 см	Супесчаные и легкие суглинки	Механическая
Грядочно-ленточная	110+30 см	Переувлажненные или засушливые почвы	Механическая и химическая
Голландская	75 см	Средние и тяжелые суглинки	Химическая

Заворовская технология возделывания картофеля [80,116,129] предполагает предварительную нарезку гребней для прогрева почвы и расположения клубней в верхней части грядки для уборки комбайнами. Нарезку гребней производят при достаточном влагообеспечении на дерново-подзолистых и серых лесных почвах. Посадка клубней в гребни способствует рыхлению почвы и ускорению работы картофелесажалок. Предварительная нарезка гребней дает возможность внесения основной дозы удобрений. Многократные междурядные обработки позволяют уничтожать сорняки до появления всходов картофеля. Посадка картофеля, в этом случае, производится согласно по схеме (рисунок 1.2).

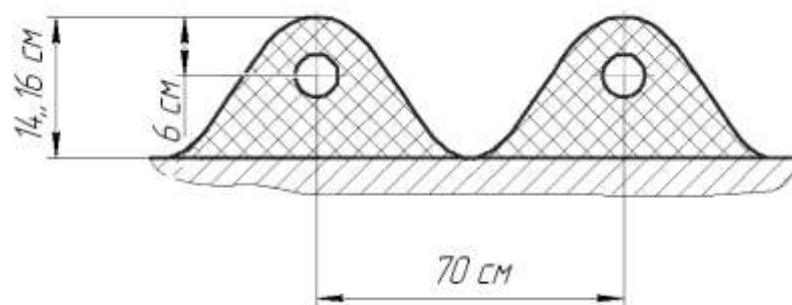
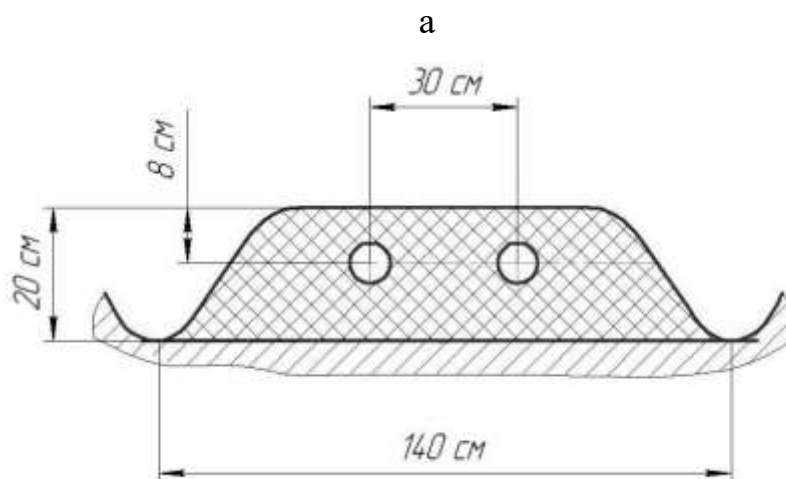


Рисунок 1.2– Схема посадки картофеля по Заворовской технологии [65]

Основным недостатком данной технологии [117] является уплотнение колесами почвы в междурядьях в процессе междурядных обработок и опрыскивании, что приводит к образованию комков.

Грядочно-ленточная технология возделывания картофеля [6,65] предполагает нарезку объемной гряды, которая накапливает весеннюю влагу, а при переувлажнении вода уходит в борозды. Благодаря универсальности данная технология применяется в засушливых и переувлажненных условиях, а также при резких изменениях погоды. Благодаря запасу влаги и уменьшению воздействия колес на почву грядочно-ленточная технология позволяет повысить на 10-30% урожайность картофеля в сравнении с традиционными технологиями в условиях засухи и повышенного увлажнения [65,117]. Отсутствие комков улучшает работу сепарирующих рабочих органов, но требует переоборудования подкапывающих рабочих органов. При уборке объемной гряды с двумя рядками на сепарирующий элеватор комбайна на 30-40% уменьшается поступление почвы, чем при традиционной технологии [48,52,54]. При грядочно-ленточной технологии возделывания картофеля посадку картофеля проводят по схеме (рисунок 1.3).

Голландская технология возделывания картофеля предполагает высокую эффективность на суглинистых почвах [6,44,66]. Основной особенностью данной технологии является качественная обработка почвы с помощью вертикально-фрезерных культиваторов на глубину 12... 14 см [136]. Посадка картофеля с внесением небольших доз минеральных удобрений на глубину около 6 см. Формирование высокообъемных грядок осуществляется до появления всходов горизонтально-фрезерным культиватором через 5... 8 дней после посадки, чтобы удерживать влагу и исключить повреждение растений. Фрезерный гребнеобразователь формирует трапециевидный гребень с помощью кожуха гребнеобразователя, создавая устойчивую поверхность для поверхностного применения гербицидов [6]. Значительный объем гребня создает запас влаги, а в дождливый период избыток влаги уходит в междурядья .



а – общий вид гряд; б - схема посадки по грядо-ленточной технологии.

Рисунок 1.3 – Схема посадки картофеля при грядо-ленточной технологии [6]

Для борьбы с сорняками до всходов или по всходам применяют опрыскивание грядок гербицидами. Дальнейший уход за посадками осуществляют с помощью широкозахватных опрыскивателей. Схема посадки картофеля по голландской технологии показана на рисунке 1.4.

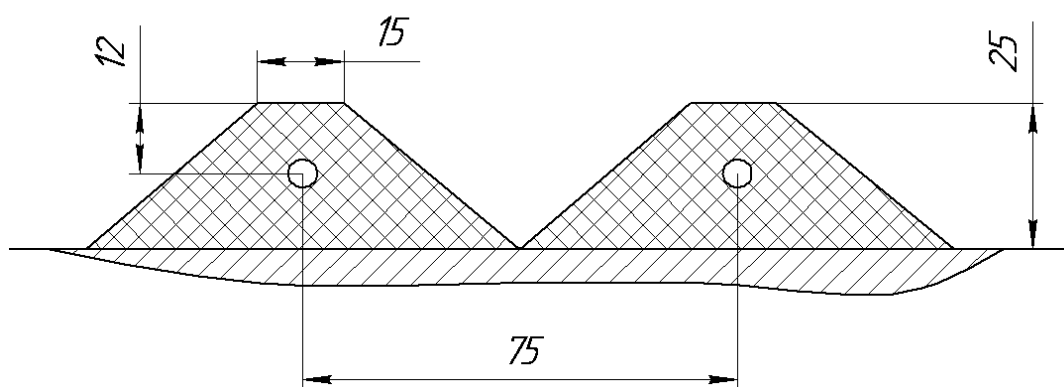
Создание рыхлой структуры почвы в объемных грядах способствует развитию корневой системы и возможности уборки картофеля комбайнами [23,25,26,95]. Важным является предварительное удаление ботвы [98,135,139].

Анализ технологий возделывания картофеля в Рязанской области показал, что наиболее предпочтительными являются грядо-ленточная и Голландская технологии [6,9,65,66]. Следует отметить, что в настоящее

время существует система машин только для Голландской технологии с междурядьями 75 см [126,127,128]. Для грядо-ленточной технологии необходимо создание соответствующих машин или адаптация уже существующих. В связи с изложенным необходимо создание универсальных рабочих органов способных работать в широком диапазоне условий, как в засушливых, так и в условиях повышенной влажности.



а



б

а – формирование гребней; б - сформированные объемные грядки

Рисунок 1.4 - Схема посадки по голландской технологии [6,127]

К картофелеуборочной технике и к процессу механизированной уборки картофеля предъявляются достаточно строгие агротехнические требования.

Так, картофелеуборочные комбайны и копатели должны соответствовать следующим основным агротехническим требованиям [76,77,98,127]:

- «- подкапывающие рабочие органы комбайна должны быть хорошо приспособлены к микрорельефу поля и обеспечивать равномерную глубину хода при различных заглоблениях. Отклонение глубины хода лемехов от установленного значения допускается не более ± 2 см;
- обеспечивать выкапывание клубней с глубины до 22 см при ширине клубневых гнезд 40 см;
- извлекать на поверхность поля не менее 95 % урожая клубней;
- допускаются повреждения не более 3 % клубней по массе;
- комбайн должен собирать в бункер не менее 97% урожая картофеля;
- потери всех видов не должны превышать 3 %;
- чистота картофеля в таре должна быть не менее 80 %;
- при работе комбайна на легких, средних и засоренных камнями почвах повреждения клубней не должны превышать 10 %, а на переувлажненных тяжелых почвах до 5 %» [98].

Важными факторами, также сильно влияющими на повреждения клубней, а, следовательно, и на качество продукции, являются правильная организация транспортирования урожая с поля к местам доработки или хранения [5,10,47,104,115], а также техническое состояние уборочных машин и машинно-тракторных агрегатов [47,75,108,120,143].

Лишь строгое выполнение вышеозначенных требований гарантирует соблюдение требований потребителя к продукции картофелеводства, поставляемой сельхозтоваропроизводителем, а следовательно, и реализацию наибольшего эффекта от производства картофеля, с учетом продуктивности сортов в конкретных условиях хозяйств [137].

Таким образом, наиболее перспективной на данный момент представляется голландская технология возделывания картофеля, которая преимущественно применяется в Российской Федерации в условиях применения машинных и механизированных технологий. При этом

отечественная картофелеуборочная техника, изначально спроектированная с учетом ширины междурядий 70 см, легко может применяться на 75-сантиметровых междурядьях в рамках голландской технологии практически без или с минимальными конструктивными изменениями. Следует отметить, что повышение фактической урожайности и наиболее полная реализация биологических возможностей культуры возможны лишь при строгом соблюдении агротехнических требований на уборку, что в российских реалиях не всегда возможно (в первую очередь из-за сжатых сроков уборки). Здесь важнейшим фактором становится эффективность рабочих органов машин, которые обеспечивают расширение диапазона условий использования и обеспечение высоких требований к уровню повреждений и потерь клубней, а также чистоте клубней в таре.

1.2 Физико-механические и размерно-массовые свойства компонентов клубненосного вороха

Эффективность уборки (а, следовательно, и возделывания в целом) во многом определяется погодными, климатическими, почвенными, производственными условиями, а также биологическими особенностями культуры картофеля [77]. Эти условия, по сути, формируют основные характеристики компонентов картофельного вороха, которые будут поступать на сепарирующие рабочие органы машины при уборке, а также их соотношение в ворохе [65]. Клубненосный ворох включает почву, растительные остатки, клубни, камни (при наличии) [14, 107, 124, 134, 140, 144, 146]. Свойства компонентов клубненосного вороха, как уже сказано выше, в значительной степени определяются погодными условиями, предшествующими культурами и внесением удобрений [78]. В то же время сепарация почвы на прутковых элеваторах определяется в первую очередь механическим составом, влажностью почвы и наличием комков и камней [65].

Уплотнение почвы и образование почвенных комков происходит за счет разрушения и сближения структурных агрегатов почвы под действием внешней нагрузки [13]. В результате многократных междурядных обработок происходит вытеснение воздуха и воды из пор, что уменьшает объем и вызывает деформацию частиц почвы [3]. Повторение деформаций приводит к смещению части агрегатов и заклиниванию частиц почвы в неустойчивом положении. Многократные воздействия внешней нагрузки при частичном восстановлении почвенных агрегатов после деформации приводят к наибольшей степени уплотнения почвы [24].

Разрушение почвенных агрегатов и комков определяется не только влажностью и механическим составом почвы, но и способом деформации почвы. Исследования разрыва, сжатия, сдвига и изгиба почвенного вороха, проведенные Жуком Я.М. и Рубином В.Ф. [36], позволили установить величины временного сопротивления глинистого чернозема при различной влажности (таблица 1.2). Ими установлено, что вид деформации в значительной степени определяет величину временного сопротивления почвы разрушению. Наибольшего усилия для разрушения почвы требует деформация сжатия, а наименьшего усилия – деформация растяжения (разрыва). По данным Г.Н. Синеокова большинство суглинистых почв деформируются путем отрыва. Это показывает, что для повышения эффективности разрушения почвы необходимо использовать принципы разрыва с изгибом клубненосного вороха при работе сепарирующих органов картофелеуборочных машин [27,65].

В процессе работы картофелеуборочных машин клубни взаимодействуют с рабочими органами, что приводит к повреждениям структуры клубня [31]. Клубни испытывают множество статических и динамических нагрузок, в результате которых снижается упругость тканей, разрушаются межклеточные связи, нарушается целостность клеток [34].

Таблица 1.2 – Временное сопротивление разрыву, сжатию, сдвигу и изгибу глинистого чернозема в полевых условиях (данные Жука Я.М. и Рубина В.Ф.) [36]

Разрыв		Сжатие		Сдвиг		Изгиб	
Влажность почвы в %	Среднее временное сопротивление в г/см ²	Влажность почвы в %	Среднее временное сопротивление в г/см ²	Влажность почвы в %	Среднее временное сопротивление в г/см ²	Влажность почвы в %	Среднее временное сопротивление в г/см ²
21-23	61,8	12-16	1080	15-17	122,1	15-17	488
23-25	52,5	19-22	980	20-24	98,6		
26-28	50,0	22-24	650				

Повреждения клубней картофеля изучали Бацанов И.С., Безрукий Л.П., Бжезовская А.И., Бойко В.К., Верещагин Н.И., Герасимов С.А., Глухих Е.А., Горячкин В.П., Колчин Н.Н., Крашенинников С.Н., Кривоногов Н.И., Ламм М.И., Мацепуро М.Е., Махароблидзе Р.М., Митрофанов В.С., Полуночев И.М., Полищук С.Ф., Пшеченков К.А., Табачук В.И., и другие ученые.

Исследованиями С.А. Каспаровой, J. Mitrus установлено, что повреждения зависят от массы клубней [98]. Минимум повреждений при комбайновой уборке картофеля наблюдается при средней массе клубней 50-80 г. При ранней уборке за счёт высокой эластичности клубней уменьшается объём внутренних повреждений (потемнение мякоти), в то же время увеличивается обдир кожицы с поверхности клубня. Общеизвестно, что уборка при температурах ниже 5⁰С значительно увеличивает повреждения [59,65,69,83,98,99]. Недостаточная прочность кожуры при уборке в ранние сроки приводит к увеличению повреждений клубней [40,41,42,18,43,103]. На вероятность повреждения картофеля важное влияние оказывает форма клубня [43]. Исследованиями Головицына С.К. установлено, «что усилие раздавливания зависит от направления прилагаемой нагрузки: наименьшее

усилие наблюдается при ориентации нагрузки по длине клубня (720-817 Н), среднее усилие наблюдается по ширине (780-827 Н) и максимальное – по толщине (853-895 Н), что выявлено на примере сорта «Лорх» [65].

Главным фактором, снижающим повреждения клубней, является площадь контакта клубня с поверхностями рабочих органов. Интенсивное динамическое воздействие сепарирующих рабочих органов на клубненосный ворох улучшает сепарацию почвы, но увеличивает повреждения клубней за счет 21... 48 соударений на рабочих органах картофелеуборочных комбайнов [67,68,98,133]. Очевидно, что характеристики этих соударений непосредственным образом оказывают влияние на повреждения клубней и возможность их дальнейшего длительного хранения или использования в пищевом производстве (например, для изготовления чипсов и «хрустящего» картофеля).

Исследованиями Н.И. Кривогова, Г.Д. Петрова, Е. Spiess установлено [98], что с увеличением частоты и амплитуды встряхивания полотна элеватора возрастают повреждения клубней. Ими же, а также рядом других авторов установлено, что при увеличении скорости элеватора и уменьшении поступления почвы повреждения клубней возрастают.

Состояние почвы на момент уборки также существенно влияет на повреждения клубней. Исследованиями I. Brecka, B. Nanovsek, C.L. Paterson и E. Spiess установлена высокая корреляционная связь [65] между повреждениями клубней и состоянием почвы. Н.И. Верецагин, А.И. Малько доказали влияние почвенной прослойки на повреждения клубней картофеля картофелеуборочными машинами. Выявлено противоречие – уменьшение примесей почвы в бункере приводит к увеличению повреждений клубней. Очевидно, что повреждения картофеля определяются площадью контакта клубня с прутками сепарирующего элеватора. Уменьшение контактных напряжений при взаимодействии снижает повреждения клубней.

Изучая повреждения клубней В.С. Митрофанов установил, что повреждения клубней зависят от энергии удара, крупные клубни

повреждаются даже при падении с небольшой высоты, в то время как средние и мелкие остаются неповрежденными. Также повторные удары увеличивают повреждение клубней, особенно при взаимодействии с металлическими поверхностями. В своих исследованиях Тарасов Д.В. и Плешаков Г.Ф. отмечали, что наибольшие повреждения клубней наблюдаются на прутковой поверхности (металл), многие авторы предлагали с целью снижения повреждений использовать различные неметаллические материалы (резину, пластмассы, композиты) для изготовления контактных поверхностей [11,12,19,32,33,34,37]. Отмечено, что наиболее опасными являются внутренние повреждения, которые трудно отделить от других клубней, и при длительном хранении они являются очагами порчи картофеля [45,55,58,72,97,101,112].

Способы контроля поврежденных клубней можно разделить на разрушающие и неразрушающие. При первом способе пробы клубней для исследования разрезаются на дольки. При втором способе клубни сохраняют целостность и качество клубней оценивается специальными методами и позволяет автоматизировать процессы сортировки [1,41,107].

Поврежденный картофель, имеющий ушибы мякоти за период хранения теряет сухого вещества – до 5% [65]. Поврежденные клубни при хранении увеличивают интенсивность дыхания на 10%, а тепловыделение – на 40% [107]. Для определения повреждений картофеля при испытаниях картофелеуборочных машин применяется общепринятая методика, разработанная профессором Н.И. Верещагиным [28].

Таким образом, для повышения сохранности картофеля необходимо снижать повреждения клубней в период уборки. Это возможно на основе применения новых материалов и подходов к конструированию сепарирующих рабочих органов [31,122,130,138,145,147,148]. Многие исследователи отмечают повышенные повреждения клубней на поверхности прутковых элеваторов, причем проблема требует дальнейшего изучения.

1.3 Анализ схемно-конструктивных решений прутковых элеваторов картофелеуборочных машин

Основная работа по сепарации почвы в картофелеуборочных (а зачастую, и других корнеклубнеуборочных [81,90,91,93]) машинах происходит на сепарирующих элеваторах. Сепарирующие элеваторы отделяют картофель из клубненосного вороха, включающего 95,5-98,5% почвы; 1-4 % клубней и 0,5-1,5% растительных примесей. Уборку картофеля осуществляют картофелеуборочными комбайнами, например, AVR-220В, AVR-6200, AVR-«Престиж» («Колнаг»), DR-1500 и BR-150 , SE-75 и SE-150 («Гримме») и другими, а также картофелекопателями Л-652, КСТ-1,4, КТН-2В. Все существующие картофелеуборочные машины сконструированы в результате сочетания набора сепарирующих и вспомогательных органов и приемов сепарации. В большинстве своем механические отделители в них – это прутковые элеваторы [60,64,79,102,105,106,142].

Классификация сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин, в том числе элеваторов, приведена на рисунке 1.5 [125]. «В картофелеуборочных машинах в основном применяются рабочие органы, осуществляющие просевную сепарацию, которые, в свою очередь, можно подразделить на транспортирующие, ротационные и центробежные» [125]. По принципу разделения компонентов с точки зрения подхода к удалению примесей из картофелеуборочной машины сепарирующие рабочие органы бывают трех видов: «осуществляющие просевную сепарацию; осуществляющие выносную сепарацию; комбинированные» [2,87,96,125,132].

На большинстве картофелеуборочных машин применяются прутковые элеваторы с гибкими тяговыми ремнями. В последние годы в прутковых элеваторах используются зубчатые ремни с зубчатыми барабанами на приводных валах. Сепарирующие элеваторы в оптимальных условиях

хорошо просеивают почву (до 80...92%), и транспортируют клубненосный ворох практически без повреждений клубней [98].

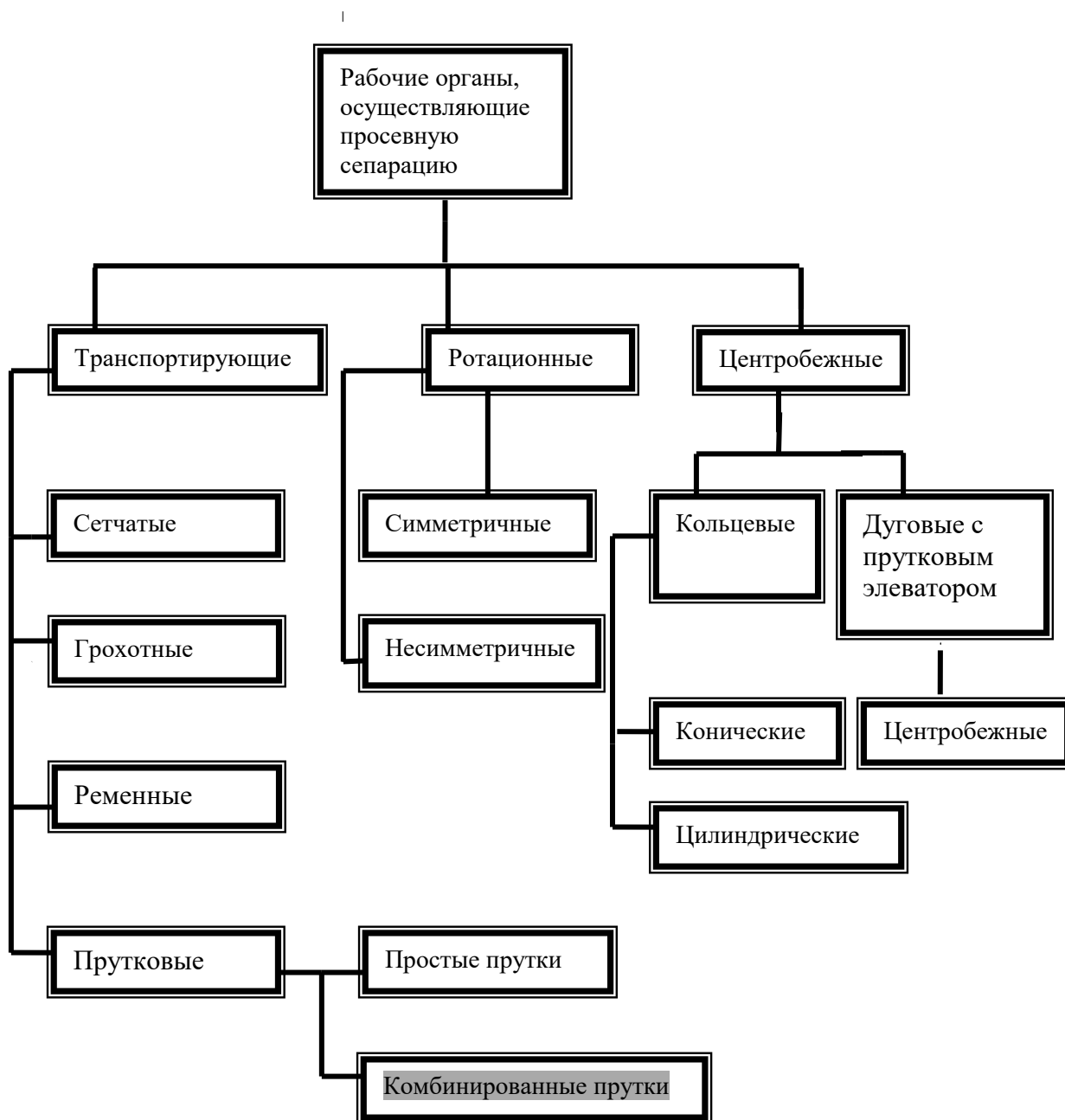


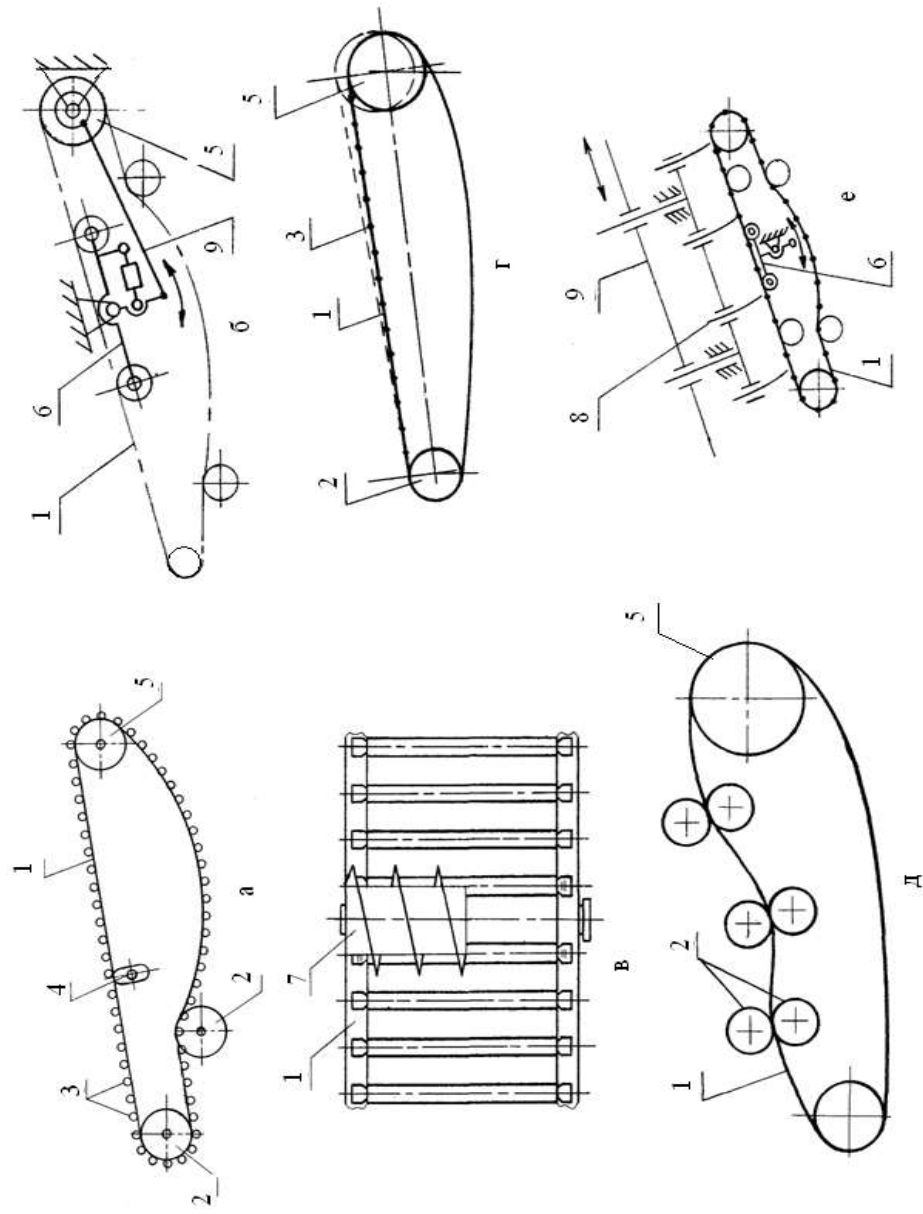
Рисунок 1.5 – Классификация рабочих органов просевной сепарации

При отклонении условий от оптимальных значений показатели работы, естественно, ухудшаются. Для повышения сепарирующей способности в

конструкции элеваторов большинства картофелеуборочных машин применяют различные встряхиватели и интенсификаторы. Различной загрузке сепарирующего элеватора должна соответствовать определенная интенсивность встряхивания полотна. Наиболее эффективно регулирование амплитуды и частоты встряхиваний обеспечивается двуплечим рычагом с роликами, привод которого осуществляется кривошипно-шатунным механизмом (рисунок 1.6 б). В этом случае полотно элеватора подбрасывается вверх за счет ударного воздействия рычага. Возможность быстрой регулировки амплитуды и частоты встряхиваний позволяет обеспечить высокую интенсивность сепарации при изменении почвенных или погодных условий. Недостатком таких сепарирующих элеваторов обычно является повышение повреждений клубней при увеличении частоты и амплитуды встряхивания [8,15,35,61,73,110].

