

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



Гаджиев Имран Парвизович

Обоснование параметров сепарирующего элеватора картофелеуборочного
комбайна

Специальность: 4.3.1. - Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
А.В. Шемякин

Рязань - 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	9
1.1. История развития картофелеуборочных машин работоспособных на сложных почвенно-климатических условиях	9
1.2. Физико-механические свойства почвы, влияющие на качество сепарации	13
1.3. Анализ работы сепарирующих органов картофелеуборочных машин и интенсификаторы для улучшения сепарации почвы	16
1.4. Постановка целей и задач исследования	28
Выводы по главе 1	29
Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОПАСТНОГО ИНТЕНСИФИКАТОРА СЕПАРАЦИИ ОСНОВНОГО ЭЛЕВАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ПОЧВАХ	30
2.1. Цель и задачи	30
2.2. Уравнения отделения примесей на прутковом элеваторе	30
2.3. Угол наклона полотна элеватора к горизонту и устойчивое положение клубня	36
2.4. Технологическая схема сепарации с интенсификатором	38
2.5. Условия выталкивания клубня лопастью из зазора между прутками	40
2.6. Время движения клубня через зазор между прутками и дифференциальные уравнения движения его центра	46
2.7. Оценка энергии, необходимой для работы основного элеватора	51
2.8. Оценка энергии, необходимой для работы основного элеватора с интенсификатором сепарации	56
2.9. Обоснование скорости точки лопасти интенсификатора сепарации	59
2.10. Алгоритм расчета шага лопастей и оценки мощности	61
2.11. Расчет минимальной скорости точки лопасти интенсификатора	62
2.12. Расчет шага лопастей	63
2.13. Оценка мощности внешних сил	65
Выводы по главе 2	67
Глава 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНТЕНСИФИКАТОРА СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА НА ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ПОЧВАХ	68
3.1. Программа экспериментальных исследований	68
3.2. Методика полевых исследований	70
3.3. Методика определения влажности почвы	72
3.4. Планы проведения экспериментов и уровни варьирования	74

исследуемых факторов на качество работы сепарирующего элеватора	
3.5. Оценка погрешностей измерений в опытах	81
Выводы по главе 3	83
Глава 4. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С ИНТЕНСИФИКАТОРОМ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА	84
4.1. Программа и методика полевых испытаний	84
4.2. Условия проведения полевых испытаний	86
4.3. Показатели сравнительных испытаний картофелеуборочного комбайна с интенсификатором	90
Выводы по главе 4	92
Глава 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА С ЛОПАСТНЫМ ИНТЕНСИФИКАТОРОМ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА	93
5.1. Экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат на уборку картофеля	93
5.2. Экономический эффект от уменьшения потерь урожая	99
Выводы по главе 5	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	101
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	103
ПРИЛОЖЕНИЯ	123

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В современном производстве сельскохозяйственных культур картофелеводство является одной из наиболее значимых отраслей развития сельского хозяйства. Возделывание картофеля требует значительных энерго- и трудозатрат. Только на уборку клубней приходится 60-70% всех трудозатрат производства картофеля.

Трудность работы сепарирующих органов заключается в том, что в поступающей массе содержание клубней составляет не более 2...3%. Качество сепарации почвенно-клубненой массы во многом зависит от физико-механических свойств почвы. При повышенной влажности почвы эффективность отделения почвенных примесей является недостаточной. Для повышения сепарации почвы необходимо внедрение усовершенствованного сепарирующего элеватора картофелеуборочной машины с интенсификатором в виде прижимного транспортера, который расположен внутри первого элеватора под полотном. Этот транспортер обеспечен лопастями, которые расположены под некоторым углом и движение транспортера направлено в противоположную сторону движения самого элеватора.

Степень разработанности темы исследования. Основные положения по применению интенсификаторов в сепарирующем элеваторе и исследования процессов сепарации почвы изложены в известных трудах А.Г. Аксенов, Н.Г. Байбобоев, С.Н. Борычев, Н.В. Бышов, П.И. Гаджиев, А.А. Голиков, А.С. Дорохов, А.Ю. Измайлов, М.Н. Калимуллин, М.Ю. Костенко, К.З. Кухмазов, В.Ф. Купряшкин, Я.П. Лобачевский, Г.Д. Петров, А.Г. Пономарев, Г.К. Рембалович, А.В. Сибирёв, В.И. Славкин, А.А. Сорокин, В.И. Старовойтов, М.Б. Угланов, И.А. Успенский, М.Н. Чаткин, А.В. Шемякин, И.А. Юхин и других авторов.

Диссертация 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 исследования – повышение эффективности уборки картофеля на переувлажненных почвах путем обоснования параметров сепарирующего элеватора с интенсификатором.

Задачи исследования:

1. Провести анализ истории развития технологических схем картофелеуборочных машин и выбрать направление дальнейшего исследования.
2. Теоретически исследовать взаимодействие лопастного интенсификатора сепарирующего устройства с клубненосной массой на переувлажненных почвах.
3. Экспериментально исследовать влияние интенсификатора на сепарирующую способность картофелеуборочной машины.
4. Оценка экономического эффекта модернизированного картофелеуборочного комбайна с лопастным транспортером.

Объект исследования – лопастной транспортер сепарирующего элеватора картофелеуборочного комбайна.

Предмет исследования – закономерности влияния лопастного транспортера на работу сепарирующего элеватора картофелеуборочного комбайна.

Научную новизну работы составляют:

- математическая модель отделения клубней от примесей клубненосного пласта на прутковом элеваторе;
- математическая модель выталкивания клубней из зазора между прутками сепарирующего элеватора лопастями интенсификатора сепарации;
- обоснование параметров интенсификатора сепарации;
- оценка мощности внешних сил, действующих на лопастной транспортер.

Теоретическая значимость заключается в теоретическом обосновании

параметров интенсификатора сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин.

Практическую ценность работы составляет конструкция сепарирующего устройства картофелеуборочной машины с интенсификатором в виде лопастного транспортера.

Методология и методы исследования. Основой диссертационного исследования является моделирование изучаемого процесса отделения клубней от примесей клубненосного пласта на прутковом элеваторе картофелеуборочной машины. Анализ полученных результатов проводился с использованием прикладных программ Mathcad 15, Microsoft Excel. Для проведения экспериментальных исследований использовались стандартные, и разработанные на их основе частные методики. При экспериментальных исследованиях использовалась поверенное и сертифицированное оборудование. Обработку результатов производили с помощью прикладной программы Statistica 10.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретические зависимости отделения примесей от клубней в клубненосном пласте на основном элеваторе картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 за счет интенсификатора сепарации почвы;
- экспериментальные зависимости повреждений клубней, полноты сепарации клубненосного вороха от параметров лопастного транспортера при сепарации почвы в работе картофелеуборочного комбайна в полевых условиях;
- оценка экономического эффекта применения сепарирующего элеватора с интенсификатором в картофелеуборочном комбайне.

Достоверность результатов исследования. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с современными методиками на сертифицированных приборах и установках. Выводы, полученные в результате исследований, показали сходимость теоретических и экспериментальных результатов 95%. Результаты исследований, опубликованные в независимых источниках, согласуются с данными полученными другими учеными, и прошли

апробацию в печати, на всероссийских и международных научно-практических конференциях.

Реализация результатов исследования. Результаты исследований получены при испытаниях в «Фермерское хозяйство «Радуга» Быкова В.Д.», п. Камыши, Курский район, Курская область.

Вклад автора в решении поставленных задач состоит в разработке и формулировании цели работы, в проведении теоретических и экспериментальных исследований по определению параметров лопастного транспортера. При этом автору принадлежит участие в постановке задач исследования, непосредственное проведение теоретических исследований и экспериментов картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 с интенсификатором сепарирующего элеватора, обработка результатов и их интерпретация, участие в написании статей и выводов по ним.

Апробация результатов. Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на следующих всероссийских и международных научно-практических конференциях: ФГБОУ ВО РГАТУ: I-я Национальная научно-практическая конференция с международным участием «Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии», посвященная памяти д.т.н., профессора, Николая Владимировича Бышова (Рязань, 23 ноября 2021 г.); ФГБОУ ВО РГАЗУ: Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы энергоэффективности агроинженерных исследований в условиях цифровой трансформации» (Балашиха, 19 мая 2022), ФГБОУ ВО РГАТУ: Международная научно-техническая конференция «Инновации в сельскохозяйственном машиностроении, энергосберегающие технологии и повышение эффективности использования ресурсов», посвященная памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина (Рязань, 24 мая 2022 г.), Республика Узбекистан: Международная научно-техническая конференция «Инновационные решения создания высокоэффективных сельскохозяйственных машин и повышения

эффективности использования технических средств» (г. Гулбахор, 27 мая 2022 год), был награжден Золотой медалью на XXIV Всероссийской агропромышленной выставке «Золотая Осень – 2022».

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 9 печатных работ, в том числе 7 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов диссертационных работ на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, получен 1 патент на изобретение и 1 патент на полезную модель РФ. Объем публикаций составляет 5,22 усл. п.л., из которых 1,59 усл. п.л. принадлежит лично соискателю.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 137 наименований и приложений. Работа изложена на 128 страницах, содержит 46 рисунков и 13 таблиц.

Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Особенности развития механизированной уборки картофеля связаны с конструкциями картофелеуборочных комбайнов. В этом контексте важную роль сыграет сепарация почвы при выполнении технологического процесса картофелеуборочными комбайнами. В процессе отделения клубней от почвы входят следующие этапы: сепарация почвы и удаление ботвы, сорняков и твердых почвенных примесей, включая камней.

Поэтому при конструировании картофелеуборочных машин усовершенствование сепарирующих рабочих органов всегда остается в центре внимания ученых, особенно когда машины адаптируются для работы на сложных почвенно-климатических условиях.

Разнообразие почвенно-климатических условий посевных площадей страны предполагает ученым создать современные картофелеуборочные машины, которые в состоянии работать повсеместно. Для этого необходимо внедрить новые технологии и технические средства по механизированному возделыванию картофеля [41, 45, 58, 59, 95, 102].

1.1. История развития картофелеуборочных машин работоспособных на сложных почвенно-климатических условиях

История развития конструкций картофелеуборочных машин в России и мире свидетельствует о постоянном поиске современных машин для работы на сложных почвенно-климатических условиях. Работа картофелеуборочных машин становится еще труднее на переувлажненных почвах. В современном мире картофель является востребованной культурой, как в пищевой, так и химической промышленности. В этой связи Постановлением Правительства Российской Федерации утверждена Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы, разработана подпрограмма «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации».

Трудоемкость возделывания картофеля требует развития новых технологий и средств обработки и уборки картофеля.

С началом выпуска «Рязсельмаш», г. Рязань и Тульского комбайнового завода в 1954 году, картофелеуборочных комбайнов КОК-2 и ККР-2 начата производство первых отечественных картофелеуборочных машин. Недостатком этих комбайнов были большие потери и повреждение клубней, несмотря, что трудозатраты на уборку картофеля по сравнению с уборкой плуга сократилась в 4...5 раз.

В 1958...1959 годах ВИСХОМом был разработан поточный метод по комбайновой уборке картофеля и разработан комплекс машин для осуществления этого метода, в котором входил картофелеуборочный комбайн КГП-2, рисунок 1.1.

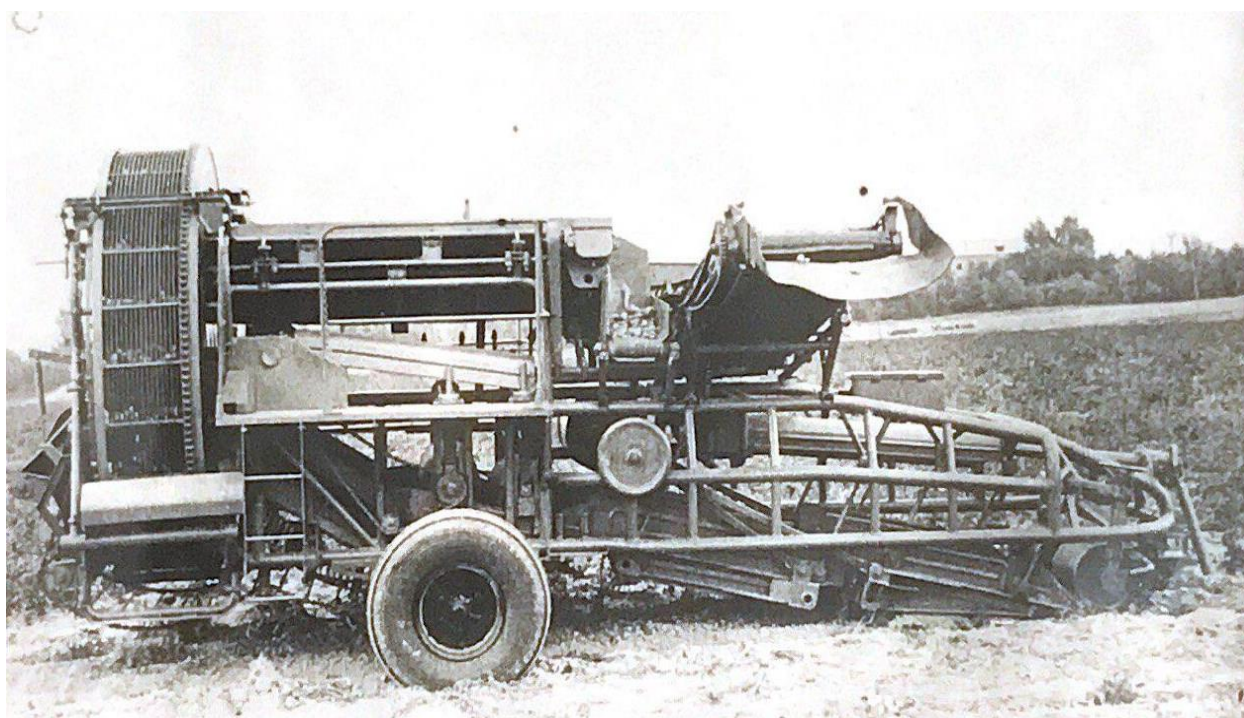


Рисунок 1.1–Картофелеуборочный комбайн КГП-2

На основе результатов работы были отработаны и усовершенствованы конструкция комбайна. Картофелеуборочный комбайн КГП-2, грохотный, двухрядный, полунавесной, агрегируется с трактором МТЗ-7. Комбайн предназначен для уборки картофеля с гребневой посадкой и междурядьями

60...70 см. Рабочая скорость комбайна составляла 0,5...0,8 м/с, производительность за смену до 2 га. Созданный ВИСХОМом комбайн КГП-2 обеспечивал снижение потерь урожая 2,5...5 раз по сравнению с комбайном ККР-2, в это время повреждение клубней снизилась в 2...3 раза [40, 100, 116].

Параллельно с комбайном КГП-2 была создана опытная партия картофелеуборочных комбайнов К-3 элеваторно-грохотного типа, рисунок 1.2.

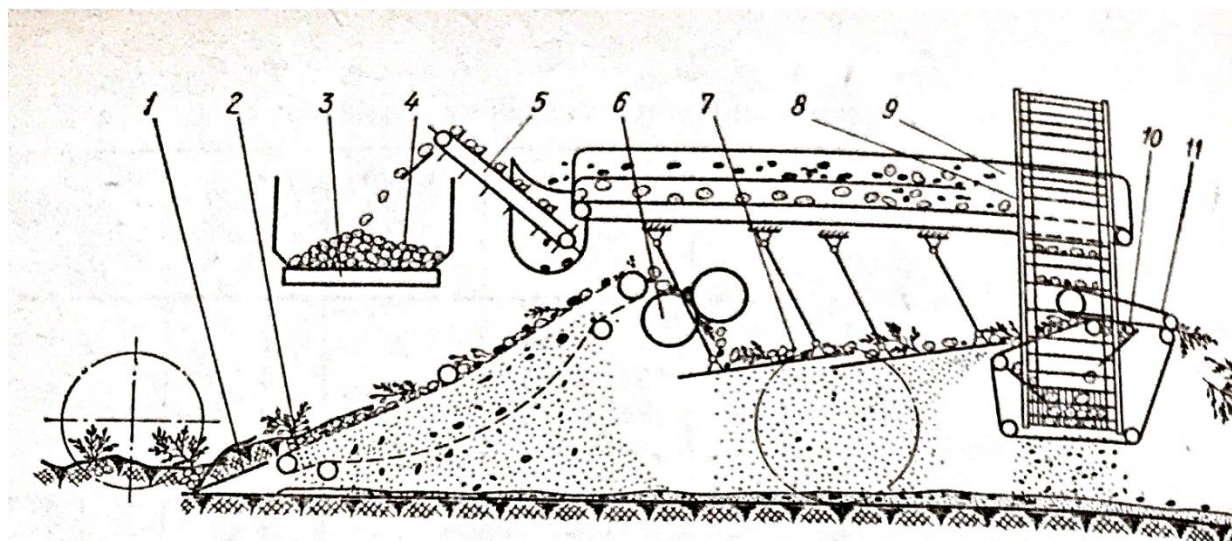


Рисунок 1.2 – Технологическая схема картофелеуборочного комбайна К-3

В комбайне имеются следующие рабочие органы: 1–лемех, 2–элеватор, 3–подвижное дно, 4–копильник, 5–транспортер, 6–пневматические баллоны, 7–грохот, 8–барабанный транспортер, 9–транспортер переборщик, 10–клубнеотрывающие прутки, 11–прижимной транспортер.

Картофелеуборочный комбайн К-3 был предназначен для одновременного выкапывания двух рядов картофеля с междурядным расстоянием 60 или 70 см, отделения клубней картофеля от почвы и ботвы, и подачи картофельного вороха в бункер или рядом идущее транспортное средство. Производительность машины К-3 составляла 0,3 ... 0,35 га/час. Картофелеуборочные комбайны К-3 и КГП-2, оснащённые сепарирующими рабочими органами элеваторного и грохотного типов, хорошо работает лишь на легких и среднесвязанных почвах при влажности до 22...23%. Уборка картофеля на тяжёлых почвах остается еще не решенной, из-за отсутствия современной техники.

Серийный выпуск картофелеуборочного комбайна ККУ-2 «Дружба», который был разработан ВИСХОМом совместно с Рязанским ГСКБ, берет свое начало с 1968 года, как грохотные, так и элеваторные.

В 1975 года начат выпуск, модернизированного картофелеуборочного комбайна ККУ-2А. В этих комбайнах лемеха были активными и вместо грохота применялся второй элеватор для сепарации почвы. В 1981-85-годах суточный объём производства комбайна ККУ-2А Рязанским комбайновым заводом составляло свыше 40 штук.

Также с главного конвейера Рязанского комбайнового завода вышли такие востребованные отечественные модели, как: картофелеуборочный комбайн КПК-2-01, ККУ-2А, Е-686, Е-684; копатель картофеля КТН-2В 3-х эл., ККЭ-2М. В начале 1987 г. был постановлен на производство первый отечественный трехрядный картофелеуборочный КПК-3. Существенное отличие комбайна КПК-3 заключается в том, что для активизации сепарации почвы применены шнеки (рисунок 1.3). Комбайн КПК-3 частично решал проблемы уборки картофеля на почвах повышенной влажности.



Рисунок 1.3–Картофелеуборочный комбайн КПК-3

Начало разработки самоходных комбайнов выводит на новый уровень развития картофелеуборочную технику сельскохозяйственного

машиностроения, не требующую дополнительного транспорта для перемещения. В этом контексте совместными усилиями ученых ВИСХОМа, таких как Г.Д. Петров, А.А. Сорокин, В.И. Славкин ГСКБ «Рязсельмаш» был разработан самоходный 4-рядных комбайн КСК-4-1, который в 1985 году успешно прошел Государственные испытания [76, 91, 92].

В настоящее время ООО «КОЛНАГ» производит современные картофелеуборочные комбайны. Из них один из самых популярных считается двухрядных картофелеуборочных комбайн AVR Sprint 9200, у которого высокое качество очистки клубней от почвы и ботвы. Производительность этих комбайнов до 2,0 га/ч, вместимость бункера 8 тонн.

В современном мире наибольший спрос имеет следующие зарубежные картофелеуборочные машины: Grimme Ventor 530, Dewulf Kwatro Xtreme, Ploeger AR4BX, AVR Puma 3, Lockwood 673 Airharvester и др.

1.2. Физико-механические свойства почвы, влияющие на качество сепарации

Качество сепарации почвы и степень повреждения клубней во многом зависит от физико-механических свойств почвы, где эксплуатируются картофелеуборочные машины.

Одним из ключевых свойств, влияющих на качество сепарации почвы при комбайновой уборке картофеля является влажность почвы.

Влияние физико-механических свойств почв на качество сепарации картофелеуборочных машин занимались В.С. Митрофанов, М.Е. Мацепуро, В.М. Чаус, И.М. Полуночев, Г.Д. Петров [76], И.М. Панов, М.Ю. Костенко [52, 53], В.И. Славкин [91], А.А. Сорокин [92], Н.В. Бышов [14, 18], Н.С. Борычев [9, 10], И.А. Успенский [103], Г.К. Рембалович [82], И.А. Юхин [118], М.Н. Чаткин [113] и др.

По результату исследований этих работ было установлено, что на процесс сепарации почвы в клубненосном пласте наибольшее влияние оказывают механические свойства и влажность почвы, ее пластичность и липкость [1, 9, 20, 23, 37, 38, 39, 60, 65, 69, 77, 87, 90, 93, 94, 96, 99, 111, 112, 127, 130, 131].

Теоретическое обоснование процесса сепарации и технологический расчет процесса сепарации в сепарирующих устройствах невозможно без группировки множества состояний почв.

Поэтому профессором Г.Д. Петровым для систематизации и классификации предложена диаграмма состояния почвы (рисунок 1.4) [76].

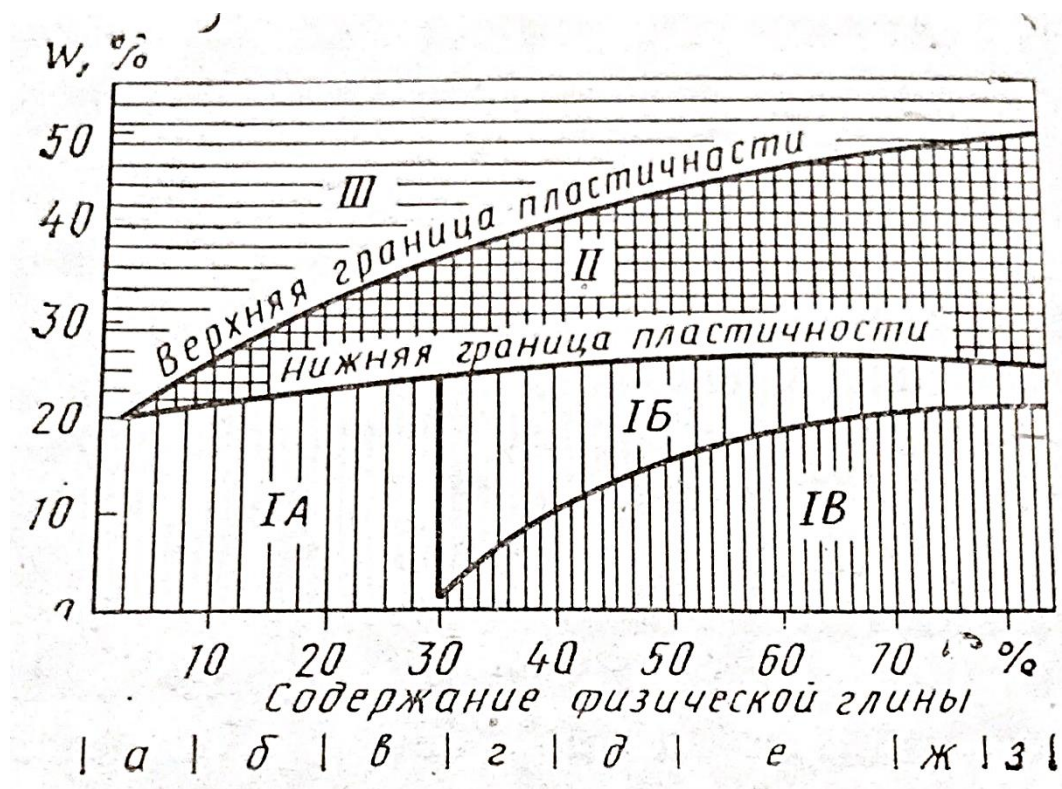


Рисунок 1.4—Диаграмма состояния почвы:

а — песок, б—супесь, в— легкий суглинок, г— средний суглинок,
д— тяжелый суглинок, е— легкая глина, ж— средняя глина, з— тяжелая глина

Несмотря, что диаграмма является условной она построена в зависимости от механического состава и влажности на основании экспериментальных данных и дает представления о способности почв к сепарации.

По агротехническим требованиям полнота сепарации должно быть не менее 80%. На основном прутковом элеваторе остается 50...70% поступившей почвы после подкапывающего рабочего органа, которая зависит от механического состава и от влажности почвы. На переувлажненных почвах влажности свыше 24%, кроме неполноценной сепарации из-за залипания просвета между прутками элеватора увеличивается повреждения клубней.

В зависимости от погодных условий в почве может содержаться разное количество воды, которое определяет влажность почвы.

По определению академика В.П. Горячкина, почва в зависимости от влажности может находиться в твердой, пластичной и текучей консистенциях, когда каждое состояние почвы обладает специфическими физическими свойствами, резко влияющими на сепарацию почвы.

Данное предположение наглядно видно из рисунка 1.5, по определению А.А. Сорокина [92].

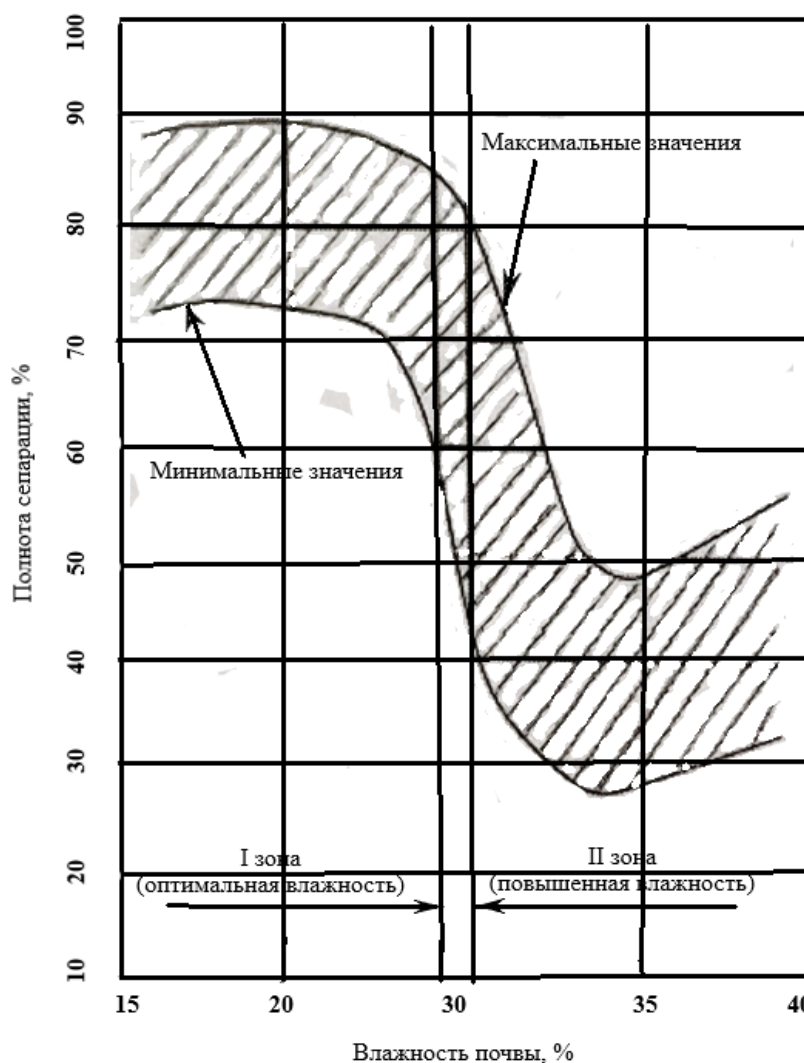


Рисунок 1.5– Изменение полноты сепарации от влажности почвы

Прутковые элеваторы в картофелеуборочных машинах являются основными сепарирующими органами и от просвета между прутками элеватора и режима работы зависит уровень полноты сепарации и повреждения клубней.

Прутковый элеватор расположен после подкапывающего лемеха и поэтому подача почвы в двухрядной картофелеуборочной машине равно в среднем 160 кг/с, когда клубни от этой массы составляют всего 1,5...2%. При благоприятных условиях основной элеватор способен отделит 80...90% почвы.

Последнее время для улучшения сепарации почвы применяется интенсификаторы различного типа, которые при подаче клубненой массы активизируют процесс сепарации.

На основании проведенного анализа следует, что при разработке новых картофелеуборочных машин следует уделять особое внимание созданию высокопроизводительных машин. Для хозяйств эффективны картофелеуборочные машины, обладающие высокой надежностью и сепарирующей способностью, при минимальных повреждениях клубней, при работе на переувлажненных почвах.

1.3. Анализ работы сепарирующих органов картофелеуборочных машин и интенсификаторы для улучшения сепарации почвы

Исследованиями установлено, что конструкция применяемых сепарирующих органов в картофелеуборочных машинах не всегда отвечает технологическим условиям и имеют ряд недостатков. Особенно это происходит при работе картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах. Наибольшее отделение почвы происходит на сепарирующих рабочих органах. Особый интерес конструкции комбайна представляет основной прутковый элеватор, который расположен после выкапывающего органа. Прутки элеватора выполнены из металла и имеют упругое резиновое покрытие. Такая конструкция прутков элеватора обеспечивает хорошую сепарацию с минимальными повреждениями клубней картофеля. В зависимости от почвенно-климатических условий уборки и урожайности картофеля существуют полотна элеватора с различной величиной зазора между прутками от 40 мм до 15 мм. Так же важна площадь сепарации почвы прутковых элеваторов комбайнов и наличие подпружиненных поддерживающих роликов элеватора изнутри [75]. Работа сепарирующего элеватора усложняется тем, что кроме сепарации почвы,

оставшуюся клубненосную массу элеватор транспортирует еще под углом. По агротехническим требованиям полнота сепарации должно быть не менее 80%.

