На правах рукописи

КАМАЛЕТДИНОВ Рим Рашитович

НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ И УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ НА ОСНОВЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Специальность 05.20.01 – Технологии
и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Уфа – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования (ФГБОУ ВО) «Башкирский государственный аграрный университет»

Официальные оппоненты: **Максимов Павел Леонидович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»
Латыпов Рафкат Мирхатович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой эксплуатации машинно-тракторного парка ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»
Калинин Андрей Борисович, доктор технических наук, профессор кафедры технических систем в агробизнесе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева»

Защита состоится 23 июня 2017 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 220.003.04 при ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина, ФГБОУ ВО Казанский ГАУ по адресу: г. Димитровград, ул. Куйбышева, 310, ауд. 210, Технологический институт филиал ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет, а также на сайте вуза http://www.bsau.ru/.

Автореферат разослан и размещён на официальных сайтах Минобрнауки РФ http://vak2.ed.gov.ru/ и ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ» http://www.bsau.ru/
«___»_____20___г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Мударисов Салават Гумерович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одним из приоритетных направлений развития аграрного сектора экономики в России является переход к устойчивому развитию земледелия, в основе которого заложены принципы минимального негативного воздействия на окружающую среду, сохранения биоразнообразия, максимального использования и рационального распределения агробиологического потенциала природных ресурсов, снижения потерь выращенной продукции. Реализация данных положений диктует необходимость изменения парадигмы оценки эффективности технологий и технических средств сельскохозяйственного производства. Использование традиционно принятого и практически единственного интегрального показателя – как объем полученной продукции, привело к повсеместному использованию в растениеводстве подходов, ориентированных лишь на получение максимального урожая. Концепция устойчивого земледелия рассматривает возделывание сельскохозяйственных культур как сложной агробиологический процесс, в котором наряду с урожайностью должны быть учтены показатели использования и восстановления естественного плодородия почвы, изменения репродуктивных и потребительских свойств полученной продукции при длительном хранении и т.д. Это предопределяет необходимость разработки интегрального индикатора качества, позволяющего оценить разноплановые признаки и их совокупности в единых показателях. При этом данные показатели должны обеспечивать возможность суммарной оценки уровня достижения и итогового баланса целевых параметров признака.

Первоочередной переход на технологии, учитывающие не только агротехнические, но биологические показатели качества необходимо осуществить в картофелеводстве. Значительные начальные финансовые вложения на покупку импортной техники и семян из-за уменьшения числа отечественных разработок и выпуска машин для картофелеводства, повышенная чувствительность к патогенной микрофлоре ввозимых из-за рубежа сортов при недостатке собственных мощностей по производству безвирусного картофеля и как следствие потери при хранении до 50% выращенного урожая и т.д., привели к многократному уменьшению объема производства данной культуры крупными предприятиями. При этом, в связи с негативными изменениями биологических параметров почвенной экосистемы использование даже самых совершенных технологий возделывания не может гарантировать получение стабильных урожаев и сохранность продукции, если заражённость почвы и семенного материала патогенной микрофлорой будут превышать уровень допустимого фона. Негативные последствия влияния данного фактора многократно усиливаются при наличии механических повреждений клубней и содержании в закладываемом на хранение картофельном ворохе почвенных и растительных примесей. В связи с этим выдвинута ***гипотеза,*** что для возрождения промышленного производства и обеспечения устойчивого развития картофелеводства в России необходима разработка технологии и технических средств возделывания и уборки картофеля, обеспечивающих неукоснительное выполнение не только агротехнических, но и агробиологических требований качества на всех этапах производственного цикла начиная с формирования

симбиотической микрофлоры почвы перед посадкой до завершения срока хранения.

Для решения данной проблемы в первую очередь необходимо повышение эффективности работы картофелеуборочных машин и разработка сепарирующих устройств, обеспечивающих получение клубней с содержанием не более 10 % примесей без их травмирования, в том числе и на тяжёлых суглинистых почвах, а также переход к технологиям, основанным на широком применении биопрепаратов, использование которых на практике ограничено, вследствие негативных внешних воздействий, в частности рабочих процессов сельскохозяйственных машин, на сохранность колониеобразующих единиц (КОЕ) и незначительное влияние данной операции на формирование симбиотической микрофлоры в агробиоценозах. Нерешённость данных вопросов является одним из основных факторов сдерживающих развитие промышленного картофелеводства в России.

Степень разработанности темы. Решение задач устойчивого развития земледелия противоречит всему предшествующему опыту и привычным стереотипам мышления, рассматривающим природу как неиссякаемый источник ресурсов. Вследствие этого при разработке технологий и технических средств механизации сельского хозяйства преобладает ориентация на «антропогенные» подходы, наносящие невосполнимый урон окружающей среде. Это диктует необходимость с учётом многократного роста материальных затрат и “уровня сложности” при использовании традиционно принятых методологий НИОКР, обоснования научных подходов, обеспечивающих возможность оценки и включения в графоаналитические построения новых факторов, таких как состояние биоты, микробиологический фон в агробиоценозах, сохранность выращенной продукции и т.д. без кардинального изменения предыдущих модельных построений. Необходимость решения подобных задач в ряде научных направлений, частности системного и прикладного программирования, проектирования сложных систем привело к созданию и развитию объектно-ориентированной методологии анализа и синтеза, в том числе и на основе энтропийной оценки уровня достижения целевых параметров. Однако в области сельскохозяйственного производства возможности энтропийной оценки качества и объектно-ориентированной методологии модельных представлений в полной мере не использовались.