Шнеково-элеваторные сепараторы включают шнеки, расположенные над полотном (рисунок 1.6 в). Шнеки с обрешеченными лопастями вращаются навстречу движению полотна элеватора и изменяют направление движения клубненоносного вороха, способствуют интенсивному ворошению и просеиванию мелкой почвы [7,114,129]. В зоне расположения шнеков наблюдается высокая разрушение и интенсивность сепарации клубненоносного вороха. Недостатком шнеково-элеваторных сепараторов являются защемления клубней картофеля между лопастями шнека и прутками, что приводит к значительным повреждениям клубней. Также к недостаткам можно отнести неравномерную сепарацию по площади полотна и высокую металлоемкость.

Для подбрасывания и ускорения полотна элеватора применяют приводные эксцентриковые звездочки (рисунок 1.6г) [98]. При вращение приводного вала с эксцентриковыми звездочками полотно не только подбрасывается, но и ускоряется и замедляется. Компоненты клубненоносной массы активно перемещаются вдоль элеватора, что повышает сепарацию почвы. К недостаткам данного способа интенсификации следует отнести значительные динамические нагрузки, вибрации и разрывы полотна.



«а – элеватор с эллиптическим встряхивателем; б - элеватор с регулируемым встряхивателем; в – элеватор со шнеком-активатором; г - элеватор с эксцентриковыми звездочками; д - «волновой» элеватор; е – элеватор с ворошителями.

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

Рисунок 1.6 – «Интенсификаторы сепарации прутковых элеваторов» [27, 65]

Волновой элеватор является ещё одним устройством, обеспечивающим достаточно высокую сепарацию (рисунок 1.6д). Прутковое полотно волнового элеватора движется в виде «бегущих волн». Каскады «бегущих волн» способствуют переориентации компонентов клубненосного вороха, его разрушению и транспортировке [65]. Переориентация компонентов внутри клубненосного вороха улучшает сепарацию почвы и исключает скатывание клубней.

Известны интенсификаторы сепарации, размещенные над прутковым элеватором – ворошители. Они представляют собой пальцы на брусках, с приводом от кривошипно-шатунного механизма (рисунок 1.6е), который обеспечивает их колебание поперек движения элеватора. С помощью ворошителей происходит разрыхление и переориентация компонентов клубненосного вороха пальцами [70,71,117]. Недостатком ворошителей является относительно высокая степень повреждений клубней, особенно на комкующихся почвах.

Интенсификаторы сепарации прутковых элеваторов повышают скорость просеивания почвы [82,83,94,100,118]. За счет применения локальной интенсификации сепарации почвы на нескольких участках элеватора. Относительное движение прутков элеватора создает условия для переориентации компонентов и способствует просеву почвы. Уменьшение инерционных нагрузок от одновременного перемещения больших масс клубненосного вороха и конструкций элеватора способствует снижению энергоемкости процесса сепарации.

Для предохранения клубней на сепарирующем элеваторе от повреждений при соударении с прутками на них устанавливаются защитные покрытия [11,33,37,65,88,89,92]. «По данным НПО ВИСХОМ, при определении профиля и толщины эластичного защитного покрытия должны быть учтены следующие факторы:

- загрузка элеватора сепарируемой массой (наличие почвы, комков, ботвы, камней и сорняков);

- «живое сечение» и величина допустимых потерь клубней;
- транспортирующая способность элеватора и угол его наклона (ограничение обратного скатывания клубней с учетом коэффициента трения качения клубней при контакте с наклонными поверхностями элеватора);
- эффективность встряхивания или применения других интенсификаторов;
- предотвращение возможности залипания сепарирующей поверхности (самоочистка) элеватора» [127].

Прутки элеватора чередуются через один с защитным покрытием и без него, это позволяет исключить скатывание клубней. Защитные покрытия прутков бывают трубчатые, трубчатые многопрофильные, покрытия с гребнем. Классификация конструкций прутков приведена на рисунке 1.7.

Как правило, в технологическом процессе картофелеуборочной машины, а, следовательно, и в её конструкции, одного элеватора недостаточно. Элеваторов устанавливают несколько, причем наиболее сложные условия работы наблюдаются у первого элеватора.

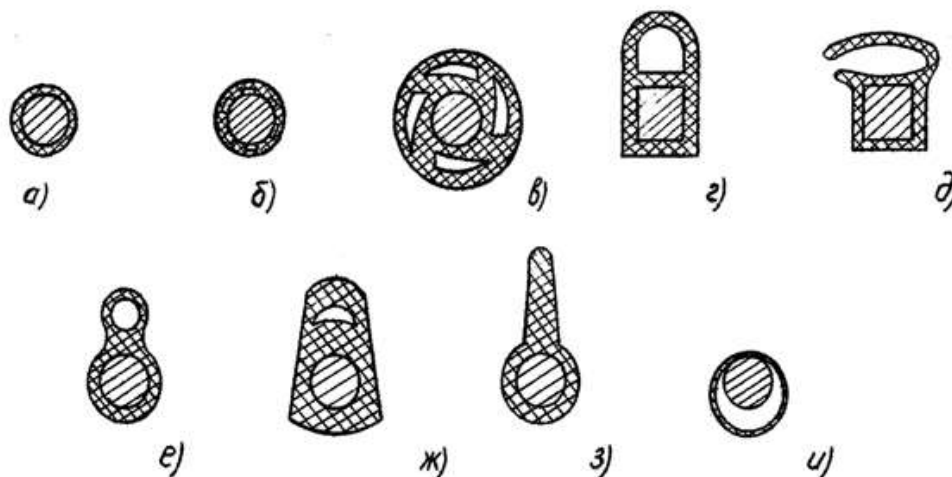
Первый основной сепарирующий элеватор работает при значительном содержании почвы в клубненосном ворохе, поэтому для просеивания почвы применяется встряхивание полотна элеватора. Наличие почвенной прослойки между прутками и клубнями не требует значительной толщины защитных покрытий. Обычно на прутки сепарирующего элеватора устанавливают резиновые или полимерные эластичные трубки толщиной 2...3 мм (рисунок 1.7 а, б) [127].

Благодаря сепарации на последующие сепарирующие элеваторы поступление почвы уменьшается, поэтому для смягчения удара о прутки (амортизации) на вторых (и последующих) элеваторах зачастую применяют многополостные профили (рисунок 1.7 в...е) [27]. Профили с гибким гребнем дополнительно исключают скатывание клубней вниз по элеватору, снижая повреждения клубней при переходе с одного элеватора на другой и при подбрасывании клубней на интенсификаторе. (рисунок 1.7 ж).

Многопрофильные покрытия с воздушными полостями снижают повреждения, однако уменьшают просеивание почвы сепарирующими элеваторами.

Применение эластичных защитных покрытий на прутках элеватора приводит к снижению «живого сечения решета» и уменьшению сепарации почвы [98,70,127]. Возникает противоречие, между количеством повреждений и сепарирующей способностью элеватора. Эластичные защитные покрытия прутков ведут к снижению повреждений клубней, что уменьшает сепарирующую способность элеватора.

Поэтому на прутки основного элеватора устанавливают подвижные полиэтиленовые трубки со значительным зазором, которые увеличивают площадь контакта с клубнем, снижая повреждения. В тоже время подвижность трубок способствует просеву почвы и увеличению сепарирующей способности.



«а, б – трубки резиновые или полимерные; в- д – многопрофильные покрытия с воздушными полостями; е-з – покрытия с гребнем; и – покрытие в полиэтиленовой трубке»

Рисунок 1.7 – «Конструкции эластичных защитных профилей и прутковых сепарирующих элеваторов» [27].

Таким образом, необходимо совершенствовать защитные покрытия прутков сепарирующих элеваторов для повышения сепарации почвы и снижения повреждений клубней.

1.4 Анализ теоретических исследований по прутковым элеваторам

Сепарация почвы клубненосного пласта носит вероятностный характер, и зависит от многих факторов. М.Л. Летошневым рассматривал вероятность прохода различных частиц в пределах площади отверстия. Допуская проход различных частиц в отверстие равновероятным, он определял его вероятность положением относительно отверстия. Процесс сепарации почвы по мнению ученых Е.А. Непомнящего, В.М. Цециновского, и др. [98] состоит из перемещения частицы почвы из верхних слоев, и просеивания частиц соответствующего размера в отверстие решета. Исследуя возможность прохода нескольких частиц, Е.А Непомнящим было предложено выражение для определения полноты сепарации, которое затем широко применялось многими учёными [14,98]:

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

где ε - полнота выделения частиц из слоя;

e - экспонента;

τ_0 – постоянная времени процесса;

t - время процесса.

Г.Д. Петровым для одного слоя компонентов предложена эмпирическая формула на основе оценки условий сепарации с помощью специальных коэффициентов для определения полноты просеивания почвы η [98]:

$$\eta = 1 - e^{-k_4 T} + (1 - W) \frac{k_4}{k_4 - k_5} (e^{-k_4 T} - e^{-k_5 T}), \quad (1.2)$$

где W – относительное содержание мелкой почвы в исходном продукте;

T – время процесса сепарации;

k_4 – коэффициент способности почвы к просеиванию;

k_5 – коэффициент разрушаемости почвенных комков.

Для оценки сепарации А.А. Сорокиным [13] предложен относительный коэффициент сепарации \mathcal{E} :

$$\mathcal{E} = \frac{Q_{\max} - Q}{Q_{\max}}, \quad (1.3)$$

где Q_{\max} – подача клубненосного пласта на элеватор, кг/с;

Q – сход клубненосного пласта с элеватора, кг/с.

Для подбрасывания компонентов клубненосного пласта необходимо чтобы вертикальное ускорение полотна g_n было выше ускорения свободного падения [13], :

$$g_n > g \cos \alpha, \quad (1.4)$$

где g – ускорение свободного падения;

α – угол наклона элеватора к горизонту.

При отрыве подбрасывания компонентов клубненосного пласта элеваторами с встряхивателями в виде эллиптических звездочек Г.Д. Петров [98] предложил формулу для минимальной скорости элеватора:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{ga}{(1-c)^2}}, \quad (1.5)$$

где c – отношение радиусов с встряхивателя в виде эллиптической звездочки.

Н.В. Фирсов определил скорость полотна v_{\min} для подбрасывания компонентов клубненосного пласта на элеваторах с встряхивателями в виде эллиптической звездочки [98]:

$$v_{\min} = \pi \sqrt{a \cdot \cos \alpha}, \quad (1.6)$$

где a – больший радиус эллиптической звездочки.

Г.Д. Петровым предложена формула для определения дальности полета L_n компонента клубненосного пласта после подбрасывания на элеваторе с встряхивателем в виде двухплечего рычага с роликами:

$$L_n = \frac{2v_{\text{э}} \cdot v_n}{g}, \quad (1.7)$$

где $v_{\text{э}}$ – линейная скорость элеватора;

v_n – вертикальная скорость подбрасывания элеватора.

Петров Г.Д. предложил формулу для определения коэффициента «живого сечения» элеватора η_c [98]:

$$\eta_c = \frac{t-d}{t} \cdot 100\%, \quad (1.10)$$

где t – шаг прутков элеватора, м;

d – средний диаметр прутка, м.

Исследуя работу комбинированных прутков Костенко М.Ю. и Суздалева Г.Ф. предложили определять скорость комбинированного прутка по формуле [65,125]:

$$V_B = \frac{2(r+S)(r-\frac{d}{2})}{\left[r(R+h) - (r \cdot \frac{d}{2} + S \cdot \frac{d}{2} + Rr) \cos \alpha \right]} \cdot V_A \quad (1.11)$$

где r – радиус трубки; R – радиус кулачка; α – направляющий угол положения трубки на кулачке; h – величину зазора между кулачком и осью прутка полотна элеватора; S – толщину стенки трубки; d – диаметр прутка; $V_A = V_{\text{пол}}$ – скорость полотна элеватора, м/с.

Анализируя исследования, проведенные учеными Бышовым Н.В., Верещагиным Н.И., Грищенко Ф.В., Колчиным Н.Н., Костенко М.Ю., Кривошовым Н.И., Кущевым И.Е., Летошневым Н.М, Мацепуро М.Е., Петровым Г.Д., Сорокиным А.А, Углановым М.Б, Успенским И.А., Фирсовым Н.В. и др. установлено, что эффективность сепарации

клубненосного пласта определяется конструктивными параметрами и кинематическими режимами работы сепарирующих элеваторов [7,12,13,15, 17,22,33]. Интенсивность просева почвы между прутками элеватора определяется необходимостью подбрасывания компонентов клубненосного пласта для их переориентации и разрушения для просева [49,56,57,61,63,65,68]. Также установлено, что модернизация сепарирующих устройств картофелеуборочных машин должна способствовать снижению повреждений клубней и энергозатрат на сепарацию почвы за счет локального воздействия [65,69,84,98,116,129,131].

Выводы по главе 1

Возможность обеспечить достаточную сепарирующую способность при необходимой скорости транспортирования клубненосного вороха в широком диапазоне условий применения определяет широкое распространение и перспективность дальнейшего использования прутковых элеваторов в корнеклубнеуборочных машинах, в том числе в машинах для уборки картофеля. Снижение сепарирующей способности в конкретных условиях эксплуатации в значительной степени связано с возникающими затруднениями взаимного перемещения компонентов картофельного вороха, и устраняется локальным применением интенсификаторов-встряхивателей полотна пруткового элеватора. Интенсификация сепарации приводит к повышению повреждений клубней, что делает перспективным применение устройств «бережной» сепарации, например, в виде прутковых элеваторов, оснащенных защитным полимерным покрытием прутков, выполненных в виде трубок, установленных на пруток с зазором (т.н. «комбинированных» прутков).

На основании вышеизложенного, целью работы является снижение потерь и повреждений клубней картофеля путём обоснования параметров элеватора с комбинированными прутками.

1.5 Постановка задач исследований

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

- 1) провести анализ эффективности элементов конструкций сепарирующих элеваторов картофелеуборочных машин;
- 2) теоретически и экспериментально определить основные параметры элеватора с комбинированными прутками;
- 3) исследовать влияние разработанного элеватора с комбинированными прутками на показатели работы картофелеуборочных машин;
- 4) определить экономический эффект от внедрения предложенных решений.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕВАТОРА С КОМБИНИРОВАННЫМИ ПРУТКАМИ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

2.1. Предпосылки для совершенствования элеваторов картофелеуборочных машин

При уборке картофеля присутствует непостоянство физико-механических свойств почвы. Даже для одинаковой твердой сыпучей консистенции почвы, как правило исходный материал не имеет определенной размерной характеристики. В тоже время исследованиями ученых установлено, что на качество процесса сепарации почвы большое влияние оказывает отношение размера почвенных агрегатов к размеру отверстий [98]. Поэтому существуют понятия «трудные», «затрудняющие» и «легкие» компоненты клубненосного пласта. «Трудные» – это компоненты меньше размера отверстия S , но близкие к нему, примерно от $0,7-0,8 S$ до S , «затрудняющие» – компоненты больше размера отверстия, но близкие к нему, примерно от S до $1,5 S$ и «легкие» – компоненты мельче $0,6 S$ [98].

Чем больше в почве «трудных» и «затрудняющих» компонентов, тем, при прочих равных условиях, эффективность сепарации снижается, по виду характеристики фракционного состава почвы можно судить о возможности её отделения. Специфической особенностью почвы является то, что эти характеристики непрерывно меняются. В каждый данный момент времени размер частиц в почвенной массы может быть определен как случайная величина с некотором законом распределения.

Для зерновых смесей это величины, определяемые с помощью классификатора, принимаются (для каждый сортируемой партии) постоянными [85,141]. В случае сепарации почвы они являются переменными величинами в вероятностно-статическом смысле, носящими

случайный характер. Особенностью процесса сепарации почвы является непрерывное образование в процессе сепарации на элеваторе мелких частиц почвы, происходящее в результате соударений комков почвы и прутков элеватора.

Таким образом, исходной фракционный состав почвенной смеси поступавший на сепарирующий рабочий орган далее изменяется не только в результате просеивания мелких, проходových частиц, но вследствие разрушения крупных, непроходových фракций. Существенной, характерной технологической особенностью процесса сепарации в картофелеуборочном комбайне является крайне неодинаковая загрузка элеваторов, расположенных в начале и середине технологического процесса комбайна, что отмечается и в литературе [98,109,111,113,149].

Просеивание почвы сквозь прутки элеватора происходит в условиях хаотического движения разнообразных по своей форме и размерам частиц в слое смеси и на элеваторе. Кроме того, изменчивость свойства почвы, неточности формы и размеров отверстий между прутками, собственные вибрации элеватора и множество других, не поддающихся контролю и управлению факторов – все это позволяет рассматривать сепарацию почвы на элеваторе как случайный процесс. Необходимо отметить, что фактор самосортирования будет оказывать решающее влияние на вероятность просеивания частиц только при просеивании частиц почвы значительно меньших по размеру, чем просвет, что характерно для основного сепарирующего рабочего органа картофелеуборочных машин [121,123,150]. При просеивании частиц почвы близких по размеру к величине просвета, решающее значение для просеивания приобретает вероятность второго события – прохода частицы через просвет. Следовательно, в случае если размер частицы близок к размеру отверстия, процесс самосортирования – это только часть процесса просеивания частицы сквозь просвет.

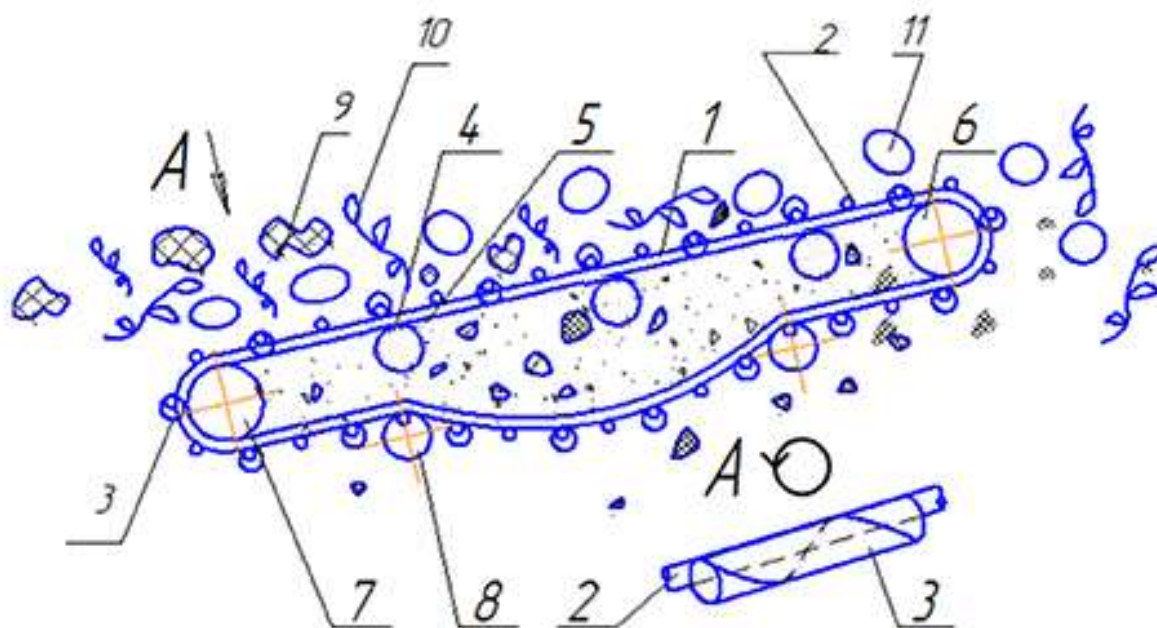
Таким образом, для повышения эффективности сепарации необходимо обеспечить взаимное перемещение компонентов клубненосного пласта на

поверхности элеватора. Это возможно при обеспечении взаимного движения прутков элеватора при использовании комбинированных прутков. Возникающие ударные взаимодействия комбинированных прутков с компонентами клубненого пласта при работе элеватора также способствуют измельчению частиц почвы.

2.2. Перспективная конструктивно-технологическая схема элеватора с комбинированными прутками

По результатам выполненного анализа состояния вопроса и изучения теоретических предпосылок совершенствования прутковых элеваторов нами предлагается новое схемно-конструктивное решение пруткового элеватора с комбинированными прутками. Сепарирующий элеватор картофелеуборочной машины состоит из гибких тяговых элементов 1 с комбинированными прутками, представляющими собой прутки 2 с надетыми на них цилиндрическими трубками 3 выполненными из полиэтилена высокого давления (рисунок 2.1).

На каждом комбинированном прутке расположено определенное количество цилиндрических трубок. Приводной вал обеспечивает движение полотна, при этом трубки комбинированных прутков 3 расположены над интенсификаторами 5 в виде каскадов вращающихся роликов. Трубка комбинированного прутка одновременно находится в контакте с прутком 2 и вращающимся роликом интенсификатора 5. Каскады вращающихся роликов установлены с чередованием по площади полотна сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины.



1 – прорезиненная тяговая лента; 2 – пруток элеватора; 3 – цилиндрическая трубка (по несколько трубок на пруток); 4 – роликовый интенсификатор; 5 – рама; 6 – барабан ведущий; 7,8 – барабаны ведомые; 9 – компонент клубненосного вороха; 10 – остатки ботвы; 11 – корнеклубнеплод.

Рисунок 2.1 – Технологическая схема усовершенствованного пруткового элеватора

При движении полотна, образованного гибкими тяговыми элементами 1 с комбинированными прутками, цилиндрические трубки 3 взаимодействуют со интенсификаторами 5 в виде каскадов вращающихся роликов. В результате взаимодействия цилиндрические трубки 3 перекатываются по каскадам вращающихся роликов, при котором происходит цилиндрической трубки 3 относительно прутка 2 полотна элеватора. Так как интенсификаторы 5 расположены с чередованием по площади полотна сепарирующего элеватора, то происходит смещение картофельного вороха за счет сложного движения цилиндрических трубок. Смещение вороха вызывает знакопеременные нагрузки, которые приводят к

разрушению и сепарации почвы. Установка каскадов вращающихся роликов 6 с чередованием по площади полотна сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины вызывает относительное перемещение проходных частиц относительно зазоров между комбинированными прутками, что улучшает процесс сепарации. Степень воздействия комбинированных прутков на клубни определяется количеством интенсификаторов.

Благодаря вращению каскадов роликов трубки 3 комбинированных прутков перекатываются, вследствие чего трение скольжения заменяется трением качения.