Изучением процесса сепарации картофелеуборочных машин занимались С.Н. Борычев [9, 11], Н.В. Бышов [16, 17, 120], Н.И. Верещагин, П.И. Гаджиев [21, 22, 24, 26, 27, 28], И.П. Гудзенко, М.Е. Мацепуро, В.М. Чаус, И.М. Полуночев, Г.Д. Петров [76], И.М. Панов, М.Ю. Костенко, В.И. Славкин, А.А. Сорокин, И.А. Успенский [105, 106, 107, 108], Г.К. Рембалович [80, 81], И.А. Юхин [109], М.Н. Чаткин [114, 115] и др.

Пневматические сепараторы имеют ряд недостатков, при обработке вороха с повышенной влажностью.

Для интенсификации процесса сепарации на прутковых элеваторах предусмотрены встряхиватели с регулируемой амплитудой. Амплитуда встряхивания регулируется встряхивающей звёздочкой, выполненной эллиптической формой. Такими встряхивателями оснащены картофелеуборочные комбайны ККУ-2А и другие. Недостатком элеватора с регулируемым встряхивателем является то, что изменить интенсивность встряхивания невозможно без изменения скорости полотна [48].

Например, прицепной комбайн SV260 (рисунок 1.6) имеет удлиненную раму, что позволяет увеличить площадь сепарирующей поверхности и осуществлять качественную сепарацию в различных почвенно-климатических условиях. Сепарирующий элеватор оснащен приводными ремнями с увеличенным профилем, исключая повреждение клубней. Для встряхивания полотна применяется двуплечий рычаг с роликами и регулируемой амплитудой.

Для эффективного отделения примесей на комковатых, липких почвах применяется сепарирующее устройство MultiSep, состоящее из 5 спаренных вальцов. Спиральный сегментный валец изготовлен из полиуретана, гладкие вальцы выполнены прорезиненными, что позволяет конструировать комбинации для движения и переориентации компонентов клубненосного пласта. Для исключения обдира кожуры молодого картофеля устанавливаются гладкие

стальные вальцы. Объем бункера может варьироваться и составляет 5,5т, 6т и 7,5т.



Рисунок 1.6 – Общий вид картофелеуборочного комбайна «Grimme» SV260

Самоходный четырехрядный картофелеуборочный комбайн Dewulf (рисунок 1.7) «Kwatro» оборудован двигателем мощностью 368 кВт. Приемная часть комбайна включает ботводробитель и подкапывающие рабочие органы. Два прутковых сепарирующих элеватора с четырьмя кулачковыми встряхивателями обеспечивают высокую сепарирующую способность в широком диапазоне почвенно-климатических условий.



Рисунок 1.7 – Общий вид картофелеуборочного комбайна «Dewulf» Kwatro

Результаты анализа работ многих ученых по сепарирующим органам картофелеуборочных машин показал, что большое количество почвы, поступающее, от подкапывающих лемехов отсеивается органами первичной сепарации, а качественная очистка картофеля от примесей происходит на

органах вторичной сепарации [83]. По некоторым данным, первичные сепараторы способны очищать до 80-92% почвы, что требует дать особое значение при конструировании картофелеуборочных машин. Пропускная способность так же имеет высокий показатель, на каждый рядок приходится не менее 70 кг/с. Высокая технологичность сепарации при малой повреждаемости картофеля так же является эффективным показателем функционирования первичных сепараторов.

В настоящее время широко применяются прутковые элеваторы с резиновыми ремнями. Для улучшения сепарации используются активаторы разнообразных конструкций, имеющие самостоятельный привод, скорость работы которых независима от движения полотна [44, 119].

Профессор Колчин Н.Н. сепарирующие рабочие органы классифицирует на 2 основные группы в зависимости от их расположения в технологическом цикле и допустимой нагрузки [49].

Это соответственно первичное и вторичное разделение почвы.

В этом же контексте профессор Сорокин А.А. предложил разделение сепарирующих устройств на 3 группы: для выносного отделения, просеивного отделения и выносного и просеивного отделения.

В функции первичной сепарации входит продавливание и просеивание комков через просвет. Продавливание комков происходит при влажности свыше 27%, а просеивание при нормальной влажности 18...23% [86, 92].

Кроме механического воздействия на комки почвы еще происходит динамическое воздействие со стороны рабочих органов картофелеуборочных машин, что дает эффективные результаты по их разрушению [86, 110].

В связи с этим профессор Петров Г.Д. предложил конструировать сепараторы с учетом типа почвы, где будут применяться картофелеуборочные машины и классифицировать их на несколько видов:

- технические средства для пластичной среды;
- технические средства для мелкодисперсной среды;
- технические средства для крупноразмерных частиц [86].

По данным Петрова Г.Д., Сорокина А.А., и др. прутковые элеваторы при оптимальной влажности выделяют до 89% почв, таким образом, без каких-либо дополнительных органов чистота картофеля становится приблизительно равной 81,5%. Однако при низкой влажности почвы – до 8% возникает большое число крупных почвенных комков, что снижает сепарирующую способность рабочего органа, похожая тенденция складывается и при влажности свыше 23%, когда происходит налипание почвы на прутках полотна с дальнейшим затруднением сепарации клубненосного пласта через прутковые элеваторы [76, 92].

Г.Д. Петров рассмотрев процесс сепарации установил, что с увеличением скорости полотна происходит уменьшение повреждения картофеля. Кроме того, было доказано, самые незначительные повреждения картофеля среди первичных сепараторов наносят прутковые элеваторы. Это обоснованно гибкостью конструкции, ее способностью прогибаться при возникновении усилий, что в свою очередь предотвращает повреждения картофеля. В настоящий момент повреждения клубней на копателях ниже, чем аналогичные показатели на комбайнах. Повреждения клубней на комбайнах составляют 1,6...5,0%, а на копателях – 0,8...3,0%. Кроме того, прутковые элеваторы не склонны к сгуживанию вороха, позволяют поддерживать уборочную скорость – 1,2...2,0 м/с [76].

С целью улучшения полноты сепарации почвы от клубненосной массы и повышения сепарирующей способности элеваторов в современных картофелеуборочных машинах применяются интенсификаторы с различной конструкцией. Разработаны способы и схемы пневматического, гидравлического и механического принципа действия, а также другие способы разрушения связей почвенных комков [3, 4, 19, 32, 33, 35, 36, 42, 43, 46, 47, 50, 121, 122, 123, 124, 126, 128, 133, 134, 135, 137].

С целью повышения эффективности процесса сепарации почвенно-клубненосной массы при уборке картофеля, особенно, на тяжелых переувлажненных почвах (выше 24%) сепарирующие рабочие органы

картофелеуборочных машин оснащают различными интенсификаторами [15, 54, 55, 56, 57, 63, 64, 66, 67, 68, 70, 71, 78, 79, 84, 85, 89, 125, 129, 132, 136].

Интенсификаторы в картофелеуборочных машинах по месту установки можно разделить на три вида (рисунок 1.8):

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



Рисунок 1.8 –Классификация интенсификаторов сепарации в картофелеуборочных машинах

Проведенные анализы показывают, что не в каждом случае могут быть обеспечены эффективное разделение клубней от влажной почвы. В этом направлении представляет интерес работа принцип действия сепаратора барабанно-шнекового типа, предложенный профессором Сорокиным А.А. Но, недостатком этой конструкции являются значительные повреждения клубней при подъеме вверх и высокая энергоемкости.

Как видно, прутковые элеваторы не всегда удовлетворяют качественной сепарации почвы, поэтому для активизации работ элеваторов предлагаются

различные формы и конструкции интенсификаторов. Например, для активизации процесса сепарации на картофелеуборочных комбайнах КПК-3 применяются шнеки.

На рисунках показаны технологические схемы интенсификаторов сепарации почвы, размещенные между лемехом и элеватором, в виде пальцев (рисунок 1.9), продольных шнеков с винтовой навивкой (рисунок 1.10), прутковых барабанов (рисунок 1.11, б) штифтовых и лопастных битеров (рисунок 1.11, а) [62].

Последовательно на следующих рисунках показаны технологические схемы интенсификаторов сепарации почвы, размещенные над поверхностью пруткового элеватора, выполняются в виде пальцев разной конструкции (рисунок 1.12), подвижных экранов и решеток (рисунок 1.13) поперечных шнеков с винтовой навивкой (рисунок 1.14) и барабанов с центробежной сепарацией (рисунок 1.15), наклонных дисков и пайлерных валов (рисунок 1.16) [62].

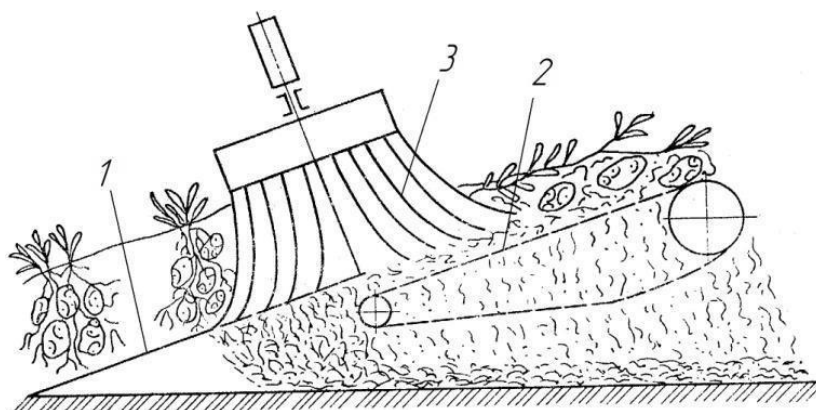


Рисунок 1.9– Технологическая схема интенсификатора в виде пальцев

1 – лемех; 2 – элеватор; 3 – пальцы

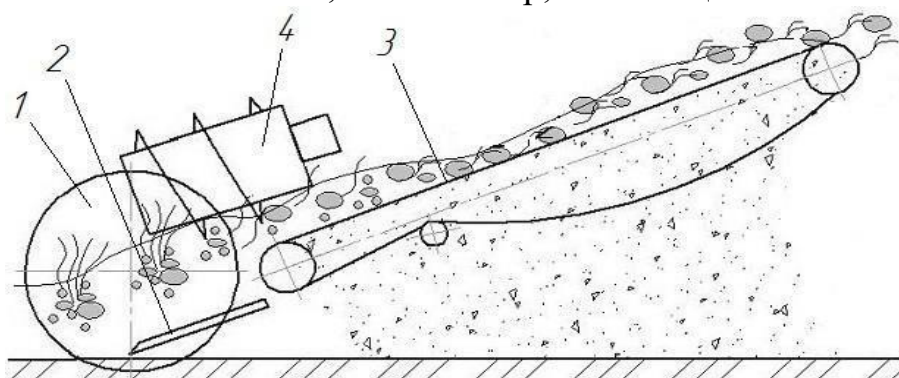
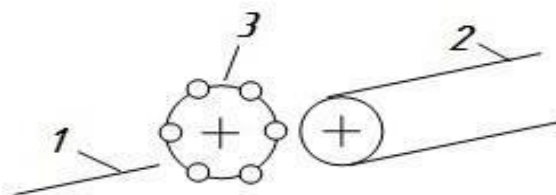


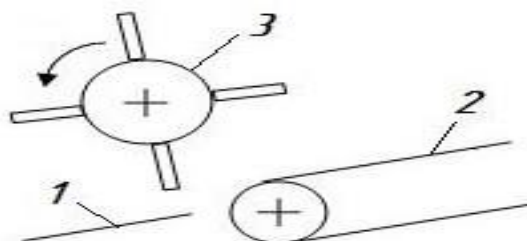
Рисунок 1.10–Технологическая схема шнекового интенсификатора

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



а)

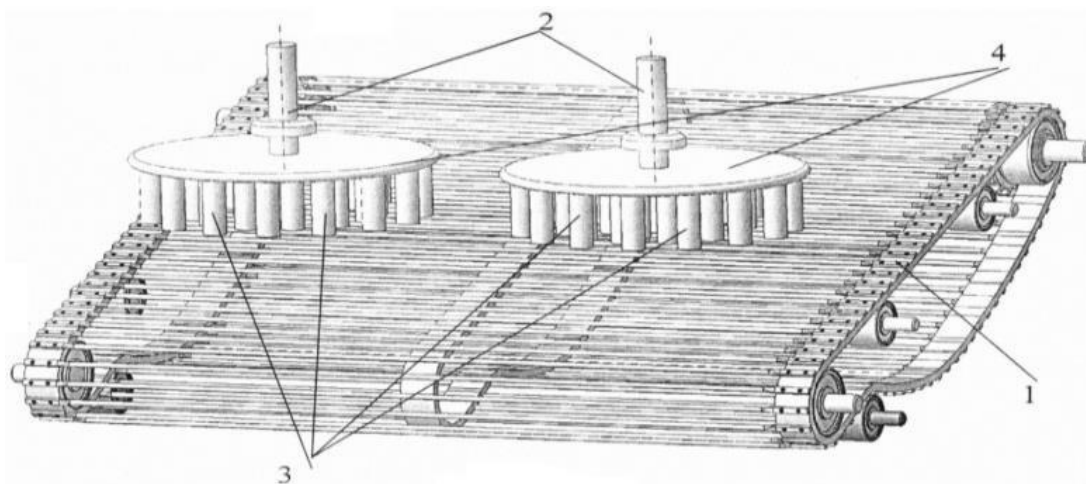
1—лемех; 2—элеватор; 3—прутковый битер



б)

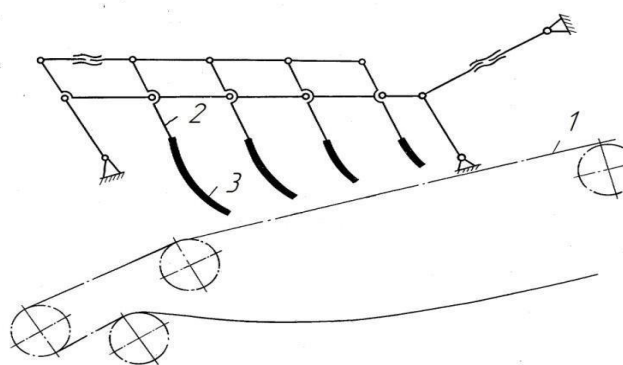
1—лемех; 2— элеватор; 3— штифтовый битер

Рисунок 1.11—Технологическая схема битерных и барабанных интенсификаторов



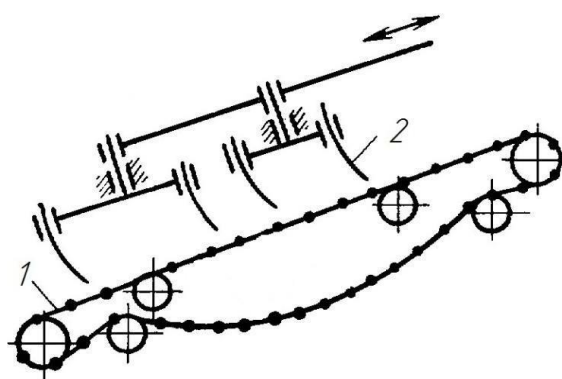
1—элеватор; 2—приводной вал; 3—палец; 4—плоские обрезиненные диски

а)



б)

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

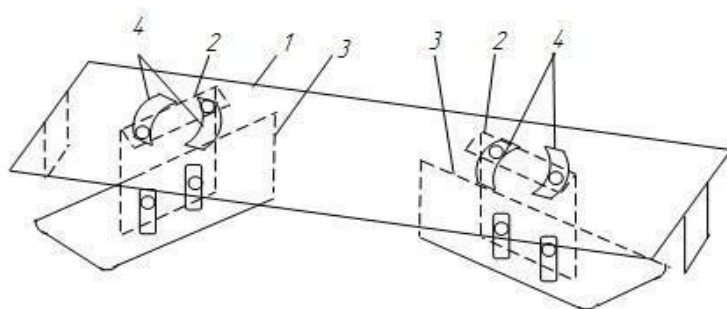


1–элеватор; 2–палец

в)

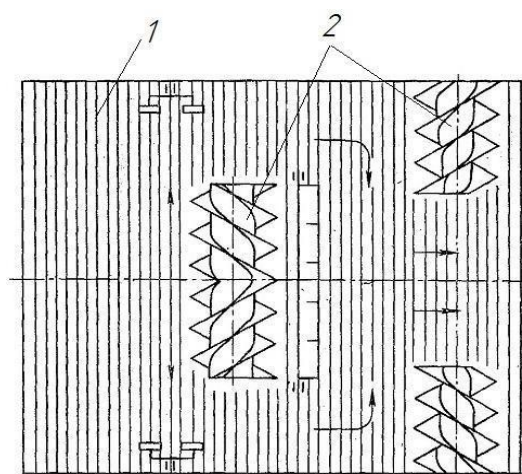
Рисунок 1.12 – Технологические схемы пальчатых интенсификаторов над элеватором

В свою очередь пальчатые интенсификаторы условно делятся на вращающимися дисковыми (рисунок 1.12, а), колеблющимися вдоль направления движения элеватора (рисунок 1.12, б) и поперек движения элеватора (рисунок 1.12, в) [62].



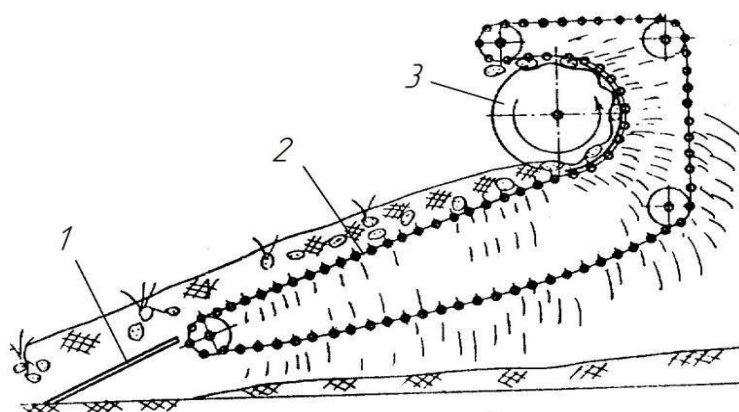
1 – рама; 2 – кронштейн; 3 – экран; 4 – регулировочные отверстия

Рисунок 1.13–Технологическая схема подвесных экранов



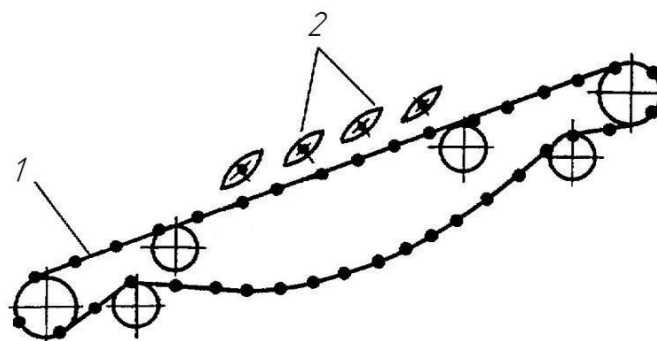
1 – элеватор; 2 –поперечный шнек с винтовой навивкой

Рисунок 1.14–Технологическая схема шнекового интенсификатора



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

Рисунок 1.15–Технологическая схема интенсификатора с центробежной сепарацией



1–элеватор; 2–диски

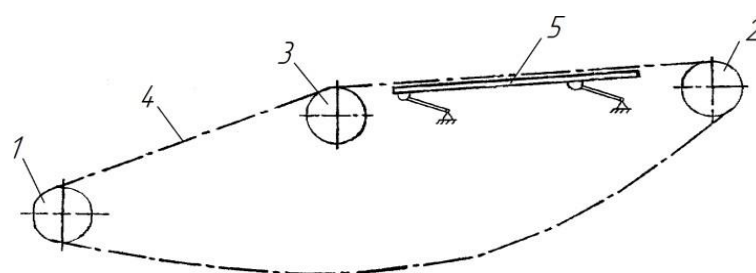
Рисунок 1.16 – Технологическая схема интенсификатора с наклонными дисками или пайлерами

Интенсификаторы сепарации почвы, размещенные под поверхностью пруткового элеватора, представляют собой встряхиватели прутков или полотна элеватора, их выполняют в виде грохота (рисунок 1.17, а), винтовых поверхностей (рисунок 1.17, б), эксцентриковых звездочек приводного вала (рисунок 1.17, в) и кулачков на двуплечих рычагах (рисунок 1.17, г) [62].

Среди всех интенсификаторов основного элеватора картофелеуборочных машин наибольшее применение получили кулачковые встряхиватели с регулирующими амплитудами (рисунок 1.17, г). Это связано с небольшой стоимостью и простотой конструкции. Недостатком встряхивателей является то, что они не разрушают мелкие почвенные комки.

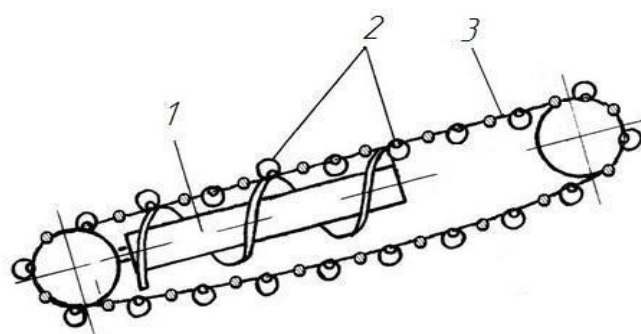
Интенсификаторы с эксцентриковыми звездочками (рисунок 1.17, а) имеют следующие недостатки: изменить интенсивность встряхивания возможно только при изменении скорости полотна, что влияет на производительность работ во время уборки картофеля.

Многочисленные исследования сепараторов показывают, что конкретным почвенно-климатическим условиям соответствует определенный кинематический режим встряхивателей. Интенсивность встряхивания также определяется подачей картофельного вороха и сепарацией проходových частиц [62].



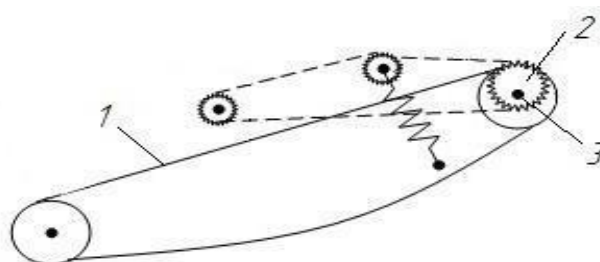
1 – ведомый ролик; 2 – приводной вал; 3 – поддерживающий ролик;
4 – элеватор; 5 – грохот

а)



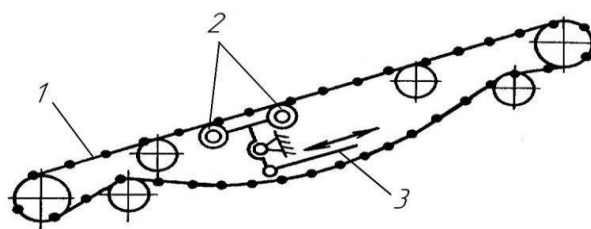
1 – винтовой поверхности; 2 – трубка комбинированного прутка; 3 – элеватор

б)



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

в)



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

2)

Рисунок 1.17 – Технологические схемы интенсификаторов сепарации, размещенных под поверхностью пруткового элеватора

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

Недостаточная загрузка сепарирующего элеватора почвой требует снижения интенсивности встряхивания, для исключения повреждения клубней. В некоторых случаях (на сухих песчаных почвах) встряхиватели отключают полностью для предотвращения повреждений [62].

Шнековый интенсификатор с расположенным под ним элеватором (рисунок. 1.17, б) имеет меньшую сепарирующую способность из-за неполного использования сепарирующей поверхности, так называемых «мертвых зон».

Колеблющие пальчатые интенсификаторы (рисунок 1.12, б, в) имеют ряд недостатков, к которым относится низкая эффективность по причине расположения интенсификатора в начале элеватора, что ведет к появлению на элеваторе неохваченных зон [62].

Пальчатые интенсификаторы сепарации с вращательным движением пальцев (рисунок 1.12, а) интенсивно воздействуют на картофельный ворох и имеют широкий диапазон регулирования режимов работы, что увеличивает эффективность отделения примесей за счет разрушения структур в почвенной массе, и перераспределения пласта по площади полотна пруткового элеватора. Увеличение эффективности сепарации картофельного вороха при снижении повреждений клубней возможно благодаря применению предложенного устройства. При этом происходит увеличение эксплуатационной

производительности картофелеуборочной машины. Предложенное устройство является универсальным и применимым во многих корнеклубнеуборочных машинах [62, 83].

Опыт применения картофелеуборочных машин в условиях Центрального Нечерноземья показывает, что применение интенсификаторов размещенных над полотном основного элеватора без привода недостаточно эффективно, поэтому в настоящее время применяют интенсификаторы с приводом в большинстве картофелеуборочных машин [62].

Анализ работ интенсификаторов для улучшения сепарации почвы показывает, что имеющиеся интенсификаторы недостаточно эффективно на переувлажненных почвах. Поэтому нами предложен интенсификатор сепарирующего рабочего органа картофелеуборочной машины, который выполнен в виде транспортера с прорезиненными лопастями, установленными под некоторым углом, расположенный под поверхностью основного элеватора и выполнен с возможностью вращения в противоположном направлении движению пруткового элеватора [73, 74].

1.4. Постановка целей и задач исследования

Целью работы является повышение эффективности уборки картофеля на переувлажненных почвах путем обоснования параметров сепарирующего элеватора с интенсификатором.

Были поставлены следующие задачи исследования:

- провести анализ истории развития технологических схем картофелеуборочных машин и выбрать направление дальнейшего исследования;
- теоретически исследовать взаимодействие лопастного интенсификатора сепарирующего устройства с клубненой массой на переувлажненных почвах;
- экспериментально исследовать влияние интенсификатора на сепарирующую способность картофелеуборочной машины;
- оценка экономической эффективности модернизированного картофелеуборочного комбайна с лопастным транспортером.

Выводы по главе 1

В ходе оценки современного состояния вопроса, улучшение сепарирующей способности картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах выявлено, что:

1. Анализ истории развития технологических схем картофелеуборочных комбайнов показал о влиянии физико-механических свойств на процесс сепарации почвы и соиздание картофелеуборочных машин, работоспособных повсеместно, при этом не снижая степень полноты сепарации.

2. Исследовано роль интенсификаторов для улучшения сепарации почвы в зависимости от расположения в конструкции картофелеуборочных машин, которые улучшают полноту сепарации и уменьшают степень повреждения клубней.

3. При установке интенсификатора в виде лопастного транспортера под рабочей ветвью пруткового элеватора, расширятся возможности картофелеуборочных комбайнов на переувлажненных почвах и это позволит повысить полноту сепарации почвы до 95%, снизить повреждение клубней до 15%.

Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОПАСТНОГО ИНТЕНСИФИКАТОРА СЕПАРАЦИИ ОСНОВНОГО ЭЛЕВАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ПОЧВАХ

2.1. Цель и задачи

Цель теоретического исследования – повышение эффективности отделения примесей от картофеля на основном элеваторе картофелеуборочного комбайна типа КПК-2-01 за счет интенсификатора с лопастным транспортером сепарации.

Задачи теоретического исследования:

- 1) разработка математической модели отделения примесей от товарных клубней в клубненосном пласте на основном элеваторе;
- 2) разработка математической модели выталкивания клубня из зазора между прутками элеватора лопастью интенсификатора сепарации;
- 3) разработка математической модели движения центра клубня и комка примесей в виде шарового тела в зазоре между прутками;
- 4) обоснование расстояния от ленты транспортера интенсификатора до прутка, угла наклона лопасти к плоскости ленты транспортера, скорости точки лопасти относительно прутка элеватора, шага лопастей;
- 5) оценка мощности внешних сил, действующих на пласт клубней с примесями на полотнах элеватора и ленте транспортера интенсификатора.

2.2. Уравнения отделения примесей на прутковом элеваторе

Технологический процесс сепарации в картофелеуборочном комбайне можно рассмотреть, как процесс, состоящий из двух стадий:

непрерывное разрушение крупных частей пласта при прохождении по сепарирующим поверхностям полотна;

просеивание некрupных примесей через зазоры между прутками элеватора.

Сепарирующее устройство картофелеуборочного комбайна предназначено для очистки от примесей клубней, покапываемых лемехом вместе с почвенным

пластом. Таким устройством в навесно-прицепном картофелеуборочном комбайне типа КПК-2-01 служит основной прутковый элеватор, располагающийся за лемехом. Прутковый элеватор остается одним из основных сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин благодаря своей простоте. Элеватор выполнен в виде транспортера, полотно которого образовано поперечными прямыми или изогнутыми прутками. Прутковые элеваторы картофелеуборочных машин предназначены для отделения почвы и других примесей от клубней и транспортирование клубней к рабочим органам, обеспечивающим обработку клубней. Полотно такого элеватора состоит из прямых или изогнутых прутков круглого сечения, установленных перпендикулярно направлению движения полотна и соединенных между собой цепью [76, стр. 111]. Почвенные комки, мелкие клубни и твердые примеси просеиваются в зазоры между прутками. Для интенсификации процесса сепарации почва с клубнями на движущемся полотне пруткового элеватора периодически встряхивается или перемешивается интенсификатором [34, 29, 61, 88].

Рассмотрим следующую задачу: при заданной подаче пласта почвы на полотно элеватора с лемеха и заданных геометрических и кинематических параметрах элеватора требуется определить подачу отсепарированных клубней с примесями при сходе с полотна элеватора.

Задача эквивалентна определению скорости изменения массы на полотне элеватора и на его участках. Близкая к этой задача рассматривалась Э.И. Липковичем [11, 13]. В ней предложена модель сепарации для молотильных аппаратов, в которой изучается изменение во времени количества зерен в подбарабанье в необмолоченном, обмолоченном виде и прошедших через решетку при том, что общее число зерен неизменно [76, стр. 334]. Аналогичный подход можно применить не к количеству зерен, а к подаче зерен при установившемся движении или применительно к сепарации почвенных примесей на элеваторе к подаче почвенного пласта на входе на элеватор и сходе с элеватора.

Введем следующие обозначения (рисунок 2.1):

t – время, с;

Oxy – прямоугольная декартова система координат, жестко связанная с комбайном, в плоскости, перпендикулярной рабочему полотну элеватора с центром O на оси ведомого зубчатого колеса или шкива, осью Ox , параллельной скорости точки полотна относительно комбайна, и перпендикулярной осью Oy ;

L – расстояние между осями ведущего и ведомого зубчатых колес пруткового элеватора (длина верхней ветви полотна элеватора без учета прогиба), м;

s – расстояние (ширина зазора) между соседними прутками верхней ветви элеватора, м;

w_k – ширина захвата комбайна, м;

w – рабочая ширина полотна элеватора, м;

x – координата точки полотна на верхней ветви полотна элеватора по оси Ox точки сечения пласта, перпендикулярного оси Ox ($0 \leq x \leq L$), м;

h_k – средняя толщина пласта, подрезаемого лемехом, м;

h_e – условная толщина пласта на полотне элеватора с учетом разрыхления пласта и уменьшения плотности, м;

v_k – величина скорости точки лемеха комбайна, м/с;

v_e – величина скорости точки полотна элеватора, м/с;

u – урожайность картофеля, кг/м²;

Q – подача клубненосного почвенного пласта, подрезанного лемехом без учета ботвы, кг/с;

Q_0 – подача клубней за исключением мелкой фракции, относящейся к примесям, кг/с;

Q_1 – подача примесей, которые не разрушены и не могут пройти в зазор между прутками элеватора (зависит от x), кг/с;

Q_2 – подача примесей, которые разрушены и могут пройти в зазор между прутками элеватора (зависит от x), кг/с;

Q_3 – подача примесей, частицы которого отсепарированы на участке полотна перед данным сечением (зависит от x), кг/с;

ρ_0 – плотность клубненосного пласта перед лемехом, кг/м³;

ρ –плотность клубненосного пласта на полотне элеватора, кг/м³;

p –удельная масса клубненосного пласта на единице площади полотна элеватора, кг/м²;

p_1, p_2 –удельная масса клубненосного пласта на единице площади полотна элеватора в середине полотна и в конце полотна, кг/м².

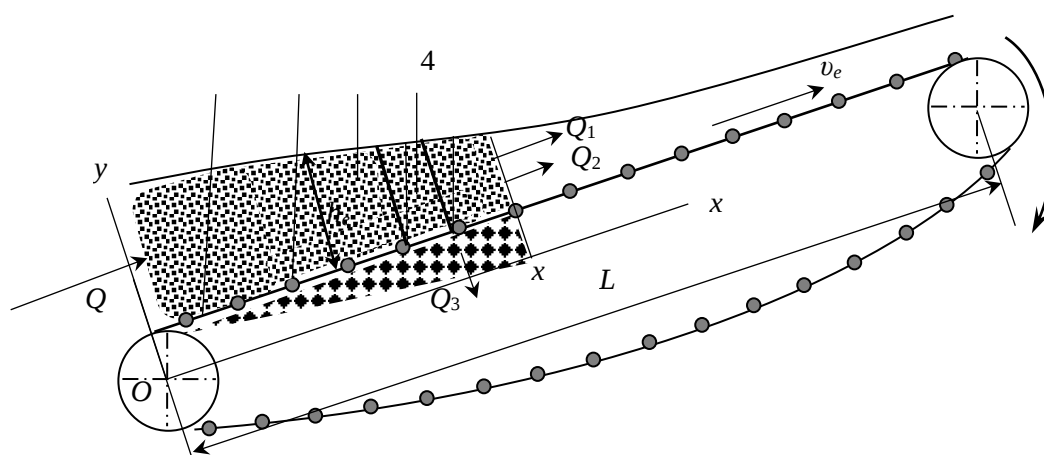


Рисунок 2.1 –Основной прутковый элеватор

1 – полотно основного элеватора; 2 – пруток основного элеватора; 3 – пласт на участке полотна длиной x от начала полотна; 4 – пласт на участке полотна между соседними прутками

Рассмотрим установившийся режим работы картофелеуборочного комбайна. В таком режиме работы переменные Q, Q_1, Q_2, Q_3 не зависят от времени. При этом подача Q клубненосного почвенного пласта, подрезанного лемехом, не изменяется, а переменные Q_1, Q_2, Q_3 зависят от x [6].

По определению,

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q - Q_0. \quad (2.1)$$

По мере продвижения пласта по элеватору некоторые комки пласта на полотне элеватора разрушаются и переходят в ту часть пласта, которая может быть отсепарирована. Будем полагать, что чем больше подача через данное

сечение неразрушенных примесей, которые не могут пройти в зазоры между прутками элеватора, тем больше быстрота уменьшения подачи неразрушенных примесей с линейной связью между ними, то есть

$$\frac{dQ_1}{dx} = -k_1 Q_1, \quad (2.2)$$

где k_1 – постоянный коэффициент, $1/\text{м}$.

Аналогично будем полагать, что, чем больше подача через данное сечение разрушенных примесей, которые могут пройти в зазоры между прутками элеватора, тем больше быстрота увеличения отсепарированных примесей на участке от начала элеватора до данного сечения с линейной связью между ними. Математическую запись этого предположения представим в следующем виде:

$$\frac{dQ_3}{dx} = k_2 Q_2, \quad (2.3)$$

где k_2 – постоянный коэффициент, $1/\text{м}$.

Три уравнения (2.1), (2.2), (2.3) позволяют определить три неизвестные Q_1 , Q_2 , Q_3 как функции от x , если заданы подачи Q и Q_0 , коэффициенты k_1 , k_2 и краевые условия искомых подач на входе пласта на элеватор [51].

На входе подрезанного лемехом пласта на элеватор имеем

$$Q_1(x)|_{x=0} = Q - Q_0; \quad Q_2(x)|_{x=0} = 0; \quad Q_3(x)|_{x=0} = 0.$$

Решение дифференциального уравнения (2.2) с данным выше краевым условием запишем так:

$$Q_1 = (Q - Q_0)e^{-k_1 x}. \quad (2.4)$$

Найдем выражение для переменной Q_2 из равенства (2.1) с учетом решения (2.5). После его подстановки в дифференциальное уравнение (2.3) последнее примет вид

$$\frac{dQ_3}{dx} = -k_2 Q_3 - k_2 (Q - Q_0)(e^{-k_1 x} - 1).$$

Решение последнего уравнения с нулевым краевым условием можно записать так:

$$Q_3 = Q - Q_0 + \frac{Q - Q_0}{k_2 - k_1} [k_1 e^{-k_2 x} - k_2 e^{-k_1 x}]. \quad (2.5)$$

Равенство (2.5) запишем в таком виде:

$$Q_3 = \varepsilon(Q - Q_0),$$

где

$$\varepsilon = 1 - (k_1 e^{-k_2 x} - k_2 e^{-k_1 x}) / (k_1 - k_2). \quad (2.6)$$

Из формулы (2.6) следует, что в рамках модели полнота сепарации 100% достигается на элеваторе бесконечной длины. При этом полнота отделения примесей ε на участке элеватора зависит от длины участка и двух коэффициентов k_1 и k_2 . Формула позволяет определить коэффициенты k_1 , k_2 по заданной полноте отделения примесей, а также рассчитать длину полотна элеватора при известных коэффициентах k_1 , k_2 . Уравнения для определения коэффициентов k_1 , k_2 по результатам эксперимента, в которых установлены полнота ε_1 на участке элеватора длины l_1 и полнота ε_2 на участке элеватора длины l_2 , запишем так:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = 1 - (k_1 e^{-k_2 l_1} - k_2 e^{-k_1 l_1}) / (k_1 - k_2) \\ \varepsilon_2 = 1 - (k_1 e^{-k_2 l_2} - k_2 e^{-k_1 l_2}) / (k_1 - k_2). \end{cases} \quad (2.7)$$

При заданной доле 50% на участке длиной 600 мм и 75% на участке длиной 1000 мм из уравнений (2.7) численным методом Ньютона определены неизвестные коэффициенты, имеющие значения $k_1 = 4,83 \text{ м}^{-1}$, $k_2 = 1,85 \text{ м}^{-1}$ [7].

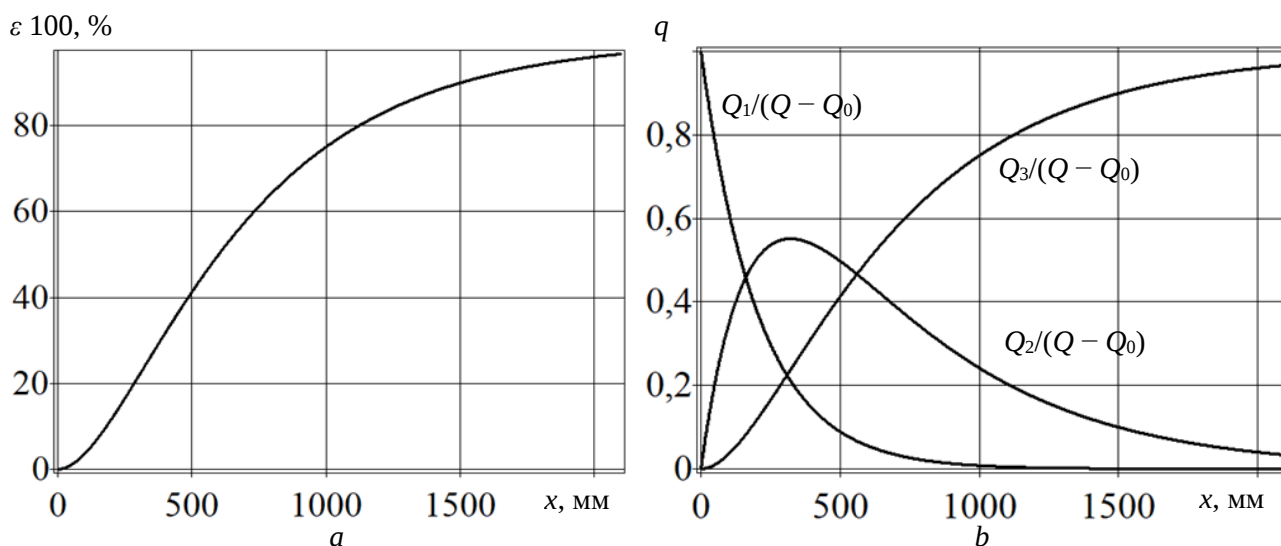


Рисунок 2.2 – Зависимость доли ε отделившихся примесей на участке полотна элеватора (а) и относительной подачи q примесей (б) от длины x участка при

$$k_1 = 4,83 \text{ м}^{-1}; k_2 = 1,85 \text{ м}^{-1}$$

Расчеты по формуле (2.6) показали, что полнота сепарации 90% достигается на данном элеваторе при увеличении его длины до 1800 мм и более

(рисунок 2.2, а). При этом на полотне остаются только те примеси, которые могут пройти в зазоры между прутками (рисунок 2.2, б).

$$\text{По определению, } Q - Q_3(x) = \rho h_e v_e w, \quad (2.8)$$

$$\text{где } Q = \rho_0 v_k w_k h_k; \quad (2.9)$$

$$Q_0 = u v_k w_k.$$

Отсюда

$$h_e \rho = [Q - Q_3(x)] / (v_e w)$$

или

$$p = [Q - Q_3(x)] / (v_e w).$$

Последнюю формулу с учетом равенства (2.5) можно использовать для определения коэффициентов k_1 , k_2 по экспериментальным данным массы (давления) пласта на единице площади полотна элеватора в середине и на выходе:

$$\begin{cases} p_1 = \left[Q_0 + \frac{Q-Q_0}{k_2-k_1} \left(k_2 e^{-\frac{k_1 L}{2}} - k_1 e^{-\frac{k_2 L}{2}} \right) \right] / (v_e w) \\ p_2 = \left[Q_0 + \frac{Q-Q_0}{k_2-k_1} (k_2 e^{-k_1 L} - k_1 e^{-k_2 L}) \right] / (v_e w). \end{cases} \quad (2.10)$$

По определению,

$$p \approx \frac{m}{ws}, \quad (2.11)$$

где m – масса пласта между прутками на полотне элеватора.

Формулу (2.11) целесообразно использовать для оценки распределения удельной массы пласта на полотне элеватора по его длине. В частности, оно позволяет экспериментально оценить удельную массу на единице площади полотна элеватора в середине и в конце полотна.

2.3. Угол наклона полотна элеватора к горизонту и устойчивое положение клубня

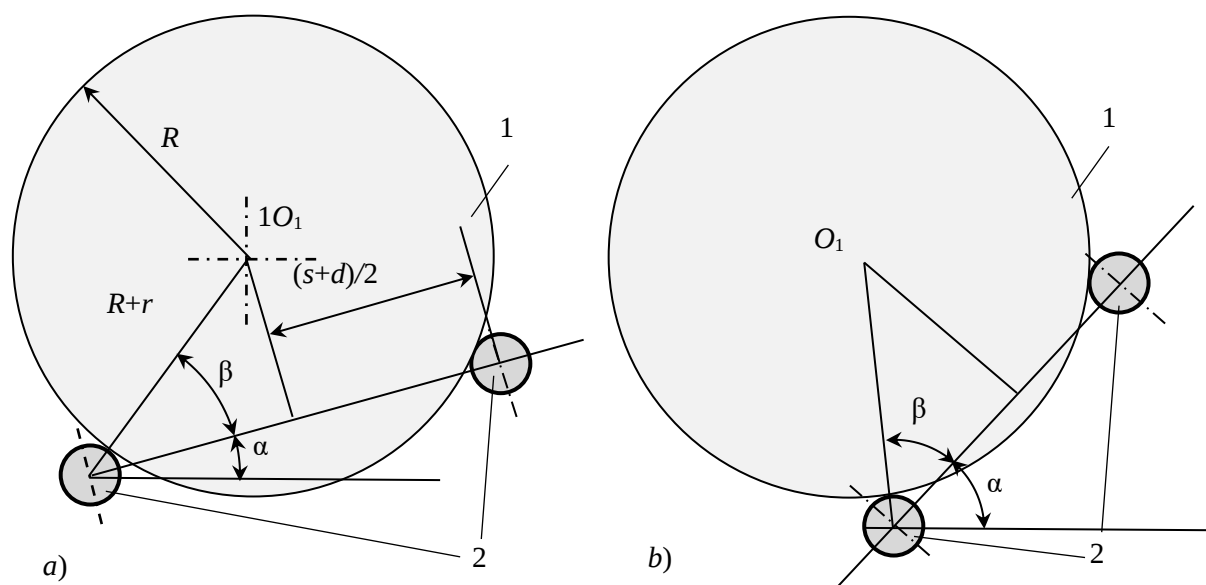
Наклон основного элеватора к горизонтальной плоскости обусловлен компоновкой рабочих органов. Для уменьшения габаритов элеватора и комбайна при заданной высоте элеватора угол наклона верхней ветви полотна элеватора к горизонтальной плоскости целесообразно выбирать наибольшим. В частности, угол наклона назначается так, чтобы частицы пласта на полотне элеватора не сползали против хода движения при коэффициенте трения скольжения почвы по

металлу 0,4 [76, стр. 159]. При таких условиях работы угол наклона не должен превышать 22° . Однако, при условиях работы с меньшим коэффициентом трения допустимый максимальный угол наклона уменьшается. Ввиду того, что полотно элеватора не представляет собой гладкую поверхность, рассмотрим критерий устойчивого положения частей пласта, опирающиеся на прутки. Для простоты будем считать, что часть пласта, в частности клубень картофеля, можно рассматривать в виде тела шаровой формы. Примем следующие обозначения дополнительно к введенным ранее (рисунок 2.3):

α – угол наклона рабочей ветви полотна элеватора к горизонтальной плоскости, град;

β – угол, образуемый лучом на прямой, проходящей через центры шарового клубня и лучом на прямой, проходящей через центры соседних прутков в плоскости, перпендикулярной оси цилиндрического прутка, град;

D, R – диаметр и радиус клубня со сферической поверхностью, м;



d, r – диаметр и радиус цилиндрического прутка, м.

Рисунок 2.3– Шаровой клубень 1 с центром масс O_1 в зазоре между соседними прутками 2 на полотне элеватора в устойчивом положении (a) и положении, не являющимся устойчивым (b)

Положение клубня или комка почвы в виде шара диаметром D в зазоре между цилиндрическими прутками диаметром d и зазором s между соседними

прутками будет устойчивым, если клубень не опрокидывается и не вращается вокруг нижнего прутка, скатываясь вниз, то есть справедливо неравенство

$$\alpha + \beta < \pi/2$$

или

$$\alpha < \alpha_{max}, \quad (2.12)$$

где

$$\alpha_{max} = \arcsin \frac{s+d}{D+d}. \quad (2.13)$$

Как следует из формулы (2.13), при заданном диаметре прутков и заданном зазоре между ними положения клубней разных диаметров устойчивы, если устойчиво положение клубня с наибольшим диаметром. Принимая максимальный диаметр клубня равным 100 мм, а ширину зазора и диаметр прутка соответственно 30 и 11 мм, найдем, что угол наклона полотна элеватора к горизонту не должен превышать 22° (табл. 2.1).

Таблица 2.1—Предельный угол α_{max} наклона элеватора при неизменном диаметре клубня 100 мм и ширине зазора 30 мм

Диаметр прутков, мм	5	6	7	8	9	10	11
$\alpha_{max}, ^\circ$	19	20	20	21	21	21	22

Таким образом, при диаметре прутков 11 мм и ширине зазора 30 мм независимо от коэффициента трения скольжения почвы со сталью угол наклона полотна элеватора к горизонту 22° обеспечивает движение пласта вместе с полотном без сползания относительно с него.

Очевидно, положение эллипсоидного клубня с большой полуосью, равной радиусу сферического клубня 100 мм, при том же предельном угле наклона элеватора к горизонту, является устойчивым.

2.4. Технологическая схема сепарации с интенсификатором

Прутковый элеватор с ударным встряхивателем нашел широкое применение в картофелеуборочных комбайнах. В то же время отмечается, что недостатком ударного способа сепарации является высокая повреждаемость клубней [88].

Альтернативой ударному встряхиванию является механический способ воздействия на клубни с примесями, находящимися на рабочем полотне элеватора. Механическое воздействие обеспечивается активными рабочими органами интенсификатора сепарации, расположенного над рабочим полотном элеватора [34, 61]. Интенсификатор сепарации воздействует на части почвенного пласта, находящегося на полотне элеватора, и осуществляет их перемещение относительно рабочего полотна, в частности, относительно зазоров между прутками, в которые просеиваются примеси.

Следует отметить, что механическое воздействие на пласт рабочих элементов интенсификатора сепарации, расположенного над рабочим полотном, недостаточно эффективно в том случае, когда клубни забивают зазоры между прутками элеватора. В этом случае силовое воздействие на застрявшие в зазоре клубни сопровождается прижатием их к пруткам элеватора и повышением риска повреждаемости клубней. В связи с этим представляет интерес рассмотреть механическое воздействие на клубни в зазорах между прутками элеватора извне так, чтобы обеспечить очистку и выталкивание клубней из зазора на рабочее полотно без прижатия к пруткам. Такое решение, очевидно, обеспечит увеличение живого сечения рабочего полотна и, тем самым, должно повысить эффективность сепарации примесей. Аналогичное решение применяется при очистке решет зерноочистительных машин подвижными щетками или резиновыми шариками [11, стр. 413; 13]. Щетки или шарики располагаются на той стороне решета, в которой находятся примеси, прошедшие через зазоры между прутками.

Рассмотрим интенсификатор сепарации с ленточным транспортером, расположенный под рабочим полотном основного элеватора, и упругими плоскими (прямыми) лопастями, движущимися навстречу полотну основного элеватора (рисунок 2.4).

Интенсификатор сепарации установлен под рабочим полотном элеватора так, чтобы его лопасти прижимались к полотну без взаимодействия или с минимальным взаимодействием с прутками. Примеси, прошедшие через зазоры

между прутками элеватора над интенсификатором, захватываются его лопастями и/или резиновой лентой и сбрасываются на землю.

Упругие лопасти интенсификатора, установленного под рабочим полотном элеватора, выполняют следующие основные функции [5, 7, 12]:

1) принудительное перемещение частей пласта относительно прутков элеватора на его полотне, в частности, выталкивание клубней из зазоров между соседними прутками в том случае, когда клубни закрывают зазоры;

2) очистка клубней;

3) транспортирование отсепарированных примесей без заклинивания их между лопастью и прутком.

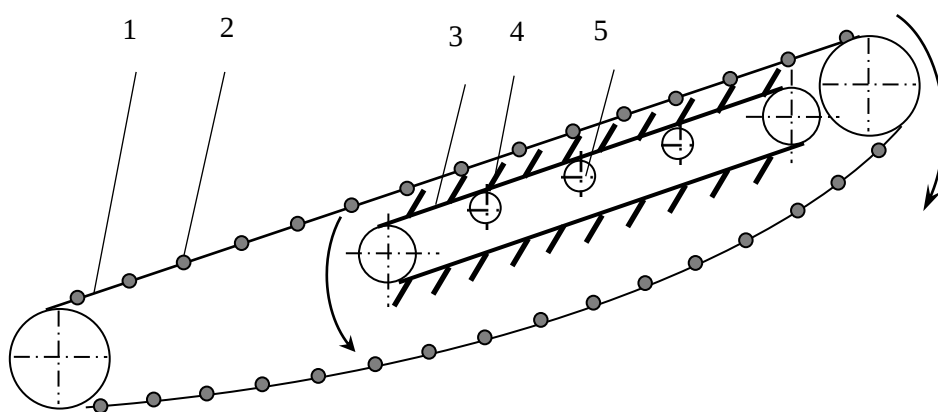


Рисунок 2.4–Основной элеватор с интенсификатором сепарации

1 – полотно основного элеватора; 2 – пруток основного элеватора; 3 – полотно резинового транспортера интенсификатора; 4 – лопасть; 5 – поддерживающий ролик

Выталкивание клубней и примесей из зазоров между прутками на рабочее полотно элеватора увеличивает живое сечение полотна и повышает эффективность сепарации фракций примесей, прошедших через зазоры.

2.5. Условия выталкивания клубня лопастью из зазора между прутками

Принудительное перемещение пласта относительно прутков элеватора способствует повышению эффективности сепарации примесей на полотне элеватора и необходимо в том случае, когда клубни картофеля закрывают зазоры

между прутками. Для этого лопасть интенсификатора, установленного под рабочим полотном элеватора, должна выполнять функции толкателя.

Будем полагать, что, благодаря поддерживающим роликам, прогибом ленты транспортера интенсификатора и поперечным перемещением лопасти-толкателя в направлении, перпендикулярном плоскости ленты, при взаимодействии толкателя с пластом можно пренебречь. Таким образом, толкатель может взаимодействовать только с такими частями находящимися между соседними прутками клубней, которые выступают за пределы плоскости, касательной к цилиндрическим пруткам и находящейся под ними.

Введем обозначения, дополнительные к введенным ранее (рисунок 2.4):

$O_1x_1y_1$ – связанная с прутком рабочей ветви полотна элеватора система декартовых координат с горизонтальной осью O_1x_1 и вертикальной осью O_1y_1 , направленной вверх;

$O_3x_2y_2$ – жестко связанная с лопастью интенсификатора система декартовых координат с началом O_3 на ленте транспортера, осью O_3x_2 , направленной вдоль ленты, и перпендикулярной ей осью O_3y_2 , проходящей через центр прутка в начальный момент движения клубня или комка в виде шара по прутку через зазор между прутками;

Δ – перемещение центра масс O_2 клубня при выталкивании из зазора между прутками относительно полотна элеватора в направлении, перпендикулярном полотну, м;

a – ширина зазора между клубнем и прутком при выталкивании клубня из зазора между прутками, м;

Будем также полагать, что клубень или комок пласта, закрывший зазор между соседними прутками, можно рассматривать как тело, имеющее сферическую поверхность.

Смещение Δ клубня в зазоре между прутками зависит от диаметра клубня. Зависимость можно найти из геометрических соотношений и записать в таком виде (рисунок 2.5):

$$\Delta = \left(D - d - \sqrt{D^2 + 2d(D - s) - s^2} \right) / 2. \quad (2.14)$$

$$s < D < (d + s)^2 / (4d). \quad (2.15)$$


b)

42

Таблица 2.2 – Максимальный диаметр сферического клубня, выталкиваемого из зазора при разных диаметрах прутка и неизменной ширине зазора 30 мм

Диаметр прутков, мм	5	6	7	8	9	10	11
Диаметр клубня, мм	61	54	49	45	42	40	38

Зазор a между телом в виде шара и прутком при выталкивании тела из зазора между прутками можно найти из геометрических соотношений по следующей формуле (рисунок 2.4, b)

$$a = [(R - r)^2 + (s + d - c)^2]^{1/2} - R - r,$$

где

$$c = [(R + r)^2 - (R - r)^2]^{1/2} = (4Rr)^{1/2} = (Dd)^{1/2}.$$

Максимальный зазор между телом в виде шара и прутком достигается при выталкивании из зазора между прутками тела с минимальным диаметром, равного расстоянию между прутками. При этом выражение для a принимает такой вид:

$$a = [(s/2 - r)^2 + (s + d - c)^2]^{1/2} - s/2 - r, \quad (2.16)$$

где

$$c = (sd)^{1/2}.$$

Примем также, что эффективная работа интенсификатора сепарации выполняется при следующих условиях:

- 1) мелкие клубни и примеси, прошедших через зазоры между прутками, имеют размеры, не превышающие ширины зазора между прутками;
- 2) во избежание трения с прутками клубней и примесей, прошедших через зазоры между прутками, расстояние между лентой транспортера интенсификатора и прутками превышает размеры мелких клубней и примесей;
- 3) лопасти интенсификатора не препятствуют выходу мелких клубней и комков через зазоры между прутками элеватора.

Введем дополнительно следующие обозначения (рисунок 2.6):

h – расстояние между прутком и лентой резинового транспортера интенсификатора сепарации, м;

l – шаг лопастей, м;

γ – угол, образуемый прямой линией лопасти интенсификатора к линии полотна элеватора в плоскости, перпендикулярной осям прутков,°;

Δt – время падения тела в виде шара $\omega\omega$ с полотна элеватора на ленту транспортера интенсификатора сепарации, с;

v_e, v_i – величина скорости соответственно прутка и лопасти при поступательном движении относительно комбайна, м/с.

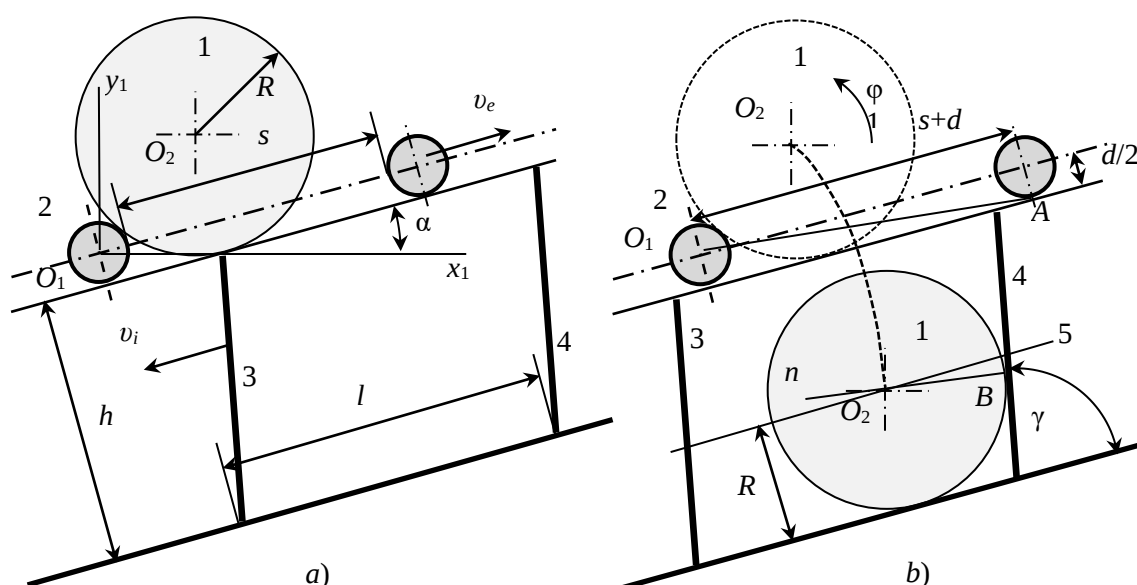


Рисунок 2.6 – Положение клубня в зазоре между прутками перед выталкиванием лопастью (а) и в момент окончания выталкивания (b)
1 – клубень; 2 – пруток; 3 – передняя лопасть; 4 – задняя лопасть; 5 – прямая, параллельная ленте транспортера интенсификатора на расстоянии R от нее

Из предположений 1, 2 следует, что расстояние между прутком и лентой транспортера интенсификатора не может быть меньше ширины зазора между прутками. Таким образом, формула для определения минимального расстояния между прутком и лентой транспортера интенсификатора имеет такой вид:

$$h = s. \quad (2.17)$$

Пусть A – точка касания переднего прутка с прямой, касающейся прутков рабочего полотна в плоскости, перпендикулярной осям прутков; O_1, O_2 – центры окружностей заднего прутка и клубня в плоскости, перпендикулярной осям прутков; B – точка касания окружности клубня с прямой линией лопасти в плоскости, перпендикулярной осям прутков прутка;

В соответствии с предположением 3 угол γ наклона прямой лопасти к плоскости полотна целесообразно назначать таким, чтобы избежать заклинивания клубня с центром O_2 между прутком с центром O_1 и лопастью, при котором нормаль B_n к лопасти, касающейся окружности клубня в точке B , пересекает центр O_1 прутка (рисунок 2.6, *b*). Данное условие соблюдается, если в предельном положении лопасти с минимальным углом ее наклона лопасть перпендикулярна, а нормаль B_n параллельна отрезку O_1A , то есть справедливо неравенство

$$\gamma \geq \arctan[(s + d)/r]. \quad (2.18)$$

Расчеты по формуле (2.16) показали, что при расстоянии между прутками 30 мм и диаметре прутков 11 мм зазор между прутком и клубнем при выталкивании последнего не превышает 5 мм (рисунок 2.6, *a*). Такой зазор позволяет повысить полноту сепарации мелких фракций и очистку клубня от неровностей в виде прилипших комков почвы на поверхности, выступающих за пределы поверхности на 5 мм и более.