2.3 Теоретические исследования движения комбинированных прутков элеватора картофелеуборочной машины

С целью исследования движения и обоснования рациональных значений параметров комбинированных прутков элеватора картофелеуборочной машины, принимая во внимание возможность проворачивания цилиндрических трубок, обоснуем значения угловой скорости вращения, линейной скорости и ускорения цилиндрической трубки, соответствующие режиму работы элеватора с роликом интенсификатора. Для теоретических исследований используем методы аналитической геометрии, математического анализа, сопротивления материалов, линейной алгебры [4].

В теоретическом анализе будем учитывать следующие допущения:

- в процессе взаимодействия происходит упругий удар;
- полотно элеватора движется прямолинейно;
- трубка обладает достаточной жесткостью.

Рассмотрим движение цилиндрической трубки по ролику интенсификатора, имеющему профиль в виде окружности. С учетом невозможности перемещения цилиндрических трубок вдоль осевой линии

комбинированного прутка, рассмотрим плоскую декартову систему координат.

Трубки прутка сепарирующего элеватора массой m и радиусом r , встречаются с роликом интенсификатора, что приводит к удару трубки о ролик (рисунок 2.2). Так как трубка свободно надета на пруток, удар будет неупругий. Допустим, что трубка перемещается по ролику и прутку без скольжения. Величина угла α определяется геометрическими параметрами трубки, прутка и ролика. Определим скорость центра трубки C после удара, с учетом массы трубки и массы клубненосного вороха, приходящейся на трубку. Начальную скорость трубки до удара примем равной скорости полотна элеватора V_c . Для определения скорости трубки после удара воспользуемся мгновенным центром скоростей P_V , который расположен в точке соприкосновения трубки и ролика.

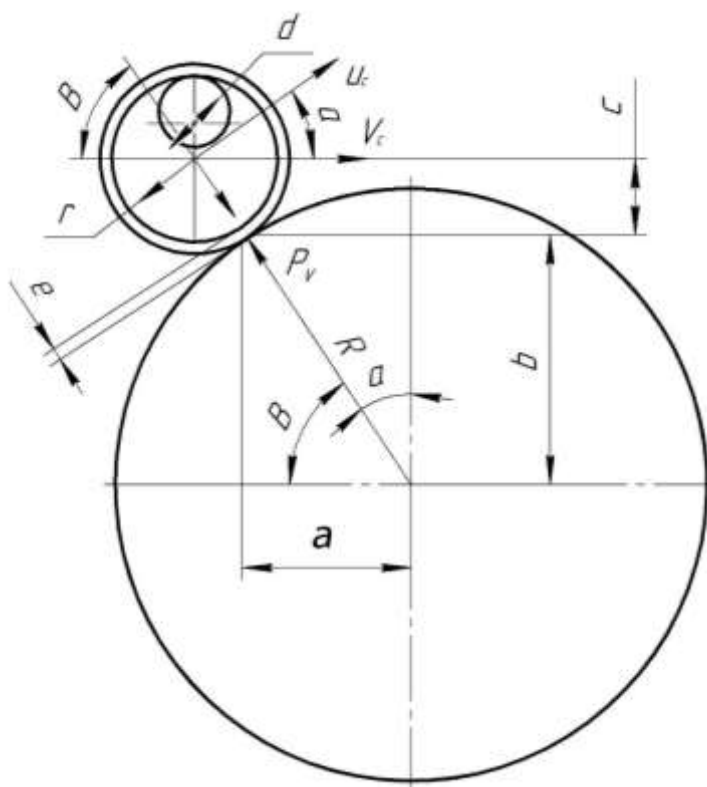


Рисунок 2.2 – Схема определению параметров взаимодействия трубки прутка с роликом интенсификатора

Разложим ударную реакцию, которая действует на трубку, на направления по касательной и нормали к поверхности трубки. Аналогично разложатся составляющие импульса \vec{S}_F и \vec{S}_N , на касательную и нормаль (рис. 2.2). После удара трубка повернется вокруг мгновенного центра скоростей. Величину ударного импульса определим с помощью выражения:

$$m(\vec{u}_c - \vec{V}_c) = \vec{S}_F + \vec{S}_N, \quad (2.1)$$

где m – масса трубки;

V_c – скорость центра трубки до удара;

u_c – скорость центра трубки после удара.

Вращение трубки определим следующим образом

$$J_c(\omega_\tau - \omega_0) = -S_F \cdot r, \quad (2.2)$$

где J_c – момент инерции трубки;

ω_0 – угловая скорость трубки до удара;

ω_τ – угловая скорость трубки после удара.

Угловые скорости трубки связаны с линейными скоростями следующими выражениями $\omega_\tau = \frac{u_c}{r}$, $\omega_0 = \frac{V_c}{r}$. Спроектируем уравнение (2.3) на оси Ax и Ay и проведем замену в уравнении (2.2):

$$\begin{cases} m(u_c - V_c \cos \alpha) = S_F \\ m(0 + V_c \sin \alpha) = S_N \\ mr^2 \left(\frac{u_c}{r} - \frac{V_c}{r} \right) = -S_F \cdot r \end{cases}, \quad (2.4)$$

где α – угол направления взаимодействия ролика с трубкой ($\cos \alpha = \frac{a}{R}$, $\sin \alpha = \frac{b}{R}$).

Величина угла α определяется геометрическими параметрами трубки комбинированного прутка (внутренний диаметр трубки $d_1 = 2r$) и ролика интенсификатора, а также их взаимным расположением:

$$\cos \alpha = \frac{R-r+d+e}{R+r+e}, \quad (2.5)$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{R-r+d+e}{R+r+e}\right)^2}, \quad (2.6)$$

Решая совместно уравнение (2.12) определим неизвестные величины u_c, S_F, S_N как зависимости от начальной скорости трубки V_c , тогда уравнения запишутся в виде:

$$\begin{cases} m(u_c - V_c \cos \alpha) = S_F \\ m(u_c - V_c) = -S_F \end{cases}, \quad (2.7)$$

Проведя соответствующее преобразование, определим составляющие ударного импульса \vec{S}_F и \vec{S}_N :

$$\begin{cases} S_F = \frac{1}{2} m V_c (1 - \cos \alpha) \\ S_N = m V_c \sin \alpha \end{cases}, \quad (2.8)$$

Тогда скорость центра трубки после удара u_c определится как

$$u_c = \frac{1}{2} V_c (1 + \cos \alpha), \quad (2.9)$$

Подставив в формулу (2.9) значения (2.5), получим

$$u_c = \frac{1}{2} V_c \left(1 + \frac{R-r+d+e}{R+r+e}\right), \quad (2.10)$$

Рассчитаем величину скорость центра трубки после удара о ролик в программе Mathcad и построим графики зависимостей (рисунки 2.3-2.5).

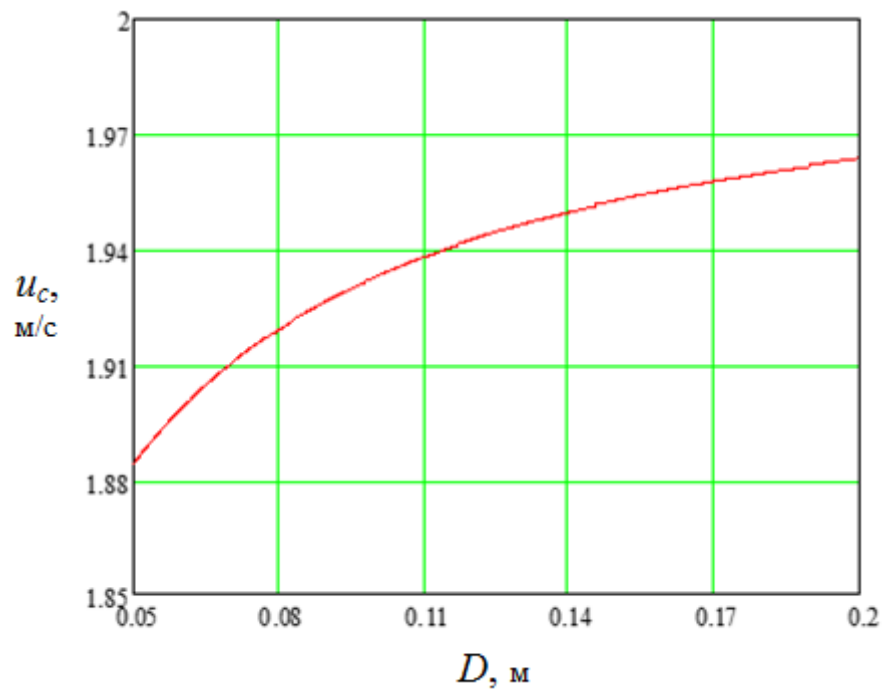


Рисунок 2.3 – Зависимость скорость центра трубки после удара о ролик от диаметра ролика

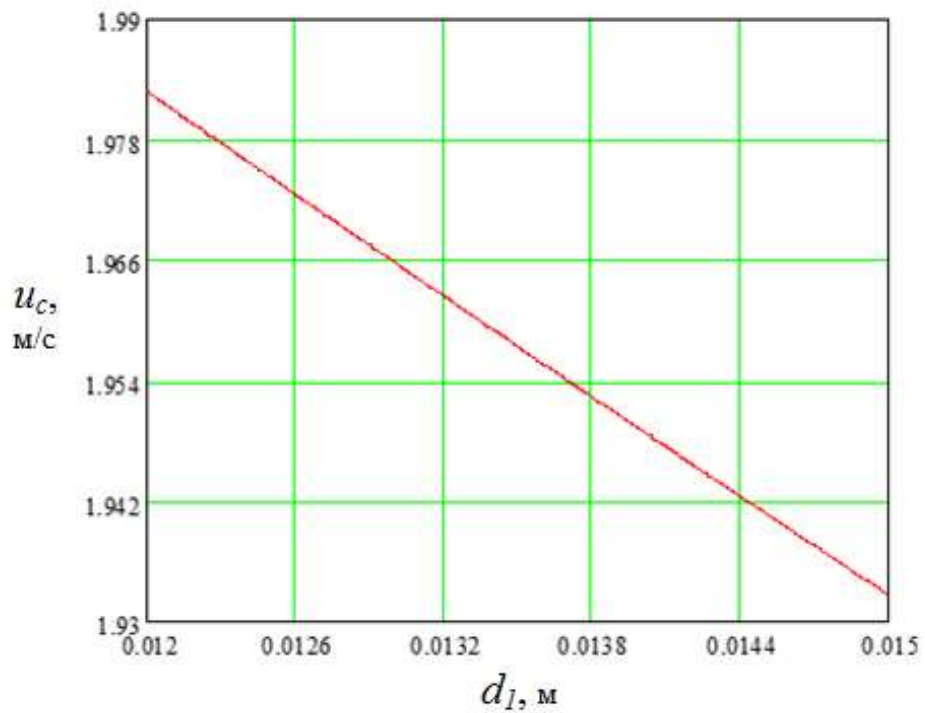


Рисунок 2.4 – Зависимость скорость центра трубки после удара о ролик от диаметра трубки ($d_1 = 2r$)

Анализ рисунка 2.3 показал, что диаметр ролика оказывает влияние на величину скорости центра трубки, при значениях менее 0,010 м скорость центра трубки интенсивно убывает, а при значениях более 0,10 м монотонно возрастает. Следует отметить, что при диаметре ролика более 0,10 м также меняется направление скорости, увеличивается угол скорости к горизонту, следовательно может увеличиваться высота и дальность полета клубня.

Анализ рисунка 2.4 показал, что с увеличением диаметра трубки комбинированного прутка уменьшается скорость центра трубки, а также уменьшается коэффициент «живого сечения решета». Поэтому следует выбирать меньшее значение диаметра трубки, диаметр трубки 0,0125 м является рациональным.

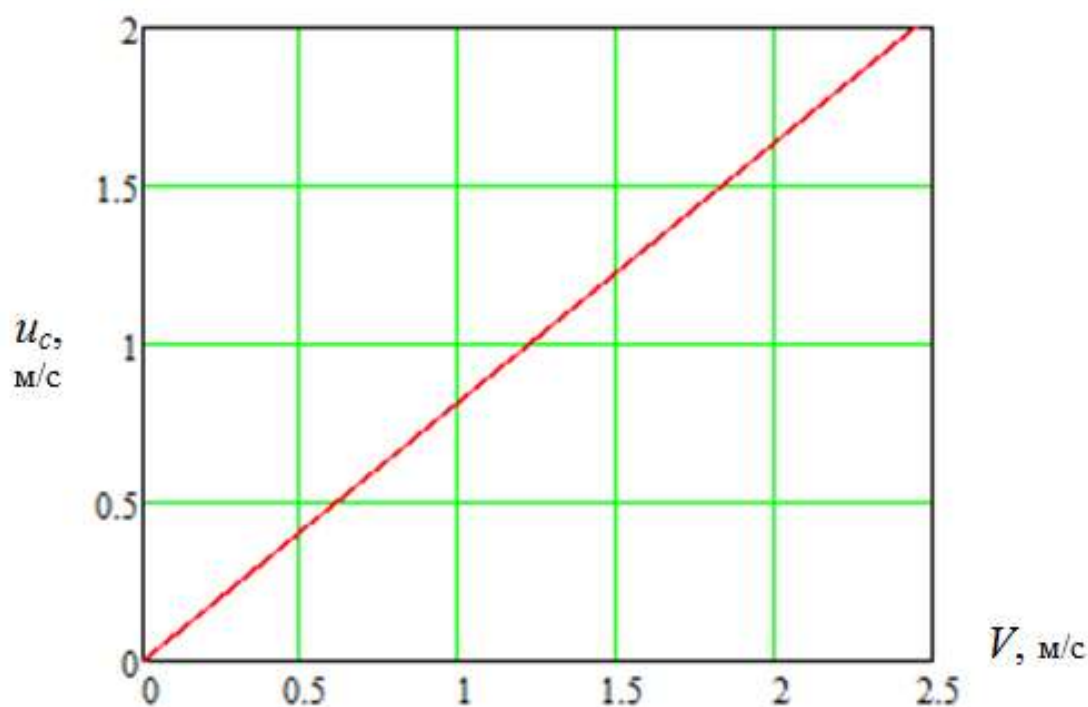


Рисунок 2.5 – Зависимость скорость центра трубки после удара о ролик от начальной скорости трубки до удара (скорость движения элеватора)

Анализ рисунка 2.5 показал, что величина скорости центра трубки прямо пропорционально зависит от скорости. Определим условие подбрасывания клубеносного вороха, применив теорему об изменении

кинетической энергии при повороте трубки вокруг ролика на определенный угол.

$$T - T_0 = \sum A , \quad (2.11)$$

Т.к. диск участвует в поступательном и вращательном движении одновременно, то полная кинетическая энергия диска

$$T = T_{\text{к пост}} + T_{\text{к вр}} , \quad (2.12)$$

где $T_{\text{к пост}}$ – кинетическая энергия поступательного движения трубки;

$$T_{\text{к пост}} = \frac{mu_c^2}{2} , \quad (2.13)$$

$T_{\text{к вр}}$ – кинетическая энергия вращательного движения трубки.

Кинетическая энергия вращательного движения трубки определяется уравнением

$$T_{\text{к вр}} = \frac{J\omega_\tau^2}{2} , \quad (2.14)$$

Момент инерции трубки комбинированного прутка представим как момент инерции обруча

$$J = mr^2 , \quad (2.15)$$

Угловая скорость трубки связана с линейной уравнением

$$\omega_\tau = \frac{u_c}{r} , \quad (2.16)$$

Тогда полная кинетическая энергия, учитывающая поступательную и вращательную составляющие трубки, определяются уравнением

$$T = \frac{mu_c^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} = \frac{mu_c^2}{2} + \frac{mr^2u_c^2}{2r^2} = mu_c^2 . \quad (2.17)$$

С учетом вращения трубки, ее кинетическая энергия до удара определяется уравнением

$$T_0 = mV_c^2 . \quad (2.18)$$

Кинетическая энергия трубки после удара определяется уравнением

$$T = mu_c^2 . \quad (2.19)$$

Работа подбрасывания трубки с компонентами клубненосного вороха

$$\Sigma A = m_1gh , \quad (2.20)$$

где m_1 – масса трубки с учетом массы клубненосного вороха кг;
 g – ускорение свободного падения, м/с².

Выразим величины скоростей, подставив значения уравнений (2.18), (2.19) и (2.20) :

$$V^2 = u_c^2 - \frac{m_1}{m}gh . \quad (2.21)$$

Подъем трубки комбинированного прутка возможен при условии:

$$u_c^2 \geq \frac{m_1}{m}gh . \quad (2.22)$$

Подставив значение скорости после удара u_c из (2.9), получим

$$\frac{V_c^2}{4} (1 + \cos \alpha)^2 \geq \frac{m_1}{m}gh . \quad (2.23)$$

Выразим величину подскока клубненосного вороха:

$$h \leq \frac{\frac{v_c^2}{4}(1+\cos \alpha)^2}{g} \frac{m}{m_1} \quad (2.24)$$

Масса трубки с учетом массы клубненосного пласта определяется поступлением клубненосного пласта и длиной трубки. Учитывая, что шаг прутков представляет собой постоянную величину масса компонентов, приходящихся на трубку комбинированного прутка, определяется длиной трубки.

$$m_1 = dm_1 \cdot l_1, \quad (2.25)$$

где dm_1 – удельная масса трубки с учетом массы клубненосного пласта кг/м;
 l_1 – длина трубки комбинированного прутка, м.

Тогда величина подскока компонентов клубненосного пласта с учетом формулы (2.5) определится формулой:

$$h \leq \frac{\frac{v_c^2}{4} \left(\frac{2R+d+2e}{R+r+e} \right)^2}{g} \frac{m}{dm_1 \cdot l_1} \quad (2.26)$$

Проведем числовое моделирование высоты подскока компонентов клубненосного вороха в программе Mathcad, задавшись геометрическими параметрами комбинированного прутка и ролика интенсификатора, а также скоростью сепарирующего элеватора: $m= 0,05$ кг, $R=0,10-0,15$ м; $r= 0,0125-0,015$ м; $d= 0,011-0,12$ м; $e=0,002-0,004$ м; $V_c=2,0-2,2$ м/с (рисунки 2.6 -2.7). Для проведения моделирования наложим ограничение – высота подскока клубней должна находиться в диапазоне 0,09-0,10 м. Указанный диапазон обеспечивает разрушение почвенного пласта, переориентацию компонентов и исключает повреждения клубней.

Анализ рисунка показал, что высота подскока в значительной мере определяется массой клубненосного вороха m_1 , приходящегося на трубку длиной l_1 . Варьирование размерами трубки, ее толщины, радиуса ролика

интенсификатора позволило установить, что рациональными параметрами являются: скорость элеватора, радиус ролика, внутренний радиус трубки, длина трубки. При рациональных параметрах высота подскока клубней будет составлять менее 0,10 м.

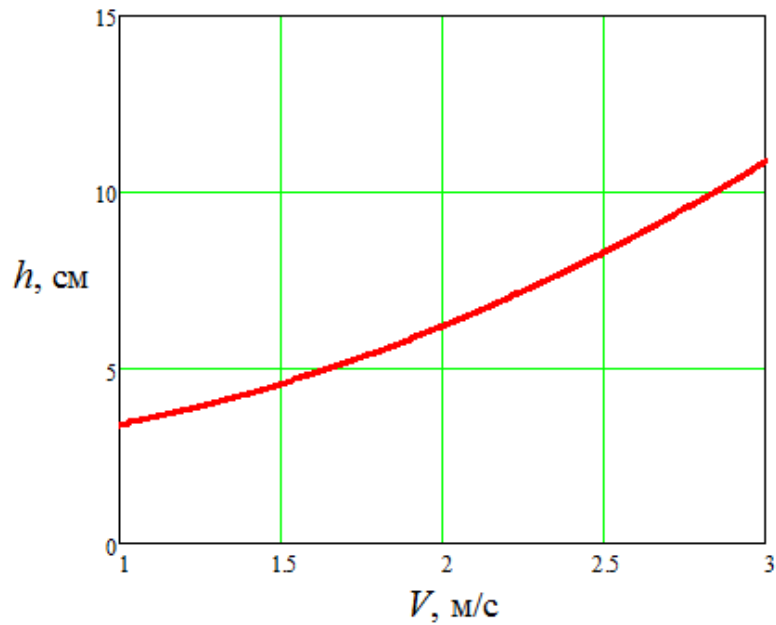


Рисунок 2.6 – Зависимость высоты подскока компонентов клубненосного пласта от скорости элеватора

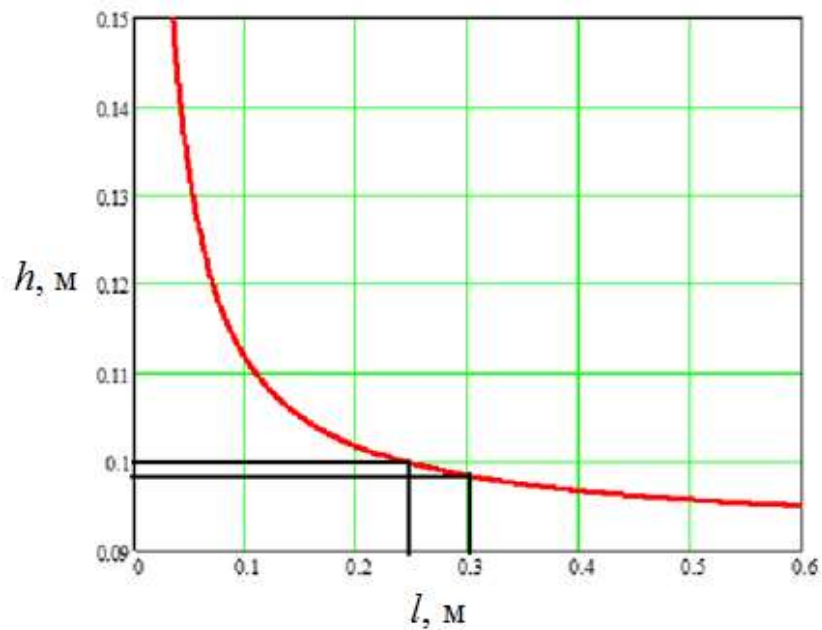


Рисунок 2.7 – Зависимость высоты подскока компонентов клубненосного пласта от длины трубки комбинированного прутка

Анализ рисунка 2.6 показал, что высота подскока компонентов клубненосного пласта интенсивно возрастает от скорости элеватора, поэтому следует ограничивать скорость элеватора во избежание повреждений клубней.

Анализ рисунка 2.7 показал, что рациональная высота подскока не более 0,10 м достигается при длине трубки комбинированного прутка 0,25-0,30 м. Следует отметить, что влияние длины трубки обусловлено массой клубненосного пласта, находящейся на трубке комбинированного прутка.

Условие отсутствия проскальзывания трубки при ударе о ролик запишем, используя гипотезу Рауса для удара:

$$|S_F| \leq S_{F_{max}} = fS_N, \quad (2.27)$$

где S_F и S_N - касательный и нормальный импульсы удара; f - коэффициент трения скольжения трубки о ролик интенсификатор при ударе. Граничное условие проскальзывание описывается уравнением:

$$|S_F| = S_{F_{max}} = fS_N, \quad (2.28)$$

Преобразуем уравнение (2.27) - условие отсутствия проскальзывания трубки по ролику, подставив значения ударных импульсов S_F и S_N из уравнения (2.1), получим:

$$\frac{1}{2}mV_c(1 - \cos \alpha) \leq fmV_c \sin \alpha. \quad (2.29)$$

Отсюда величина коэффициента трения скольжения трубки о ролик определится неравенством:

$$f \geq \frac{1 - \cos \alpha}{2 \sin \alpha}. \quad (2.30)$$

Рассчитаем величину коэффициента трения скольжения трубки о ролик в программе Mathcad и построим график зависимости (рисунок 2.8).

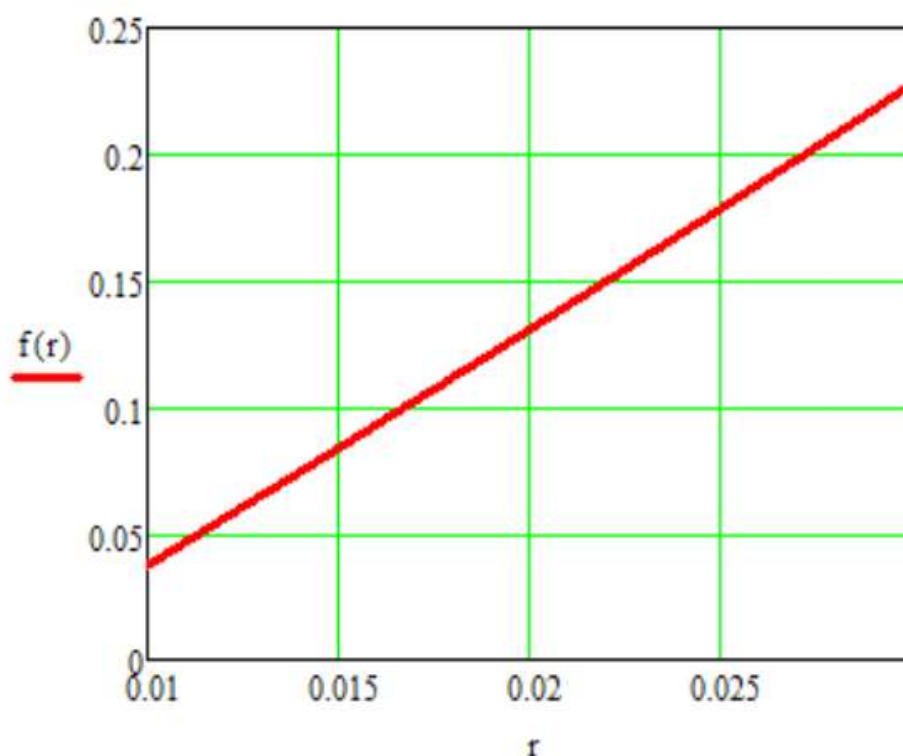


Рисунок 2.8 – Зависимость коэффициента трения скольжения трубки о ролик от радиуса трубки комбинированного прутка

Анализируя зависимость коэффициента трения скольжения трубки о ролик можно видеть, что условие отсутствия проскальзывания трубки при ударе выполняется при величине коэффициента трения скольжения $f \geq 0,08$ для радиуса трубки $r = 0,015$ м. Таким образом, упругий удар трубки о ролик возможен в широком диапазоне условий.