Расчеты по формуле (2.18) показали, что при расстоянии между прутками 30 мм и диаметре прутков 11 мм угол наклона лопасти интенсификатора к плоскости ленты транспортера во избежание заклинивания клубней между лопастью и прутком необходимо устанавливать равным 82° и больше (рисунок 2.7, *b*).

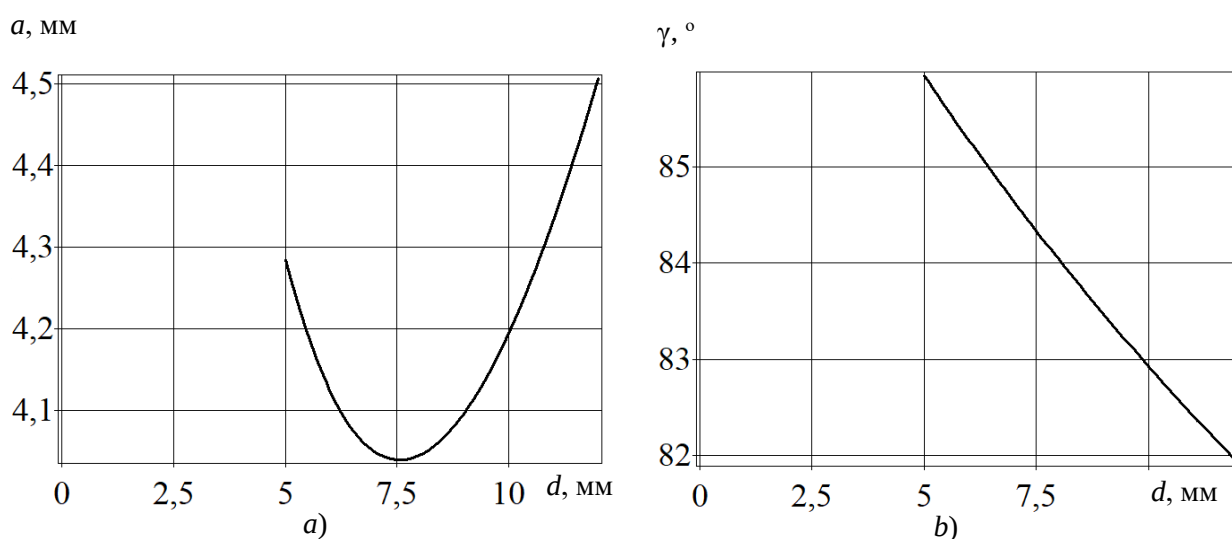


Рисунок 2.7—Зависимости от диаметра d прутка максимального зазора a между шаровым клубнем и прутком (*a*) и минимального угла γ наклона лопасти к ленте транспортера (*b*)

2.6. Время движения клубня через зазор между прутками и дифференциальные уравнения движения его центра

Рассмотрим начальное положение мелкого клубня или комка почвы в виде шара, при котором шар опирается на прутки элеватора и лопасть 3 (рисунок 2.6, а). Примем, что при падении через зазор из этого начального положения шар не сталкивается со следующей лопастью 4. Таким образом, лопасть не препятствует свободному проходу шаровых клубней примесей через зазор между прутками за время падения клубня на ленту транспортера интенсификатора, в частности, затраты энергии на прямой удар лопасти с шаром отсутствуют.

В момент падения клубня на ленту транспортера центр его O_2 находится на прямой 5, отстоящей от ленты на расстоянии R , равном радиусу клубня (рисунок 2.6, б). Уравнение прямой 5, параллельной ленте транспортера и отстоящей от нее на расстоянии R , в системе координат $O_1x_1y_1$ запишем так:

$$y_1 - x_1 \tan \alpha + (h + r - R) / \cos \alpha = 0.$$

Пусть в системе координат $O_1x_1y_1$ закон движения центра клубня в виде зависимостей его координат x_1, y_1 от времени найден. До соприкосновения клубня с лентой транспортера центр клубня движется выше прямой 5, и справедливо неравенство

$$y_1 - x_1 \tan \alpha + (h + r - R) / \cos \alpha > 0.$$

Момент времени, когда клубень соприкоснется с лентой транспортера, определяется из условия

$$y_1 - x_1 \tan \alpha + (h + r - R) / \cos \alpha \leq 0. \quad (2.19)$$

За время Δt падения клубня на ленту транспортера лопасть переместится относительно клубня вдоль ленты и полотна транспортера на расстояние l . Учитывая, что скорость лопасти относительно клубня вдоль рабочего полотна элеватора складывается из суммы величин скоростей точек лопасти и прутка элеватора относительно комбайна, запишем выражение для минимального шага l лопастей так:

$$l = (v_e + v_i) \Delta t. \quad (2.20)$$

Найдем время Δt падения клубня в виде шара радиусом R на транспортер интенсификатора из положения соприкосновения клубня с лопастью и прутком, являющегося наивысшим положением клубня относительно полотна элеватора (рисунок 2.6, а).

Выделим две фазы движения клубня в зазоре между прутками: 1) движения несвободного клубня при ограничениях, наложенных связью в виде прутка; 2) движение свободного клубня после освобождения от связи, то есть без контакта с прутком.

Введем дополнительно следующие обозначения (рисунок 2.8):

t – время, с;

x_1, y_1 – координаты центра масс O_2 клубня в системе координат $O_1x_1y_1$, м;

φ – полярный угол центра масс O_2 клубня в системе координат $O_1x_1y_1$ с отсчетом от оси O_1x_1 и возрастанием в направлении против хода стрелки часов, рад;

φ_0 – полярный угол в начальный момент, рад;

ψ – угол поворота клубня вокруг оси, проходящей через центр масс клубня параллельно прутку с отсчетом от оси, параллельной оси O_1x_1 , и возрастанием в направлении против хода стрелки часов, рад;

ψ_0 – угол поворота клубня в начальный момент, рад;

J – момент инерции клубня относительно оси, проходящей через центр масс клубня параллельно прутку, кг;

M – коэффициент трения скольжения клубня по резине прутка и лопасти;

m – масса клубня, кг;

N – величина нормальной составляющей реакции прутка на клубень, Н;

T – сила трения между клубнем и прутком, Н;

P – вес клубня, Н;

g – ускорение свободного падения клубня, м/с²;

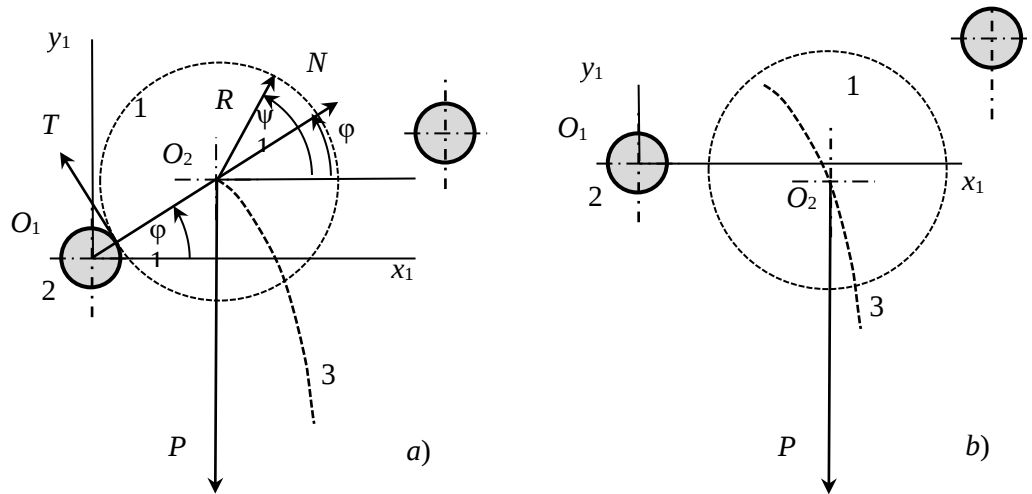


Рисунок 2.8 – Положение клубня в зазоре между прутками на первой фазе движения относительно прутка (а) и на второй фазе движения (b) с указанием действующих на клубень сил: 1 – клубень; 2 – пруток; 3 – траектория центра масс клубня

При составлении уравнений движения клубня относительно прутка на первой фазе необходимо рассматривать два случая: движение клубня без скольжения с прутком (перекатывание по прутку) и движение со скольжением относительно прутка.

Дифференциальные уравнения движения клубня на первой фазе в первом случае запишем как уравнения плоскопараллельного движения тела в инерциальной системе координат $O_1x_1y_1$ в таком виде [5]:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_1 = N \cos \varphi - T \sin \varphi \\ m\ddot{y}_1 = N \sin \varphi + T \cos \varphi - P \\ J\ddot{\varphi} = -TR. \end{cases} \quad (2.21)$$

Первый случай имеет место, когда выполняется условие $T < \mu N$. В этом случае к уравнениям (2.21) следует добавить два аналитических уравнения связи:

$$\begin{cases} x_1 = (R + r) \cos \varphi \\ y_1 = (R + r) \sin \varphi. \end{cases} \quad (2.22)$$

Пять уравнений (2.21), (2.22) имеют пять неизвестных функций от времени x_1 , y_1 , φ , N , T . Для их решения необходимо добавить начальные условия: в начальный момент клубень, вытолкнутый толкателем из зазора между прутками, покоится на элеваторе, то есть справедливы равенства

$$\varphi(t)|_{t=0} = \varphi_0; \dot{\varphi}|_{t=0} = 0; \dot{x}_1|_{t=0} = 0; \dot{y}_1|_{t=0} = 0, \quad (2.23)$$

где (рисунок 2.9)

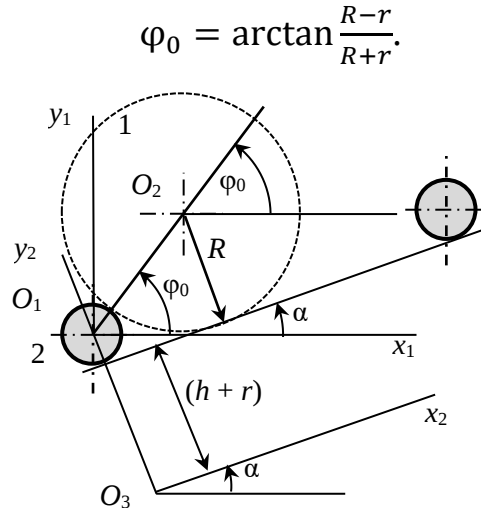


Рисунок 2.9–Начальное положение клубня в зазоре между прутками на первой фазе движения: 1 – клубень; 2 – пруток

Подставляя выражения (2.22) в уравнения (2.21) и исключая из трех полученных уравнений переменные N , T , приходем к одному дифференциальному уравнению:

$$[J + mR(R + r)]\ddot{\varphi} = -PR \cos \varphi$$

или при $J = 2mR^2/5$; $P = mg$

$$[7R/5 + r]\ddot{\varphi} = -g \cos \varphi. \quad (2.24)$$

Решение дифференциального уравнения (2.24) с начальными условиями (2.23) можно найти численными методами. При этом

$$N/m = g \sin \varphi - (R + r)\dot{\varphi}^2; T/m = g \cos \varphi / [7/2 + 5r/D]. \quad (2.25)$$

Решение (2.25) для реактивных сил справедливо в первом случае, когда выполняются неравенства $N/m > 0$; $T/m < \mu N/m$. Если в какой-то момент $N/m > 0$; $T/m \geq \mu N/m$, то необходимо рассматривать второй случай.

Во втором случае, когда клубень движется по прутку со скольжением, следует принять равенство

$$T = \mu N.$$

Дифференциальные уравнения движения клубня на первой фазе во втором случае запишем как уравнения плоскопараллельного движения тела в инерциальной системе координат $O_1x_1y_1$ в таком виде:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_1 = N \cos \varphi - \mu N \sin \varphi \\ m\ddot{y}_1 = N \sin \varphi + \mu N \cos \varphi - P \\ J\ddot{\psi} = -\mu NR. \end{cases} \quad (2.26)$$

К уравнениям (2.26) следует добавить аналитические уравнения связи(2.22).

Пять уравнений (2.26), (2.22) имеют пять неизвестных функций от времени x_1 , y_1 , φ , N , ψ . Для их решения необходимо добавить начальные условия: в начальный момент с отсчетом времени от 0 положение и скорость центра масс клубня следует принять как решение уравнений (2.21), (2.22) в момент начала скольжения, когда $N/m > 0, T < \mu N$.

Подставляя выражения (2.22) в уравнения (2.26), после исключения из трех полученных уравнений переменной N придем к следующим двум дифференциальным уравнениям:

$$\begin{cases} m(R+r)\ddot{\varphi} = -\mu m(R+r)\dot{\varphi}^2 - P(\cos \varphi - \mu \sin \varphi) \\ J\ddot{\psi} = -\mu [P \sin \varphi - m(R+r)\dot{\varphi}^2]R \end{cases}$$

или при $J = 2mR^2/5; P = mg$

$$\begin{cases} (R+r)\ddot{\varphi} = -\mu(R+r)\dot{\varphi}^2 - g(\cos \varphi - \mu \sin \varphi) \\ (2R/5)\ddot{\psi} = -\mu [g \sin \varphi - (R+r)\dot{\varphi}^2]. \end{cases} \quad (2.27)$$

Решение дифференциальных уравнений (2.27) можно найти численными методами. Начальные условия для переменной ψ совпадают с условиями для переменной φ в момент окончания движения на первой фазе без скольжения относительно прутка, то есть в первом случае. При этом

$$N/m = g \sin \varphi - (R+r)\dot{\varphi}^2. \quad (2.28)$$

Первая фаза движения заканчивается, когда на этой фазе выполняется неравенство $N/m < 0$. Если неравенство $N/m < 0$ имело место на первой фазе движения в первом случае, то второй случай рассматривать не надо, то есть первая фаза заканчивается в первом случае.

На второй фазе, начиная с нулевого момента времени, центр масс клубня движется как свободная материальная точка:

$$\begin{cases} x_1 = x_{10} + \dot{x}_{10}t \\ y_1 = y_{10} + \dot{y}_{10}t - gt^2/2, \end{cases} \quad (2.29)$$

где x_{10}, y_{10} и $\dot{x}_{10}, \dot{y}_{10}$ – координаты и проекции скорости центра масс клубня по осям O_1x_1 и O_1y_1 в момент окончания первой фазы движения, которые запишем в виде преобразованных формул (2.22), когда величины $\varphi, \dot{\varphi}$ принимают значения $\varphi_{10}, \dot{\varphi}_{10}$ и $\dot{\varphi}_{10}, \ddot{\varphi}_{10}$ соответственно

$$\begin{cases} x_{10} = (R + r) \cos \varphi_{10} \\ y_{10} = (R + r) \sin \varphi_{10} \\ \dot{x}_{10} = -(R + r) \dot{\varphi}_{10} \sin \varphi_{10} \\ \dot{y}_{10} = (R + r) \dot{\varphi}_{10} \cos \varphi_{10} \end{cases}$$

Вторая фаза движения клубня заканчивается в момент выполнения условия (2.19). Подставляя выражения (2.29) координат x_1, y_1 в равенство (2.19), запишем уравнение для определения времени t_3 движения клубня на второй фазе в таком виде:

$$a_1 t_3^2 + b_1 t_3 + c_1 = 0, \quad (2.30)$$

где

$$a_1 = g/2; b_1 = \dot{x}_{10} \tan \alpha - \dot{y}_{10}; c_1 = x_{10} \tan \alpha - y_{10} - (h + r - R)/\cos \alpha.$$

Для оценки шага l лопастей интенсификатора сепарации по формуле (2.20) удобно рассматривать движение центра масс клубня относительно лопасти и ленты транспортера интенсификатора. В жестко связанной с лопастью системе координат $O_3x_2y_2$ уравнения движения центра клубня на обеих фазах запишем так (рисунок, 2.4, b; рисунок 2.8):

$$\begin{cases} x_2 = x_1 \cos \alpha + y_1 \sin \alpha + (v_e + v_i)t \\ y_2 = -x_1 \sin \alpha + y_1 \cos \alpha + h + r, \end{cases}$$

где x_1, y_1 – координаты движущегося центра клубня в системе координат $O_1x_1y_1$.

Момент времени Δt , когда клубень в виде шара соприкоснется с лентой транспортера, определяется из условия

$$y_2 - R \leq 0.$$

При этом формула (2.20) примет такой вид:

$$l = x_2(\Delta t) - x_2(0).$$

2.7. Оценка энергии, необходимой для работы основного элеватора

Оценим баланс мощности сил, выполняющих работу транспортирования и сепарирования почвенного пласта на полотне элеватора.

Введем следующие дополнительные обозначения (рисунок 2.10):

$O\xi\eta$ – неподвижная прямоугольная декартова система координат с горизонтальной осью $O\xi$, направленной противоположно скорости движения центра инерции рамы комбайна, и вертикальной осью $O\eta$, направленной вверх;

h_0 – толщина пластана полотна элеватора на входе с лемеха, м;

P – мощность внешних сил, действующих на частицы пласта на полотне элеватора без учета внутренних сил, Вт.

Будем считать, что

1) комбайн движется с постоянной скоростью по плоской горизонтальной поверхности;

2) величина скорости частицы почвенного пласта на полотне элеватора относительно комбайна во время движения и в момент схода с полотна элеватора постоянна и равна скорости точки прутка рабочей ветви;

3) движение пласта почвы с клубнями на полотне элеватора при постоянной подаче с лемеха является установившимся, и масса клубненосного пласта на полотне элеватора постоянна;

Затраты энергии на транспортирование и сепарацию почвенного пласта на элеваторе и соответствующая мощность P распределяются на ходовую часть и привод элеватора.

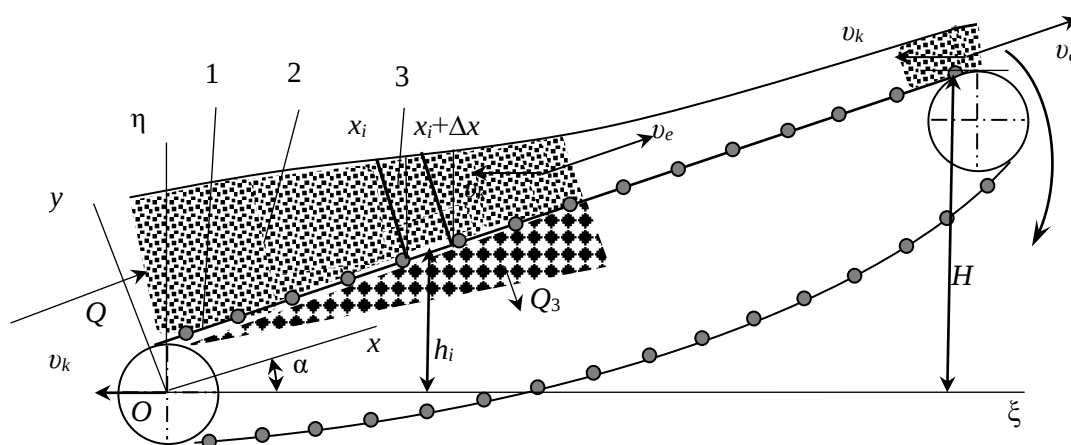


Рисунок 2.10 – К расчету мощности сил транспортирования и сепарации пласта на полотне элеватора: 1 – полотно элеватора; 2 – пласт почвы с клубнями; 3 – элемент пласта на участке полотна с координатами концов x_i и $(x_i + \Delta x)$ по оси $O\xi$

Пусть t – некоторый длительный промежуток времени установившегося движения комбайна с постоянной скоростью. За это время частицы подкопанного лемехом пласта массы M , поступившие на эlevator, приобретут некоторую скорость при сходе с элеватора и поднимутся на некоторую высоту. Очевидно,

$$M = M_1 + M_2,$$

где M_1 – масса частиц, поданных эlevatorом на следующий рабочий орган за время t ; M_2 – масса отсепарированных на элеваторе частиц за время t .

В соответствии с принятыми обозначениями

$$M_1 = [Q - Q_3(L)]t; M_2 = Q_3(L)t; M = Qt. \quad (2.31)$$

При сходе с полотна элеватора в системе координат Oxy , связанной с рамой комбайна, частицы пласта имеют скорость v_e . При этом в системе координат $O\xi\eta$ с осью $O\xi$ в горизонтальной плоскости, проходящей через нижнюю часть полотна, частицы не отсепарированной части пласта перед сходом с полотна поднимаются на высоту H элеватора, а частицы отсепарированной части пласта перед сходом с полотна поднимаются на высоту, зависящую от координаты x схода частицы с полотна.

Разделим пласт на полотне элеватора на n областей длиной Δx по оси Ox (рисунок 2.9). По определению,

$$\Delta x = L/n.$$

В системе координат Oxy координата x_i граничной точки области пласта с номером i вдоль оси Ox определяется так:

$$x_i = i\Delta x, \quad (2.32)$$

где i – целое число, $0 \leq i \leq n$.

Пусть ΔM_i – масса частиц пласта на участке полотна от x_{i-1} до x_i по оси Ox на высоте h_i подъема эlevatorом, отсепарированных на элеваторе за время t через зазоры. В соответствии с принятыми обозначениями

$$\Delta M_i = [Q_3(x_i) - Q_3(x_{i-1})]t,$$

где $1 \leq i \leq n$; $Q_3(0) = 0$.

Перепишем последнее выражение в виде формулы Лагранжа для конечных приращений с учетом равенства (2.32) так [101]:

$$\Delta M_i = \frac{dQ_3}{dx} \Delta x t, \quad (2.33)$$

где $\frac{dQ_3}{dx}$ — значение производной функции $Q_3(x)$ в точке на отрезке $[x_{i-1}, x_i]$.

По определению,

$$M_2 = \sum_{i=1}^n \Delta M_i.$$

Пусть A_1, A_2 — работа сил тяжести, действующих на частицы соответственно не отсепарированной и отсепарированной частей пласта за промежутки времени движения их на полотне элеватора; A_3 — работа внешних сил, действующих на частицы пласта со стороны привода элеватора и ходовой части за промежутки времени движения их на полотне элеватора; A_4 — работа внутренних сил, действующих на частицы пласта со стороны других частиц за промежутки времени движения их на полотне элеватора. По определению,

$$A_1 = -M_1 g H = -M_1 g L \sin \alpha;$$

$$A_2 \approx - \sum_{i=1}^n \Delta M_i g h_i$$

или с учетом равенств (2.31), (2.33) и выражения для h_i

$$A_1 = -[Q - Q_3(L)] g t L \sin \alpha; \quad (2.34)$$

$$A_2 \approx -g t \sum_{i=1}^n \frac{dQ_3}{dx} \Delta x x_i \sin \alpha.$$

Последнее выражение позволяет оценить работу A_2 сил тяжести тех частиц пласта, которые прошли в зазоры между прутками элеватора. Оно тем точнее, чем меньше длина (шаг) Δx области пласта по оси Ox . В соответствии с определением определенного интеграла последнее равенство является интегральной суммой и при существовании предела при бесконечном уменьшении шага может быть записано так:

$$A_2 = -g t \sin \alpha \int_0^L \frac{dQ_3}{dx} x dx$$

или после интегрирования по частям

$$A_2 = -gt \sin \alpha \left[LQ_3(L) - \int_0^L Q_3 dx \right]. \quad (2.35)$$

Если для определения коэффициентов k_1 , k_2 заданы величины p_1 , p_2 удельной массы пласта на единице площади элеваторе в середине и в конце, то в соответствии с формулой (2.6)

$$Q - Q_3(L) = p_2 v_e w. \quad (2.36)$$

Определяя $Q_3(x)$ из равенства (2.8), запишем выражение для интеграла так:

$$\int_0^L Q_3 dx = \int_0^L (Q - \rho h_e v_e w) dx = QL - v_e w \int_0^L \rho h_e dx.$$

Воспользовавшись правилом численного интегрирования Симпсона, найдем выражение для приближенной оценки полученного интеграла в следующем виде:

$$\int_0^L Q_3 dx \approx QL - v_e w \frac{L}{3} (\rho_0 h_0 + 4p_1 + p_2), \quad (2.37)$$

где h_0 – толщина пласта на входе на элеватор

$$h_0 = v_k h_k w_k / (v_e w). \quad (2.38)$$

Формула (2.34) с учетом равенства (2.36) приводится к такому виду:

$$A_1 = -p_2 v_e w g t L \sin \alpha. \quad (2.39)$$

Формула (2.35) с учетом приближенного равенства (2.37) записывается так:

$$A_2 \approx -gtL v_e w \sin \alpha \left[\frac{\rho_0 h_0 + 4p_1 - 2p_2}{3} \right]. \quad (2.40)$$

За время движения частицы пласта на полотне элеватора кинетическая и потенциальная энергии частицы изменяются. При этом скорость каждой частицы, отсепарированной и не отсепарированной частей пласта в момент схода с элеватора равны скорости точки прутка. В системе координат $O\xi\eta$ теорему об изменении кинетической энергии частиц пласта массой M запишем в таком виде:

$$\frac{M v_2^2}{2} - \frac{M v_1^2}{2} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4, \quad (2.41)$$

где v_1 – величина скорости частицы пласта в неподвижной системе координат при входе на полотно элеватора, v_2 – величина скорости частиц в неподвижной системе координат при сходе с полотна элеватора.

В соответствии с введенными предположениями

$$v_1 = 0; v_2^2 = (v_e \cos \alpha - v_k)^2 + v_e^2 \sin^2 \alpha; A_4 = 0. \quad (2.42)$$

Подставив в равенство (2.41) выражения (2.42) для скоростей точек и выражения (2.34), (2.35) для работы сил тяжести, а также учитывая формулы (2.30), перепишем его так:

$$A_3 = \frac{Qt[(v_e \cos \alpha - v_k)^2 + v_e^2 \sin^2 \alpha]}{2} + [Q - Q_3(L)]gL \sin \alpha + gL \sin \alpha \left[LQ_3(L) - \int_0^L Q_3 dx \right]$$

или после деления на множитель t

$$P = \frac{Q[(v_e \cos \alpha - v_k)^2 + v_e^2 \sin^2 \alpha]}{2} + [Q - Q_3(L)]gL \sin \alpha + gL \sin \alpha \left[LQ_3(L) - \int_0^L Q_3 dx \right]. \quad (2.43)$$

Формула для приближенной оценки мощности P , полученная после подстановки в равенство (2.43) выражений (2.36), (2.37), имеет такой вид:

$$P = \frac{Q[(v_e \cos \alpha - v_k)^2 + v_e^2 \sin^2 \alpha]}{2} + p_2 v_e w g L \sin \alpha + gL v_e w \sin \alpha \left[\frac{\rho_0 h_0 + 4p_1 - 2p_2}{3} \right]. \quad (2.44)$$

2.8. Оценка энергии, необходимой для работы основного элеватора с интенсификатором сепарации

Оценим баланс мощности сил, выполняющих работу транспортирования и сепарирования почвенного пласта на полотне элеватора с интенсификатором сепарации.

Введем дополнительные обозначения (рисунок 2.11):

P_i – мощность внешних сил, действующих на частицы пласта на элеваторе с интенсификатором без учета внутренних сил, Вт;

L_i – длина ленты рабочей ветви транспортера интенсификатора, м;

H_i – расстояние от точки схода частиц с ленты интенсификатора до поверхности поля (высота интенсификатора над поверхностью поля), м.

Будем считать, что принятые ранее допущения относительно движения пласта почвы на полотне элеватора выполняются и к ним добавляется допущение об установившемся движении отсепарированной части пласта на ленте транспортера интенсификатора сепарации.

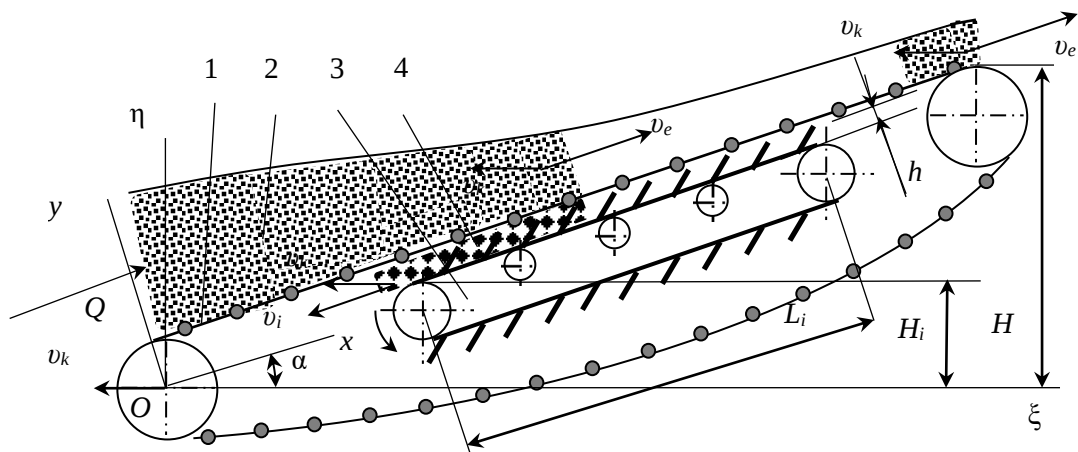


Рисунок 2.11 – К расчету мощности сил транспортирования и сепарации пласта на полотне элеватора с интенсификатором: 1 – полотно элеватора; 2 – пласт почвы с клубнями; 3 – интенсификатор; 4 – отделенная часть пласта на транспортере интенсификатора сепарации

Затраты энергии на транспортирование и сепарацию почвенного пласта на элеваторе с интенсификатором сепарации и соответствующая мощность P_i распределяются на ходовую часть, привод элеватора и привод интенсификатора.

Пусть t – некоторый длительный промежуток времени установившегося движения комбайна с постоянной скоростью. За это время частицы пласта массы M_3 , отсепарированного на элеваторе и поступившего на ленту интенсификатора сепарации, обретут скорость v_i при сходе с ленты на высоте H_i .

Примем, что масса M_3 равна доле массы M_2 , прямо пропорциональной отношению длин интенсификатора и элеватора, то есть справедливо такое равенство:

$$M_3 = M_2 L_i / L$$

или с учетом выражения (2.31) для M_2

$$M_3 = Q_3(L)tL_i/L \quad (2.45)$$

В системе координат $O\xi\eta$ теорему об изменении кинетической энергии частиц пласта массой M с учетом интенсификатора сепарации и аналогичных введенным ранее обозначениях работы сил запишем в таком виде:

$$\frac{M_3 v_3^2}{2} + \frac{(M-M_3)v_2^2}{2} - \frac{Mv_1^2}{2} = A_1 + A_{2e} + A_{2i} + A_3 + A_4, \quad (2.46)$$

где v_1 – величина скорости частицы пласта в неподвижной системе координат при входе на полотно элеватора; v_2 – величина скорости частиц в неподвижной системе координат при сходе с полотна элеватора; v_3 – величина скорости частиц в неподвижной системе координат при сходе с ленты транспортера интенсификатора сепарации; A_1 – работа сил тяжести, действующих на частицы соответственно отсепарированной и не отсепарированной частей пласта за промежутки времени движения их на полотне элеватора; A_{2e} , A_{2i} – работа сил тяжести, действующих на частицы отсепарированной части пласта, соответственно не захваченные и захваченные интенсификатором сепарации, за промежутки времени движения их соответственно на элеваторе и на ленте интенсификатора; A_3 – работа внешних сил, действующих на частицы пласта; A_4 – работа внутренних сил, действующих на частицы пласта со стороны других частиц за промежутки времени движения их на полотне элеватора и на ленте интенсификатора.

В соответствии с введенными предположениями

$$v_1 = 0; v_2^2 = (v_e \cos \alpha - v_k)^2 + v_e^2 \sin^2 \alpha; v_3^2 = (v_i \cos \alpha + v_k)^2 + v_i^2 \sin^2 \alpha; \quad (2.47)$$

$$A_{2e} = A_2(M_2 - M_3)/M_2$$

или с учетом равенств (2.31), (2.35), (2.45),

$$A_{2e} = -gt \sin \alpha \left[LQ_3(L) - \int_0^L Q_3 dx \right] (L - L_i)/L. \quad (2.48)$$

Частицы пласта массы M_3 , сходят с ленты на высоте H_i над уровнем поля. Следовательно,

$$A_{2i} = -M_3 g H_i$$

или после подстановки выражения (2.45) для M_3 с учетом выражения (2.31) для M_2

$$A_{2i} = -Q_3(L)gtH_iL_i/L \quad (2.49)$$

В соответствии с принятыми допущениями работой A_4 внутренних сил пренебрегаем. Подставив в равенство (2.46) выражение (2.45) массы M_3 частиц,

сошедших с ленты интенсификатора сепарации, а также выражения (2.39), (2.48), (2.49) работы A_1 , A_{2e} , A_{2i} соответственно, перепишем его так:

$$A_3 = \frac{Q_3(L)tL_i v_3^2}{2L} + \frac{[Q - Q_3(L)L_i/L]tv_2^2}{2} + [Q - Q_3(L)]gHt + \frac{gt \sin \alpha \left[LQ_3(L) - \int_0^L Q_3 dx \right] (L - L_i)}{L} + \frac{Q_3(L)tgH_i L_i}{L}$$

или после деления на множитель t

$$P_i = P_{i1} + P_{i2}, \quad (2.50)$$

где

$$P_{i1} = \frac{Q_3(L)L_i v_3^2}{2L} + \frac{[Q - Q_3(L)L_i/L]v_2^2}{2};$$

$$P_{i2} = [Q - Q_3(L)]gH + \frac{g \sin \alpha \left[LQ_3(L) - \int_0^L Q_3 dx \right] (L - L_i)}{L} + \frac{Q_3(L)gH_i L_i}{L}.$$

Формула для приближенной оценки мощности P_i , полученная после подстановки в равенство (2.50) выражений (2.36), (2.37), имеет такой вид:

$$P_i = P_{i1} + P_{i2} + P_{i3}, \quad (2.51)$$

где

$$P_{i1} = \frac{(Q - p_2 v_e w)L_i v_3^2}{2L} + \frac{[QL - (Q - p_2 v_e w)L_i]v_2^2}{2L};$$

$$P_{i2} = p_2 v_e w g L \sin \alpha;$$

$$P_{i3} = \frac{gp_2 v_e w L \sin \alpha (\rho_0 h_0 + 4p_1 - 2p_2)(L - L_i)}{3L} + \frac{(Q - p_2 v_e w)gH_i L_i}{L}.$$

2.9. Обоснование скорости точки лопасти интенсификатора сепарации

Введем дополнительные обозначения:

m_1 — доля примесей в пласте на элеваторе в середине полотна с учетом чистоты клубней;

m_2 — доля примесей в пласте на элеваторе в конце полотна на выходе материала с учетом чистоты клубней.

Рассмотрим интенсификатор длины L_i , расположенный под верхней частью основного элеватора (рисунок 2.4). В этом случае можно с некоторой погрешностью считать справедливым следующее равенство (рисунок 2.11):

$$H_i = H - L_i \sin \alpha. \quad (2.52)$$

В соответствии с определением функции $Q_3(x)$ и формулой (2.5) подача Q_i примесей с ленты транспортеры равна подаче примесей с верхней части полотна элеватора длиной L_i над лентой транспортера, то есть справедливо равенство:

$$Q_i = Q_3(L) - Q_3(L - L_i). \quad (2.53)$$

Во избежание заторов и уплотнений примесей пласта при их подаче на ленту транспортера интенсификатора с элеватора положим, что плотность примесей на ленте транспортера не может превышать плотности пласта, подрезаемого лемехом, то есть справедливо неравенство

$$Q_i/(v_i w h) \leq \rho_0.$$

Отсюда с учетом равенства (2.53)

$$v_i \geq [Q_3(L) - Q_3(L - L_i)]/(\rho_0 w h).$$

Пусть длина L_i интенсификатора не превышает половины длины L элеватора. Тогда в соответствии с определением величин p_1, p_2 и формулой (2.36) последнее неравенство примет такой вид:

$$v_i \geq v_{min}. \quad (2.54)$$

где

$$v_{min} = (p_1 - p_2)v_e/(\rho_0 h). \quad (2.55)$$

Найдем оценки удельные массы p_1, p_2 пласта на элеваторе в середине и в конце полотна. По определению,

$$(Q - Q_0)m_1 = p_1 v_e w; (Q - Q_0)m_2 = p_2 v_e w. \quad (2.56)$$

Так как

$$Q = \rho_0 h_k v_k w_k; Q_0 = u v_k w_k,$$

то равенства (2.56) запишем в таком виде:

$$p_1 = (\rho_0 h_k - u)v_k w_k m_1/(v_e w); p_2 = (\rho_0 h_k - u)v_k w_k m_2/(v_e w). \quad (2.57)$$

Учитывая формулы (2.57) для p_1, p_2 , перепишем равенство (2.55) так:

$$v_{min} = (\rho_0 h_k - u)v_k w_k (m_1 - m_2)/(\rho_0 h w). \quad (2.58)$$

Отметим, что доля m_2 примесей в пласте на элеваторе при сходе пласта с полотна связана с полнотой сепарации следующей линейной зависимостью:

$$m_2 = (100 - E)/100,$$

где E – полнота сепарации, %.

Формулы (2.57) будем использовать в расчетах мощности внешних сил, действующих на пласт, приводимый в движение на элеваторе.

2.10. Алгоритм расчета шага лопастей и оценки мощности

1. Задаем исходные данные (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Исходные данные¹ [76, 87]

d , мм	s , мм	D , мм	L , мм	L_i , мм	w_k , мм	w , мм	h_k , мм	α , °
11	30,3	85	1850	925	1400	1184	180	22
v_k , м/с	v_e , м/с	v_i , м/с	u , кг/м ²	m_1	m_2	ρ_0 , кг/м ³	μ	
0,8	1,5	1,4	2,2	0,4	0,15	1200	0,6	

1. Расчет R , r , H по следующим формулам:

$$R = D/2; r = d/2; H = L \sin \alpha; L_i = L/2.$$

2. Проверка условия (2.12) при максимальном диаметре клубня 100 мм.

3. Расчет Q по формуле (2.9).

4. Расчет p_1 , p_2 по формулам (2.57).

5. Решение системы нелинейных уравнений (2.10) и определение коэффициентов k_1 , k_2 .

6. Расчет минимального расстояния $h_{от}$ прутка до ленты транспортера интенсификатора сепарации по формуле (2.17).

7. Расчет минимальной скорости точки лопасти интенсификатора по формуле (2.56) и проверка выполнения неравенства (2.54).

8. Решение дифференциального уравнения (2.24) численным методом Рунге-Кутты, включая расчеты N/m и T/m по формулам (2.25) на каждом шаге, с начальными условиями (2.23), и определение момента времени t_1 качения клубня диаметром меньше зазора между прутками, когда $N/m > 0$ и $T/m < \mu N/m$.

9. Решение дифференциальных уравнений (2.27) численным методом Рунге-Кутты, включая расчет N/m по формуле (2.28) на каждом шаге, с начальными условиями, полученными по окончании выполнения предыдущего шага 8 алгоритма, и определение момента времени t_2 , когда $N/m \leq 0$. Если в

¹ В расчетах длина измеряется в метрах

предыдущем пункте на некотором шаге выполняется неравенство $N/m \leq 0$, то данный пункт алгоритма не выполняется и принимается $t_2 = 0$.

10. Расчет длительности времени t_3 движения клубня на второй фазе из уравнения (2.30).

11. Расчет времени Δt движения клубня на двух фазах при падении на ленту транспортера интенсификатора через зазор между прутками элеватора по формуле $\Delta t = t_1 + t_2 + t_3$.

12. Расчет минимального расстояния l между лопастями по формуле (2.20).

13. Расчет H_i по формуле (2.52).

14. Расчет мощности P внешних сил, действующих на частицы пласта на полотне элеватора, по формуле (2.43).

15. Расчет h_0 по формуле (2.38).

16. Приближенная оценка мощности P по формуле (2.44).

17. Расчет квадратов скорости точки v_1^2, v_2^2, v_3^2 по формулам (2.47).

18. Расчет мощности P_i внешних сил, действующих на частицы пласта на элеваторе с интенсификатором, по формуле (2.50).

19. Приближенная оценка мощности P_i по формуле (2.51).

2.11. Расчет минимальной скорости точки лопасти интенсификатора

Анализ формулы (2.58) показывает, что минимальная скорость лопасти относительно лемеха, обеспечивающая необходимую пропускную способность интенсификатора, не зависит от скорости прутка элеватора относительно лемеха и практически не зависит от плотности пласта перед лемехом. При заданной ширине захвата и ширине лемеха определять эту скорость необходимо при максимальной средней глубине подкопа пласта лемехом.

Расчет минимальной скорости лопасти по формуле (2.58) показал, что при скорости комбайна 0,8 м/с, она увеличивается от 0,8 м/с до 1,4 м/с при уменьшении расстояния от ленты транспортера интенсификатора до прутка элеватора с 50 мм до 30 мм (рисунок 2.12).

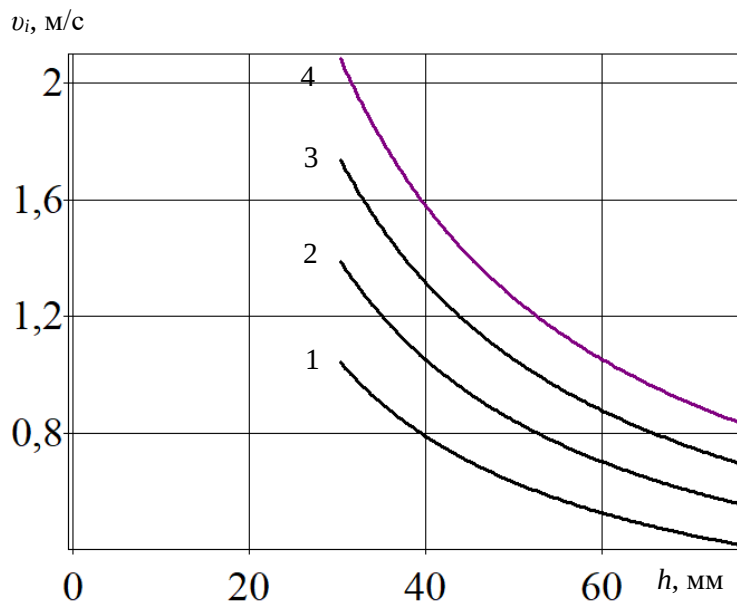


Рисунок 2.12 – Зависимости минимальной скорости v_i точки лопасти интенсификатора от расстояния h между прутком и лентой транспортера при скорости комбайна 0,6 м/с (1), 0,8 м/с (2), 1 м/с (3), 0,6 м/с (4)

В соответствии с формулой (2.58) скорость лопасти целесообразно регулировать, увеличивая прямо пропорционально увеличению скорости лемеха.

2.12. Расчет шага лопастей

Расчет координат центра шарового мелкого клубня или комка почвы при его движении через зазор между прутками элеватора на первой фазе по дифференциальным уравнениям (2.24) и (2.27) и на второй фазе по уравнениям (2.30) позволяет моделировать движение точки на компьютере и анализировать траектории ее движения. Анализ уравнений движения позволяет сделать вывод, что время падения шара на ленту транспортера из начального положения, при котором шар опирается на пруток и лопасть, при заданном расстоянии от ленты до прутка элеватора и заданном коэффициенте трения скольжения комка с прутком не зависит от скоростей точек лопасти и прутка и зависит только от диаметра шара. Следовательно, в соответствии с формулой (2.20) шаг l лопастей увеличивается прямо пропорционально увеличению скорости точки лопасти в движении относительно прутка. Поэтому при расчете минимального шага

лопасти скорость ее точки относительно прутка следует назначать максимальной из расчетных значений при разных условиях эксплуатации.

Минимальный шаг l лопастей равен разности абсцисс x_2 конечных точек траектории центра комка при движении его относительно лопасти (рисунок 2.13, а).

Анализ решения дифференциальных уравнений движения шара относительно прутка показал, что при диаметре шара 25 мм и 30 мм имеют место оба случая движения на первой фазе: сначала шар перекачивается по прутку, затем скользит по нему с замедленным вращением и после схода с прутка на второй фазе движется как свободное тело (рисунок 2.13, б).

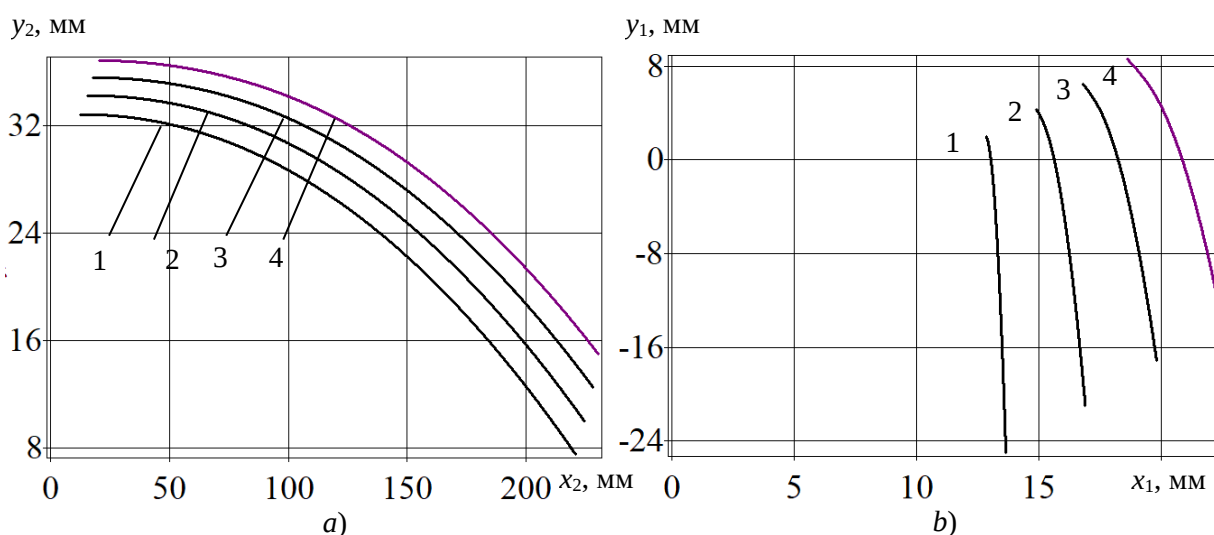


Рисунок 2.13 – Траектории движения центра шара разного диаметра D через зазор между прутками элеватора и зависимости его координаты y_2 от x_2 при движении относительно лопасти (а) и координаты y_1 от x_1 при движении относительно прутка(б): 1 – $D=15$ мм; 2 – $D=20$ мм; 3 – $D=25$ мм; 4 – $D=30$ мм

Расчеты показали, что при заданных параметрах и условиях, в частности, при выполнении условия (2.54) шаг лопастей, равный 210 мм, обеспечивает падение шарового комка с прутка и лопасти на ленту транспортера без удара со следующей лопастью (рисунок 2.14).

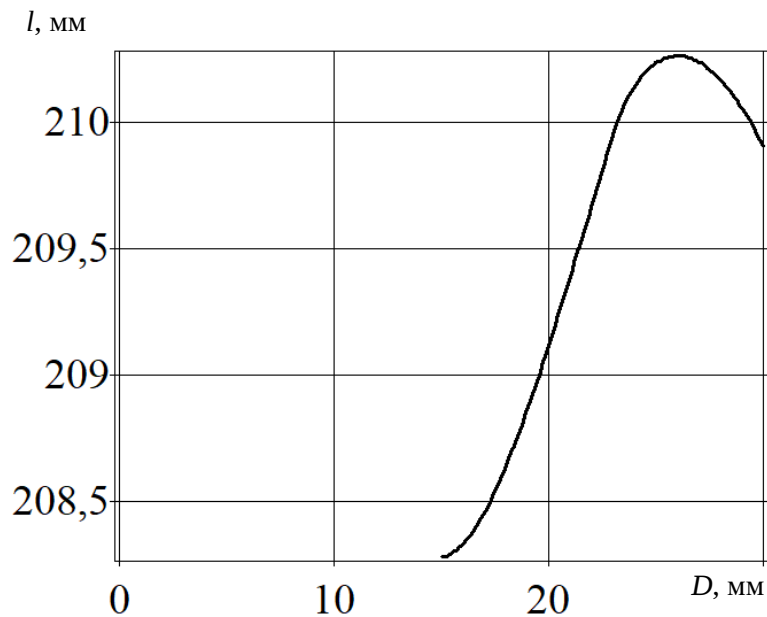


Рисунок 2.14 – Расчетная зависимость минимального шага l лопастей от диаметра D шара при скорости лопасти относительно прутка 2,9 м/с

Как можно видеть на графике, представленном на рисунке 2.14, зависимости шага от диаметра шара, изменение диаметра от 15 мм до 30 мм приводит к увеличению шага на 2 мм, что составляет 1%. Таким образом, при заданном расстоянии ленты транспортера от прутка, равном 30 мм, шаг лопастей с точностью 1% определяется скоростью лопасти в движении относительно прутка.

2.13. Оценка мощности внешних сил

Работа и мощность внешних сил оценивалась по изменению потенциальной и кинетической энергии частиц пласта на элеваторе и ленте транспортера интенсификатора без учета работы внешних и внутренних сил трения. Использование интенсификатора позволяет «использовать» потенциальную энергию частиц примесей, отделившихся через зазоры между прутками элеватора. Поэтому при увеличении полноты сепарации и снижения доли примесей в конце полотна элеватора работа и мощность указанных выше сил может снижаться, поскольку часть примесей, на подъем которых по элеватору затрачивалась энергия, отсеиваются через зазоры между прутками на низкой высоте и, кроме того, опускаясь на ленте транспортера, возвращают часть затраченной на их подъем энергии, передавая ее приводу интенсификатора.

Расчеты мощности внешних сил, выполненные по формулам (2.44), (2.51) показали, что снижение доли примесей на выходе с 15% до 14% за счет интенсификатора сепарации не приводит к увеличению мощности (рисунок 2.15, *a,b*).

С увеличением скорости прутка элеватора от 1 м/с до 1,8 м/с при подаче на лемех и элеватор 242 кг/с и полноте сепарации 85% мощность действующих на пласт на элеваторе внешних сил без учета внешнего и внутреннего трения увеличивается примерно на 8% или с 1,52 кВт до 1,64 кВт (рисунок 2.15, *a*). При постоянной высоте элеватора 693 мм уменьшение угла наклона полотна элеватора к горизонту от 22° до 19° с соответственным увеличением длины полотна элеватора, не влияет существенно на мощность внешних сил.

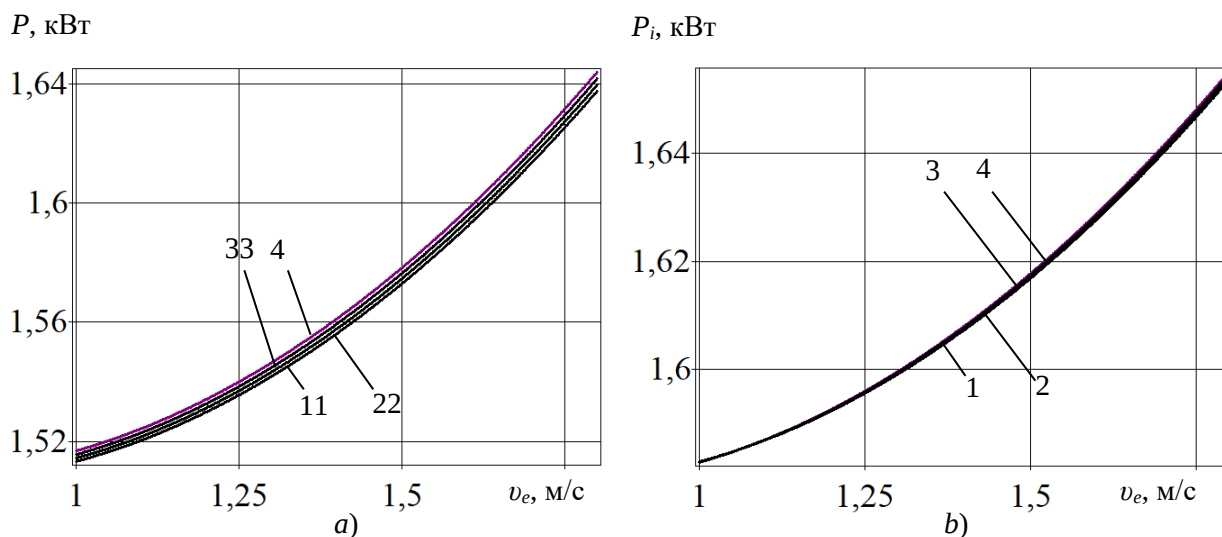


Рисунок 2.15 – Зависимости от скорости v_e прутка мощности внешних сил, действующих на пласт на элеваторе (*a*) и на пласт на элеваторе и транспортере интенсификатора (*b*) при разном угле α наклона элеватора и постоянной высоте элеватора и интенсификатора: 1 – $\alpha = 19^\circ$; 2 – $\alpha = 20^\circ$; 3 – $\alpha = 21^\circ$; 4 – $\alpha = 22^\circ$

Применение интенсификатора сепарации при снижении доли примесей с 0,15 до 0,14 приводит к незначительному, не превышающему 4%, увеличению мощности действующих на пласт внешних сил без учета сил трения.

Выводы по главе 2

1. Во избежание скатывания аппроксимируемого шаром клубня или комка вниз на элеваторе с зазором 30 мм между прутками диаметром 11 мм угол наклона полотна рабочей ветви элеватора к горизонту не должен превышать 22° .

2. Во избежание трения с прутками клубней и примесей, прошедших через зазоры между прутками, расстояние между лентой транспортера интенсификатора и прутками должно превышать зазор между прутками. При зазоре 30 мм это расстояние не должно быть меньше 30 мм.

3. Во избежание заклинивания клубней между лопастью интенсификатора и прутком диаметром 11 мм угол наклона лопасти интенсификатора к плоскости ленты транспортера при расстоянии между прутками 30 мм необходимо устанавливать равным 82° и больше.

4. Минимальная скорость лопасти относительно лемеха, обеспечивающая необходимую пропускную способность интенсификатора, не зависит от скорости прутка элеватора относительно лемеха и практически не зависит от плотности пласта перед лемехом. При скорости комбайна 0,8 м/с, она увеличивается от 0,8 м/с до 1,4 м/с при уменьшении расстояния от ленты транспортера интенсификатора до прутка элеватора с 50 мм до 30 мм.

5. Минимальный шаг лопастей, обеспечивающий безударное с лопастью падение клубня или комка в виде шара через зазор между прутками, зависит от скорости лопасти относительно прутка. При скорости лопасти 1,4 м/с и скорости прутка 1,5 м/с относительно лемеха минимальный шаг равен 210 мм.

6. С увеличением скорости прутка элеватора от 1 м/с до 1,8 м/с при подаче на лемех и элеватор 242 кг/с и полноте сепарации 85% мощность действующих на пласт на элеваторе внешних сил без учета внешнего и внутреннего трения увеличивается примерно на 8% или с 1,52 кВт до 1,64 кВт.

7. Применение интенсификатора сепарации при снижении доли примесей с 0,15 до 0,14 приводит к незначительному, не превышающему 4%, увеличению мощности действующих на пласт внешних сил без учета сил трения.

Глава 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНТЕНСИФИКАТОРА СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА НА ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ПОЧВАХ

3.1. Программа экспериментальных исследований

Современный уровень механизации и возделывания и уборки картофеля в сложных почвенно-климатических условиях недостаточен позволяющих повысить полноты сепарации, производительность, снизить потери и повреждения клубней. Имеющиеся сепарирующие элеваторы современных картофелеуборочных комбайнов не способны эффективно работать на переувлажненных почвах.

Теоретические исследования позволили установить, что использование модернизированного сепарирующего элеватора с интенсификатором выполненным в виде транспортера с лопастями для очищения просвета между прутками способствует увеличению его сепарирующей способности на переувлажненных почвах [117].

На основе совместной работы с «Фермерское хозяйство «Радуга» Быкова В.Д.», из Курской области Курского района п. Камыши был модернизирован картофелеуборочный комбайн КПК-2-01.

Сепарирующий элеватор с лопастными транспортерами, имеет конструктивно-технологические различия с имеющимися рабочими органами сепарирующего элеватора. Транспортер установлен под рабочей ветвью основного элеватора и вращается на встречу основного элеватора (рисунок 3.1).

Экспериментальные исследования проходили в «Фермерское хозяйство «Радуга» Быкова В.Д.», Курская область, Курский район, п. Камыши.

Программа экспериментальных исследований включала следующие основные направления:

- экспериментально исследовать влияние интенсификатора на сепарирующую способность картофелеуборочного комбайна КПК-2-01, а также сравнения этих показателей с серийными комбайнами;

- снижение повреждений клубней и потери урожая;
- определения технико-экономическую и агротехническую оценку эффективности модернизированного картофелеуборочного комбайна с интенсификатором сепарации почвы.

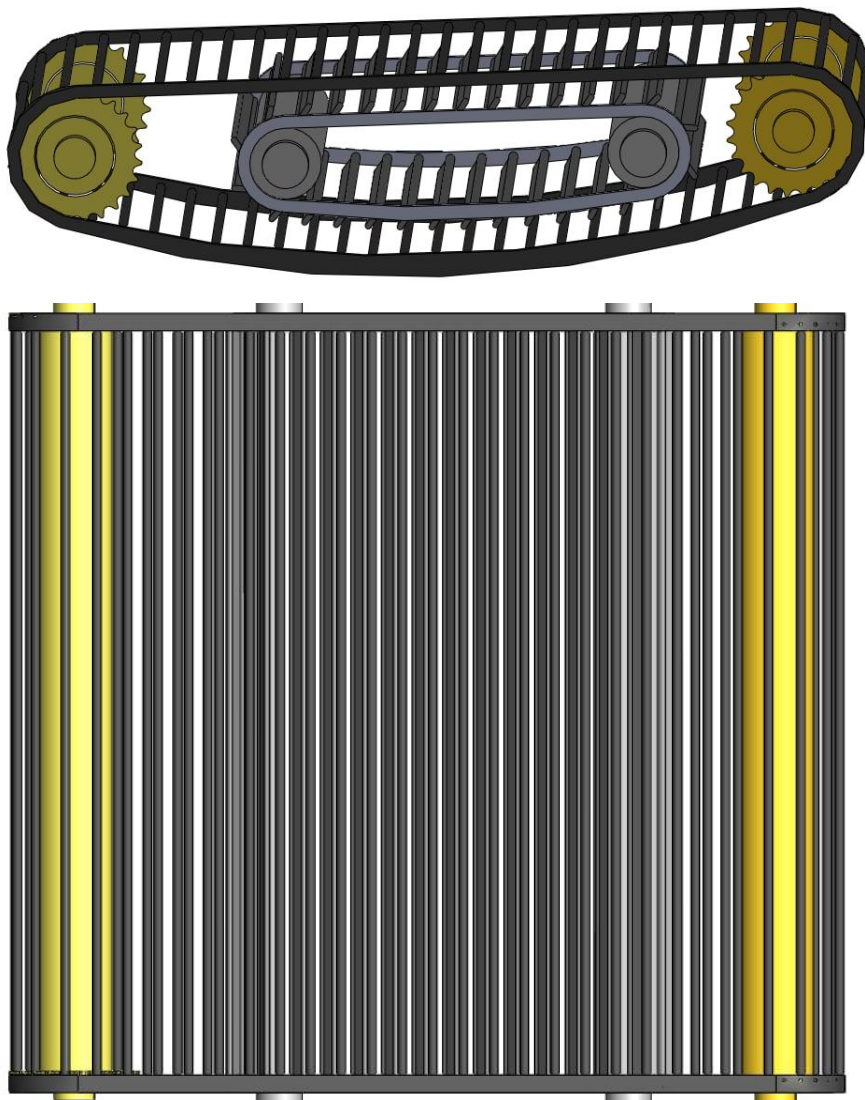


Рисунок 3.1 – Конструктивная схема элеватора модернизированного комбайна

Все работы, предусмотренные программой, выполняются в порядке творческого содружества Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Российский государственный аграрный заочный университет» и в «Фермерское хозяйство «Радуга» Быкова В.Д.», Курская область, Курский район, п. Камыши с участием аспиранта.