2.4. Обоснование параметров и режимов работы элеватора с комбинированными прутками

При движении секционных комбинированных прутков по свободно вращающимся роликам трубка комбинированного прутка обгоняет пруток,

приобретая дополнительную скорость. Рассмотрим движение комбинированного прутка в продольно-вертикальной плоскости. При этом будем рассматривать движение центра трубки комбинированного прутка относительно центра прутка при движении с роликом.

Перемещение трубки комбинированного прутка будет определяться взаимным положением прутка относительно ролика, при этом перемещение также будет зависеть от диаметра ролика, диаметра прутка, диаметра и толщины трубки (рисунок 2.9).

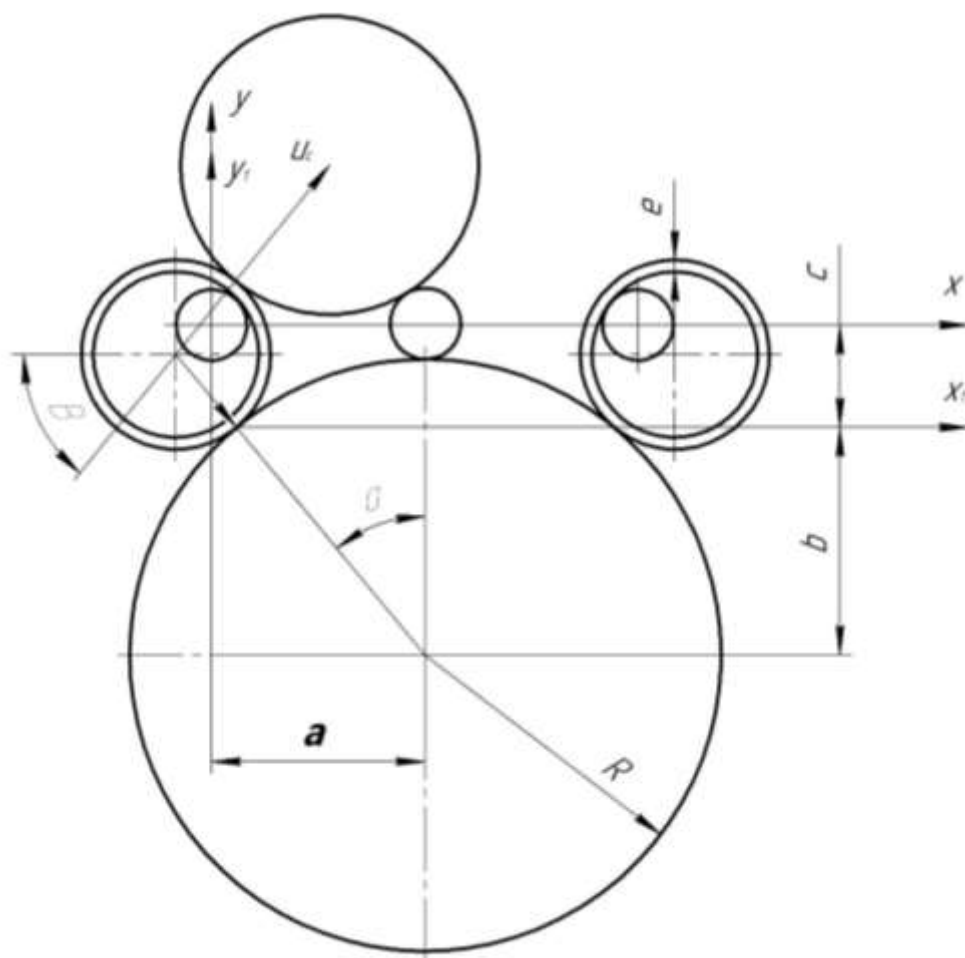


Рисунок 2.9 – Расчетная схема взаимодействия комбинированного прутка с компонентом клубеносного вороха

Клубень, подбрасывается полотном с начальной скоростью u_c , направленной под углом α к горизонту, пренебрегая сопротивлением воздуха, определим дальность полета клубня, если клубень имеет вес G [50]. Секционный комбинированный пруток сконструирован таким образом, что при взаимодействии с клубнем упруго сжимается, ограничивая возникающие напряжения и снижая повреждаемость клубней. Прежде всего, определим время подъема клубня до наивысшего положения и траекторию движения. Допустим, что к клубню приложена постоянная сила тяжести $\bar{G}=m\bar{g}$, направленная вертикально вниз.

Выберем подвижные оси координат $Oxyz$ под углом к горизонту и параллельно поверхности полотна элеватора так, как показано на рисунке 2.10. Используя теорему об изменении количества движения определим импульс силы клубня в проекциях на плоскость xOy

$$mu - mu_c = \int_{t_0=0}^t F_u dt . , \quad (2.31)$$

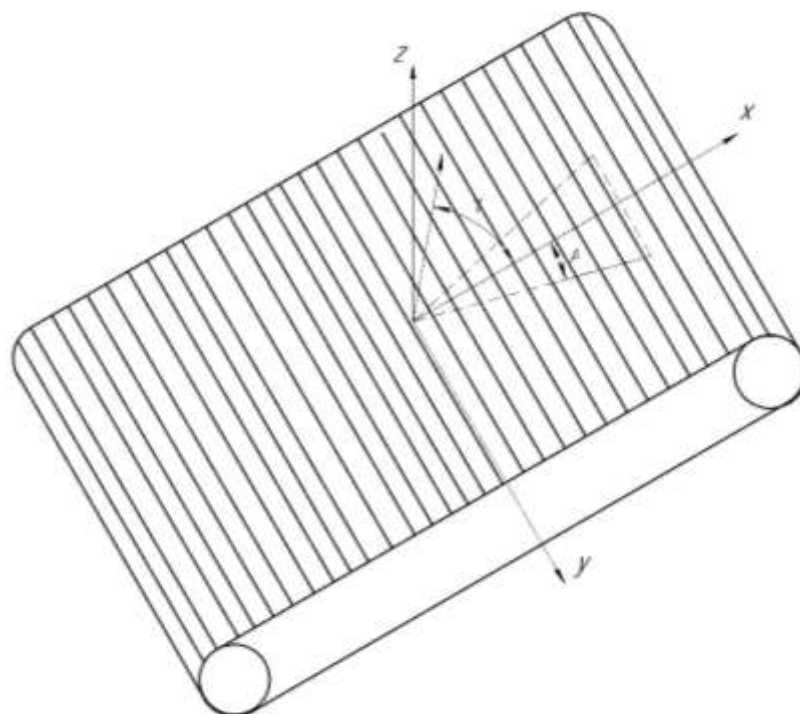


Рисунок 2.10 – Схема расположения координатных осей при полете компонентов клубненосного вороха

При выбранном направлении оси проекции имеем $u_{yc} = u_c \sin \beta$, $u_{xc} = u_c \cos \beta$ (так как в наивысшем положении клубня скорость его направлена горизонтально), учитывая, что вертикальная составляющая $F_z = -G = -mg$.

Подставляя эти значения в уравнение (2.31), получим

$$\begin{cases} -mu_c \sin \beta = -mgt \\ -mu_c \cos \beta = -mgt \end{cases} \quad . , \quad (2.32)$$

Найдем время подъема клубня на наибольшую высоту

$$t = \frac{u_c \cos \beta}{g} \quad . , \quad (2.33)$$

Уравнения движения клубня до момента достижения им наибольшей высоты будут

$$\begin{cases} x = u_c t \sin \beta, \\ y = u_c t \cos \beta, \\ z = u_c t \sin \gamma - \frac{gt^2}{2} \end{cases} \quad . \quad (2.34)$$

Рассчитаем траекторию движения клубня вдоль пруткового элеватора в программе Mathcad и построим график зависимости (рисунок 2.11).

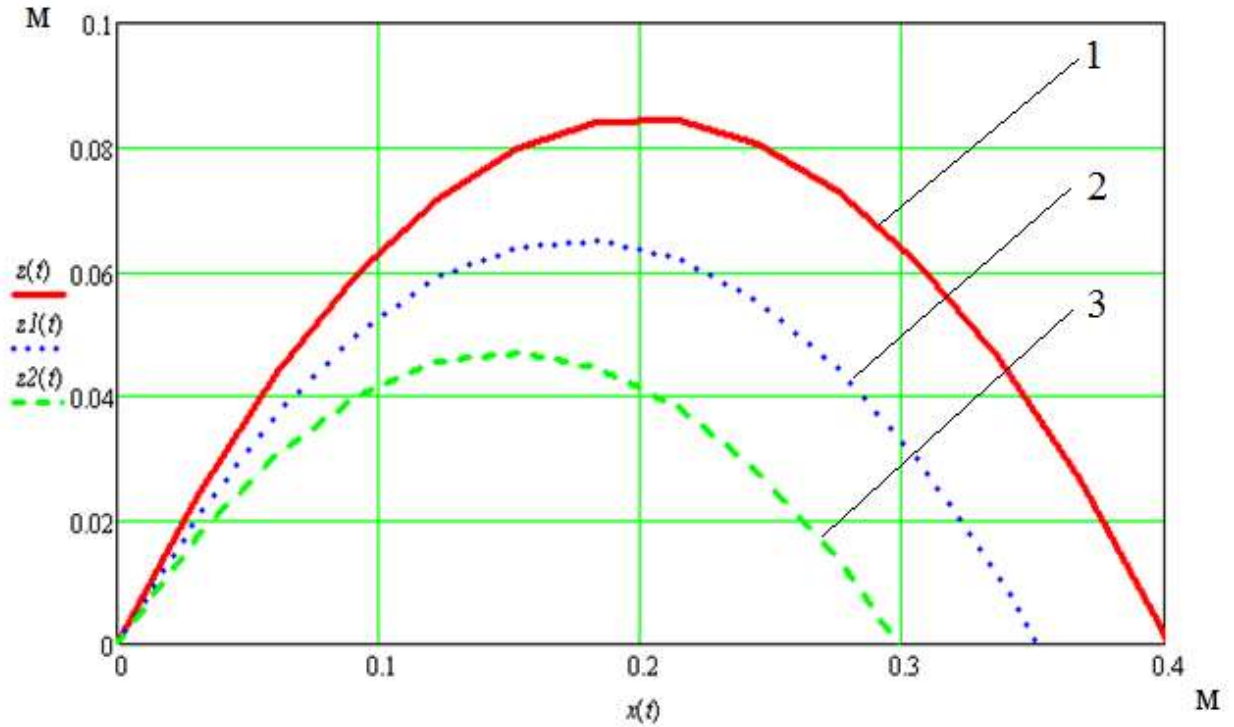
По достижении максимальной высоты, клубень начнет снижаться по параболе. В точке наибольшего подъема клубня, уравнения движения клубня будут иметь вид

$$\begin{cases} x_1 = u_{cx} t, \\ y_1 = u_{cy} t, \\ z_1 = -\frac{gt^2}{2} \end{cases} \quad . \quad (2.35)$$

где u_{cx} - проекция абсолютной скорости клубня по оси OX;

u_{cy} - проекция абсолютной скорости клубня по оси ОУ.

$$u_{cx} = u_c \cos \beta, \dots, \quad (2.36)$$

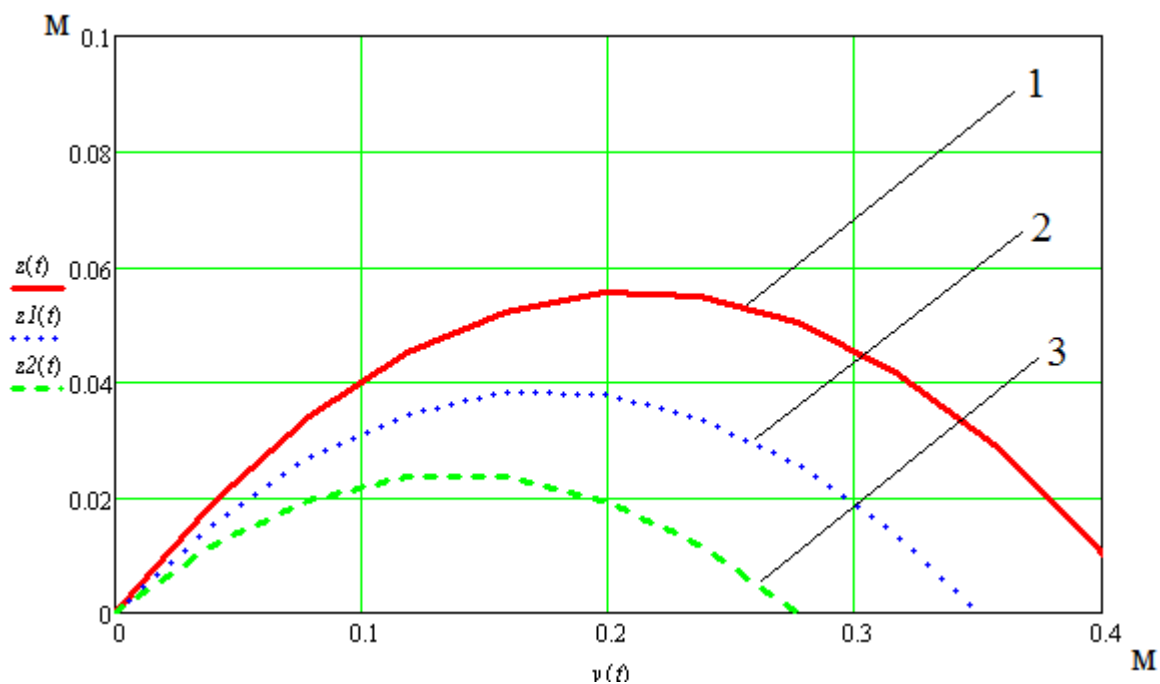


1,2,3 – траектории движения при различных скоростях трубки комбинированного прутка:
2,5; 2,25; 2,0 м/с соответственно

Рисунок 2.11 – Траектория движения клубня вдоль пруткового элеватора

Анализируя траектории движения (полета) компонентов картофельного вороха относительно элеватора можно видеть, что дальность полета компонентов поперек элеватора примерно одинакова дальности вдоль элеватора, и составляет около 0,25-0,35 м. При этом высота траектории несколько меньше при поперечном движении и не превышает 0,06м.

Рассчитаем траекторию движения клубня поперек пруткового элеватора в программе Mathcad и построим график зависимости (рисунок 2.12).



1,2,3 – траектории движения при различных скоростях трубки комбинированного прутка:
2,5; 2,25; 2,0 м/с соответственно

Рисунок 2.12 – Траектория движения клубня поперек пруткового элеватора

Максимальная дальность полета клубня от точки А

$$x_1^{max} = \frac{v_0^2 \sin \gamma \cos \beta}{g} \dots, \quad (2.37)$$

Таким образом, применение секционных комбинированных прутков способствует перераспределению клубненосного вороха по элеватору и улучшает сепарацию почвы.

2.5 Исследование процесса соударения клубней картофеля с комбинированными прутками

После подскока клубень ударяется о комбинированные прутки. Рассмотрим проекции скоростей клубня и трубки комбинированного прутка после удара (рисунок 2.13).

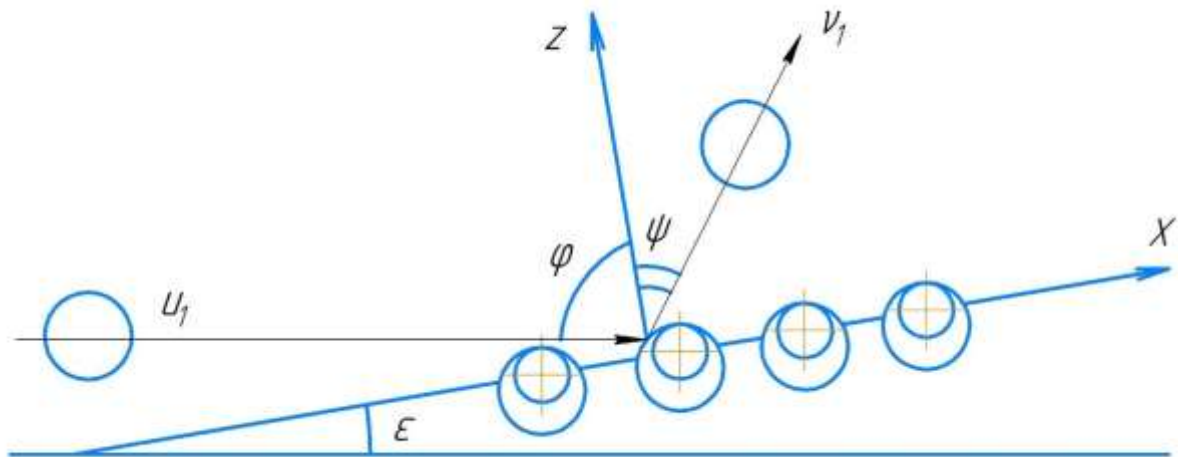


Рисунок 2.13 – Расчетная схема к определению параметров соударения клубня с комбинированным прутком

На основании закона изменения количества движения точки в проекции на плоскость (ось x) при ударе запишем уравнение скорости клубня [62]. Допустим, что поверхность комбинированных прутков гладкая, тогда изменение скорости определяется законом сохранения энергии:

$$m_1(\overline{u_{x1}} - \overline{v_{x1}}) = 0 \quad (2.38)$$

где m_1 – масса клубня, кг;

u_{x1} – проекция на ось Ox скорости клубня до удара, м/с;

v_{x1} – проекция на ось Ox скорости клубня после удара, м/с.

Проекции скоростей до удара и после удара можно записать в виде

$$u_{x1} = u_1 \sin \varphi \quad (2.39)$$

$$v_{x1} = v_1 \sin \psi \quad (2.40)$$

где u_1 – скорость клубня до удара, м/с;

v_1 – скорость клубня после удара, м/с;

φ – угол падения клубня;

ψ – угол отскока клубня после удара.

С учетом формул (2.38), (2.39) и (2.40), получим

$$u_1 \sin \varphi = v_1 \sin \psi \quad (2.41)$$

Модули проекций скоростей клубня до удара и после удара связаны коэффициентом восстановления

$$k = \frac{u_1 \sin \varphi}{v_1 \sin \psi} \quad (2.42)$$

где k – коэффициент восстановления клубня .

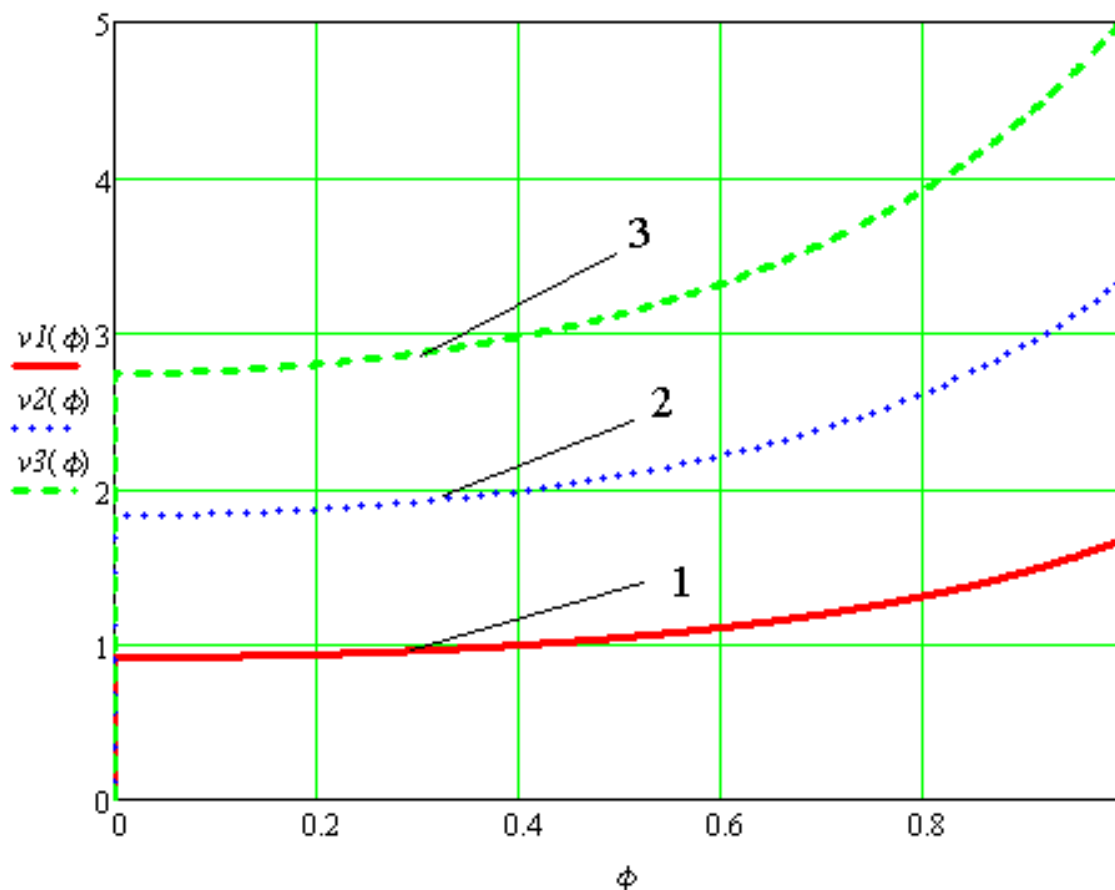
Используя формулы (2.41) и (2.42) мы можем определить зависимость угла падения клубня и угла отскока

$$\operatorname{tg} \psi = (1/k) \operatorname{tg} \varphi \quad (2.43)$$

Скорость клубня после удара можно определить исходя из формул (2.42) и (2.43):

$$v_1 = \frac{u_1 \sin \varphi}{k \sin\left(\frac{\varphi}{\operatorname{arctg}(k)}\right)} \quad (2.44)$$

На основании формулы (2.44) построим в программе Mathcad график изменения скорости отскока клубня (рисунок 2.14)



1- при скорости клубня до соударения 1 м/с, 2 - при скорости клубня до соударения 2 м/с, 3 - при скорости клубня до соударения 3 м/с

Рисунок 2.14 – Зависимость изменения скорости отскока после соударения клубня с комбинированным прутком от угла падения

Анализируя зависимость изменения скорости отскока после соударения клубня с комбинированным прутком от угла падения можно видеть, что скорость отскока клубней в большей степени определяется скоростью клубня до соударения, а также углом падения клубня. Так, при угле падения около 30° и скорости падения 2 м/с скорость отскока составляет 2,2 м/с.

Выводы по главе 2

1. Установлено, что перспективное схемно-конструктивное решение сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины должно содержать

гибкие тяговые элементы с комбинированными прутками, представляющими собой прутки с надетыми на них цилиндрическими трубками, выполненными из полиэтилена высокого давления. Каскады вращающихся роликов должны быть установлены с чередованием по площади полотна сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины. Так как ролики расположены с чередованием по площади полотна сепарирующего элеватора, то возникает смещение картофельного вороха за счет сложного движения цилиндрических трубок, которое вызывает знакопеременные нагрузки, приводящие к разрушению и сепарации клубненого вороха.

2. Установлено, что диаметр ролика оказывает влияние на величину скорости центра трубки, рациональным значением диаметра ролика является значение 0,010 м. С увеличением диаметра трубки комбинированного прутка уменьшается скорость центра трубки, а также уменьшается коэффициент «живого сечения решета». Поэтому следует выбирать меньшее значение диаметра трубки, диаметр трубки 0,0125 м является рациональным.

3. Установлено, что величина скорости центра трубки прямо пропорционально зависит от скорости. Высота подскока компонентов клубненого пласта интенсивно возрастает от скорости элеватора, поэтому следует ограничивать скорость элеватора во избежание повреждений клубней.

4. Установлено, что рациональная высота подскока не более 0,10 м достигается при длине трубки комбинированного прутка 0,25-0,30 м.

5. Установлено, что условие отсутствия проскальзывания трубки при ударе выполняется при величине коэффициента трения скольжения $f \geq 0,08$ для радиуса трубки $r = 0,0125$ м. Таким образом, упругий удар трубки о ролик интенсификатора возможен в широком диапазоне условий.

6. Анализ траектории движения (полета) компонентов картофельного вороха относительно элеватора позволил установить, что дальность полета компонентов вдоль и поперек элеватора составляет около 0,25-0,35 м, при этом высота траектории несколько меньше при поперечном движении и не

превышает 0,06м. Таким образом, применение секционных комбинированных прутков способствует перераспределению клубненосного вороха по элеватору.

7. Установлено, что скорость отскока после соударения клубня с комбинированным прутком в большей степени определяется скоростью клубня до соударения, а также углом падения клубня. Так при угле падения около 25° и скорости падения 2 м/с скорость отскока составляет 2,1 м/с.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ПРУТКОВ ЭЛЕВАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

3.1 Программа, объект, методика экспериментальных исследований комбинированных прутков элеватора картофелеуборочных машин

Теоретическими исследованиями установлено, что в процессе работы сепарирующего элеватора с комбинированными прутками, клубни подбрасываются при взаимодействии комбинированных прутков с роликами. Характеристики движения клубней, наблюдаемого при этом, являются важнейшими параметрами, влияющими на потери и повреждения клубней при работе элеватора и машины в целом [50,62]. Для уточнения характеристик этого движения были проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях.

Программа экспериментальных исследований включала исследование траекторий движения клубней картофеля при подбрасывании и падении на композитные прутки сепарирующего элеватора.

Объектом исследования выступал процесс работы пруткового элеватора, оснащенного комбинированными прутками.

Ниже представлена методика экспериментальных исследований.

На эlevator с комбинированными прутками подавали клубни. При взаимодействии комбинированных прутков с роликами трубки комбинированных прутков проворачиваются, тем самым изменяя направление скорости и получая неупругий ударный импульс, с другой стороны происходит интенсивное воздействие на почвенные комки, которые разрушаются и просеиваются. Для оценки взаимодействия клубней клубненосного вороха с прутками была проведена скоростная съемка процесса взаимодействия с помощью камеры со скоростью 200 кадров в секунду с использованием мультикадровой съемки. Для обработки

полученного материала производился покадровый анализ на фоне масштабной сетки. Для анализа траектории движения компонентов выбирались типичные траектории средних по размеру клубней, полученные результаты исследований обрабатывались методами математической статистики.

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



Рисунок 3.1 – Общий вид картофелекопателя, оборудованного элеватором с комбинированными прутками для изучения траектории движения клубней при воздействии трубки на клубни

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

Таблица 3.1 – Матрица планирования эксперимента по оценке влияния скорости элеватора и диаметра роликов интенсификатора на траекторию движения компонентов вороха (клубней)

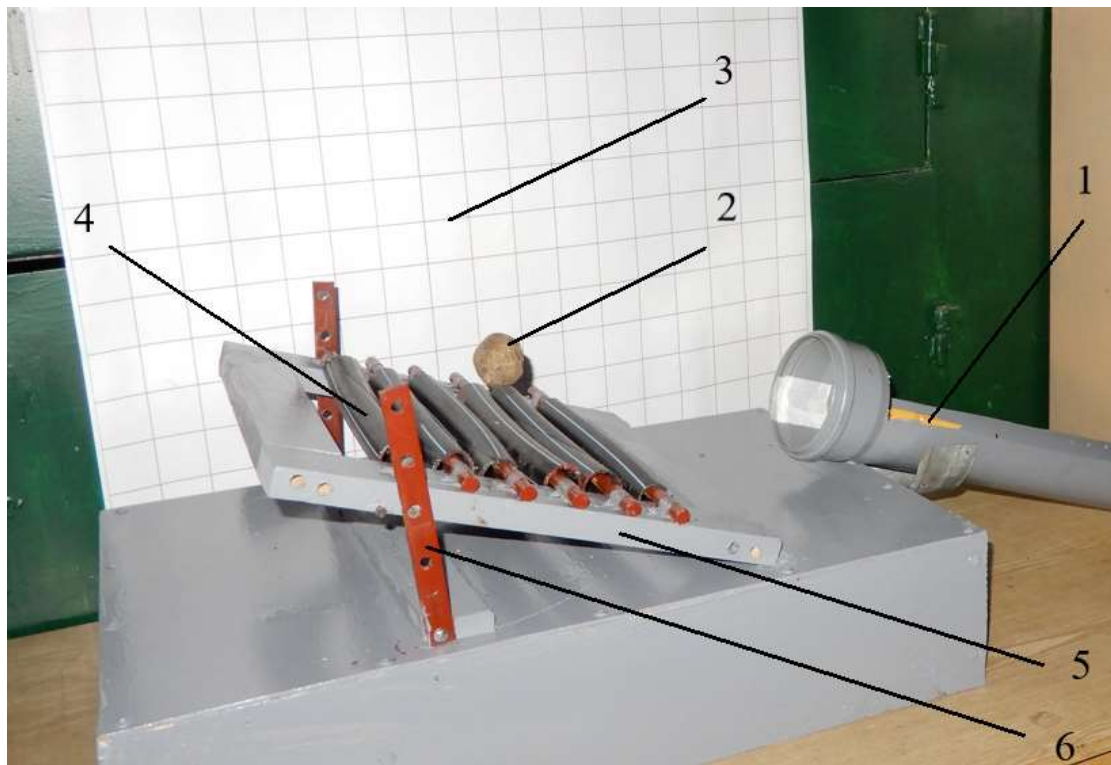
Уровни варьирования факторов	Факторы варьирования				Функция оптимизации	
	Скорость элеватора		Диаметр роликов		Высота траектории клубня	Длина траектории клубня
Виды значений	кодир. знач.	натур. знач., м/с	кодир. знач.	натур. знач., градусы	м	м
Верхний уровень	+1	2,5	+1	0,15	H ₁	L ₁
Нулевой уровень	0	2,0	0	0,125	H ₂	L ₂
Нижний уровень	-1	1,5	-1	0,10	H ₃	L ₃

Для оценки траектории и величины отскока клубней на заднем фоне закреплена масштабная сетка. В ходе исследования изучалось влияние начальной скорости клубня, направления его движения и угла наклона полотна на величину отскока клубня. Параметры эксперимента приведены в матрице планирования (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Матрица планирования эксперимента по оценке влияния начальной скорости клубня, направления его движения и угла наклона полотна элеватора на параметры отскока клубня

Уровни варьирования факторов	Факторы эксперимента						Функция оптимизации
	Начальная скорость клубня		Направление движения клубня		Угол наклона полотна элеватора		Отскок клубня после соударения
Виды значений	кодир. знач.	натур. знач., м/с	кодир. знач.	натур. знач., градусы	кодир. знач.	натур. знач., градусы	м
Верхний уровень	+1	3,0	+1	30	+1	30	S ₁
Нулевой уровень	0	2,0	0	25	0	25	S ₂
Нижний уровень	-1	1,0	-1	20	-1	20	S ₃

Установка включает кинетическую трубу для придания необходимой скорости клубню и направления его под нужным углом. Полотно элеватора с комбинированными прутками закреплено неподвижно с возможностью установки нужного угла наклона (рисунок 2).



1 – кинетическая труба; 2 – клубень; 3 – масштабная сетка; 4 – комбинированные прутки; 5 – полотно элеватора; 6 – фиксатор для регулирования угла наклона полотна

Рисунок 3.2 – Общий вид установки для изучения траектории движения клубней при отскоке от комбинированных прутков

3.2. Результаты экспериментальных исследований комбинированных прутков элеватора картофелеуборочных машин

Исследования траекторий подскока клубней на комбинированных прутках и отскока клубней при падении на комбинированные прутки при различных параметрах движения проводили на базе инженерного факультета ФГБОУ ВО РГАТУ.

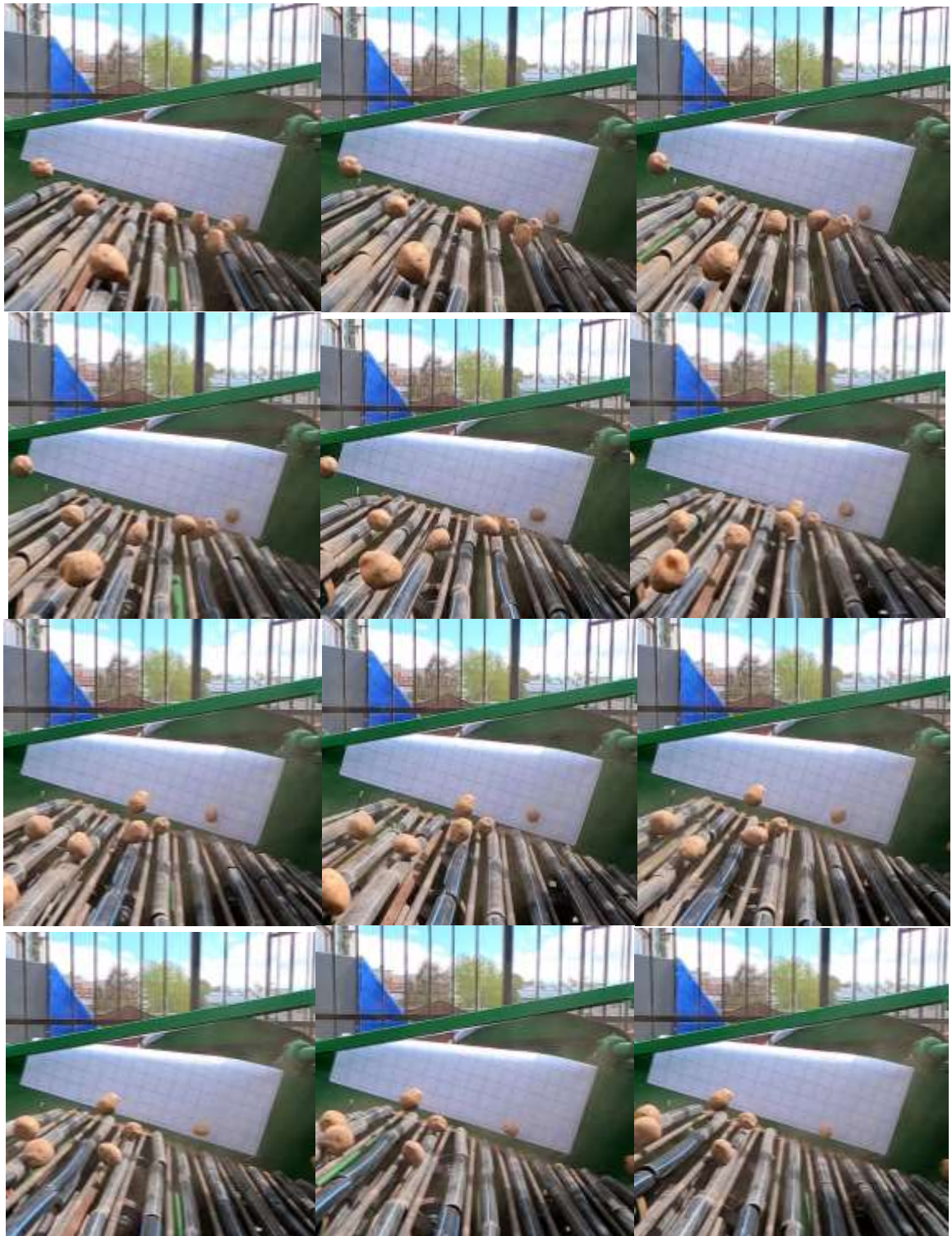


Рисунок 3.3 – Раскадровка траектории движения клубней при подскоке на комбинированных прутках

При анализе кадров определяли высоту и длину подскока клубней при варьировании скорости элеватора с помощью сменных звездочек, и диаметр роликов. В результате обработки опытных данных в программе

STATISTICA-8 были получены уравнения регрессии. Высота подскока клубней представлена следующим уравнением:

$$H = 5,9889 + 1,5 \cdot V + 1,5 \cdot D - 1,3333 \cdot V^2 - 0,275 \cdot V \cdot D - 1,8333 \cdot D^2 \quad (3.1)$$

где V – скорость элеватора;

D – диаметр ролика.

Оценка достоверности полученных результатов проводилась с доверительной вероятностью 95%, коэффициент детерминации составил $R^2=0,96485432$, коэффициент регрессии $R = 0,98226998$. Наиболее значимым фактором уравнения регрессии является скорость элеватора, диаметр ролика не оказывает существенного влияния на величину подскока клубней.

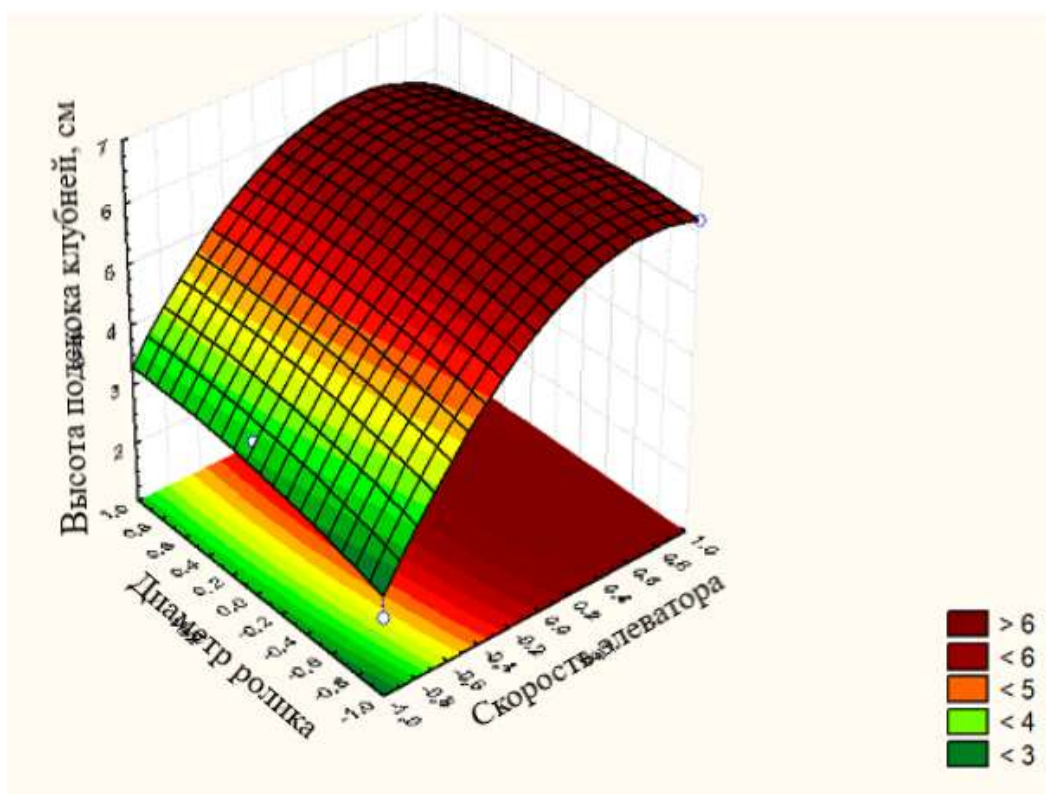


Рисунок 3.4 – Зависимость высоты подскока клубня от скорости полотна элеватора и диаметра ролика

Анализируя рисунок 3.4 можно видеть, что максимальное воздействие комбинированного прутка на клубень происходит при скорости элеватора 2,1-2,2 м/с, влияние диаметра ролика не оказывает существенного значения,

поэтому его величину выбираем исходя из наиболее распространённых размеров для сепарирующих элеваторов 0,1 м.

Длина подскока (дальность полета) клубней представлена следующим уравнением:

$$L = 26,1333 + 6,8333 \cdot V - 0,4833 \cdot D - 5,4 \cdot V^2 - 1,275 \cdot V \cdot D - 0,15 \cdot D^2 \quad (3.1)$$

где V – скорость элеватора;

D – диаметр ролика.

Оценка достоверности полученных результатов проводилась с доверительной вероятностью 95%, коэффициент детерминации составил $R^2=0,98251796$, коэффициент регрессии $R = 0,99122044$. Наиболее значимым фактором уравнения регрессии является скорость элеватора, диаметр ролика не оказывает существенного влияния на величину подскока клубней.

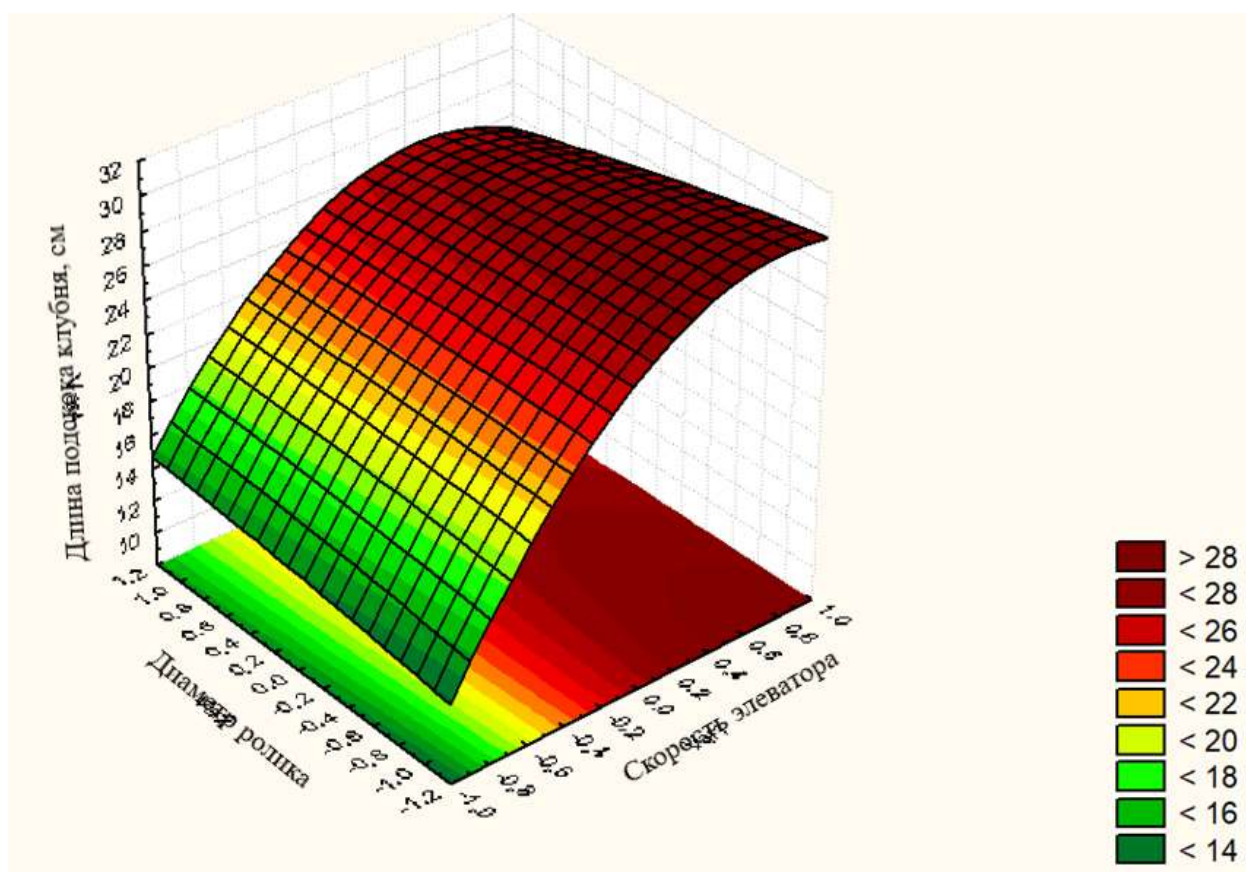


Рисунок 3.5 – Зависимость длины (дальность полета) подскока клубня от скорости полотна элеватора и диаметра ролика

Анализируя рисунок 3.5 можно видеть, что максимальное воздействие комбинированного прутка на клубень (дальность полета) происходит при скорости элеватора 2,1-2,2 м/с, влияние диаметра ролика не оказывает существенного значения, поэтому его величину выбираем исходя из наиболее распространённых размеров для сепарирующих элеваторов 0,1 м.

Для оценки эффективности гашения скорости клубней при падении на комбинированные прутки проведена серия экспериментов. В ходе экспериментов варьировались начальная скорость клубня, направление движения клубня, угол наклона полотна элеватора, отскок клубня фиксировали по высоте и длине. В результате обработки опытных данных в программе STATISTICA -8 были получены уравнения регрессии. Высота отскока клубней представлена следующим уравнением:

$$S_h = 3,2222 - 0,6111 \cdot \gamma + 4,0000 \cdot u_1 - 65,9500 \cdot \varepsilon + 6,5000 \cdot u_1 \cdot \varepsilon - 1,0833 \gamma \cdot u_1 - 0,0833 \cdot \gamma \cdot \varepsilon + 2,5000 \cdot \gamma^2 + 0,3333 \cdot u_1^2 + 67,7833 \varepsilon^2 \quad (3.3)$$

где u_1 – начальная скорость клубня, м/с;

γ – направление движения клубня, град;

ε – угол наклона полотна элеватора, град.

Анализ адекватность уравнения опытным данным показал, коэффициент детерминации $R^2=0,782$, значимость всех факторов варьирования высокая.

Аналогичное уравнение получено для длины отскока клубней:

$$S_l = 15,1852 - 0,5000 \cdot \gamma + 8,6111 \cdot u_1 - 59,0353 \cdot \varepsilon + 8,6667 \cdot u_1 \cdot \varepsilon + 0,3333 \cdot \gamma \cdot u_1 + 4,0833 \gamma \cdot \varepsilon - 0,3889 \cdot \gamma^2 - 6,0556 \cdot u_1^2 + 62,9797 \cdot \varepsilon^2 \quad (3.4)$$

где u_1 – начальная скорость клубня, м/с;

γ – направление движения клубня, град;

ε – угол наклона полотна элеватора, град.

Анализ адекватность уравнения опытным данным показал, коэффициент детерминации $R^2 = 0.771$, значимость всех факторов варьирования высокая.

На основании полученных опытных данных были построены графики зависимостей высоты и длины отскока от различных факторов (рисунки 3.6-3.9). Анализ зависимостей отскока клубней показал, что наибольшую значимость имеет фактор – начальная скорость клубня до соударения с поверхностью элеватора с комбинированными прутками.

На рисунке 3.6 видно, что длина отскока клубней определяется начальной скоростью клубня до соударения, также существенное влияние оказывает угол наклона полотна элеватора с комбинированными прутками. При этом рациональное значение длины отскока около 0,15 м наблюдается при начальной скорости клубня 2,1 м/с и угле наклона полотна элеватора 21° .

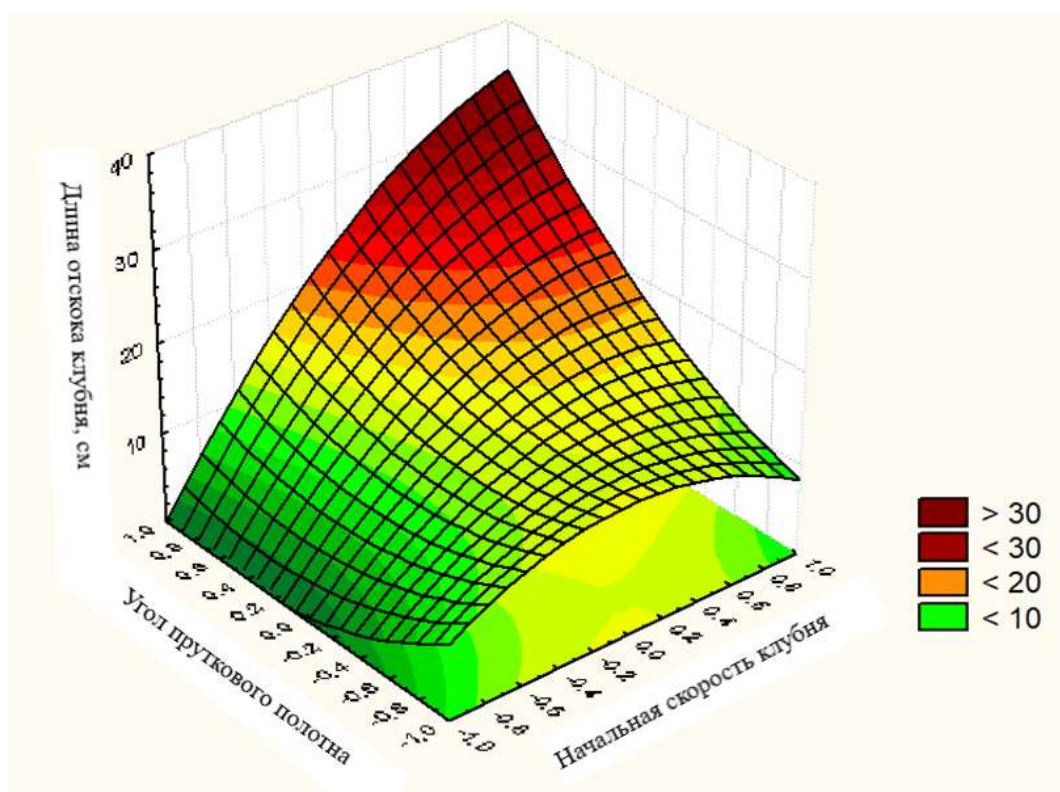


Рисунок 3.6 – Зависимость длины отскока клубня от начальной скорости клубня и угла наклона пруткового полотна элеватора

На рисунке 3.7 видно, что высота отскока клубней определяется начальной скоростью клубня до соударения, также существенное влияние оказывает угол наклона полотна элеватора с комбинированными прутками. При этом рациональное значение высоты отскока около 0,06 м наблюдается при начальной скорости клубня 2,2 м/с и угле наклона полотна элеватора 22° . Таким образом, минимальные значения отскока клубня наблюдаются в диапазоне рациональных значений начальной скорости клубня 2,1-2,2 м/с и угле наклона полотна элеватора 21° - 22° .