Объектом исследований являются воздействие прижимного транспортера сепарирующего элеватора на процесс сепарации почвы в картофелеуборочных комбайнах.

3.2. Методика полевых исследований

Исследования по данной теме проводятся методом сравнительных полевых испытаний. В основу методики проведения полевых исследований машин положены ГОСТ 28713-2018 «Машины для уборки картофеля». Исследование взаимодействия копирующего катка с почвой проводили согласно ГОСТ 24055-2016 «Методы эксплуатационно-технологической оценки» [31] и другим нормативным документам. Модернизированный картофелеуборочный комбайн КПК-2-01 экспериментально испытывалось в хозяйственных условиях при влажности почвы 26,3%. Результаты экспериментальных данных подтверждают достоверности параметров, полученных по теоретическим исследованиям. Расхождение между ними не превышает 5%.

Тип и механический состав почвы, сорт и агротехника возделывания картофеля записывается по данным фермерского хозяйства.

Размерно-весовая характеристика клубней и ботвы, состояние ботвы, глубина залегания и биологическая урожайность клубней определяются по 50-ти кустом, расположенным по диагонали участка.

Биологическая урожайность клубней и ботвы определяется на основании данных, полученных от взвешиваний клубней и ботвы с отдельных кустов по следующей формуле

$$C = \frac{100p}{ab} \quad \text{ц/га,} \quad (3.1)$$

где – урожайность клубней или ботвы в центнерах с 1 га,

p – средний вес клубней или ботвы от одного гнезда или куста в кг,

a – средняя величина междурядий в м,

b – в рядах в м средняя величина расстояний между кустами.

Для определения размерно-массовой характеристики клубней, выкопанные с каждой учетной площадки клубни перемешивают и отбирают среднюю пробу в количестве 200 шт., у каждого клубня измеряют длину,

ширину, толщину и массу. Погрешность измерений - ± 1 мм, погрешность взвешивания - ± 1 г. По массе клубни распределяют на фракции в соответствии с ТЗ или ТУ.

По результату вычисляются среднее арифметическое значение клубней.

Коэффициент формы клубня K_{ϕ} вычисляют по формуле

$$K_{\phi} = \frac{I_k^2}{b_k c_k}, \quad (3.2)$$

где I_k – средняя длина клубня, мм;

b_k – средняя ширина клубня, мм;

c_k – средняя толщина клубня, мм.

Урожайность клубней определяют по массе клубней, отобранных в тару, при отборе проб на качество работы комбайна в соответствии с учетом потерь.

Сравнительные испытания модернизированного и серийного копателя КПК-2-01 проводились в период уборки картофеля в октябре 2022 года.

При проведении исследований определялись:

- повреждения клубней;
- потери клубней;
- полнота сепарации почвенных примесей.

Определение полноты сепарации почвенно-клубненоносной массы на элеваторе с интенсификатором является одним из основных этапов в методике полевых испытаний. Для установления данного показателя к каркасу картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 была смонтирована дополнительная конструкция.

При движении модернизированного комбайна КПК-2-01 на учетной отметке агрегат проходил ее на рабочей скорости, концы пленки фиксировались. В результате чего, после возобновления работы комбайна происходило разматывание пленки по почве. Сходящий на пленку с элеватора картофелеуборочного комбайна клубненоносный пласт был проанализирован.

Анализ клубненосного вороха на учетной деланке позволил определить качественные показатели работы комбайна, а анализ отсепарированной почвы

под пленкой позволил определить потери клубней, и рассчитать по формуле присыпанные почвой клубни:

$$П_{\text{кл}} = \frac{m_{\text{кл}}^1}{m_{\text{кл}}^1 + m_{\text{кл}}^1}$$

Для подтверждения методики расчета рациональных параметров и режимов работы проводили полнофакторный эксперимент типа 2^n (где n – число факторов).

«Цель этой работы –получить математическую модель влияния, установленного прорезиненными лопастями транспортера внутри основного элеватора, которое предотвращает залипание между просветами на переувлажненных почвах на эффективность сепарации почвы при уборке картофеля с учетом снижения повреждаемости клубня.

3.3. Методика определения влажности почвы

Для качественного проведения обработки почвы одним из важнейших показателей почвы, влияющим на проведение такой операции является, влажность. Как правило, она определяется по известным нам методикам, при этом определяется потеря влаги при высушивании почвы в термошкафе. В соответствии с положениями в ГОСТ 28168-89 проведен отбор проб, упаковка и транспортировка, а также выбор аппаратуры и материалов.

Как правило, для определения влажности почвы использовалось сертифицированное оборудование, к числу которого относятся алюминиевые бюксы, бур, сушильный шкаф ШС-80-01/200СПУ, электронные весы ВЛТ-150, при этом в качестве контрольного прибора применяли электровлагомер «Днестр-1». Все перечисленные приборы представлены на рисунке 3.2.

Влажность почвы измерялась с использованием метода горячей сушки. По данному методу почвенные пробы помещали в специальные алюминиевые бюксы, предварительно пронумерованные и высушенные, закрывали их крышкой и выдерживали в сушильном шкафу при температуре 105 °С шесть часов. Взвешивание производилось до и после сушки на выбранных весах.



a – сушильный шкаф *б* – электровлагомер



в– электронные весы

Рисунок 3.2 – Оборудование для измерения влажности почвы:

a – сушильный шкаф ШС -80-01/200СПУ; *б*-электровлагомер «Днестр-1»;

в – электронные весы ВЛТ-150

По результатам полученных данных влажность рассчитывали формулой

$$w = \frac{m_{\text{в}} - m_{\text{с}}}{m_{\text{с}}} \cdot 100\%,$$

где $m_{\text{в}}$ – масса взятой пробы почвы до сушки; $m_{\text{с}}$ – масса этой же пробы почвы после сушки, кг.

В процессе проведения экспериментальных исследований влажность почвы поддерживали в пределах 17...27%.

Результаты полученных данных заносились в специально заведенный журнал регистрации наблюдений, после эти данные анализировались и статистически обрабатывались.

3.4 Планы проведения экспериментов и уровни варьирования исследуемых факторов на качество работы сепарирующего элеватора

Оценка работы картофелеуборочных машин показывает, что сепарация почвы на переувлажненных почвах предоставляет определенные трудности, которые приводят к уменьшению полноты сепарации, а также увеличению повреждаемости клубней [8, 104]. Для улучшения данных параметров предложен интенсификатор 1, который расположен под рабочие ветви сепарирующего элеватора 2.

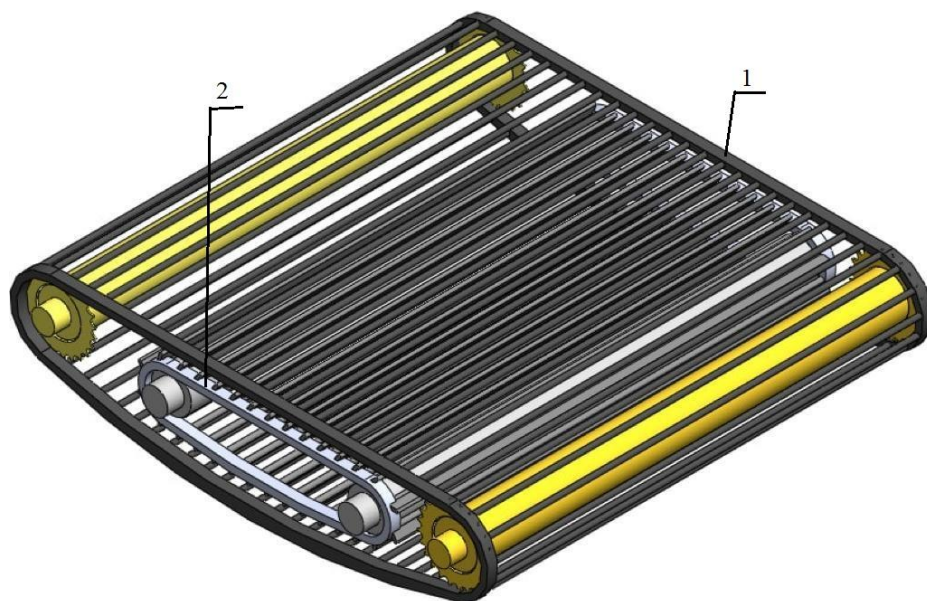


Рисунок 3.3 – Сепарирующий элеватор картофелеуборочной машины

1 – сепарирующий элеватор, 2 – интенсификатор с лопастями

С целью изучения влияния важнейших факторов, определяющих полноту сепарации почвы при уборке картофеля, с применением интенсификатора был разработан план проведения полнофакторного эксперимента [25]. Суть исследований заключалось в решении компромиссной задачи – варьируя

значениями наиболее значимых факторов: расстояния от ленты транспортера интенсификатора до прутка $r(x_1)$, угла наклона лопасти к плоскости ленты $\alpha(x_2)$ и шага установки лопастей $m(x_3)$, влияющие на полноту сепарации при уборке картофеля. Интервал варьирования расстояния от ленты транспортера интенсификатора до прутка (x_1), угол установки лопасти к плоскости ленты (x_2) и шаг установки лопастей (x_3) определялись конструктивными особенностями основного элеватора картофелеуборочного комбайна. В зависимости от условий проведения каждого опыта меняли верхний и нижний уровень факторов. Во всех случаях влажность почвы составляло в среднем 26,3%.

В таблице 3.1 представлены уровни и интервалы варьирования факторов

Таблица 3.1 – Факторы и интервалы их варьирования

	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Наименование фактора
$x_1(r)$:	0,025	0,030	0,035	0,005	Расстояние от ленты транспортера до прутка, (м)
$x_2(\alpha)$:	77	82	87	5	Угол наклона лопасти (градус)
$x_3(m)$:	0,17	0,21	0,25	0,04	Шаг установки лопастей, (м)

При проведении исследования процесса сепарации почвенно-клубненосной массы в качестве критерия оптимизации (функции отклика) рассматривалась минимизация повреждения клубней, которая определялась согласно ГОСТ 28713-2018² и выражалась в процентах.

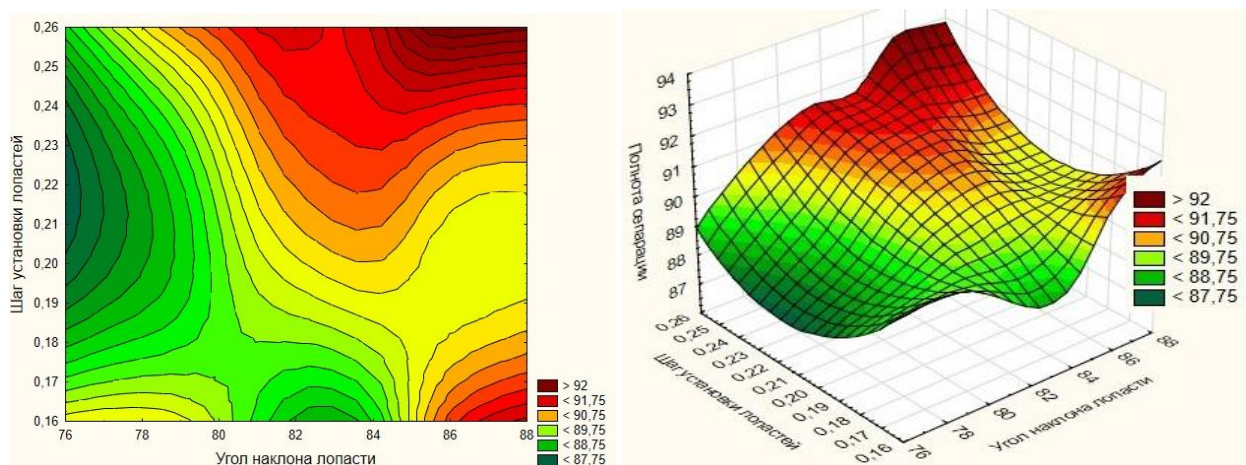
По полученным данным полнофакторного эксперимента составлено уравнение регрессии (3.3) для определения рациональных параметров, обеспечивающих эффективное значение сепарации (Y) при уборке картофеля:

$$Y = 90,875 - 0,115 \cdot x_1 + 0,682 \cdot x_2 - 0,31 \cdot x_3 + 1,564 \cdot x_1^2 - 1,747 \cdot x_2^2 - 0,901 \cdot x_3^2 - 1,059 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,054 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,491 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3.3)$$

По критерию Фишера уравнение регрессии является адекватным и применима для решения производственных задач. Определим значения факторов, обеспечивающих эффективное значение сепарации.

² ГОСТ 28713-2018. Машины для уборки картофеля. Методы испытаний.

Примем в качестве постоянного фактора $x_1=0$ ($r=0,03$), тогда уравнение регрессии (3.3) с учетом постоянного фактора запишется в виде:



$$Y=90,875+0,682 \cdot x_2-0,31 \cdot x_3-1,747 \cdot x_2^2-0,901 \cdot x_3^2+0,491 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3.4)$$

Рисунок 3.4 – Зависимость полноты сепарации от угла наклона лопасти и от шага установки лопастей при расстоянии от ленты транспортера до прутка $r=0,03$ м

Из анализа графиков отклика (рисунок 3.4) видно, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Полнота сепарации составляет $Y_{opt}=90,96\%$ и достигается при значениях факторов: угле наклона лопасти к плоскости ленты транспортера $\alpha=82,89^\circ$ и шаге установки лопасти $m=0,205$ м при расстоянии от ленты транспортера до прутка $r=0,03$ м.

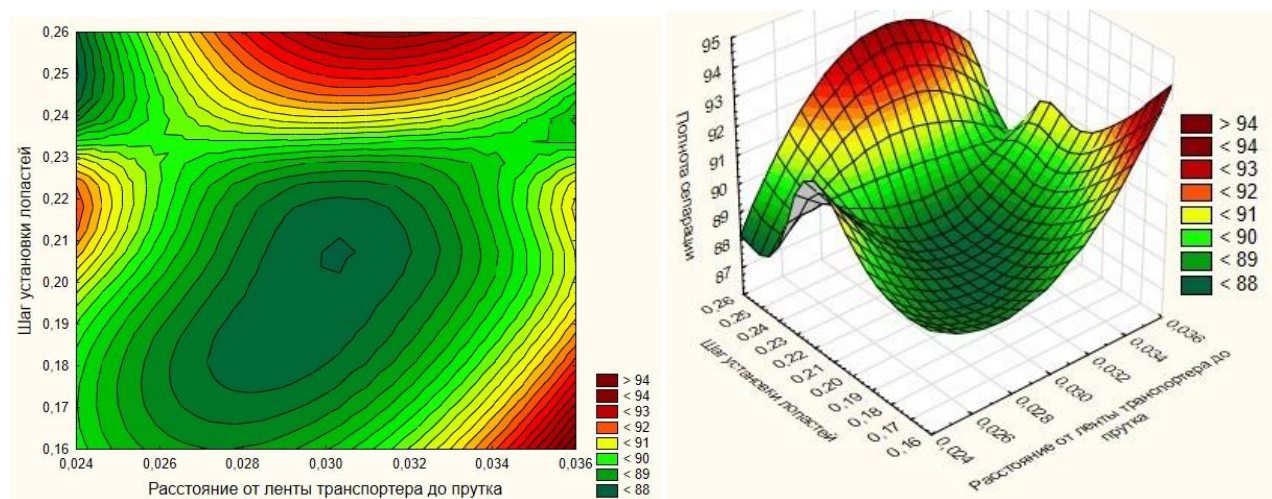


Рисунок 3.5 – Зависимость полноты сепарации от расстояния от ленты транспортера до прутка и от шага установки транспортера при угле наклона лопасти $\alpha=82^\circ$

Примем в качестве постоянного фактора $x_2=0$ ($\alpha=82^\circ$), тогда уравнение регрессии (3.3) с учетом постоянного фактора запишется в виде:

$$Y=90,875-0,115 \cdot x_1-0,31 \cdot x_3+1,564 \cdot x_1^2-0,901 \cdot x_3^2-1,054 \cdot x_1 \cdot x_3 \quad (3.5)$$

Из анализа графиков отклика (рисунка 3.5) видно, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Полнота сепарации составляет $Y_{opt}=90,90\%$ и достигается при значениях факторов: расстоянии от ленты транспортера до прутка $r=0,03$ м и шаге установки транспортера $m=0,204$ м при угле наклона лопасти к плоскости ленты транспортера $\alpha=82^\circ$.

Примем в качестве постоянного фактора $x_3=0$ ($m=0,21$ м), тогда уравнение регрессии (3.3) с учетом постоянного фактора запишется в виде:

$$Y=90,875-0,115 \cdot x_1+0,682 \cdot x_2+1,564 \cdot x_1^2-1,747 \cdot x_2^2-1,059 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (3.6)$$

Из анализа графиков отклика (рисунок 3.6) видно, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов.

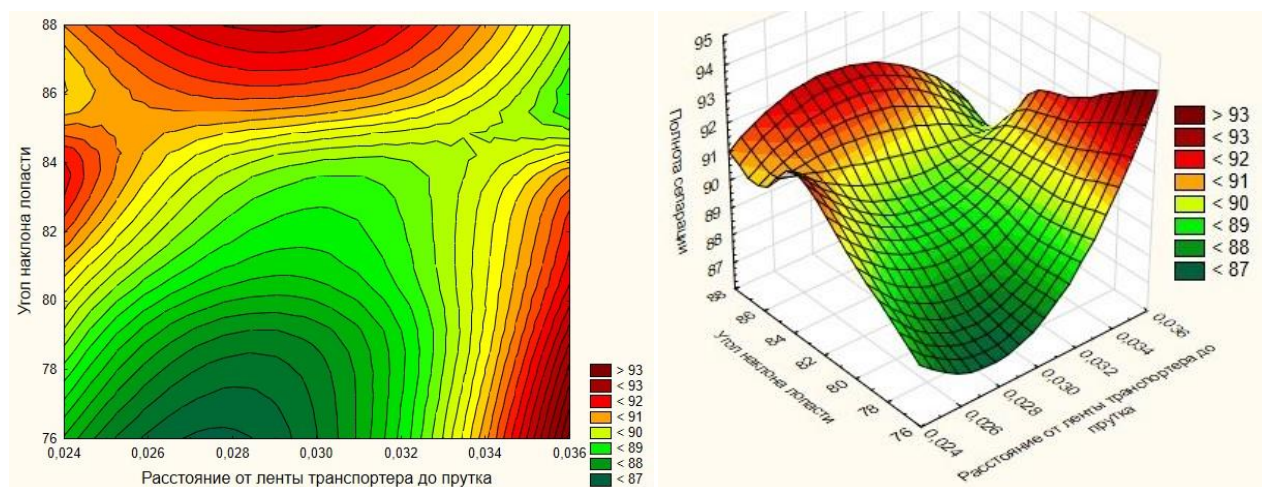


Рисунок 3.6 – Зависимость полноты сепарации от расстояния от ленты транспортера до прутка и от угла наклона лопасти при шаге установки лопастей $m=0,21$ м

Полнота сепарации составляет $Y_{opt}=90,93\%$ и достигается при значениях факторов: расстоянии от ленты транспортера до прутка $r=0,03$ м и угле наклона лопасти к плоскости ленты транспортера $\alpha=82,84^\circ$ при шаге установки лопастей $m=0,21$ м.

С целью установления зависимости между степенью повреждение клубней и ряда варьируемых факторов принято следующие: расстояние от ленты

транспортера интенсификатора до прутка $r(x_1)$, угол наклона лопасти к плоскости ленты $\alpha(x_2)$ и шаг установки лопастей $m(x_3)$. Интервал варьирования расстояния от ленты транспортера интенсификатора до прутка (x_1), угол установки лопасти к плоскости ленты (x_2) и шаг установки лопастей (x_3) определялись конструктивными особенностями основного элеватора картофелеуборочного комбайна. В зависимости от условий проведения каждого опыта меняли верхний и нижний уровень факторов.

В таблице 3.2 представлены уровни и интервалы варьирования факторов.

Таблица 3.2 – Факторы и интервалы их варьирования

	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Наименование фактора
$x_1(r)$:	0,025	0,030	0,035	0,005	Расстояние от ленты транспортера до прутка, (м)
$x_2(\alpha)$:	77	82	87	5	Угол наклона лопасти, (градус)
$x_3(m)$:	0,17	0,21	0,25	0,04	Шаг установки лопастей, (м)

При проведении исследования процесса сепарации почвенно-клубненосной массы в качестве критерия оптимизации (функции отклика) рассматривалась минимизация повреждения клубней, которая определялась согласно ГОСТ 28713-2018³ и выражалась в процентах.

По полученным данным полнофакторного эксперимента составлено уравнение регрессии (3.7) для определения рациональных параметров, приводящих к минимизации повреждения (Y) клубней при сепарации:

$$Y = 3,059 + 0,044 \cdot x_1 + 0,026 \cdot x_2 - 0,096 \cdot x_3 - 0,034 \cdot x_1^2 - 0,021 \cdot x_2^2 - 0,069 \cdot x_3^2 + 0,034 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,036 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,032 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3.7)$$

По критерию Фишера уравнение регрессии является адекватным и применима для решения производственных задач. Определим значения факторов, обеспечивающих минимальное повреждение клубней при сепарации.

Примем в качестве постоянного фактора $x_1=0$ ($r=0,03$), тогда уравнение регрессии (3.7) с учетом постоянного фактора запишется в виде:

³ ГОСТ 28713-2018. Машины для уборки картофеля. Методы испытаний.

$$Y=3,059+0,026 \cdot x_2-0,096 \cdot x_3-0,021 \cdot x_2^2-0,069 \cdot x_3^2-0,032 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3.8)$$

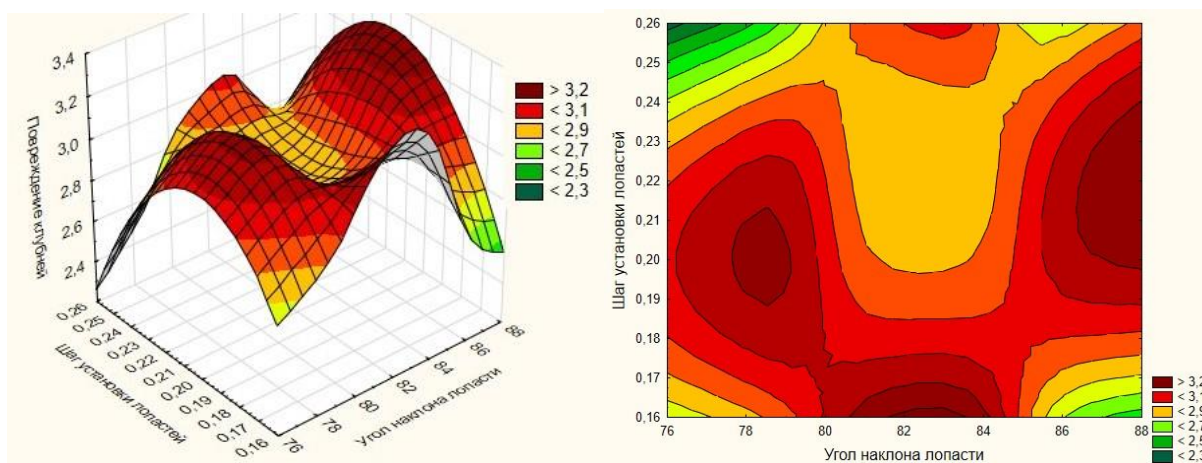


Рисунок 3.7 – Зависимость повреждаемости клубней от угла наклона лопасти и от шага установки лопастей при расстоянии от ленты транспортера до прутка $r=0,03$ м

Из анализа графиков отклика (рисунок 3.7) видно, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Максимальная повреждаемость составляет $Y_{opt}=3,199\%$ и достигается при значениях факторов: угле наклона лопасти к плоскости ленты транспортера $\alpha=81,67^\circ$ и шаге установки лопасти $m=0,182$ м при расстоянии от ленты транспортера до прутка $r=0,03$ м.

Примем в качестве постоянного фактора $x_2=0$ ($\alpha=82^\circ$), тогда уравнение регрессии (3.7) с учетом постоянного фактора запишется в виде:

$$Y=3,059 + 0,044 \cdot x_1 - 0,096 \cdot x_3 - 0,034 \cdot x_1^2 - 0,069 \cdot x_3^2 + 0,036 \cdot x_1 \cdot x_3 \quad (3.9)$$

Из анализа графиков отклика (рисунок 3.8) видно, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Максимальная повреждаемость составляет $Y_{opt}=3,208\%$ и достигается при значениях факторов: расстоянии от ленты транспортера до прутка $r=0,031$ м и шаге установки транспортера $m=0,184$ м при угле наклона лопасти к плоскости ленты транспортера $\alpha=82^\circ$.

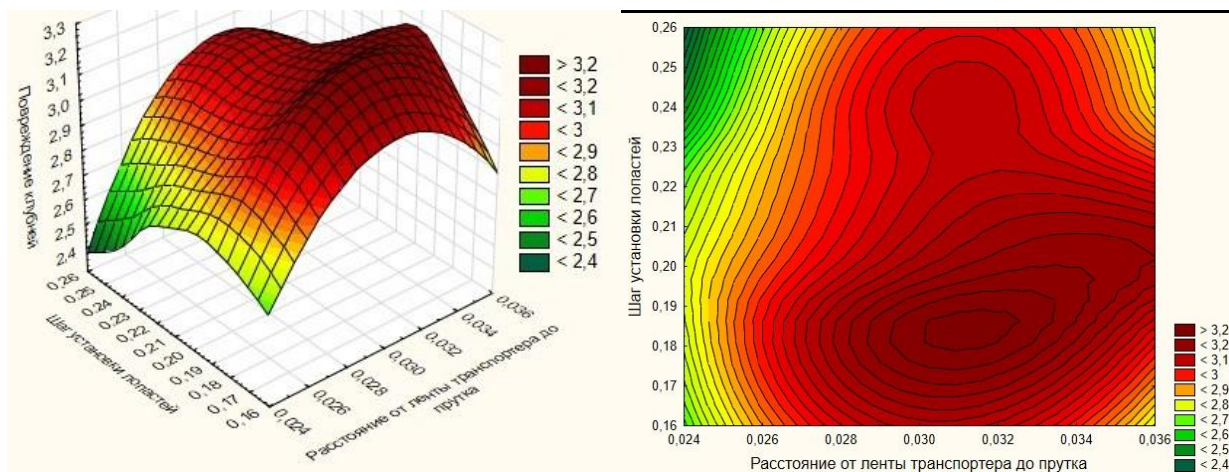


Рисунок 3.8 – Зависимость повреждаемости клубней от расстояния от ленты транспортера до прутка и от шага установки транспортера при угле наклона лопасти $\alpha = 82^\circ$

Примем в качестве постоянного фактора $x_3=0$ ($m=0,21$ м), тогда уравнение регрессии (3.7) с учетом постоянного фактора запишется в виде:

$$Y=3,059+0,044 \cdot x_1+0,026 \cdot x_2-0,034 \cdot x_1^2-0,021 \cdot x_2^2+0,034 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (3.10)$$

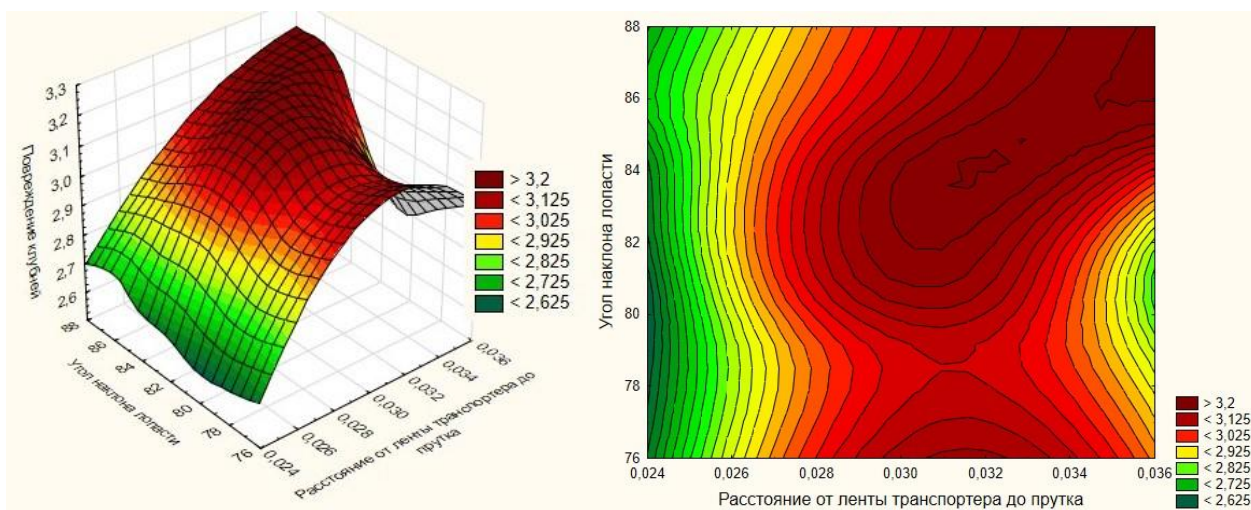


Рисунок 3.9 – Зависимость повреждаемости клубней от расстояния от ленты транспортера до прутка и от угла наклона лопасти при шаге установки лопастей $m = 0,21$ м

Из анализа графиков отклика (рисунок 3.9) видно, что экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Максимальная повреждаемость составляет $Y_{opt}=3,191\%$ и достигается при значениях факторов: расстоянии от ленты транспортера до прутка $=0,031$ м и

угле наклона лопасти к плоскости ленты транспортера $\alpha=85,32^\circ$ при шаге установки лопастей $m=0,21$ м.