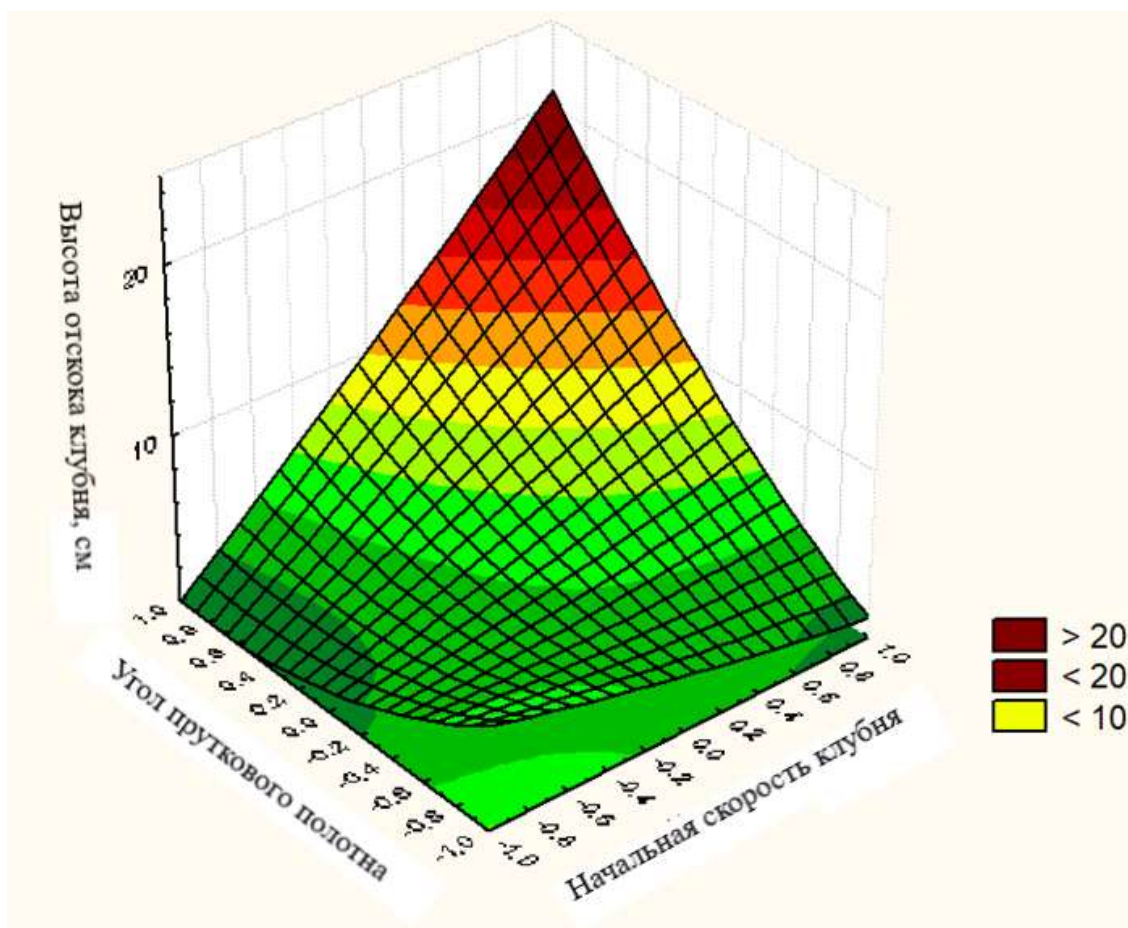


Рисунок 3.7 – Зависимость высоты отскока клубня от начальной скорости клубня и угла наклона пруткового полотна элеватора

На рисунке 3.8 видно, что длина отскока клубней определяется углом наклона пруткового полотна элеватора, и в меньшей степени на длину отскока оказывает влияние угол направления движения клубня. При этом рациональное значение длины отскока около 0,10 м наблюдается при угле наклона полотна элеватора 25° угле направления движения клубня 20° .

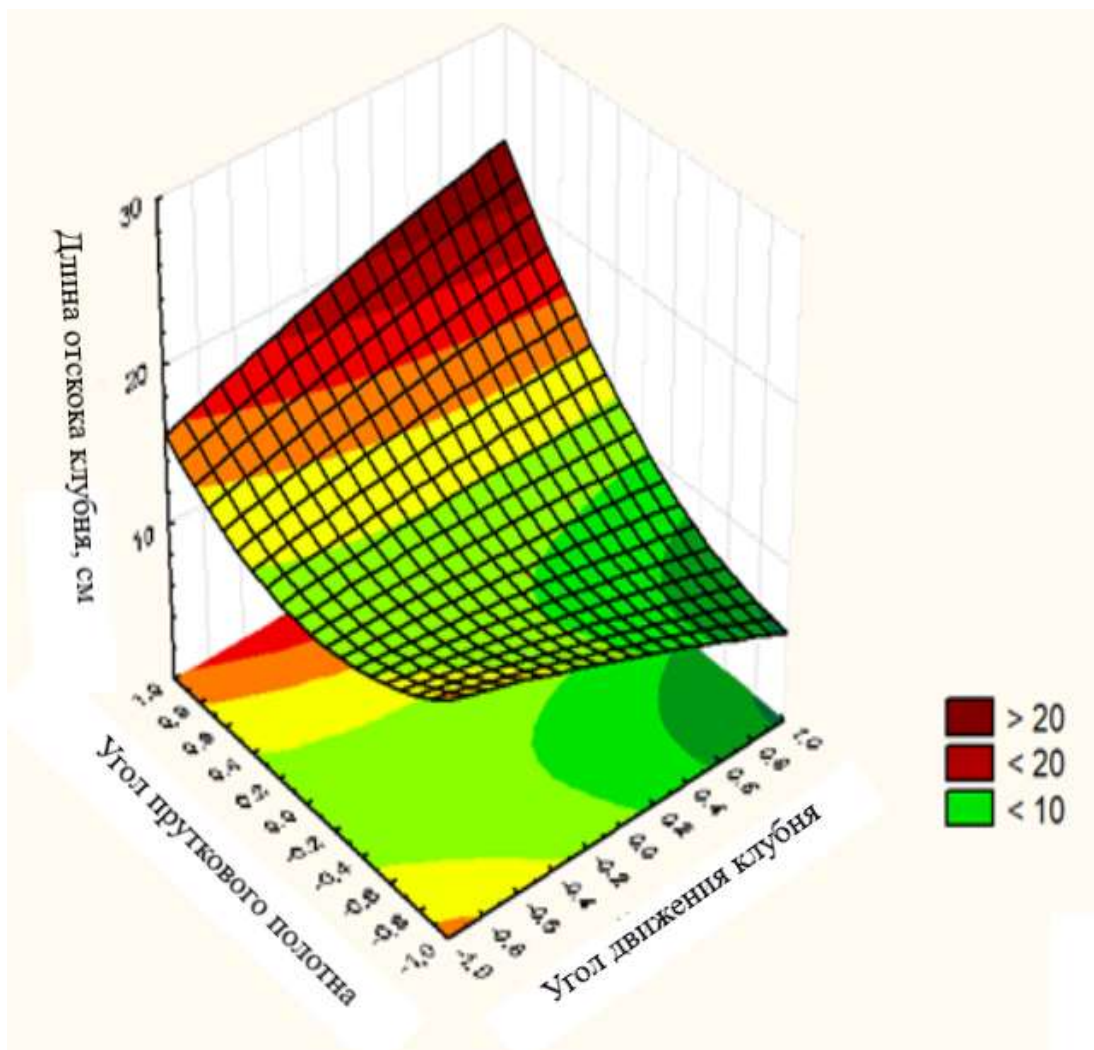


Рисунок 3.8 – Зависимость длины отскока клубня от угла направления движения клубня и угла наклона пруткового полотна элеватора

На рисунке 3.9 видно, что высота отскока клубней определяется углом наклона пруткового полотна элеватора, и в меньшей степени на высоту отскока оказывает влияние угол направления движения клубня. При этом рациональное значение высоты отскока менее 0,06 м наблюдается при угле

наклона полотна элеватора 20° угле направления движения клубня 25° . Таким образом, минимальные значения отскока клубня менее 0,06 м наблюдаются в диапазоне рациональных значений: угле наклона полотна элеватора $20-25^{\circ}$ угле направления движения клубня $20-25^{\circ}$.

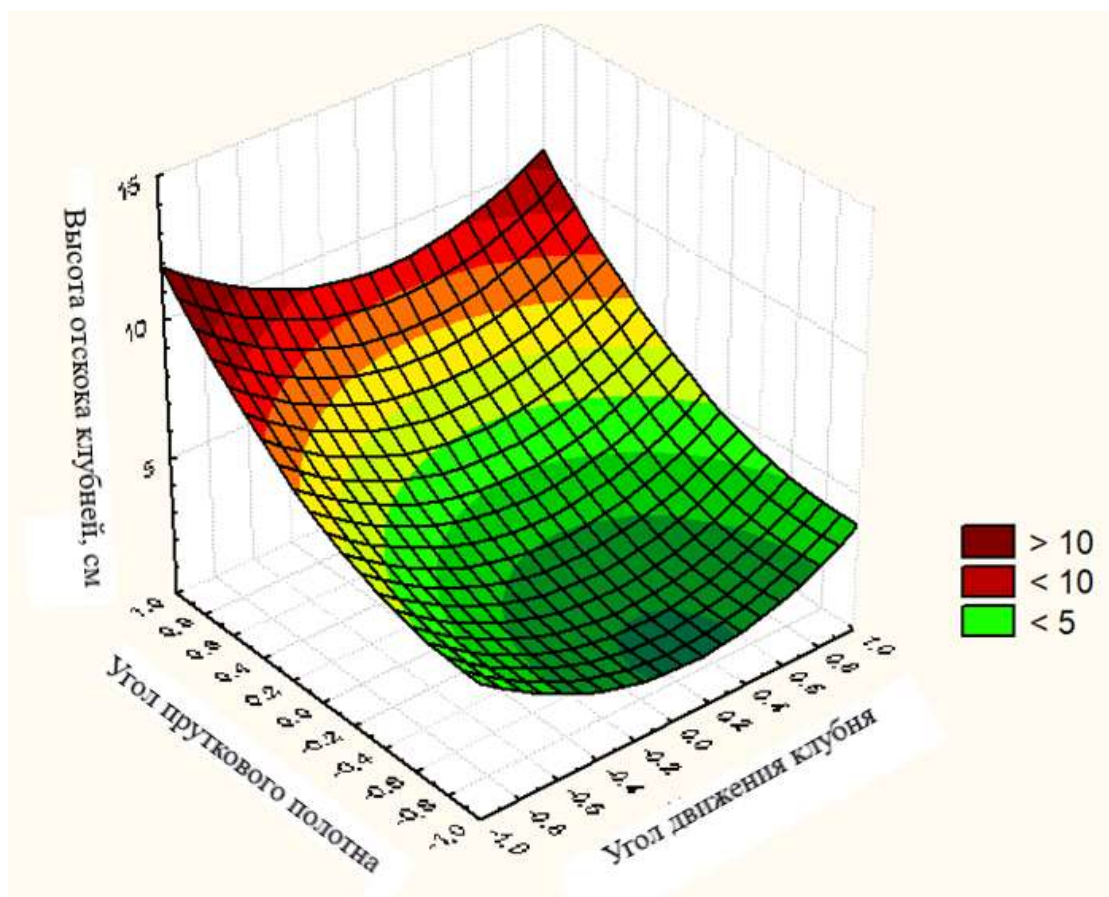


Рисунок 3.9 – Зависимость высоты отскока клубня от угла направления движения клубня и угол наклона пруткового полотна элеватора

В результате экспериментальных исследований установлено, что наибольшую значимость имеет фактор – начальная скорость клубня до соударения с поверхностью элеватора с комбинированными прутками. Минимальные значения высоты отскока менее 0,06 м и длины отскока клубня около 0,10 м наблюдаются в диапазоне рациональных значений: угле наклона полотна элеватора $20-25^{\circ}$ угле направления движения клубня $20-25^{\circ}$.

Выводы по главе 3

1. Экспериментальными исследованиями установлено, что максимальное воздействие комбинированного прутка на клубень происходит при скорости элеватора 2,1-2,2 м/с, влияние диаметра ролика не оказывает существенного значения, поэтому его величину выбираем исходя из наиболее распространённых размеров для сепарирующих элеваторов 0,1 м.
2. Экспериментальными исследованиями установлено, что при соударение клубня с комбинированными прутками наибольшую значимость имеет фактор – начальная скорость клубня до соударения с поверхностью элеватора с комбинированными прутками. Минимальные значения высоты отскока менее 0,06 м и длины отскока клубня около 0,10 м наблюдаются после соударения с комбинированными прутками в диапазоне рациональных значений: начальной скорости соударения не более 2,1м/с, угле наклона полотна элеватора 20-25⁰ и угле направления движения клубня 20-25⁰.

4. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН, ОСНАЩЕННЫХ ЭЛЕВАТОРОМ С КОМБИНИРОВАННЫМИ ПРУТКАМИ

4.1 Программа исследования

Определение программы исследований проводилось исходя из поставленных в диссертационной работе задач.

При проведении полевых исследований выбрана следующая программа:

1 – определение функциональных и эксплуатационно-технологических показателей серийных и усовершенствованных картофелеуборочных машин (на примере картофелекопателя КТН-2В);

2 – исследование работы усовершенствованного пруткового элеватора.

4.2 Объект исследования и применяемое оборудование

В качестве объекта исследований был выбран технологический процесс уборки картофеля картофелекопателем КТН-2В, оснащенный первым прутковым элеватором с комбинированными прутками. За базу сравнения взят процесс уборки картофеля с применением серийного картофелекопателя КТН-2В.

Картофелеуборочная машина для проведения исследований - серийный и модернизированный картофелекопатель КТН-2В в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области. Время проведения исследований – период массовой уборки, сентябрь 2020 и 2021 годов.

При проведении экспериментальных исследований в условиях хозяйства одновременно с агротехнической оценкой, определением качественных показателей работы, технологических показателей экспериментального рабочего органа изучался также непосредственно процесс сепарации почвенно-картофельного вороха.

В соответствии с методикой при агротехнической оценке работы экспериментального рабочего органа подробно изучались условия проведения исследований [51]. При проведении исследований использовалось стандартное оборудование, применяемое при агротехнической и эксплуатационно-технологической оценке, а также оценке показателей надежности машин для уборки картофеля в соответствии с действующими ГОСТ, и СТО ведущих организаций в сфере испытаний машин для сельского хозяйства (АИСТ).

4.3 Методика исследования

Исследования проводились по общеизвестной методике [38]. «Характеристика культуры картофеля оценивалась на опытном участке, предназначенном для проведения агротехнической оценки. Исследование проводили на пяти площадках длиной 14,3 м каждая. Ширина каждой площадки принята равной двум рядкам, или 1,5 м.»

«Визуально определяли биологическую зрелость клубней и ботвы, численно оценивали урожайность клубней и растительных примесей, характеристики клубненосного гнезда» [38].

Урожайность клубней (биологическая) оценивалась в соответствии со следующей методикой [38]. «На всех площадках, с обеих грядок, выкапывали кусты картофеля, отделяли растительные остатки от корнеклубнеплодов. Взвешивание отдельно осуществлялось на весах с точностью ± 10 г.» Биологическая урожайность клубней [125]:

$$Y_6 = \frac{q_6 n}{10^3}, \quad (4.1)$$

где Y_6 – биологическая урожайность клубней, т/га;

n – количество кустов на гектаре, тыс.шт.;

q_6 – средняя масса клубней с одного куста, кг.

«Глубина залегания клубненосного гнезда оценивалась положением верхнего и нижнего клубня. Измерение проводили стандартной линейкой определили линейный размер от верхней кромки рейки, размещенной на рядке, до верхней точки верхнего и нижней точки нижнего клубня. Характеристики гнезда, и ширина, и глубина, оценивались одновременно» [38,125].

«Ширина клубненосного гнезда определялась линейным измерением расстояния от противоположных крайних внешних точек клубней, при этом производилось подкапывание каждого 2-го куста в одном из двух рядков, отведенных под площадку.

Корнеклубнеплоды, полученные на экспериментальных площадках, перемешивали. Далее отбирали среднюю пробу (двести клубней) и по каждому из двухсот образцов проводили измерение размерных (длину, ширину, толщину) и весовых (массу) характеристик. Точность оценки массы не превышала ± 1 г, точность оценки размерных характеристик не более ± 1 мм. Далее распределение клубней осуществлялось следующим образом:

- Первая группа - 20 - 50 грамм;
- Вторая группа – 50...80 грамм;
- Третья группа - свыше 80 грамм.

В процессе исследования процесса уборки с применением картофелеуборочной машины исследуемый участок разделяли на делянки» [38,125]. Стандартная методика предусматривает 4 делянки, каждая длиной десять метров, ширина – два рядка (для двухрядного картофелекопателя). «Отбор проб от машин проводили с учетных делянок на установившемся режиме в специальные пробоотборники.

Начало и конец опыта определяли сигналом, подаваемым в начале и конце учетной делянки. Продолжительность опыта фиксировалась с помощью секундомера одновременно с подачей сигнала» [38]. Скорость движения агрегата определялась по формуле [125]:

$$V_p = \frac{S}{t}, \quad (4.2)$$

где V_p – рабочая скорость агрегата, м/с;

S - пройденный путь, м;

t – продолжительность прохождения, с.

Сменную эксплуатационную производительность картофелекопателя определяли из выражения [98]:

$$W_{см} = 0.1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T_{см} \cdot \tau, \quad (4.3)$$

где $W_{см}$ – производительность картофелекопателя за смену, га/см;

B_p – рабочая ширина захвата, м;

$T_{см}$ – время смены, ч;

τ - коэффициент использования времени смены.

Учитывали полноту уборки клубней. На делянках после прохождения картофелекопателя собирали клубни, оставленные в почве [125].

«При определении потерь (засыпанных и неподкопанных) делянки перекапывались на глубину хода подкапывающих органов испытываемой машины плюс 2 см. Потери по видам собирали в тару, взвешивали, вычисляли массовую долю каждого вида потерь от общей массы клубней на учетной делянке» [125].

«Для определения повреждения от каждой повторности чистых клубней отбирали клубни массой более 50 г для анализа на повреждение. Масса средней пробы не менее 15 кг. При анализе клубни делились на две фракции: целые и поврежденные» [125].

«На поврежденных клубнях в день отбора проб учитывали следующие виды повреждений [38]:

- содрана кожура от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ поверхности клубня;

- содрана кожура более $\frac{1}{2}$ поверхности клубня;
- вырывы мякоти глубиной более 5 мм;
- трещины длиной более 20 мм;
- разрезы и надрезы;
- раздавленные клубни» [125].

«Если на клубне имелось несколько однотипных повреждений, то учитывалось каждое из них. Целые и поврежденные клубни взвешивали и считали, после чего обе партии закладывались на хранение» [125].

«После хранения определяли потемнение мякоти. Для этого клубни разрезались перпендикулярно продольной оси на дольки толщиной 3 мм:

- при резке клубней из партии поврежденных учитывалось только число очагов с потемнением мякоти на глубину более 5 мм;

- при резке клубней из партии неповрежденных, кроме учета очагов с потемнением мякоти пробу делили на две группы: целые и клубни с потемнением мякоти; обе партии взвешивали, считали число клубней из той и другой группы. Взвешивание производилось на весах с погрешностью ± 10 г. Для установления абсолютно неповрежденных клубней массу и число клубней с потемнением, обнаруженным при резке партии неповрежденных клубней, вычитали из этой партии и прибавляли к поврежденным клубням, полученным в день отбора проб» [125].

Для получения среднего показателя степени повреждения клубней выполняли пересчет числа случаев различных видов повреждений, обнаруженных на клубнях данной пробы, на условное число в 100 клубней по формуле [125]:

$$n_n = \frac{n_c}{n_k} \cdot 100, \quad (4.4)$$

где n_n – число повреждений на 100 клубней, шт;

n_c - число случаев того или иного вида повреждений по анализу пробы, шт;

n_k – число клубней в пробе, шт.

4.4 Результаты исследования

Полевые испытания проводились в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области в сентябре в период уборки картофеля в сентября 2021 года. На прутки первого элеватора картофелекопателя КТН-2В были установлены полиэтиленовые трубки внутренним диаметром 25 мм с толщиной стенки 2 мм, а под верхнюю ветвь полотна элеватора смонтированы ролики. Полевым исследованиям предшествовала агротехническая оценка участков для проведения испытаний (Приложение Б). Картофелекопатель с экспериментальным рабочим органом оценивали по эксплуатационным и агротехническим показателям с серийно выпускаемой моделью картофелекопателя КТН-2В.

Общий вид экспериментального картофелекопателя КТН-2В и вид элеватора с комбинированными прутками представлены на рис. 4.1 и 4.2.



Рисунок 4.1 – Общий вид экспериментального картофелекопателя КТН-2В



Рисунок 4.2– Вид сепарирующего элеватора с комбинированными прутками на картофелекопателе КТН-2В

Переоборудование картофелекопателя элеватором с комбинированными прутками: монтаж и демонтаж полиэтиленовых трубок может проводиться в полевых условиях. Трубки имеют продольный разрез для удобства монтажа, который не оказывает значительного влияния на прочность и жесткость трубок. Полиэтиленовые трубки длиной 0,29 м способствуют распределению клубненосного пласта как вдоль, так и поперек элеватора при взаимодействии с роликами, расположенными под полотном элеватора. Ролики расположены на расстоянии 0,30 м вдоль полотна элеватора и по краям трубок в шахматном порядке. Распределение роликов под полотном элеватора позволяет воздействовать на клубненосный пласт: сначала подбрасывая его от центра грядки, а затем наоборот, способствуя переориентации компонентов и сепарации почвы. Свободно установленные на прутках полиэтиленовые трубки могут вращаться, увеличивая скорость сепарации в просветах между прутками, или качаться при ударах по ним клубней, погашая скорость и снижая кинетическую энергию удара.

Увеличенная площадь контакта полиэтиленовых трубок с клубней и низкий коэффициент трения снижают вероятность повреждения клубней. Полевые исследования показали, что картофелекопатель КТН-2В, оборудованный элеватором с комбинированными прутками, обеспечивает работоспособность на тяжелых суглинистых почвах различной влажности. Трубки комбинированных прутков, взаимодействуя с роликами, исключают скатывание клубней. Клубни и компоненты клубненосного пласта меньше сталкиваются друг с другом, что уменьшает повреждения клубней.

Полевые исследования проводились на тяжелой суглинистой почве нормальной влажности около 21 % (темносерая лесная). Сравнение работы серийного картофелекопателя и картофелекопателя, оборудованного элеватором с комбинированными прутками показали высокую эффективность сепарации почвы (Приложение Б). Потери клубней, присыпанных почвой после прохода картофелекопателя, оборудованного элеватором с комбинированными прутками, уменьшились до 3,0% в сравнении с серийным картофелекопателем, у которого аналогичные потери составили 8,3%. Повреждения клубней на картофелекопателе, оборудованном элеватором с комбинированными прутками составили 1,9% , в то время как на серийном картофелекопателе КТН-2В – 2,7% , , что в 1,42 раза больше. Результаты полевых исследований показали эффективность функционирования элеватора с комбинированными прутками в конструкции картофелеуборочных машин, и его достаточно высокую технологическую надежность.

Выводы по главе 4

1. Картофелекопатель, оборудованный элеватором с комбинированными прутками, показал высокую эффективность сепарации почвы в сравнение с серийным картофелекопателем. Снижение потерь клубней, присыпанных почвой после прохода картофелекопателя,

оборудованного элеватором с комбинированными прутками, уменьшились до 3,0% в сравнении с серийным картофелекопателем, у которого аналогичные потери составили 8,3%.

2. Повреждения клубней на картофелекопателе, оборудованном элеватором с комбинированными прутками, составили 1,9%, что в 1,42 раза меньше в сравнении с серийным картофелекопателем КТН-2В.

3. Результаты полевых исследований показали эффективность функционирования элеватора с комбинированными прутками в конструкции картофелеуборочных машин, и его достаточно высокую технологическую надежность.

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА С КОМБИНИРОВАННЫМИ ПРУТКАМИ В КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИНАХ

«Экономические показатели по картофелеуборочной технике на отдельных видах механизированных работ определяют в расчете на единицу наработки 40 га» [29, с.3].

«Затраты труда на единицу вида работы $Z_{тр_i}$, чел.-ч/га, вычисляют по формуле» [29]

$$Z_{тр_i} = \frac{\lambda_{мех_i}}{W_{см_i}}, \quad (5.1)$$

где $\lambda_{мех_i}$ - «количество основного и вспомогательного персонала (механизаторы и вспомогательные рабочие), обслуживающего МТА в течение смены на уборке картофеля, чел. (1 механизатор и 10 вспомогательные рабочие);»

$W_{см_i}$ - «производительность картофелекопателя за 1 ч сменного времени на уборке картофеля, га/ч.»