Повреждение клубней усовершенствованным комбайном КПК-2-01 определялись за уборочный сезон по утвержденной методике, изложенной в программе эксперимента.

На основе данных таблицы 3.2, в которой приведены повреждения клубней можно сделать следующее заключение. Неповрежденные клубни составляют в среднем 97,2%, поврежденные клубни – в среднем 2,8%.

3.5. Оценка погрешностей измерений в опытах

Чтобы оценить погрешности в опытах, как правило, измерения повторяются не менее трех раз и заносятся в таблицу. При обнаружении, что все время получается одинаковый результат (нет разброса), можно предположить, что это связано с ограниченными возможностями самого измерительного прибора (*систематическая погрешность*). В этом случае в качестве погрешности градуировка прибора определяется по значению класса точности этого прибора или по величине наименьшего деления шкалы.

Класс точности M – определяется следующим образом: абсолютная погрешность длины шкалы ΔL делится на длину всей шкалы L и выражается в процентах:

$$M = \frac{\Delta L}{L} \cdot 100\%.$$

Если разброс значений физической величины x превышает допустимую погрешность градуировки, тогда количество измерений n увеличивается.

Погрешность разброса (случайную погрешность), как правило, вычисляют по следующему алгоритму:

1. Определяется среднее арифметическое значение всех n измерений x_i , где i достигает все целые значения от 1 до n :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

2. Оценивается дисперсия как статистическая величина (*среднее арифметическое квадратов отклонения от среднего значения – СКО*) по формуле

$$S = \frac{1}{n(n-1)} \sum_i (x_i - \bar{x})^2.$$

3. Для определения разброса измерений находят случайную абсолютную погрешность по формуле

$$\Delta x_{\text{сл}} = t_{n,p} \cdot S,$$

где $t_{n,p}$ – коэффициент Стьюдента, который зависит от количества измерений n и вероятности p , с которой мы предполагаем указать погрешность $\Delta x_{\text{сл}}$ (половина доверительного интервала для среднего арифметического значения).

Полученные значения $\Delta x_{\text{сл}}$ сравниваются с погрешностью градуировки прибора, которые используются при измерениях. Если они различаются на порядок и более, то берется наибольшее значение из них. Если они сравнимы по величине, то полную погрешность Δx вычисляют как корень квадратный из суммы квадратов этих погрешностей.

1. Находят относительную погрешность измерений:

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x}.$$

2. Результат записывают в следующем виде:

$$x = x \pm \Delta x, \delta_x.$$

По оценке погрешностей измерений регистрируемых данных можно судить на сколько качественно проведены экспериментальные исследования и достоверность полученных материалов. При оценке погрешности измерений полученных экспериментальных данных рассчитывались по известной методике, которая основывается на положениях о теории ошибок. Согласно указанной теории по характеру выявления погрешности различают систематические и случайные промахи. Если по числовому выражению, то абсолютные, а если

выражены в единицах измеряемой величины и относительные, то в процентах измеряемой величины.

Предельная относительная ошибка суммы или разности по теории ошибок определяется наибольшей относительной ошибкой слагаемых. Предельная относительная ошибка произведения, или деления равна сумме относительных ошибок сомножителей или делимого и частного. Согласно теории вероятности вероятностные значения ошибки не превышают $1/3$ предельной ошибки.

Проведенные нами вышеизложенные действия и используемые приборы для измерений опытных данных позволили нам точно записывать полноты сепарации почвы.

Выводы по главе 3

1. Применение лопастного интенсификатора на основном элеваторе картофелеуборочного комбайна позволило увеличить полноту сепарации почвы за счет очистки прутков элеватора от залипания почвенным пластом на переувлажненных почвах.

2. Полнота сепарации почвы составило 90,93% и обеспечивается при расстоянии от ленты транспортера до прутка $r=0,03$ м, угле наклона лопасти к плоскости ленты транспортера $\alpha=82^\circ$, шаге установки лопастей $m=0,21$ м. Тем самым, полученные теоретические предпосылки, подтверждены экспериментальными данными.

3. Благодаря применению лопастного интенсификатора сепарации на основном элеваторе картофелеуборочного комбайна степень повреждения клубней снизилась за счет очистки прутков элеватора от залипания почвенным пластом и сокращения количества соударений их с прутками элеватора.

4. Максимальное значение повреждаемости клубней составляет 3,2% и обеспечивается при расстоянии от ленты транспортера до прутка $r = 0,03$ м, угле наклона лопасти к плоскости ленты транспортера $\alpha = 82^\circ$, шаге установки лопастей $m = 0,21$ м.

Глава 4. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С ИНТЕНСИФИКАТОРОМ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА

В результате многолетних исследований работы картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах были обоснованы конструкция и параметры интенсификатора в виде лопастного транспортера на основном элеваторе для улучшения сепарации и уменьшение потери урожая на переувлажненных почвах.

Сравнительные испытания картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 проводилась с участием автора в «Фермерское хозяйство «Радуга» Быкова В.Д.», Курская область, Курский район, п. Камыши.

Установленный интенсификатор под рабочей ветвью пруткового элеватора с направлением движения противоположным движению самого элеватора при комбайновой уборке картофеля на переувлажненных почвах предотвращает элеватор от залипания и улучшает сепарацию почвы. Лопастни интенсификатора установлены под некоторым углом, так чтобы не затруднить работу элеватора. В зависимости от загружаемости клубненосной массы зазор между элеватором и лопастным транспортером регулируется. Преимущество установленных лопастей заключается в том, что лопасти так же выталкивают клубни между прутками, тем самым, дополнительно очищая клубни на переувлажненных почвах.

4.1. Программа и методика полевых испытаний

Испытания усовершенствованного картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 проводились в сравнении с серийным картофелеуборочным комбайном методом сравнительных полевых испытаний, основу которого положены ГОСТ 28713-2018 «Машины для уборки картофеля».

В середине октября 2022 году были произведены полевые испытания модернизированного комбайна в хозяйственных условиях на площади 15 га.

Работа проходила следующим образом, комбайн производит уборку по законам, выкопанный картофель после прохождения сепарации поступает на

бункер комбайна, после чего выгружается на транспортёр для транспортировки на сортировальный пункт. Отличие модернизированного комбайна заключается в том, что в конце основного элеватора с внутренней стороны установлен лопастной интенсификатор для очистки его от залипания на переувлажненных почвах. Зазор между лопастным транспортером и основным элеватором регулируется в зависимости от массы клубненосного материала, который поступает в комбайн.

На рисунке 4.1 показан общий вид картофелеуборочного комбайна КПК-2-01, оснащенного интенсификатором сепарирующего элеватора, а в таблице 4.1. приведена основные технические характеристики картофелеуборочного комбайна КПК-2-01.



Рисунок 4.1—Общий вид картофелеуборочного комбайна КПК-2-01

Таблица 4.1 – Технические характеристики комбайна КПК-2-01

Производительность за 1 час основного времени, га/ч	0,3-0,8
Ширина захвата, м	1,4-1,5
Ширина междурядий, см	70-75
Вместимость бункера для картофеля, кг	1500
Габаритные размеры в рабочем положении, мм	
длина	8000
ширина	6000
высота	5000
Габаритные размеры в транспортном положении, мм	
длина	7500
ширина	3800
высота	3200
Масса с полным комплектом рабочих органов, кг	5600

4.2. Условия проведения полевых испытаний

Критериями оценки при испытании были следующие параметры:

- Полнота сепарации почвы вовремя комбайновую уборки картофеля;
- Степень повреждения и потери урожая при уборке картофеля.

Так же учитывались эксплуатационные показатели комбайна при уборке картофеля. Характеристика фона, где проводились испытания приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Характеристика условий проведения испытаний

№	Наименование показателей	Значение показателей
1	2	3
1	Время испытаний	Октябрь 2022г.
2	Сорт картофеля	Винета
3	Биологическая урожайность клубней, т/га	45
4	Состояние ботвы	Полу подсыхая, убранная
5	Высота гребня, см	17,5

Продолжение табл. 4.2.

1	2	3
6	Глубина посадки клубня, мм	80
7	Ширина междурядья, см	70
2.	Место испытаний	ФХ «Радуга» Быкова В.Д. Курская область, Курский район, п. Камыши
3.	Микрорельеф	Слабо выраженный
4.	Тип почвы	Выщелоченный чернозем
5.	Максимальная глубина залегания клубня, см	17,5
6.	Рельеф	ровный
7.	Влажность почвы по слоям (см), %:	
	0-10	20,1
	10-20	24,5
	20-30	26,3
8.	Твердость почвы по слоям (см), МПа:	
	0-10	0,52
	10-20	0,97
	20-30	1,12



Рисунок 4.2 – Усовершенствованный картофелеуборочный комбайн КПК-2-01 в работе.

Оценка работы модернизированного картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 производилась по намеченной программе и методике.

Технологический процесс работы картофелеуборочного комбайна состоит в следующем [97, 98].

Во время работы комбайн в передней части опирается на копирующие катки, которые обеспечивают постоянную глубину подкапывания и раздавливают комки почвы, лежащие на поверхности. Почвенный пласт картофельных рядков при подкопе их лемехом поступает на основной элеватор, при том почвенный пласт разрыхляется шнеком, который расположен частично над лемехом и элеватором. После сепарации основной массы, идет далее очистка клубней от ботвы, растительных и других примесей. С основного элеватора оставшаяся клубненосная масса поступает на второй элеватор, где происходит дальнейшая сепарация с последующей подачей массы на третий элеватор и к редкопрутковому транспортеру. Клубни и оставшиеся мелкие примеси проваливаются между прутками редкопруткового транспортера на элеватор, который, частично просыпая мелкую почву в зазоры между прутками, подает массу на пальчиковую поверхность горки. В зависимости от угла наклона горки, картофель или скатывается в ковшовый транспортер или поступает вместе с примесями к шнеку. После чего шнек, пропуская примеси под собой, остальную массу подает на дополнительную пальчиковую горку для дополнительной очистки и подачу клубней в ковшовый транспортер, из ковшей которого масса подается на транспортер и клубни загружаются в бункер-накопитель. По мере заполнения указанной зоны бункера включается подвижное дно, и клубни продвигаются в зону выгрузки к откидной части бункера и направляющему лотку. При этом откидная часть бункера устанавливается близко к горизонтали. По мере заполнения бункера выгрузную часть его направляют в сторону транспортного средства, включается привод транспортера и осуществляется выгрузка картофеля через направляющий лоток, которое предотвращает повреждение клубней, в транспортное средство (рисунок 4.2).



Рисунок 4.3 – Чистота клубней картофеля в бункере комбайна КПК-2-01



Рисунок 4.4 – Низкая повреждаемость клубней картофеля в таре

4.3. Показатели сравнительных испытаний картофелеуборочного комбайна с интенсификатором

Результаты испытаний сравниваемых картофелеуборочных комбайнов по полноте сепарации показано в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Агротехнические показатели работы комбайна КПК-2-01

Показатели	КПК-2-01	КПК-2-01 с экспериментальным рабочим органом
Скорость комбайна, м/с	0,84	0,86
Глубина хода подкапывающих рабочих органов, м	0,20	
Поступило массы на 1 м пути, кг: всего	195,0	217,0
в том числе:		
почва и комок	190,78	212,67
клубни	3,12	3,25
растительные остатки	1,10	1,08
Просеяна почва с элеватора, кг	166,1	202,9
Фракционный состав почвы, сходящей с элеватора, %		
в том числе:		
до 25 мм (по толщине)	43,2	58,0
25-50 мм	27,3	37,2
50-100 мм	24,2	3,5
свыше 100 мм	5,3	1,3
Сход с элеватора всего, кг:	87,2	45,8
в том числе:		
почва	82,85	41,33
клубни	3,15	3,37
растительные остатки	1,2	1,1
Полнота сепарации, %	85,2	93,5
Повреждения клубней, %	4,5	2,8

Сравнительные показатели качества выполнения технологического процесса картофелеуборочным комбайном КПК-2-01 приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Сравнительные показатели качества выполнения технологического процесса картофелеуборочным комбайном КПК-2-01

Показатели	Значения показателей	
	КПК-2-01 серийный	КПК-2-01 усовершенствованный
1	2	3
Вид работы	Уборка	
Скорость комбайна, км/ч	3,02	3,10

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3
Полнота выкапывания клубней, %	97,8	98,9
Оставлено на поверхности, % в том числе: не оторвано от ботвы всего потерь	- 2,2	- 1,1
Чистота в таре, %: в том числе: клубни почва растительные остатки	88,9 10,1 1,0	97,8 1,3 0,9



Рисунок 4.5 – Убранное поле без потери клубней картофеля

Результаты испытаний сравниваемых картофелеуборочных комбайнов по полноте сепарации показано в табл. 4.5.

**Таблица 4.5 – Повреждаемость клубней картофеля комбайном КПК-2-01
(в % повесу)**

Дата Октябрь, 2022г.	Условия уборки картофеля					Скорость движения комбайна, м/с	Не поврежденные клубни, %	Повреждена кожа, %	Внешние повреждения, %	Раздавленные, %	Разрезанные, Надрезанные, %	Потемнение мякоти, %	Всего повреждена, %
	Площадь участка, га	Тип почвы	Влажность почвы, %	Биологический урожай, ц/га	Урожайность, ц/га								
Серийный	15	Выщелоченный чернозем	26,3	450	382	0,84	95,5	0,5	0,4	0,2	1,6	1,8	4,5
Модернизированный	15	Выщелоченный чернозем	26,3	450	382	0,86	97,2	0,3	0,3	0,1	0,7	1,4	2,8

Данные, которые показаны в таблицах 4.1, 4.2 и 4.3 показывают, что применение картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 с сепарирующим элеватором, оснащенным с прижимным транспортером с лопастями, увеличивает полноту уборки картофеля на 10%, а повреждение клубней уменьшаются на 38%. Это произошло за счет выталкивания клубней из зазоров между соседними прутками, при случае если клубни закрывают зазоры и транспортирование отсепарированных примесей без заклинивания их между лопастью и прутком.

Выводы по 4 главе

1. В работе комбайна, оснащенного интенсификатором для улучшения сепарации почвы вовремя уборки картофеля при повышенной влажности выше 26,3%, благодаря установленному транспортеру с лопастным интенсификатором не наблюдалось залипания просвета между прутками.

2. Результаты полевых испытаний показывают, что при применении модернизированного картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 увеличивается полнота уборки картофеля на 10%, а повреждение клубней уменьшаются на 38%. Это происходит за счет выталкивания клубней из зазоров между соседними прутками, при случае если клубни закрывают зазоры и транспортирование отсепарированных примесей без заклинивания их между лопастью и прутком.

3. Отсутствие залипания просвета между прутками позволило увеличение рабочей скорости модернизированного комбайна КПК-2-01 с 0,84 м/с на 0,86 м/с.

Глава 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА С ЛОПАСТНЫМ ИНТЕНСИФИКАТОРОМ КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

5.1. Экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат на уборку картофеля

Чтобы рассчитать технико-экономический эффект на уборку картофеля от внедрения сепарирующего элеватора с лопастным транспортером картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 на переувлажненных почвах применяли методику [30, 62], используя данные за 2022 год.

Согласно, указанной методике, для расчета необходимо сравнить данные затрат серийной и усовершенствованной версий картофелеуборочного комбайна.

Для сепарирующего элеватора с прижимным транспортером экономическая эффективность рассчитывается как произведение разницы между приведенными к единице затратами серийной Z_1 и модернизированной Z_2 версий на норму годового объема работ B_2 [30]:

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

Выше рассматриваемые потери при работе на переувлажненных почвах представляют собой совокупность операционных затрат общего характера $Z_{экс}$ и нормативной прибыли H_{Π} [43, 30, 62]:

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

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

В таблице 5.1 приведены исходные данные, согласно методике, приведенной Д.А. Лапиным, на содержание и эксплуатацию картофелеуборочного комбайна с элеватором с прижимным транспортером [30, 63].

Существующие эксплуатационные затраты, как правило, принято разделять на постоянные (амортизационные) и переменные (зависящие от типа и объемов механизированной работы, годовой нагрузки) [30].

К переменным затратам, относят затраты как: затраты на техническое обслуживание и ремонт, топливо-смазочные материалы и оплату труда комбайнеров [30].

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

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

Для серийного картофелеуборочного комбайна величина амортизационных отчислений равна:

$$Z_a = \frac{3500000 \cdot 12,5}{100 \cdot 200 \cdot 0,64} = 3417,97 \text{ руб/га.}$$

Для модернизированного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$Z_a = \frac{3650000 \cdot 12,5}{100 \cdot 200 \cdot 0,74} = 3082,77 \text{ руб/га.}$$

Величина балансовой стоимости машины (B) численно равна произведению оптовой стоимости единицы техники Π на постоянную 1,2, отражающую затраты на доставку машины K_{Π} :

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

Для серийного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$B = \Pi \cdot K_{\Pi} = 2916,667 \cdot 1,2 = 3500000 \text{ руб.}$$

Для модернизированного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$B = \Pi \cdot K_{\Pi} = 3041,667 \cdot 1,2 = 3650000 \text{ руб.}$$

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

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

Для серийного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$W_t = 0,1 \cdot 1,4 \cdot 3,01 \cdot 0,82 = 0,346 \text{ га/ч.}$$

Для модернизированного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$W_t = 0,1 \cdot 1,4 \cdot 3,25 \cdot 0,90 = 0,410 \text{ га/ч.}$$

Таблица 5.1 – Исходные данные для проведения технико-экономической оценки применения модернизированного варианта картофелеуборочного комбайна (использовались средние цены на 2022 г.)

Наименование показателей	Единицы измерения	Картофелеуборочный комбайн КПК-2-01	
		Серийный	Модернизированный
Модель трактора		MT3-82	MT3-82
Цена картофелеуборочного комбайна	руб.	3500000	3650000
Нормативная годовая загрузка комбайна	час	200	200
Количество обслуживающего персонала	чел.	1	1
Часовая оплата трактористов V разряда с учетом всех видов доплат	руб./ч	618,96	618,96
Урожайность картофеля	т/га	38,2	38,2
Коэффициент амортизационных отчислений	%	12,5	12,5
Коэффициент отчислений на ремонт и техническое обслуживание	%	2,0	2,0
Расход ГСМ	кг/ч	24,6	24,7
Комплексная цена 1 кг ГСМ	руб.	48	48
Закупочная цена картофеля: продовольственного поврежденного	руб./т	12000 6705	12000 6705
Срок службы картофелеуборочного комбайна	лет	8	8
Рабочая скорость	км/ч	3,01	3,25
Ширина захвата	м	1,4	1,4
Потери клубней	%	4,5	2,3
Повреждение клубней	%	4,92	2,65
Площадь для хранения комбайна	м ²	60,0	60,0
Удельная стоимость 1 м ² места для хранения комбайна	руб./м ²	205	205
Норма финансирования на амортизацию и ремонт мест хранения с/х техники	%	8,0	8,0
Годовая загрузка картофелеуборочного комбайна	час	200	200
Коэффициент использования времени смены		0,852	0,90

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

Для определения затрат на ремонт и обслуживание используют выражение, численно равное отношению произведения балансовой цены устройства B и показателя издержек на ремонт и обслуживание (H_{TO}) на произведение увеличенной в 100 раз годовой загрузки единицы техники и ее производительности W_t :

$$З_{TO} = \frac{Б \cdot H_{TO}}{100 \cdot T_{год} \cdot W_t}, \quad (5.6)$$

Для серийного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$З_a = \frac{3500000 \cdot 17}{100 \cdot 200 \cdot 0,346} = 3540 \text{ руб/га.}$$

Для модернизированного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$З_a = \frac{3650000 \cdot 7}{100 \cdot 200 \cdot 0,410} = 3116 \text{ руб/га.}$$

Издержки на смазочные и горючие материалы численно равны отношению произведения нормы их расходов $H_{гсм}$ и совокупной цены $Ц_{гсм}$ к производительности машины W_t :

$$З_{гсм} = \frac{H_{гсм} \cdot Ц_{гсм}}{W_t}, \quad (5.7)$$

Для серийного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$З_{гсм} = \frac{24,6 \cdot 48}{0,346} = 3412,72 \text{ руб/га.}$$

Для модернизированного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$З_{гсм} = \frac{24,7 \cdot 48}{0,410} = 2891,7 \text{ руб/га.}$$

Издержки, образующиеся в результате хранения одной единицы с/х техники численно равны отношению норм на хранение $H_{хр}$ к производительности единицы техники W_t и ее годовой нагрузки $T_{год}$:

$$З_{хр} = \frac{H_{хр}}{T_{год} \cdot W_t}, \quad (5.8)$$

Для серийного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$З_{хр} = \frac{984}{200 \cdot 0,346} = 14,22 \text{ руб/га.}$$

Для модернизированного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$З_{хр} = \frac{984}{200 \cdot 0,410} = 12 \text{ руб/га.}$$

Норма затрат на хранение численно равна произведению квадратных метров, занимаемых единицей техники S_k , удельной цене за 1 м² места $K_{хр}$, амортизационной постоянной за хранение, отнесенной к 100:

$$H_{\text{хр}} = \frac{S_K \cdot K_{\text{хр}} \cdot H_{\text{хр}}^d}{100}, \quad (5.9)$$

Для серийного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$H_{\text{хр}} = \frac{60 \cdot 205 \cdot 8}{100} = 984 \text{ руб/га.}$$

Для модернизированного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$H_{\text{хр}} = \frac{60 \cdot 205 \cdot 8}{100} = 984 \text{ руб/га.}$$

Таким образом, согласно расчетам, величина $H_{\text{хр}}$ одинакова в обоих случаях.

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

$$З_0 = \frac{C_{\text{тар}} \cdot L}{W_{\tau}}, \quad (5.10)$$

Для серийного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$З_С = \frac{618,96 \cdot 1}{0,346} = 1788,90 \text{ руб/га.}$$

Для модернизированного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$З_С = \frac{618,96 \cdot 1}{0,410} = 1509,65 \text{ руб/га.}$$

В таблице 5.2. представлены результаты расчета, согласно методике, приведенной Д.А. Лапиным [30, 63].

Таблица 5.2 – Результаты расчета эксплуатационных затрат

Статьи затрат	Обозначение	Единицы измерения	Картофелеуборочный комбайн КПК-2-01	
			Серийный	Модернизированный
1	2	3	4	5
Амортизационные отчисления	$З_a$	руб./га	3417,97	3082,77
Отчисления на техническое обслуживание и ремонт	$З_{то}$	руб./га	3540	3116
Стоимость горюче-смазочных материалов	$З_{гсм}$	руб./га	3412,72	2891,70
Затраты на хранение техники	$З_{хр}$	руб./га	14,22	12,0
Оплата труда механизаторов	$З_0$	руб./га	1788,90	1509,65

1	2	3	4	5
Итого эксплуатационных затрат	$Z_{\text{экс}}$	руб./га	12173,81	10612,12
Удельные капиталовложения	K_y	руб./га	50578	44512
Нормативная прибыль от капиталовложений	H_{Π}	руб./га	7586,7	6676,8
Приведенные затраты на единицу выполненной работы	Z	руб./га	19760,51	17288,92

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

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

Для серийного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$H_{\Pi} = 0,15 \cdot 50578 = 7586,7.$$

Для модернизированного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$H_{\Pi} = 0,15 \cdot 44512 = 6676,8.$$

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

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

Для серийного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$K_y = \frac{3500000}{200 \cdot 0,346} = 50578,0 \text{ руб./га.}$$

Для модернизированного картофелеуборочного комбайна имеем:

$$K_y = \frac{3650000}{200 \cdot 0,410} = 44512,0 \text{ руб./га.}$$

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

Для модернизированного комбайна с прижимным транспортером экономический эффект рассчитываем, как произведение разницы между приведенными к единице

затратами серийной Z_1 и модернизированной Z_2 версий на норму годового объема работ B_2 [91]:

$$\mathcal{Z}_3 = (Z_1 - Z_2) \cdot B_2, \quad (5.14)$$

Тогда

$$\mathcal{Z}_3 = (19760,51 - 17288,92) \cdot 22 = 54374,98.$$

Приведенные затраты численно равны совокупности эксплуатационных затрат $Z_{\text{экс}}$ и нормативной прибыли $H_{\text{п}}$ [63, 72]:

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

Снижение затрат по варианту серийного картофелеуборочного комбайна:

$$Z = 12173,81 + 7586,7 = 19760,51 \text{ руб./га.}$$

Приведенные затраты по варианту модернизированного картофелеуборочного комбайна:

$$Z = 10612,12 + 6676,8 = 17288,92 \text{ руб./га.}$$

5.2. Экономический эффект от уменьшения потерь урожая

Экономический эффект от варианта модернизации картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 для уборки картофеля численно равен произведению постоянной уменьшения потерь $Y_{\text{к}}$ величины урожайности $a_{\text{п}}$ стоимости целевого продукта $C_{\text{п}}$:

$$\mathcal{Z}_{\text{п}} = B_{\text{г}} \cdot Y_{\text{к}} \cdot a_{\text{п}} \cdot C_{\text{п}}, \quad (5.16)$$

тогда

$$\mathcal{Z}_{\text{п}} = 22 \cdot 38,2 \cdot 0,022 \cdot 12000 = 221856,6 \text{ руб.}$$

Коэффициент снижения потерь $0,045 - 0,023 = 0,022$.

Полученные данные введем в таблицу 5.3, согласно методике, приведенной Д.А. Лапиным [62].

Необходимо обратить внимание на то, что при использовании прижимного транспортера при уборке картофеля на переувлажненных почвах повреждения клубней уменьшилось. Тем не менее, экономический эффект был численно равен произведению постоянной минимизации повреждений клубней $a_{\text{пк}}$, постоянной уменьшения потерь Y , разницы между ценами целевого продукта и поврежденного $C_{\text{р}}$:

$$\mathcal{Z}_{\text{пов}} = B_2 \cdot Y_2 \cdot a_{\text{пк}} \cdot C_{\text{р}}, \quad (5.17)$$

$$\mathcal{Z}_{\text{пов}} = 22 \cdot 38,2 \cdot (0,0492 - 0,0265) \cdot (12000 - 6705) = 101013,0 \text{ руб.}$$

Таблица 5.3 – Годовой экономический эффект от применения модернизированного картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 с интенсификатором

Статьи затрат	Обозначение	Единицы измерения	Величина эффекта
1	2	3	4
Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат	Ээ	руб./га	2471,59
		руб	54374,98
Экономический эффект от уменьшения потерь урожая	Эп	руб./га	10084,80
		руб	221865,6
Экономический эффект от уменьшения повреждения клубней	Эпов	руб./га	4592,0
		руб	101013,0
Суммарный годовой экономический эффект	Эсум	руб./га	17148,0
		руб	377256,0

Общий экономический эффект достигнутый путем внедрения модернизированного картофелеуборочного комбайна, который оснащен интенсификатором в виде прижимного транспортера составил 17148,0 рубля на 1 га уборочной площади при годовой загрузке 200 часов.

Выводы по главе 5

1. Расчет годового экономического эффекта от применения картофелеуборочного комбайна КПК-2-01, оборудованного лопастным транспортером сепарирующего рабочего органа составляет 17148,0 рубля на 1 га уборочной площади при годовой загрузке 200 часов.

2. Установлено, что экономический эффект от внедрения картофелеуборочного комбайна, оборудованного интенсификатором получен за счет уменьшения потерь урожая и повышения производительности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ истории развития технологических схем картофелеуборочных комбайнов и роли интенсификаторов в сепарирующем элеваторе показал, что интенсификатор, выполненный в виде лопастного транспортера и установленный под рабочей поверхностью пруткового элеватора, расширит применение картофелеуборочных комбайнов на переувлажненных почвах и позволит повысить полноту сепарации почвы до 95%.

2. Теоретическим исследованием получена математическая зависимость отделения примесей от картофеля на элеваторе картофелеуборочного комбайна. Во избежание трения с прутками клубней и примесей, расстояние между лентой транспортера интенсификатора и прутками не должно быть меньше 30 мм. Определены следующие параметры интенсификатора: угол наклона лопасти к плоскости ленты транспортера $\alpha=82^\circ$, шаг установки лопастей 210 мм.

3. С увеличением скорости прутка элеватора от 1 м/с до 1,8 м/с при подаче на лемех и элеватор 242 кг/с, полноте сепарации 85% мощность действующих на пласт внешних сил без учета внешнего и внутреннего трения увеличивается примерно на 8% или с 1,52 кВт до 1,64 кВт.

4. Результаты полевых испытаний показали, что применение интенсификатора под основным элеватором картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 на переувлажненных почвах при влажности 26,3%, увеличивает полноту уборки картофеля на 10%, а повреждения клубней уменьшаются при этом на 38%. Рабочая скорость модернизированного комбайна КПК-2-01 при этом увеличилась с 0,84 м/с до 0,86 м/с.

5. Расчет годового экономического эффекта от применения картофелеуборочного комбайна КПК-2-01, оборудованного лопастным транспортером сепарирующего рабочего органа составляет 17148,0 рубля на 1 га убранной площади при годовой загрузке 200 часов.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Целесообразно продолжить научные исследования в направлении совершенствования сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин применительно к переувлажненным почвам.

Рекомендации производству

Для повышения эффективности функционирования картофелеуборочных машин рационально использовать интенсификатор в конструкции сепарирующего элеватора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аббасов, Г.И. Исследование технологического процесса уборки и послеуборочной обработки картофеля [Текст] / Г.И. Аббасов // Аграрная наука. – Гянджа. – 2019. – №6 – С.33-35.
2. Авторское свидетельство №893165 СССР Устройство для встряхивания полотна элеватора: № 2749470/30-15: заявл. 09.04.1979: опубл. 03.01.1992 / Г.Д. Петров, Р.Р. Джапаридзе, В.Т. Амеличев, Э.С. Рейнгард, Л.И. Левчук – опубл. 30.12.81, Бюл. №48(7); заявитель и патентообладатель Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения им. В.П. Горячкина – 4 с.
3. Байбобоев, Н.Г. 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.
4. 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 // Материалы Международной научно-практической конференции «Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства». – 2019. – С.60-64.
5. Белов, М.И. Теоретическая механика / М.И. Белов, Б.В. Пылаев. М.: РИОР ИНФРА-М, 2020. – 334 с.
6. Белов, М.И. Математическая модель отделения примесей от картофеля на элеваторе / М.И. Белов, И.П. Гаджиев, А.В. Шемякин, Н.Е. Кабдин, О.М. Мельников // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24. – № 6. – С. 43-46.
7. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов [Текст] / Н.М. Беляев // Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1976. – 608 с.
8. Бортник, А.В. Мероприятия по повышению эксплуатационных показателей автотракторной техники при внутрихозяйственных 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.

9. Борычев, С.Н. Основы теоретических исследований картофеля [Текст] / С.Н. Борычев, А.Ф. Владимиров, Д.В. Колошеин // Материалы 68-ой международной научно-практической конференции «Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве», 26-27 апреля 2017 года. – Часть 2. – Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета. – 2017. – С.58-62.

10. Борычев, С.Н. Технологии уборки картофеля: общие вопросы [Текст] / С.Н. Борычев, И.В. Лучкова // Материалы 70-й Международной научно-практической конференции «Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса». – Рязань, РГАТУ. – 2019. – С.71-75.

11. Борычев, С.Н. Разработка выгрузного устройство картофелеуборочного комбайна / С.Н. Борычев, В.Д. Липин, Д.В. Колошеин [и др.] // Сборник III национальной (Всероссийской) научной конференции с международным участием «Теория и практика современной аграрной науки» 28 февраля 2020 года / Новосибирский государственный аграрный университет. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос». – 2020. – С.21-23.

12. Босой, Е.С. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Е.С. Босой и др. – М.: Машиностроение, 1978. – 567 с.

13. Бурков, А.И. Тенденции развития воздушно-решётных зерноочистительных машин на современном этапе / А.И. Бурков // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – Том 63. – №2. – С.4-15.

14. Бышов, Н.В. Технология уборки картофеля в сложных полевых условиях с применением перспективных решений в конструкции и обслуживании комбайнов: коллективная: Монография / Н.В. Бышов и др. – Рязань: РГАТУ, 2015. – 304 с.

15. 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.

16. Бышов, Н.В. Научно-методические основы расчета сепарирующих рабочих органов и повышение эффективности картофелеуборочных машин [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.04 / Бышов Николай Владимирович. – Рязань, 2000. – 414 с.

17. 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 // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию ВНИИКС. – 2015. – С.3-5.

18. Бышов С.Н. Современный взгляд на производство картофеля [Электронный документ] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, А.А. Симдянкин, А.С. Колотов, С.В. Колупаев, И.Н. Кирюшин, И.А. Успенский, А.В. Шемякин, И.А. Юхин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 128(04).

19. 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.

20. Власов, Г.С. Предпосадочная подготовка семенного картофеля / Г.С. Власов, А.А. Назарова, С.Н. Борычев, А.В. Шемякин // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина, «Инновации в сельскохозяйственном машиностроении, энергосберегающие технологии и повышение эффективности использования ресурсов», 24 мая 2022 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. – 2022. – С.27-31.

21. Гаджиев, П.И. Повышение эффективности обработки почвы для комбайновой уборки картофеля [Текст] / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, К.А. Манаенков // Наука в центральной России. – 2020. – №4(46). – С.33-40.
22. Гаджиев, П.И. Условия работы сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев // Наука в центральной России. – 2022. – № 2(56). – С.98-106.
23. Гаджиев, П.И. Влияние технологических приемов на урожайность картофеля / П.И. Гаджиев, А.П. Башкиров, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев, Н.С. Шершнев // Наука в центральной России. – 2022. – № 3(57). – С.41-47.
24. Гаджиев, П.И. Теоретическое исследование подкапывающего лемеха картофелеуборочного агрегата для снижения потерь урожая и эрозии почвы / П.И. Гаджиев, Е.В. Шестакова, Г.Г. Рамазанова // Инженерные технологии и системы. – 2022. – Т.32. – № 2. – С. 263-278.
25. Гаджиев, П.И. Исследование влияния лопастного интенсификатора на полноту сепарации / П.И. Гаджиев, А.В. Шемякин, И.А. Успенский, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев // Техника и оборудование для села. – 2023. – №1(307). – С.27-29.
26. Гаджиев, П.И. Определение конструктивных параметров интенсификатора и условия выталкивания клубня из зазора между прутками сепарирующих элеватор / П.И. Гаджиев, И.П. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25. – № 1. – С.17-22.
27. Гаджиев, П.И. Результаты полевых испытаний картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 оснащенного интенсификатором / П.И. Гаджиев, А.П. Башкиров, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев, Н.С. Шершнев // Наука в центральной России. – 2022. – № 6 (60). – С.71-77.
28. Гаджиев, П.И. Исследование условий функционирования машин для уборки картофеля / П.И. Гаджиев, В.И. Славкин, М.М. Махмутов, Ю.Р. Хисматуллина // Научные труды международной научно-практической конференции «Глобальные вызовы для продовольственной безопасности: риски и возможности», Казань, 01– 03

июля 2021 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет. – 2021. – С.105-110.

29. Горячкина, И.Н. Совершенствование технологии уборки картофеля с обоснованием параметров и режимов работы сепарирующего элеватора с интенсификатором активного типа: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Горячкина Ирина Николаевна. – Рязань, 2010. – 21 с.

30. ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки – М.: Стандартинформ, 2009 – 20 с.

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

32. 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.

33. 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 // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2021. – Т.22. – №1. – С.119-127.

34. Евтехов, Д.В. Анализ схемно-конструктивных решений интенсификаторов сепарации в [Текст] / Д.В. Евтехов // Материалы Национальной научно-практической конференции «Тенденции инженерно-технологического развития агропромышленного комплекса». – Рязань, РГАТУ. – 2019. – С.56-63.

35. Жбанов, Н.С. Исследование эксплуатационных показателей картофелеуборочных машин с модернизированными рабочими органами [Текст] / Н.С. Жбанов, Д.В. Евтехов, Р.В. Безносюк [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань, РГАТУ. – 2021. – № 1(49). – С.112-119.

36. Жбанов, Н.С. Исследование траекторий движения клубней при взаимодействии композитных прутков с роликами интенсификаторами [Текст] / Н.С. Жбанов // Материалы 72-й Международной научно-практической конференции «Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации». – Рязань, РГАТУ. – 2021. – С.193-196.

37. 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 // Высокопродуктивные экологически безопасные технологии возделывания картофеля на почвах Верневолжья. – Иваново. – 2019. – С.75-78.

38. Ибрагимов, Р.Р. Проблемы механизации уборки картофеля на малогабаритных участках [Текст] / Р.Р. Ибрагимов, И.Х. Максимов, Р.Г. Ахмаров // Материалы международной научно-практической конференции в рамках XXIX Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2019» «Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК». – Уфа, РГАУ. – 2019. – С.5-78.

39. Ивенин, В.В. Агротехнические особенности выращивания картофеля: учебное пособие / В.В. Ивенин, А.В. Ивенин. - 2-е изд., перераб. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 336 с.

40. Измайлов, А.Ю. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства [Текст] /А.Ю. Измайлов, Н.Н. Колчин, Я.П. Лобачевский, Н.Г. Кынев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – №2. – С.43-47.

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

42. Калимуллин, М.Н. Новый роторно-пальчатый картофелекопатель / М.З. Салимзянов, В.Ф. Первушин, Р.Р. Шакиров Ф.М. Абдуллин, М.Н. Калимуллин // Сельский механизатор. – 2021. – № 5. – С. 12-13.

43. Калимуллин, М.Н. Проектно-экспериментальный роторно-пальчатый картофелекопатель / М.З. Салимзянов, В.Ф. Первушин, Р.Р. Шакиров, М.Н. Калимуллин // Интеллектуальный вклад тюркоязычных ученых в современную науку: Материалы Международной научной конференции, посвященной 30-летию Татарского общественного центра Удмуртии, Ижевск, 25–26 ноября 2021 года / Отв. за выпуск И.Ш. Фатыхов. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. – С. 159-163.

44. Калимуллин, М.Н. Особенности уборки картофеля / М. Н. Калимуллин, Д. М. Исмагилов, Р.Р. Багаутдинов, М.З. Салимзянов // Проблемы развития малого и среднего бизнеса на селе в условиях цифровой трансформации экономики: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Казанского ГАУ, Казань, 24–25 марта 2022 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2022. – С. 156-162.

45. Камалетдинов, Р.Р. Научно-методологическое обоснование технологий и технических средств возделывания и уборки картофеля на основе объектно-ориентированного моделирования: автореф. дис...докт. техн. наук: 05.20.01 [Текст] / Камалетдинов Рим Рашитович // Башкирский государственный аграрный университет. – Уфа, 2017 г. –22 с.

46. Камалетдинов, Р.Р. Рекомендации по совершенствованию рабочих органов машин для уборки картофеля 2-е издание [Текст] / Р.Р. Камалетдинов // Башкирский государственный аграрный университет. – Уфа. – 2014. – 44 с.

47. Канатъев, А.В. Перспективные направления интенсификации подкапывающих рабочих органов картофелеуборочных машин [Текст] / А.В. Канатъева, Д.А. Лапин, А.С. Лучина, М.А. Фархатов // Молодой ученый. – 2017. – №3. – С.7-10.

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

49. 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.

50. 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.

51. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 831 с.

52. 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.

53. Костенко, М.Ю. Повышение сепарирующей способности элеваторов путем применения секционных комбинированных прутков [Текст] / М.Ю. Костенко, С.Т. Кодиров, М.М. Ляшин [и др.] // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, академика РАТ, доктора технических наук, профессора Н.Н. Колчина «Совершенствование конструкций и эксплуатации техники». – Рязань, РГАТУ. – 2021. – С.13-17.

54. Кривоногов, Н.И. Исследование первичной сепарации почвы в картофелеуборочных машинах с целью обоснования параметров сепараторов с активным встряхивателем: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Кривоногов Николай Иванович. – М., 1968. – 170 с. (5

55. Крыгин, С.Е. Пути совершенствования механизированной уборки картофеля на тяжелых суглинистых почвах Рязанской области [Текст] / С.Е. Крыгин, Е.Е. Крыгина // Инновационные технологии отечественной селекции и

семеноводства, Всероссийского форума по селекции и семеноводству (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ. – 2018. – С.124-126.

56. 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-Уде, ВСГУТУ. – 2018. – № 3 (70). – С.25-30.

57. Кузьмин, А.В. Обоснование взаимного расположения рабочих органов картофелеуборочной машины [Текст] / А.В. Кузьмин, С.С. Остроумов // Материалы VII Международной научной конференции «Проблемы механики современных машин». – Иркутск. – 2018. – С.48-51.

58. Купряшкин, В.Ф. К вопросу классификации приводов технологических машин и особенностей определения общего коэффициента полезного действия / В.Ф. Купряшкин, Н.И. Наумкин, А.В. Безруков // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем». – Саранск: Изд-во Мордовского университета. – 2009. – С.360-364.

59. Купряшкин, В.Ф. Разработка практических рекомендаций для создания электронных карт полей с помощью программ на базе операционной системы Android / А.Н. Кувшинов, В.Ф. Купряшкин, А.П. Иншаков, И.И. Курбаков // Нива Поволжья. – 2020. – № 4(57). – С.109-115.

60. Купряшкин, В.Ф. Эффективное использование почвообрабатывающих агрегатов на базе мотоблоков / В.Ф. Купряшкин, А.С. Уланов. – Саранск: ООО «Типография «Рузаевский печатник», 2021. – 160 с.

61. Куцев, И.Е. Разработка разветвляющейся технологии уборки картофеля с обоснованием параметров и режимов работы сепарирующих устройств [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Куцев Иван Евгеньевич. – Рязань, 1999. – 36 с.

62. Лапин, Д.А. Обоснование параметров дискового ворошителя сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Лапин Дмитрий Александрович. – Рязань, 2018. – 133 с.
63. Лапин, Д.А. Сравнение интенсификаторов сепарирующих элеваторов по воздействию на компоненты картофельного вороха [Текст] / Д.А. Лапин // Вестник РГАТУ. – 2018. – С.135-137.
64. 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.
65. 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.
66. Максимов, Л.Л. Обоснование параметров сепарирующего устройства малогабаритного картофелеуборочного комбайна [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Максимов Лев Леонидович. – Саранск, 2019. – 155 с.
67. Максимов, Л.Л. Оптимизация параметров сепарирующего устройства восходяще-сходящего действия малогабаритного картофелеуборочного комбайна [Текст] / Л.Л. Максимов, О.П. Васильева, Я.Л. Максимова// Аграрная наука - сельскохозяйственному производству. – 2019. – С.101-105.
68. Манохина, А.А. Машины для уборки картофеля [Текст] / А.А. Манохина, О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов // Материалы III Международной научно-практической конференции под редакцией О.Н. Дидманидзе, Н.Е. Зимина, Д.В. Виноградова. – 2018. – С.180-187.
69. 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.

70. Наврузова, Л.Г. Анализ работы сепарирующего рабочего органа картофелеуборочных машин / Л.Г. Наврузова, И.П. Гаджиев // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2022. – № 41(46). – С.108-113

71. Нестерович, Э.О. Исследование воздействия на клубненосный пласт 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.

72. 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 // Техника и оборудование для села. – Москва. – 2018. – №9 – С.25-28.

73. Пат. на изобретение. №2785297 С2, RU, МПК А01D 17/10. Сепарирующий рабочий орган картофелеуборочных машин / П.И. Гаджиев, Махмутов М.М., Хисматуллина Ю.Р., Рамазанова Г.Г., Штаюнда Э.Н., Махмутов М.М., Гаджиев И.П., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный заочный университет // № 2021112154/10(025976); заявл. 28.04.2021.– опубл. 06.12.2022., Бюл.№34

74. Пат. на полезную модель. №214988 U1, RU, МПК А01D 33/08. Сепарирующий элеватор с очищающими лопастями / П.И. Гаджиев, Шестакова Е.В., Махмутов М.М., Рамазанова Г.Г., Хисматуллина Ю.Р., Наврузова Л.Г., Гаджиев И.П., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный заочный университет // № 2022111458/09(024091); заявл. 27.04.2022.–опубл. 23.11.2022., Бюл. №33

75. Первушин, В.Ф. Применение стеклопластиковых 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.

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

77. Повышение эффективности уборки картофеля в условиях пониженной влажности: / И.В. Лучкова, С.Н. Бoryчев, Д.Е. Каширин [и др.] // Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2022. – 148 с.

78. 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.

79. 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.

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

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

82. Рембалович, Г.К. Повышение эффективности уборки картофеля на тяжелых суглинистых почвах совершенствованием сепарирующих органов комбайнов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Рембалович Георгий Константинович. – Рязань, 2014. – 38 с.

83. 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.

84. Рогов, С.С. Совершенствование технологического процесса и органа первичной сепарации почвы в картофелеуборочных машинах: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Рогов Сергей Сергеевич. – Рязань, 2009. – 185 с.
85. Ромашов, Е.А. Совершенствование машин для уборки картофеля / Е.А. Ромашов [Текст] // Материалы 27-й студенческой научной конференции. – Благовещанск. – 2019. – С.162-165.
86. Рузимуродов, А.А. Усовершенствованный поперечный ворошитель сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Рузимуродов Абдугафор Абдусаторович. – Рязань, 2020. – 117 с.
87. Рябчиков, Д.С. Исследование выгрузки картофеля с транспортных средств при уборке [Текст] / Д.С. Рябчиков, С.Н. Бoryчев, 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.
88. Рязанов, Н.А. Усовершенствованный технологический процесс и интенсификатор основного элеватора картофелеуборочных машин [Текст]: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / Рязанов Николай Анатольевич. – Рязань, 2012. – 144 с.
89. 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.
90. Савельев, В.А. Картофель: Монография / В.А. Савельев. - 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 240 с.
91. Славкин, В.И. Исследование переходных процессов в системе управления процесса сепарации самоходного картофелеуборочного комбайна КСК-4-1 / В.И. Славкин, М.М. Махмутов, Ю.Р. Хисматуллина, М.М. Махмутов // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2021. – № 37(42). – С. 27-31.
92. Сорокин, А.А. Теория и расчет картофелеуборочных машин (монография) / А.А. Сорокин. – М.: ВИМ, 2006. – 160 с.

93. Старовойтова, О.А. Картофелекопатель для уборки раннего картофеля [Текст] / О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов, А.А. Манохина // Материалы Международной научной конференции профессорско-преподавательского состава, посвященной 155-летию РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева. – Москва. – 2021. – С. 285-288.

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

95. Старовойтов, В.И. Возделывание картофеля с применением микроэлементов / В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, А.А. Манохина, В.А. Чайка // Материалы II Международной научной конференции «Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России», 25 ноября 2021 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет. – 2022. – С.165-170.

96. Старовойтов, В.И. Влияние средообразующих факторов на урожайность картофеля / В.И. Старовойтов, О.А. Старовойтова, А.А. Манохина [и др.] // Агроинженерия. – 2022. – Т.24. – № 5. – С.4-10.

97. 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. – №2. – С. 34-37.

98. Тришкин, И.Б. Оценка эффективности работы картофелеуборочной техники / И.Б. Тришкин, С.Н. Борычев, М.А. Липатова // Материалы Национальной научно-практической конференции «Технологические новации как фактор устойчивого и эффективного развития современного агропромышленного комплекса» 20 ноября 2020 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. – 2020. – С.248-254.

99. 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.
100. 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.
101. Уваров, В.Б. Математический анализ / В.Б. Уваров. – М., Высшая школа, 1984. – 288 с.
102. Угланов, М.Б. Актуальные вопросы совершенствования картофелеуборочной техники / А.А. Симдянкин, М.Ю. Костенко, Г.К. Рембалович [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 114. – С. 985-1000.
103. Успенский, И.А. К вопросу модернизации транспортных средств для АПК [Текст] / И.А. Успенский [и др.] // Сборник научных трудов международной конференции «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы». – Саранск: Изд-во ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва». – 2014. – С.181-187.
104. Успенский, И.А. Исследование причин возникновения повреждений клубней картофеля при их загрузке в транспортное средство [Текст] / И.А. Успенский, И.А. Юхин, А.А. Голиков // Техника и оборудование для села.– Рязань, Академия ФСИН России. – 2019. – №10(268). – С.26-29.
105. Успенский, И.А. Оценка перспективной технологической схемы картофелеуборочного комбайна [Текст] / И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, М.Ю. Костенко, Р.В. Безносок // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – Волгоград. – 2018. – № 49 – С.262-269.
106. Успенский И.А., Юхин И.А., Мачнев А.В., Голиков А.А. Формирование комплекса картофелеуборочных и транспортных машин // Техника и оборудование для села. – 2021. – №2(284). – С.27-31.

107. 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.

108. Успенский, И.А. 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.

109. Успенский, И.А. Экономическая эффективность комбайновой уборки картофеля с применением интенсификатора сепарирующего элеватора / И.А. Успенский, И.А. Юхин, И.П. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2022. – Т. 14. – № 4. – С. 177-184.

110. Ханхасыкова, Л.П. Изучение процессов повреждения клубней при уборке картофеля [Текст] / Л.П. Ханхасыкова, А.В. Кузьмин // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК». – Иркутск. – 2019. – С.178-86.

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

112. 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.

113. Чаткин, М.Н. Применение дифференцированной системы обработки почвы / М.Н. Чаткин, С.Е. Федоров // Доклады ТСХА: Материалы международной научной конференции, Москва, 05 – 07 декабря 2017 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева. – 2018. – С.156-158.

114. 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.

115. Чаткин, М.Н. Обоснование дифференцированных параметров рабочих органов культиватора для предпосевной обработки почвы / М.Н. Чаткин, С.Е. Федоров, М.В. Бычков, А.А. Жалнин // Материалы Международной научно-практической конференции «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы», 24–25 ноября 2021 года. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва. – 2022. – С.37-41.

116. Шемякин, А.В. Прогнозирование качества работы картофелеуборочной машины / А.В. Шемякин, М.Ю. Костенко, В.В. Терентьев, Н.А. Костенко // Сельский механизатор. – 2013. – № 5(51). – С.6-7.

117. Шемякин, А.В. Совершенствование сепарирующей способности элеватора картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах / Шемякин А.В., Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г., Гаджиев И.П. // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина, «Инновации в сельскохозяйственном машиностроении, энергосберегающие технологии и повышение эффективности использования ресурсов», 24 мая 2022 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. – 2022. – С.332-337.

118. Юхин, И.А. Исследование вопроса организации беспростойного процесса уборки картофеля машинным способом / И.А. Юхин, И.А. Успенский, А.А. Голиков // Материалы 71-й Международной научно-практической конференции «Современные вызовы для АПК и инновационные пути их решения», 15 апреля 2020 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. – 2020. – С.237-242.

119. Abedi, G. Aerodynamic properties of potato tubers to airflow separation from stones and clods / G. Abedi, S. Abdollahpou, M. Bakhtiari // International Journal of Vegetable Science. – 2019. – Vol.25 – no.1. – P.87-94.

120. 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. Uglov, M.YU. Kostenko, G.K. Rembalovich BIO Science Biotechnology Research Communications. – 2019. – №12(5). – P.312-322.
121. Edris M. Impact of Soil Compaction on the Engineering Properties of Potato Tubers / M.K. Edris, K.A. Al-Gaadi, A. A. Hassaballa [et al.] // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2020. – Vol. 13, Issue 2. – P.163-167.
122. Ereemeev, V. The effect of pre-planting thermal treatment of seed tubers on the yield and quality of potato / V. Ereemeev, B. Tein, P. Lääniste, E. Mäeorg and al. // Agronomy Research. – №13(5). – 2015. – pp. 1193-1201.
123. Gaj, R. The impact of cover crops and foliar application of micronutrients on accumulation of macronutrients in potato tubers at technological maturity stage / R Gaj, B Murawska, E. Fabisiak-Spychaj [et al.] // Europ. J. of Horticult Sci. – 2018. – 83(6). – 345-55.
124. 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. – P.53-60.
125. Hrushetsky, S.M. Research of constructive and regulatory parameters of the assembly working parts for potato harvesting machines / S.M. Hrushetsky, V.I. Duganets, V.M. Yaropud, V.M. Pryshliak, V.L. Kurylo // Agricultural Engineering. – 2019. – T.59. – Vol. 3. – P.101-110.
126. Khodadadi Dehkordi, D. The effects of Superabsorbent polymers on soils and plants / D. Khodadadi Dehkordi // Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science. – 2016. – 39(3). – 267-298.
127. Rathore, S. Deficit irrigation scheduling and levels of hydrogel (SAPs) influence on productivity and economics of Indian mustard (*Brassica juncea*) under semiarid conditions / S. Rathore, K. Shekhawat, B. Rathore, R. Singh, O. Premi, B. Kandpal // Indian Journal of Agricultural Sciences. – 2018. – 88(9). – 1474-1476.

128. Satriani, A. The role of superabsorbent hydrogel in bean crop cultivation under deficit irrigation conditions / A. Satriani, M. Catalano, E. Scalcione // A case-study in Southern Italy. *Agricultural Water Management*. – 2018. – 195. – 114-119.
129. Shemyakin, A.V. Pilot study findings of the vibration cleaning process of honeycombs / A.V. Shemyakin, S.N. Borychev, D.D. Kashirin [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Yekaterinburg. – 2022. – P. 012033.
130. Siberev, A.V. Comparative study of the force action of harvester work tools on potato tubers [text] / *Research in Agricultural Engineering*. – 2019. – № 3. – P.85-90.
131. Starovoitova, O.A. The study of physical and mechanical parameters of the soil in the cultivation of tubers / O.A. Starovoitova, V.I. Starovoitov, A.A. Manokhina // *Journal of Physics: Conference Series, International Conference on Applied Physics, Power and Material Science*. – 2019. – 1172:
132. Starovoitova, O.A. Influence of growing environment on potato tubers quality / O.A. Starovoitova, A.N. Mute, A.A. Manohina [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia*. – Omsk City, Western Siberia. – 2021. – P.012011.
133. Starovoitov, V.I. Physical and mechanical parameters of the soil and yield of tubers of food potato depending on the spacing width / V.I. Starovoitov, O.A. Starovoitova, A.A. Manokhina // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – Yekaterinburg. – 2022. – P.012001.
134. Suresh, R. Super absorbent polymer and irrigation regime effects on growth and water use efficiency of container-grown cherry tomatoes / R. Suresh, S. Prasher, R. Patel, Zh. Qi, E. Elsayed, T. Schwing-hamer, A. Ehsan // *Transactions of the ASABE*. – 2018. – 61(2). – 523-531.
135. 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.
136. Zhou, J. Design and experiment of a self-propelled crawler-potato harvester for hilly and mountainous areas [text] / J. Zhou, Z. Gao, J. Chen, S. Yang, M. Li, Z. Chen, J. Zhou / *INMatch - agricultural engineering*. – 2021. – № 2. – P.151-158.

137. Weil, Z., Experiment and Analysis of Potato-Soil Separation Based on Impact Recording Technology / Z. Weil, H. Li, Y. Mao [et al.] // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2019. – Vol. 12, Issue 5. – P.71-80.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2785297

СЕПАРИРУЮЩИЙ РАБОЧИЙ ОРГАН КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)**

Авторы: **Гаджиев Парвиз Имран-оглы (RU), Махматов Мансур
Магфурович (RU), Хисматуллина Юлдуз Рахимзяновна (RU),
Рамазанова Гюльбике Гудретдиновна (RU), Штаюнда Эльвира
Николаевна (RU), Махматов Марат Мансурович (RU), Гаджиев
Имран Парвизович (RU)**

Заявка № 2021112154

Приоритет изобретения 28 апреля 2021 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 06 декабря 2022 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 28 апреля 2041 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

подпись
Ю.С. Зубов
подпись
Ю.С. Зубов
подпись
Ю.С. Зубов

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 214988

Сепарирующий элеватор с очищающими лопастями

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный заочный университет" (RU)*

Авторы: *Гаджиев Парвиз Имран оглы (RU), Шестакова Елена Владимировна (RU), Махмудов Мансур Магфурович (RU), Рамазанова Гюльбике Гудретдиновна (RU), Хисматуллина Юлдус Рахимзяновна (RU), Наврузова Лале Гудретдиновна (RU), Гаджиев Имран Парвизович (RU)*

Заявка № 2022111458

Приоритет полезной модели 27 апреля 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 23 ноября 2022 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 27 апреля 2032 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Ю.С. Зубов





Министерство
сельского хозяйства
Российской Федерации

ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ 2022

XXIV ВСЕРОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

ЗОЛОТОЙ МЕДАЛЬЮ

ФГБОУ ВО РГАЗУ,
г. Балашиха

За разработку интенсификатора для повышения полноты сепарации почвы
на переувлажненных почвах картофелеуборочными машинами

МИНИСТР СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.Н. ПАТРУШЕВ

«Утверждаю»

Глава

«Фермерское хозяйство «Радуга» Быкова В.Д.

Быков.В.Д.

11 ноября 2022 года

АКТ



испытаний картофелеуборочного комбайна КПК-2-01с использованием интенсификатора выполненного в виде транспортера с лопастями, установленными под полотном пруткового элеватора в «Фермерском хозяйстве «Радуга» Быкова В.Д. п. Камыши, Курского района, Курской области.

Комиссия в составе представителя «Фермерское хозяйство «Радуга» Быкова В.Д. агронома Смирнова А.А., представителей ФГБОУ ВО РГАЗУ профессора кафедры эксплуатации и технического сервиса машин Махмутова М.М., доцента кафедры Сметнева А.С. и аспиранта Гаджиева И.П. составила настоящий акт о том, что картофелеуборочный комбайн КПК-2-01 с интенсификатором пруткового элеватора проходил испытания в октябре 2022 года в «Фермерском хозяйстве «Радуга» Быкова В.Д. Курского района, п. Камыши, Курской области на переувлажненных почвах.

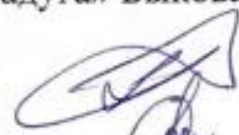
Полевые исследования картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 с экспериментальным рабочим органом велись по двум основным направлениям: проверка предшествующих теоретических и практических проработок в реальных условиях уборки картофеля и сравнительная оценка агротехнических показателей экспериментального комбайна с показателями серийно выпускаемой модели. Полевые испытания показали:

1. Работоспособность и эффект от использования интенсификатора на прутковом элеваторе обеспечивается на переувлажненных почвах влажностью до 26,3%. Повреждения клубней в результате применения интенсификатора на картофелеуборочном комбайне КПК-2-01 снизились и составили 2,8%.

2. Потери клубней картофелеуборочного комбайна с интенсификатором во время уборки снизились с 8,3% до 3,0% в сравнении с серийным, в основном за счет уменьшения количества клубней, присыпанных почвой.

3. В период уборки картофеля при влажности почвы 26,3 % полнота сепарации почвы с интенсификатором сепарирующего элеватора составила 93,5%.

Подписи:

Агроном «Фермерское хозяйство «Радуга» Быкова В.Д.		Смирнов А.А.
Профессор кафедры ЭиТСМ		Махмутов М.М.
Доцент кафедры ЭиТСМ		Сметнев А.С.
Аспирант ФГБОУ ВО РГАЗУ		Гаджиев И.П.