«Прямые эксплуатационные затраты денежных средств, приходящиеся на выполнение единицы наработки уборки картофеля $Z_{экс_i}$, рублей/га, вычисляют по формуле» [29, с.3]

$$Z_{экс_i} = Z_{о.т_i} + Z_{тсм_i} + Z_{р_i} + A_i + И_{в.м.i}, \quad (5.2)$$

где $Z_{о.т_i}$ - «затраты денежных средств на оплату труда обслуживающего персонала, руб /га;»

$Z_{тсм_i}$ - «затраты денежных средств на оплату горюче-смазочных материалов (далее - ГСМ), руб/га;»

Z_{p_i} - «затраты денежных средств на ремонт и техническое обслуживание, руб /га;»

A_i - «амортизационные отчисления, руб /га;»

$I_{в.м_i}$ - «издержки денежных средств на вспомогательные технологические материалы, руб /га.»

«Затраты денежных средств на оплату труда обслуживающего персонала $Z_{о.т_i}$ вычисляются по формуле» [29, с.3]

$$Z_{о.т_i} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{\text{мех}}} \lambda_k \tau_k K_3}{W_{см_i}}, \quad (5.3)$$

где λ_k - «количество обслуживающего персонала k -й квалификации, чел.;»

τ_k - «часовая оплата труда обслуживающего персонала k -й квалификации, руб/чел.-ч (использовать единую усредненную норму часовой заработной платы, которая сложилась в аграрной отрасли конкретного государства в период, предшествующий периоду испытаний машины);»

K_3 - «коэффициент, учитывающий уровень социальных отчислений от зарплаты, регламентируемых законодательством конкретного государства;»

$n_{\text{мех}}$ - «число обслуживающего персонала, чел.»

«Затраты денежных средств на оплату ГСМ вычисляются по формуле» [29, с.3]

$$Z_{гсм_i} = g_{т_i} \Pi_{т} K_{см.м}, \quad (5.4)$$

где $g_{т_i}$ - «удельный расход моторного топлива, кг /га;»

C_T - «цена моторного топлива, руб/кг;»

$K_{см.м}$ - «коэффициент учета цены смазочных материалов.»

«Затраты денежных средств на ремонт и техническое обслуживание техники Z_{pi} вычисляются по формуле» [29, с.4]

$$Z_{pi} = \frac{\sum_{j=1}^{n_M} B_{mj} K_{pj}}{W_{экi}} 10^{-4}, \quad (5.5)$$

где n_M - «число техники, входящей в МТА, шт.»

B_{mj} - «цена картофелекопателя (без НДС), руб;»

K_{pj} - «значение отчислений на ремонт и техническое обслуживание от цены уборочной техники на 100 ч ее работы, принятый в конкретном государстве, %;»

$W_{экi}$ - «производительность картофелекопателя за 1 ч эксплуатационного времени, га.»

«Производительность -й техники картофелекопателя за 1 ч эксплуатационного времени $W_{экi}$ вычисляются по формуле» [29, с.4]

$$W_{экi} = W_{oi} \left(\frac{1}{K_{смj}} + \frac{1}{K_{Гj}} - 1 \right)^{-1}, \quad (5.6)$$

где W_{oi} - «производительность картофелекопателя за 1 ч основного времени за период контрольных смен, га.»

$K_{смj}$ - «коэффициент использования сменного времени картофелекопателя за период контрольных смен;»

$K_{Гj}$ - «коэффициент готовности картофелекопателя по оперативному времени.»

«Амортизационные отчисления A_i вычисляются по формуле» [29, с.4]

$$A_i = \frac{1}{W_{экi}} \sum_{j=1}^{n_M} \frac{B_{Mj}}{R_{Mj}}, \quad (5.7)$$

где R_{Mj} - «значение амортизационного ресурса картофелекопателя, ч.

«Издержки денежных средств на вспомогательные технологические материалы $I_{В.Мi}$ вычисляются по формуле» [29, с.4]

$$I_{В.Мi} = \sum_{f=1}^{n_{В.М}} g_f \Pi_{В.Мf}, \quad (5.8)$$

где g_f - «удельный расход f -го вспомогательного технологического материала, кг /га;»

$\Pi_{В.Мf}$ - «цена единицы f -го вспомогательного технологического материала, руб/кг;»

$n_{В.М}$ - «число наименований вспомогательных материалов, шт.»

«Совокупные затраты денежных средств на выполнение единицы наработки уборки картофеля (себестоимость выполнения единицы уборки картофеля) $Z_{совi}$, руб/га, вычисляются по формуле» [29, с.4]

$$Z_{совi} = Z_{эксi} + I_{Пi} + I_{повi} + I_{семi} + I_{ок.сi}, \quad (5.9)$$

где $I_{Пi}$ - «издержки денежных средств от потерь сельскохозяйственной продукции, руб /га;»

$I_{пов_i}$ - «издержки денежных средств от повреждения сельскохозяйственной продукции, руб /га;»

$I_{сем_i}$ - «издержки денежных средств от нерационального использования посевного материала, руб /га;»

$I_{ок.с_i}$ - «издержки денежных средств на охрану окружающей среды, руб /га.»

«Издержки денежных средств от потерь сельскохозяйственной продукции $I_{п_i}$, вычисляют по формуле» [29, с.4]

$$I_{п_i} = 0,01 Y_{сх} X_{сх_i} Ц_{сх}, \quad (5.10)$$

где $Y_{сх}$ - «урожайность сельскохозяйственной продукции, т/га;»

$X_{сх_i}$ - «потери сельскохозяйственной продукции от применения картофелекопателя, %;»

$Ц_{сх}$ - «рыночная цена полноценной сельскохозяйственной продукции, руб/т.»

«Издержки денежных средств от повреждения сельскохозяйственной продукции $I_{пов_i}$ вычисляют по формуле» [29, с.4]

$$I_{пов_i} = 0,01 Y_{сх} X_{д_i} (Ц_{сх} - Ц_{д}), \quad (5.11)$$

где $X_{д_i}$ - «повреждение сельскохозяйственной продукции, %;»

$Ц_{д}$ - «рыночная цена поврежденной сельскохозяйственной продукции, руб/т.»

«Совокупные затраты денежных средств за годовой условный объем уборки картофеля (себестоимость годового условного объема уборки картофеля) $Z_{сов.р_i}^Г$, руб, вычисляют по формуле» [29, с.5]

$$Z_{сов.р_i}^Г = Z_{сов_i} F_y^Г, \quad (5.12)$$

где F_y^r - «годовой условный объем картофелекопателя на уборке картофеля, га.»

Таблица 5.1 – «Показатели экономической оценки на уборке картофеля» [29, с.8]

Наименование показателя	Значение показателя по	
	аналогу	новой технике
Вид механизированной работы	Уборка картофеля	Уборка картофеля
Марка техники (состав МТА)	МТЗ-82.1 +КТН-2В	МТЗ-82.1 +КТН-2В
Производительность МТА за 1 ч сменного времени, га/ч	0,47	0,49
Удельный расход моторного топлива, кг /га	11,90	12,14
Совокупные затраты денежных средств (себестоимость выполнения работы) всего, руб/га, в том числе:		
- затраты на оплату труда	529361,70	507755,10
- затраты на ГСМ (электроэнергию, газ)	650,93	664,06
- затраты на ремонт, техническое обслуживание	466,29	476,42
- амортизационные отчисления	554,83	566,89
- затраты на вспомогательные материалы	-	-
- издержки от потерь основной продукции	33867	-
- издержки от повреждения продукции	2556	-
Затраты труда, чел.-ч/га	23,40	22,45

«Годовую экономию совокупных затрат денежных средств в расчете на годовой условный объем уборки картофеля $\mathcal{E}_{г.р_i}$, руб, вычисляют по формуле» [29, с.6]

$$\mathcal{E}_{г.р_i} = Z_{сов.р_i}^{г.а} - Z_{сов.р_i}^{г.н}, \quad (5.13)$$

где $Z_{\text{сов.р}_i}^{\text{г.а}}$, $Z_{\text{сов.р}_i}^{\text{г.н}}$ - «совокупные затраты денежных средств в расчете на годовой условный объем работы по аналогу и новой технике соответственно, руб.»

«Снижение себестоимости выполнения -й работы m_{c_i} , %, вычисляют по формуле» [29, с.6]

$$m_{c_i} = \frac{Z_{\text{сов.р}_i}^{\text{г.н}} - Z_{\text{сов.р}_i}^{\text{г.а}}}{Z_{\text{сов.р}_i}^{\text{г.а}}} 10^2 \quad (5.14)$$

Таблица 5.2 – «Показатели ресурсосбережения» [29, с.8]

Наименование показателя	Значение показателя по	
	аналогу	новой технике
Совокупные затраты денежных средств на годовой фактический объем работы новой техники, руб	567456,75	509462,47
Годовой условный объем вида работы, га	40	40
Совокупные затраты денежных средств на годовой условный объем вида работы, руб	22698270	20378498,8

Таблица 5.3 – «Показатели сравнительной экономической эффективности на условный объем вида работы» [29, с.9]

Наименование показателя	Значение показателя по новой технике
Годовая экономия совокупных затрат денежных средств, руб	2319771,2
Снижение себестоимости выполнения работы, %	10,22

Выводы по главе 5

Экономическая оценка применения картофелекопателя КТН-2В оборудованного элеватором с комбинированными прутками показала, что основной эффект получен от повышения производительности работ при подборе картофеля за счет лучшего отделения клубней картофеля от почвы. Годовая экономия совокупных затрат денежных средств составила 2319771,2 рублей. Также снизились от издержки от потерь основной продукции и издержки от повреждения продукции соответственно 1354680 рублей и 102240 рублей в расчете на один картофелекопатель с нормативной загрузкой 40 га в год. Снижение себестоимости выполнения уборочных работ с помощью картофелекопателя КТН-2В оборудованного элеватором с комбинированными прутками составила 10,22 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что диаметр ролика оказывает влияние на величину скорости центра трубки, рациональным значением диаметра ролика является значение 0,010 м. С увеличением диаметра трубки комбинированного прутка уменьшается скорость центра трубки, а также уменьшается коэффициент «живого сечения решета». Поэтому следует выбирать меньшее значение диаметра трубки, диаметр трубки 0,0125 м является рациональным. Установлено, что рациональная длина трубки комбинированного прутка составляет 0,25-0,30 м.

2. Анализ траектории движения (полета) компонентов картофельного вороха относительно элеватора позволил установить, что дальность полета компонентов вдоль и поперек элеватора составляет около 0,25-0,35 м, при этом высота траектории несколько меньше при поперечном движении и не превышает 0,06 м.

3. Установлено, что скорость отскока после соударения клубня с комбинированным прутком в большей степени определяется скоростью клубня до соударения, а также углом падения клубня.

4. Экспериментальными исследованиями установлено, что максимальное воздействие комбинированного прутка на клубень происходит при скорости элеватора 2,1-2,2 м/с, влияние диаметра ролика не оказывает существенного значения, его величину принимаем 0,10 м, при соударении клубня с комбинированными прутками наибольшую значимость имеет фактор «начальная скорость клубня до соударения с поверхностью элеватора с комбинированными прутками». Минимальные значения высоты отскока наблюдаются после соударения с комбинированными прутками в диапазоне рациональных значений: начальной скорости соударения не более 2,1 м/с, угле наклона полотна элеватора 20-25° и угле направления движения клубня 20-25°.

5. Картофелекопатель, оборудованный элеватором с комбинированными прутками, показал высокую эффективность сепарации почвы в сравнение с серийным картофелекопателем. Снижение потерь клубней, присыпанных почвой после прохода картофелекопателя, оборудованного элеватором с комбинированными прутками, уменьшились до 3,0% в сравнении с серийным картофелекопателем, у которого аналогичные потери составили 8,3%. Повреждения клубней на картофелекопателе, оборудованном элеватором с комбинированными прутками, составили 1,9%, что в 1,42 раза меньше в сравнение с серийным картофелекопателем КТН-2В.

6. Снижение себестоимости выполнения уборочных работ с помощью картофелекопателя КТН-2В, оборудованного элеватором с комбинированными прутками, составило 10,22 %. Годовая экономия совокупных затрат денежных средств составила 2319771,2 рублей в расчете на один картофелекопатель с нормативной загрузкой 40 га в год.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Целесообразно продолжить научные исследования в направлении совершенствования рабочих органов картофелеуборочных машин на основе применения комбинированных прутков элеваторов для различных почвенно-климатических условий.

Рекомендации производству

Для повышения эффективности функционирования картофелеуборочных машин рационально использовать комбинированные прутки в конструкции элеватора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аббасов, Г.И. Исследование технологического процесса уборки и послеуборочной обработки картофеля [Текст] / Г.И. Аббасов // В сборнике: Аграрная наука. –Гянджа, 2019. – №6 – С. 33-35.
2. Анализ интенсифицирующих устройств, повышающих эффективность сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин / Д.В. Евтехов, С.Т. Кодиров, А.В. Зеленев [и др.] // Материалы 71-й Международной научно-практической конференции «Современные вызовы для АПК и инновационные пути их решения». Рязань: Издательство ФГБОУ ВО РГАТУ, 2020. – с.105-108.
3. Байбобоев, А.Н. Расчёт технологического процесса сепарации почвы с рыхлительным барабаном [Текст] / А.Н. Байбобоев, С.Т. Кодиров, Ш.Б. Акбаров, У.Г. Гоипов, А.А. Хамзаев // В сборнике: Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства, Материалы Международной научно-практической конференции. Рязань, ФГБОУ ВО РГАТУ, 2019. – С. 60-64.
4. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов [Текст] / Н.М. Беляев // Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1976 . – стр. 608.
5. Бортник, А.В. Мероприятия по повышению эксплуатационных показателей автотракторной техники при внутривозрастных перевозках в АПК [Текст] / А.В. Бортник, И.А. Успенский, И.А. Юхин, В.А. Волченкова // В сборнике: Техника и оборудование для села.– Рязань, Академия ФСИН России, 2019. –№ 9(267). – С. 33-36.
6. Борычев, С.Н. Технологии уборки картофеля: общие вопросы [Текст] / С.Н. Борычев, И.В. Лучкова // В сборнике: Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса,

Материалы 70-й Международной научно-практической конференции. – Рязань, РГАТУ, 2019. – С. 71-75.

7. Бышов, Н.В. Научно-методические основы расчета сепарирующих рабочих органов и повышение эффективности картофелеуборочных машин [Текст] / Н.В. Бышов // Дис. ... докт. техн. наук. – Рязань, 2000. – 414с.

8. Бышов, Н.В. Об интенсификаторах сепарации картофелеуборочных машин [Текст] / Н.В. Бышов, Г.К. Рембалович, Н.Н. Якутин, Д.В. Калмыков, Н.В. Симонова // Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань, РГАТУ, 2019. - С. 106-110.

9. Бышов, Н.В. Перспективы картофелеводства в Рязанском АПК [Текст] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.К. Рембалович, А.А. Желтоухов // Статья в журнале: Сельский механизатор. – Москва, 2018. – №2 – С. 17-18.

10. Бышов, Н.В. Перспективы применения системно-информационного подхода к формированию качества плодоовощной продукции при уборке, транспортировке и хранении [Текст] / 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>

11. Бышов, Н.В. Перспективы эксплуатации машин для уборки картофеля, оснащенных системами "бережной" сепарации [Текст] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.К. Рембалович, Д.А. Лапин // В сборнике: Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве, Материалы 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. – Рязань, РГАТУ, 2017. – С. 80-87.

12. Бышов, Н.В. Повышение эффективности функционирования картофелеуборочной техники путем модернизации сепарирующих рабочих органов [Текст] / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, Г.К.Рембалович, А.А. Голиков / Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию ВНИИКХ. 2015.- С. 3-5.

13. Бышов, Н.В. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных машин [Текст] / Н.В. Бышов, А.А. Сорокин, И.А. Успенский, С.Н. Борычев, К.Н. Дрожжин // учебное пособие. – Рязань, РГАТУ, 2005. – 284 с.

14. 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.

15. Бышов, Н.В. Теоретические и практические основы применения современных сепарирующих устройств со встряхивателями в картофелеуборочных машинах [Текст] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.К. Рембалович // 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>.

16. Бышов, Н.В. Уборка картофеля в Рязанской области [Текст] / Н.В. Бышов, Н.Н. Якутин, В.Д. Липин, А.А. Голахов, Н.В. Симонова // Материалы национальной научно-практической конференции, Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань, РГАТУ, 2019. - С. 220-224.

17. Васильева, О.П. Комбайн с отделителем клубней в восходящем потоке вороха [Текст] / О.П. Васильева, Л.Л. Максимов// Материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.К. Юлдашева. 2018. С 282-286.

18. Васильева, О.П. Экономическая эффективность использования малогабаритного картофелеуборочного комбайна [Текст] / О.П. Васильева,

Л.Л. Максимов, Я.Л. Максимова, А.К. Струнов// В сборнике: Научное обеспечение инженерно-технической системы АПК: проблемы и перспективы.2020. С. 9-15.

19. Влияние конструктивно-технологической схемы на показатели работы картофелеуборочной машины [Текст] / Н.С. Жбанов, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань, РГАТУ, - 2019. –№ 1 (41). – С. 15-21.

20. Гаджиев, П. И. Анализ современных технологий возделывания картофеля / П. И. Гаджиев, Г. Г. Рамазанова, С. В. Костин // Перспективы инновационного развития и прогресс в агротехнических и энергетических системах : МАТЕРИАЛЫ МЕЖВУЗОВСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Балашиха, 09 декабря 2021 года. – Балашиха: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный заочный университет, 2021. – С. 10-14. – EDN VMJJKC.

21. Гаджиев, П. И. Обоснование выбора технологии уборки картофеля / П. И. Гаджиев, П. А. Перегудов // Перспективы инновационного развития и прогресс в агротехнических и энергетических системах : МАТЕРИАЛЫ МЕЖВУЗОВСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Балашиха, 09 декабря 2021 года. – Балашиха: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный заочный университет, 2021. – С. 14-18. – EDN LVGKUL.

22. Гаджиев, П. И. Усовершенствование сепарирующих рабочих органов комбайна ККУ-2А как средство снижения затрат на производство картофеля / П. И. Гаджиев, П. А. Перегудов // Решение проблем инновационного развития сельскохозяйственной техники : Материалы международной заочной научно-практической конференции, Балашиха, 14–

15 апреля 2021 года. – Балашиха: Российский государственный аграрный заочный университет, 2021. – С. 22-25. – EDN TSJPTM.

23. Гаджиев, П.И. Влияние факторов на крошение почвы [Текст] / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанов, А.И. Алексеев, Т.Ш. Гаджиев // В сборнике: Ресурсосберегающее энергетическое оборудование и машины для производства сельскохозяйственной продукции. 2018. С. 21-25.

24. Гаджиев, П.И. Машины для производства картофеля в тяжелых почвах [Текст] / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанов, А.И. Алексеев // В сборнике: В сборнике: Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. 2018. С. 230-234.

25. Гаджиев, П.И. Повышение эффективности обработки почвы для комбайновой уборки картофеля [Текст] / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанов, К.А. Манаенков // Статья в журнале: Наука в Центральной России. 2020. – №4 (46). – С. 33-40.

26. Гаджиев, П.И. Улучшение качества обработки почвы для комбайновой уборки картофеля [Текст] / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанов, А.И. Алексеев // Статья в журнале: Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2020. – №5 – С. 46-55.

27. Горячкина, И. Н. Совершенствование технологии уборки картофеля с обоснованием параметров и режимов работы сепарирующего элеватора с интенсификатором активного типа : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01 / Горячкина Ирина Николаевна; [Место защиты: Рязан. гос. с.-х. акад. им. П.А. Костычева]. - Рязань, 2010. - 212 с. : ил.

28. ГОСТ Р 52778-2007 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки – М.: Стандартинформ, 2009 – 20 с.

29. ГОСТ 34393-2018. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки [Текст] Введ. 2019-09-01. - М.: Стандартинформ, 2018.-19 с.

30. Гузалов, А.С. Повышение эффективности уборки картофеля с использованием инновационной техники во Владимирской области [Текст] / А.С. Гузалов, Т.В. [Ивлева](#) // В сборнике: [Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК](#), Материалы XI Международной научно-практической интернет конференции. – Москва, РГАУ-МСХА, 2019. – С. 421–425.

31. Гусева, Н.В. Разработка методики исследования ударного взаимодействия модели клубня картофеля с рабочими органами уборочных машин [Текст] / Н.В. Гусева, М.М. Киселев, В.Н. Костылев, П.Л. Максимов, Ю.А. Боровиков, Н.Д. Давыдов // материалы Международной научно-практической конференции: в 3 томах. ФГБОУ ВО Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. 2018. С. 124-126.

32. Дородов, П.В. О прочности элементов конструкций сельхозмашин из полимерных композитных материалов [Текст] / П.В. Дородов, П.Л. Максимов, Н.Д. Давыдов, Р.А. Жуйков// Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии.2017. – №3 (52). – С. 41-48.

33. Дородов, П.В. Обоснование модернизации пруткового элеватора копателя-сборщика картофеля КСК-1 путем использования композитных материалов [Текст] / П.В. Дородов, П.Л. Максимов, Н.Д. Давыдов// Техника и оборудование для села.2017. – №6.– С. 27-31.

34. Дорофеева, К.А. Особенности конструкции и применения карданных валов в зарубежной сельскохозяйственной технике и их эксплуатационная надежность [Текст] / К.А. Дорофеева, Я.А. Волошин, И.А. Успенский, И.А. Юхин, В.К. Киреев // В сборнике: Тенденции инженерно-технологического развития агропромышленного комплекса, Материалы Национальной научно-практической конференции.– Рязань, РГАТУ, 2019. - С. 177-182.

35. Дорохов, А.С. Лабораторные исследования ударных воздействий роликовой сортировальной машины на клубни картофеля [Текст] / А.С.

Дорохов, А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов, Н.В. Сазонов // В сборнике: Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22. № 1. С. 119-127.

36. Евтехов, Д.В. Анализ схемно-конструктивных решений интенсификаторов сепарации в [Текст] / Д.В. Евтехов // В сборнике: Тенденции инженерно-технологического развития агропромышленного комплекса Материалы Национальной научно-практической конференции . Министерство сельского хозяйства. – Рязань, РГАТУ, 2019. – С. 56-63.

37. Жбанов Н.С. Анализ конструкций прутков сепарирующих элеваторов картофелеуборочных машин [Текст] / Н.С. Жбанов, М.Ю. Костенко, Р.В. Безносюк // Национальная научно-практическая конференция Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань, РГАТУ, 2019. – Ч.3. – С. 205-211

38. Жевора, С.В. Методика проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле [Текст] / С.В. Жевора, Л.С. Федотова, В.И. Старовойтов и др. // учебное пособие. – Москва, ФГБНУ ВНИИКХ, 2019. – 120.

39. Жевора, С.В. Приоритетные направления инновационного развития картофелеводства [Текст] / С.В. Жевора, Б.В. Анисимов, Е.А. Симаков, Е.В. Овэс, В.И. Старовойтов// Селекция и семеноводство картофеля. – Чебоксары, 2020. С. 20–25.

40. Зернов, В. Н. Технологические приемы и технологии, применяемые в селекции и семеноводстве картофеля, их классификация / В. Н. Зернов, А. Г. Пономарев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 4(29). – С. 294-310. – EDN YQVOZN.

41. Зинченко, С.И. Уборка и послеуборочная доработка клубней картофеля [Текст] / С.И. Зинченко, А.А. Григорьев, Л.И. Ильин, И.М. Щукин, И.Д. Федулова, А.А. Безменко, И.В. Князева // В сборнике: Высокопродуктивные экологически безопасные технологии возделывания картофеля на почвах Верневожья. – Иваново, – 2019. – С. 75-78.

42. Ибрагимов, Р.Р. Проблемы механизации уборки картофеля на малогабаритных участках [Текст] / Р.Р. Ибрагимов , И.Х. Масалимов , Р.Г. Ахмаров // В сборнике: Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК, Материалы международной научно-практической конференции в рамках XXIX Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2019». – Уфа, БГАУ. - 2019. – С. 75-78.

43. Иванов, А.Г. Применение методов механики к исследованию рабочих процессов калибрующих устройств для картофеля [Текст] / А.Г. Иванов, П.Л. Максимов, Л.Л. Максимов и др.// Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. Ижевск.: Наука, 2021. С. 260.

44. 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.

45. 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.

46. Измайлов, А.Ю. Современные технологии и техника для сельского хозяйства - тенденции выставки AGRITECHNIKA 2019 [Текст] / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв // Тракторы и сельхозмашины. 2020.– №6. – С. 28-40.

47. Исаев, Д.В. Повышение эффективности транспортного обслуживания комбайновой уборки картофеля [Текст] / Д.В. Исаев, И.С. Кручинкина // В сборнике: Студенческая наука - первый шаг в академическую науку, Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции.– Чебоксары, 2019. - С. 35-38.

48. Исследование динамических процессов в основных рабочих органах и ходовой части самоходного картофелеуборочного комбайна / Н. Г.

Байбобоев, П. И. Гаджиев, В. И. Славкин [и др.] // Перспективы инновационного развития и прогресс в агротехнических и энергетических системах : МАТЕРИАЛЫ МЕЖВУЗОВСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Балашиха, 09 декабря 2021 года. – Балашиха: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный заочный университет, 2021. – С. 5-10. – EDN TMZKQZ.

49. Исследование загрузки рабочих органов картофелеуборочной машины [Текст] / Н.С.Жбанов, М.Ю. Костенко, Г.К. Рембалович [и др.] // Научно-практическая конференция Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань, РГАТУ, 2017. -Ч.1. – С. 10-15.

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

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

52. Исследование условий функционирования машин для уборки картофеля / П. И. Гаджиев, В. И. Славкин, М. М. Махмутов, Ю. Р. Хисматуллина // Глобальные вызовы для продовольственной безопасности: риски и возможности : Научные труды международной научно-практической конференции, Казань, 01–03 июля 2021 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. – С. 105-110. – EDN EBBELY.

53. 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.
54. 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 АПК материалы международной научно-практической конференции в рамках XXVIII Международной специализированной выставки "Агрокомплекс-2018". Башкирский государственный аграрный университет. 2018. С. 85-88.
55. Камалетдинов, Р.Р. Рекомендации по совершенствованию рабочих органов машин для уборки картофеля 2-е издание [Текст] / Р.Р. Камалетдинов // Уфа 2014- 44 с.
56. Камалетдинов, Р.Р. Фрикционный сепаратор корнеклубнеплодов [Текст] / Р.Р.Камалетдинов, И.Р.Сабирзянов// Сельский механизатор. 2014.№ 8. С. 4.
57. 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.
58. Колчин, Н. Н. Взаимодействие с. – х. техники с окружающей средой / Н. Н. Колчин, А. Г. Пономарев // Картофель и овощи. – 2018. – № 11. – С. 22-24. – DOI 10.25630/PAV.2018.83.11.005. – EDN VNOVXF.
59. Колчин, Н. Н. Как снизить повреждение клубней в машинных технологиях / Н. Н. Колчин, А. Г. Пономарев, С. Н. Петухов // Картофель и овощи. – 2019. – № 3. – С. 14-16. – DOI 10.25630/PAV.2019.48.28.002. – EDN VWFZSW.

60. Колчин, Н. Н. Новая техника для картофелеводства / Н. Н. Колчин, А. Г. Пономарев, В. Н. Зернов // Картофель и овощи. – 2019. – № 6. – С. 26-29. – DOI 10.25630/PAV.2019.77.31.006. – EDN WRHNAE.

61. Кондауров, Д.А Перспективные направления и технические средства для улучшения качества сепарации почвы при машинной уборке картофеля [Текст] / Д.А Кондауров, А.В Михеев, И.А Успенский , Г.К Рембалович, Г.Д Кокорев , Д.А Лапин // Материалы Международной студенческой научно-практической конференции, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. – Рязань, РГАТУ, 2019. - С. 270-274.

62. Кодиров, С.Т. Теоретическое обоснование технического средства машинной уборки картофеля / Кодиров С.Т., Рембалович Г.К., Успенский И.А. [и др.] // Полиматический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2022. - №05 (179). IDA [article ID] : 1792205019. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/05/pdf/19.pdf>

63. Костенко, М.Ю. Влияние элементов сепарирующего элеватора картофеле-уборочных машин на его надежность [Текст] / Г.К. Рембалович, Н.С. Жбанов, Н.Н. Новиков, В.С. Тетерин, Д.С. Мельничук // В сборнике: Ежемесячный Научно производственный и информационно-аналитический журнал. – Федеральный научный агроинженерныйу центр ВИМ, - 2020.–№ 7 (277). – С. 34-37.

64. Костенко, М.Ю. Исследование сепарирующей способности прутковых элеваторов [Текст] / М.Ю. Костенко, Н.А. Костенко // Сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава ФГОУ ВПО РГАТУ имени П.А. Костычева, Рязань, 2008 – С. 146-148.

65. 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 / Михаил Юрьевич Костенко. - Рязань, 2011. - 462 с.

66. Крыгин, С.Е. Пути совершенствования механизированной уборки картофеля на тяжелых суглинистых почвах Рязанской области [Текст] / С.Е. Крыгин, Е.Е. Крыгина // В сборнике: Инновационные технологии отечественной селекции и семеноводства, Всероссийского форума по селекции и семеноводству. (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2018. – С. 124 – 126.

67. Кузьмин, А.В. Анализ математической модели процесса отделения растительных примесей роторным сепаратором картофелекопателя [Текст] / А.В. Кузьмин, С.С. Остроумов, С.Н. Шуханов // Вестник Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. – Улан-Удэ, ВСГУТУ, 2018. –№ 3 (70). – С. 25-30.

68. Кузьмин, А.В. Обоснование взаимного расположения рабочих органов картофелеуборочной машины [Текст] / А.В. Кузьмин, С.С. Остроумов // В сборнике: Проблемы механики современных машин, материалы VII Международной научной конференции. Иркутск, 2018. – С.48– 51.

69. Кущев, И.Е. Разработка разветвляющейся технологии уборки картофеля с обоснованием параметров и режимов работы сепарирующих устройств [Текст] автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н. – Рязань, 1999.- 36 с.

70. Лапин, Д. А. Обоснование параметров дискового ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01 / Лапин Дмитрий Александрович; [Место защиты: Рязан. гос. агротехнолог. ун-т им. П.А. Костычева]. - Рязань, 2018. - 133 с. : ил.

71. Лапин, Д.А. Сепарирующее устройство корнеклубнеуборочных машин для работы в тяжелых условиях [Текст] /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.

72. 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.

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

74. 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.

75. Лачуга, Ю.Ф. Приоритетные направления научно-технического развития отечественного тракторостроения [Текст] / Ю.Ф. Лачуга, А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский // Техника и оборудование для села. 2021.– №2 (284). – С. 2-7.

76. Липатова, М.А. Способы уборки и хранения картофеля в России [Текст] / М.А. Липатова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань, РГАТУ, 2019. – № 1 (8). – С. 85-91.

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

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

79. Манохина, А.А. Машины для уборки картофеля [Текст] / А.А. Манохина, О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов// в сборнике: III Международной научно-практической конференции. Под редакцией О.Н. Дидманидзе, Н.Е. Зимина, Д.В. Виноградова. 2018. С180-187.

80. Мерзляков, М.В. Применение технологий возделывания картофеля в условиях удмуртской республики [Текст] / М.В. Мерзляков // В сборнике труды студентов Ижевской ГСХА. – Ижевск, 2019. – С. 1165-1168.

81. 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.

82. Нестерович, Э. О. Разработка и обоснование параметров рабочих органов картофелеуборочной машины : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01 / Нестерович Эдуард Олегович; [Место защиты: Рязан. гос. агротехнолог. ун-т им. П.А. Костычева]. - Рязань, 2018. - 128 с. : ил.

83. Нестерович, Э.О. Исследование воздействия на клубненосный ворох элеватора картофелеуборочной машины [Текст] / Э.О. Нестерович, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, Г.К. Рембалович // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань, РГАТУ, . - 2018. –№ 1 (37). – С. 89-95.

84. Новиков, Н.Н. К вопросу надежности картофелеуборочных машин [Текст] / Н.Н. Новиков, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, Д.Н. Бышов, Д.А. Лапин, Н.А. Костенко // Статья в журнале: Техника и оборудование для села. – Москва, 2018. – №9 – С. 25-28.

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

86. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gks.ru>. (дата обращения: 11.05.2022).

87. Павлов, В. А. Повышение эффективности функционирования картофелеуборочных машин за счет совершенствования системы выносной сепарации : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01 / Павлов Виталий Александрович; [Место защиты: Морд. гос. ун-т им. Н.П. Огарева]. - Рязань, 2014. - 169 с. : ил.

88. Пат. 135224 U1 Российская Федерация, МПК A01D13/00 Картофелекопатель/Первушин В.Ф., Левшин А.Г., Зверев Н.П., Салимзянов М.З., Фатыхов И.Ш., Корепанов Ю.Г., Касимов Н.Г., Арсланов Ф.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская гос. с.-х. академия.//№ 2013113202/13; заявл. 25.03.13; опубл. 10.12.13, Бюл. № 34. -3 с.

89. Пат. 158737 U1 Российская Федерация, МПК A01D 13/00 Картофелекопатель / Первушин В.Ф., Левшин А.Г., Салимзянов М.З., Фатыхов И.Ш., Касимов Н.Г., Шамаев Е.В., Лебедев И.Ю. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская гос. с.-х. академия.//№ 2015119094/13, заявл. 2015.05.20, опубл. 2016.01.20.

90. Пат. 198736 U1 Российская Федерация, Устройство для сепарации вороха корнеплодов и луковиц/ Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А., Сазонов Н.В., заявитель и патентообладатель Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ//№ 2020111329; заявл. 19.03.2020.

91. 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.] – Опубл. 20.07.2016, бюл. № 20.

92. Пат. 2725548 C1 Российская Федерация, Способ формирования покрытия из сверхвысокомолекулярного полиэтилена на почвообрабатывающих рабочих органах / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, В.И. Старовойтов и др., заявитель и патентообладатель Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ //№ 2019134654; заявл. 29.10.2019.

93. Пат. №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

94. Пат. №91666, RU, М.кл.8 A01D33/08. Наклонный сепарирующий рабочий орган уборочной машины / О.В. Гордеев, В.И. Гордеев – Оpubл. 27.02.2010, Бюл. №6

95. Пат.195822 U1 Российская Федерация, Машина для подготовки почвы к комбайновой уборке картофеля/ Гаджиев П.И., Махмутов М.М., Шикалов М.С., Алексеев А.И., Рамазанова Г.Г., заявитель и патентообладатель Российский государственный аграрный заочный университет//№ 2019110197; заявл. 05.04.19

96. Патент № 2645765 С1 Российская Федерация, МПК А01D 33/08, В07В 1/14. Роликовый сепаратор для отделения луковиц и корнеклубнеплодов от почвенных комков : № 2017107073 : заявл. 03.03.2017 : опубл. 28.02.2018 / А. В. Сибирев, А. Г. Аксенов, А. Г. Пономарев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). – EDN FLJGOG.

97. Первушин, В.Ф. Применение стеклорохоиковых прутков на элеваторах картофелеуборочных машин [Текст] / В.Ф. Первушин, М.З. Салимзянов, Н.Г. Касимов, Е.В. Шамаев, И.Ю. Лебедев / Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – Ижевск. – 2015. –№ 3 (44). – С. 43-47.

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

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

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

101. Применение композитных материалов в сельскохозяйственном машиностроении [Текст] / Н.С. Жбанов, М.Ю. Костенко, Р.В. Безносюк [и др.] // *Национальная научно-практическая конференция Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. – Рязань, РГАТУ, 2018. – Ч.1. – С. 221-226.

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

103. 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.

104. 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.

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

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

107. 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.

108. Рембалович, Г.К. Перспективы повышения эффективности технического сервиса картофелеуборочных комбайнов [Текст] / Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, Р.В. Безносюк // В сборнике: Материально-техническое обеспечение учреждений уголовно-исполнительной системы: современное состояние и перспективы развития, Материалы Всероссийского научно-практического круглого стола. – Рязань, 2018. – С. 107-112.

109. Рембалович, Г.К. Расчет тяговой характеристики картофелеуборочных комбайнов [Текст] / Г.К. Рембалович, Ш.Б. Акбаров, А.Н. Байбобоев, К.Х. Абдуллаев, У. Гойипов // В сборнике: Ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии и оборудование в АПК, Материалы международной заочной научно-практической конференции. 2019. - С. 9-13.

110. Рембалович, Г.К. Совершенствование первичной сепарации в картофелеуборочных машинах [Текст] / Г.К. Рембалович, Н.А. Рязанов, И.А. Успенский - Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011, №10. - С. 5- 6.

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

112. Рембалович, Г.К. Технологические особенности производства и ремонта деталей автотракторной техники с применением полимерных материалов [Текст] / Г.К. Рембалович, А.В. Кузнецов, А.В. Семенов, В.А. Адрова // В сборнике: Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве, Материалы 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России.– Рязань, РГАТУ, 2017. - С. 265-269.

113. Ромашов, Е.А. Совершенствование машин для уборки картофеля / Е.А. Ромашов [Текст] // В сборнике 27-й студенческой научной конференции. – Благовещанск, – 2019. – С. 162-165.

114. Рузимуродов, А. А. Усовершенствованный поперечный ворошитель сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01 / Рузимуродов Абдугафор Абдусаторович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»]. - Рязань, 2020. - 117 с. : ил.

115. Рябчиков, Д.С. Исследование выгрузки картофеля с транспортных средств при уборке [Текст] / Д.С. Рябчиков, С.Н. Борычев, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, Р.В. Безносюк, Г.А. Борисов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань, РГАТУ. – 2019. –№ 3 (43). – С. 136-141.

116. Рязанов, Н. А. Усовершенствованный технологический процесс и интенсификатор основного элеватора картофелеуборочных машин : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01 / Рязанов Николай Анатольевич; [Место защиты: Рязан. гос. агротехнолог. ун-т им. П.А. Костычева]. - Рязань, 2012. - 164 с. : ил.

117. Рязанов, Н.А. Теоретическое обоснование параметров интенсификатора сепарации активного типа картофелеуборочных машин / Н.А. Рязанов, Г.К. Рембалович, И.А. Успенский [и др.] // В сб. «Научный поиск – науке и образованию XXI века. Материалы IV межрегиональной научно-практической конференции СТИ 20 апреля 2012 г.». – Рязань: Изд-во НОУ ВПО СТИ, 2012. – С. 343 – 345.

118. 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.

119. Старовойтова, О. А. Разработка и совершенствование элементов технологии возделывания картофеля применительно к условиям изменяющегося климата Нечерноземной зоны России : диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук : 05.20.01 / Старовойтова Оксана Анатольевна; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»]. - Москва, 2020. - 317 с. : ил.

120. Старовойтова, О.А. Механизация уборки и хранения клубнеплодов [Текст] / О.А. Старовойтова, А.А. Манохина, В.И. Старовойтов// учебное пособие. – Москва, ФГБНУ ВНИИГМ 2018. – 102.

121. Старовойтова, О.Н. Использование картофелекопателя с калибратором в органическом земледелии [Текст] / О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов, А.А. Манохина// В сборнике: Логистика в АПК: Тенденции и перспективы развития. – Новосибирск, 2020. С 129–132.

122. Старовойтова, О.Н. Картофелекопатель для уборки раннего картофеля [Текст] /О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов, А.А. Манохина// Международная научная конференция профессорско-преподавательского состава, посвященная 155-летию РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. – Москва, 2021. С. 285–288.

123. Старовойтова, О.Н. Машина для уборки раннего картофеля с разделением клубней на фракции [Текст] /О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов, А.А. Манохина// В сборнике: Проблемы и перспективы инновационного развития АПК. – Москва, РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. С. 63–66

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

125. Суздалева, Г. Ф. Технология сепарации почвенно-картофельного вороха с обоснованием конструктивно-режимных параметров элеватора с

комбинированными прутками и интенсификатором : диссертация ... кандидата технических наук : 05.20.01./ Суздалева Галина Федоровна; [Место защиты: Рязан. гос. сельскохоз. акад.]. - Рязань, 2005. - 169 с.

126. Туболев С.С. Инновационные машинные технологии в картофелеводстве России [Текст] / С.С. Туболев, Н.Н. Колчин, Н.В. Бышов, И.А.Успенский, Г.К. Рембалович / Тракторы и сельхозмашины. 2012. - №10. – С. 3–5.

127. 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.

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

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

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

131. Успенский, И.А. Оценка перспективной технологической схемы картофелеуборочного комбайна [Текст] / И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, Р.В. Безносюк // Статья в журнале: Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. –Волгоград, 2018. – № 49 – С. 262-269.

132. Успенский, И.А. Перспективная схема картофелеуборочного комбайна с взаимозаменяемыми сепарирующими модулями [Текст] / 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.

133. Ханхасыкова, Л.П. Изучение процессов повреждения клубней при уборке картофеля [Текст] / Л.П. Ханхасыкова, А.В. Кузьмин // В сборнике: Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК, Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Иркутск, 2019. - С. 178–186.

134. Хитрова, В.Д. Повышение эффективности машинной уборки картофеля совершенствованием рабочих органов комбайнов на селекционных участках [Текст] / В.Д. Хитрова // В сборнике: Идеи молодых ученых - агропромышленному комплексу: агроинженерные и сельскохозяйственные науки, Материалы студенческой научной конференции Института агроинженерии. – Троицк, 2019. - С. 185–193.

135. 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.

136. Чаткин, М.Н. Анализ способов посева пропашных культур [Текст] / М.Н. Чаткин, В.А. Овчинников, Е.А. Иконников // Материалы Международной научно-практической конференции. 2019. С. 135-138

137. Черноиванов, В.И. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства [Текст] / В.И. Черноиванов, А.А. Ежевский, В. Ф. Федоренко. – М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2012. – 284 с.

138. Byshov N.V. Theoretical studies of the damage process of easily damaged products in transport vehicle body during the on-farm transportation / N.V Byshov, S.N. Borychev, D.E. Kashirin , G.D. Kokorev , M.Y. Kostenko, G.K. Rembalovich, A.A. Simdyankin, I.A. Uspensky, A.V. Shemyakin, I.A. Yukhin, I.K. DANILOV , A.I. Ryadnov, R.A. Kosul'nikov / ARPN Journal of Engineering and Applied Science. – 2018. – №13 (10). – S. 3502–3508.

139. Byshov N.V. Validating the parameters of the rotary device for potato haulm removal [text] / N.V Byshov, S.N. Borychev, YU.N. Abramov, M.B.

Uglanov, M.YU. Kostenko, G.K. Rembalovich BIO Science Biotechnology Research Communications. – 2019. – №12 (5). – S. 312–322.

140. Comparative study of the force action of harvester work tools on potato tubers / A. Siberev, A. Aksenov, A. Dorokhov, A. Ponomarev // Research in Agricultural Engineering. – 2019. – Vol. 65. – No 3. – P. 85-90. – DOI 10.17221/96/2018-RAE. – EDN FGXVOG.

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

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

143. Hevko, R.B. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters [text] / R.B. Hevko, I.G. Tkachenko, S.V. Synii, I.V. Flonts / INMateh - Agricultural Engineering. –2016. – № 2. – S. 53-60.

144. Kartoffeln “sanft” ernten [Text] //Agrartechnik International. – 1983. - Juli. – s. 10 – 11.

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

146. Ovchinnikova, N.I. Analysis of functioning of potato-terminal technological system based on probability-statistical approach [text] / N.I. Ovchinnikova, A.V. Kosareva, V.V. Bonnet /The proceedings of the conference AgroCON-2019. 2019

147. Siberev A.V. Comparative study of the force action of harvester work tools on potato tubers [text] / Research in Agricultural Engineering. – 2019. – № 3. – S. 85-90.

148. The Results of Laboratory Studies of the Device for Evaluation of Suitability of Potato Tubers for Mechanized Harvesting / A. Dorokhov, A.

Ponomarev, V. Zernov [et al.] // Applied Sciences (Switzerland). – 2022. – Vol. 12. – No 4. – DOI 10.3390/app12042171. – EDN WJUMHY.

149. Zhbanov N.S. Improvement of the working bodies of the harvesting machines by means of the use of composite materials [text] / N.S. Zhbanov, N.V.Byshov, G.C. Rembalovich, M.Y. Kostenko / BIO Web of Conferences 17. 2020.

150. Zhou, J.G. Design and experiment of a self-propelled crawler-potato harvester for hilly and mountainous areas [text] / J.G. Zhou, Z.N. Gao, J. Chen, S.M. Yang, M.Q. Li, Z. Chen, J.D. Zhou / INMatch - agricultural engineering. – 2021. – № 2. – S. 151-158.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица – Характеристические показатели траектории полета клубней

№		Дальность полета, м			
		0,05	0,10	0,15	0,20
1	Высота подскока, м	0,05	0,07	0,06	0,0
2		0,03	0,05	0,05	0,0
3		0,04	0,06	0,03	0,0
4		0,04	0,07	0,05	0,0
5		0,05	0,05	0,02	0,0
6		0,03	0,04	0,02	0,0
7		0,03	0,06	0,04	0,0

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер

ООО «Авангард»

Рязанского района

Рязанской области



Липатов Н.В.

2021 года

АКТ

испытаний картофелекопателя КТН-2В с использованием сепарирующего элеватора с комбинированными прутками в ООО «Авангард» Рязанского района

Комиссия в составе: представителей ООО «Авангард» главного инженера Липатова Н.В., агронома по картофелеводству и семеноводству Егоровой И.В. представителей ФГБОУ ВО РГАТУ профессора кафедры ТМиРМ Костенко М.Ю., доцента кафедры ТМиРМ Безносюка Р.В. и аспирантов кафедры ТМиРМ Кодирова С.Т., Ликучева А.И., Пиманова А.Е. составила настоящий акт о том, что картофелекопатель КТН-2В с экспериментальным рабочим органом проходил испытания в сентябре 2021 года в ООО «Авангард» Рязанского района на тяжелых суглинках.

Полевые исследования картофелекопателя с экспериментальным рабочим органом велись по двум основным направлениям: проверка предшествующих теоретических и практических проработок в реальных условиях уборки картофеля и сравнительная оценка агротехнических показателей экспериментального картофелекопателя с показателями серийно выпускаемой модели. Полевые испытания показали:

1. Работоспособность и эффект от использования пруткового элеватора с комбинированными прутками обеспечивается на тяжелых суглинистых

почвах влажностью до 21 %. Повреждения клубней в результате применения пруткового элеватора с комбинированными прутками на картофелекопателе КТН-2В снизились и составили 1,9%.







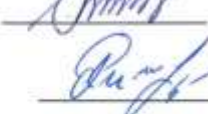
2. Потери клубней картофелекопателя с экспериментальным рабочим органом снизились с 8,3% до 3,0% в сравнении с серийным, в основном за счет уменьшения количества клубней, присыпанных почвой.

3. В процессе экспериментальных исследований отказов трубок не зафиксировано. Продольный винтовой разрез позволяет произвести быстрый монтаж трубок на прутки и их замену в случае необходимости.

Приложение:

1. Протокол № 1.
2. Протокол №2.
3. Протокол №3.

Подписи:

Главный инженер ООО «Авангард»		Липатов Н.В.
Агроном по картофелеводству и семеноводству ООО «Авангард»		Егорова И.В.
Профессор кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Костенко М.Ю.
Доцент кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Безносюк Р.В.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Ликучев А.И.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Кодиров С.Т.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Пиманов А.Е.

ПРОТОКОЛ №1
 агротехническая оценка при полевых испытаниях в ООО «Авангард»
 Рязанского района от 25 сентября 2021 года

Наименование показателей	Значение показателей
1. Тип почвы	Темно-серая лесная
2. Название по механическому составу	Тяжелый суглинок
3. Рельеф (уклон)	5...8
4. Микрорельеф	гребнистый
5. Влажность почвы в % по слоям, см	
0...5	16.3
5...10	17.6
10...15	19.1
15...20	21.4
20...25	21.5
6. Температура воздуха, °С	24
7. Температура почвы на глубине залегания клубней, °С	17
8. Предшественник	картофель
9. Предшествующая обработка	фрезерование
10. Твердость почвы, МПа	1,14

Подписи:

Главный инженер ООО «Авангард»		Липатов Н.В.
Агроном по картофелеводству и семеноводству ООО «Авангард»		Егорова И.В.
Профессор кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Костенко М.Ю.
Доцент кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Безносюк Р.В.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Ликучев А.И.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Кодиров С.Т.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Пиманов А.Е.

ПРОТОКОЛ №2

характеристика участка при полевых испытаниях в ООО «Авангард»
Рязанского района от 25 сентября 2021 года

Наименование показателей	Значение показателей
1. Характеристика культуры:	Лилли
- сорт картофеля	Гребневый
- способ посадки	Зрелые
- биологическая зрелость	Скошена
- состояние ботвы	
2. Высота гряды, см	16
3. Высота среза ботвы, см	15
4. Густота насаждений, т.шт/га	64
5. Характеристика гнезда:	
- ширина, см	21
- глубина верхнего и нижнего клубней, см	2...17
- ширина междурядий, см	75
6. Биологическая урожайность ботвы, т/га	1,25
7. Размерно-весовая характеристика клубней	
- длина, мм	69,8
- ширина, мм	57,5
- толщина, мм	48,2
- средняя масса клубней, г	183,4
- коэффициент формы	1,29
8. Биологическая урожайность клубней, т/га	21,3

Подписи:








Главный инженер ООО «Авангард»		Липатов Н.В.
Агроном по картофелеводству и семеноводству ООО «Авангард»		Егорова И.В.
Профессор кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Костенко М.Ю.
Доцент кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Безносюк Р.В.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Ликучев А.И.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Кодиров С.Т.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Пиманов А.Е.

ПРОТОКОЛ №3

Определение показателей качества работы картофелекопателя КТН-2В, оборудованного сепарирующим элеватором с комбинированными прутками, при полевых испытаниях в ООО «Авангард» Рязанского района от 25 сентября 2021 года

Показатели работы	Значение показателей картофелекопателей	
	КТН-2В	КТН-2В с экспериментальным рабочим органом
1. Скорость движения, км/ч	4,2	4,4
2. Полнота уборки клубней, %	86,0	93,3
3. Оставлено в почве, %	0,8	0,7
4. Присыпано почвой, %	8,3	3,0
5. Производительность за 1 час эксплуатационного времени, га/час	0,47	0,49
6. Повреждения клубней, %	2,7	1,9

Подписи:

Главный инженер ООО «Авангард»		Липатов Н.В.
Агроном по картофелеводству и семеноводству ООО «Авангард»		Егорова И.В.
Профессор кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Костенко М.Ю.
Доцент кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Безносюк Р.В.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Ликучев А.И.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Кодиров С.Т.
Аспирант кафедры ТМиРМ ФГБОУ ВО РГАТУ		Пиманов А.Е.