Цель работы. Повышение эффективности возделывания и уборки картофеля путём разработки технологий и технических средств на основе объектно-ориентированного моделирования.

Объект исследования. Технологии и технические средства возделывания и уборки клубней картофеля.

Предмет исследования. Машинные технологии возделывания и уборки картофеля, взаимосвязи влияния технологий возделывания, состояния клубненосного пласта почвы и конструктивно-технологических параметров картофелеуборочных машин с чистотой сходового вороха и потерями продукции при хранении; влияние физико-механических характеристик рабочих процессов сельскохозяйственных машин на динамику численности полезных микроорганизмов (показатель «колониеобразующие единицы» КОЕ); теоретико-методологические

аспекты модельных построений и энтропийной оценки качества на основе объектно-ориентированных подходов.

Методика исследований. При решении поставленных задач использовались методологии системного анализа и синтеза, объектно-ориентированных модельных построений, теории вероятности и математической статистики, численные методы решения аналитических зависимостей, классической механики, основные положения теории информации, теории разрушения, механики грунтов, имитационного, виртуального и физического моделирования, теории решения изобретательских задач (ТРИЗ).

При лабораторно-полевых испытаниях машин для уборки клубней картофеля, оценке агробиологического фона были применены стандартные и частные методики, в том числе собственной разработки.

Оценка аналитических зависимостей, кинематический и динамический анализ и обработка экспериментальных данных осуществлялось с использованием программ математического расчета и статистического анализа MathCad, Excel, StatGraph, и CAD/CAE системы автоматизированного проектирования и инженерного анализа FLOWVISION и MSC Adams.

Научная новизна работы:

1. Определены концептуальные направления разработки и совершенствования технологий и технических средств возделывания и уборки картофеля, ориентированные на реализацию положений устойчивого развития земледелия.
2. Обоснована и разработана методика энтропийной оценки выполнения требований качества и стабильности рабочих процессов сельскохозяйственных машин.
3. Определены энтропийные индикаторы стабильности отдельных технологических операций при возделывании и уборке картофеля.
4. Разработана методология объектно-ориентированного моделирования на примере совершенствования конструктивно-технологических параметров картофелеуборочных машин.
5. Разработана объектно-ориентированная модель взаимодействия подкапывающего лемеха с клубненосным пластом с учетом влияния продольного рельефа плотного ложа и траектории движения лезвия на содержание в исходном ворохе переуплотнённых почвенных комков.
6. Составлена вероятностная модель уменьшения до «проходовых» размеров крупных почвенных частиц, рассматривающая не только их разрушающее, но и упрочняющее воздействие циклических нагрузок просевающих сепараторов, а также влияние зон приложения нагрузки к комку на интенсивность процесса разрушения и чистоту сходового вороха.
7. Разработана аналитическая модель движения компоненты картофельного вороха по внутренней поверхности вращающегося усечённого конуса.
8. Предложены методики выбора рациональных параметров приставки к картофелепосадочным машинам для обработки клубней биопрепаратами, копирующего лемеха и фрикционного сепаратора на основе машинных экспериментов с использованием виртуальных моделей, разработанных в CAD/CAE системах автоматизированного проектирования и инженерного анализа;

9. Установлена отрицательная реакция на внешние физико-механические воздействия и снижение жизнеспособности микроорганизмов при возникновении в рабочей жидкости зон кавитации, повышенных температур и предложены конструктивно-технологические решения по снижению их негативного влияния.

Новизна технических решений защищена шестью патентами на изобретение Российской Федерации, тремя авторскими свидетельствами, двумя патентами на полезную модель.

Практическая ценность. Материалы диссертации могут служить основной для разработки критериев качества и стабильности, а также оценки соответствия технологий и конструктивно-технологических параметров сельскохозяйственных машин положениям концепции устойчивого развития земледелия. Предложенная методология объектно-ориентированного моделирования позволит создать библиотеку классов технических устройств и использовать полученные результаты для дальнейших модельных построений, а также обеспечит возможность выявления помехообразующего фактора - аналог технического противоречия в ТРИЗ и применить методы решения изобретательских задач для совершенствования существующих технических средств и поиска новых решений.

На основе полученных автором результатов изданы практические рекомендации:

1. «Рекомендации по совершенствованию рабочих органов машин для уборки картофеля». Рассмотрены и одобрены НТС Минсельхоза России (протокол №9 от 7 июня 2012 г., изданы в 2012 и 2014 годах).

2. «Перспективные направлениям совершенствования способов и конструкций машин для инкрустации семян сельскохозяйственных культур биологическими защитно-стимулирующими препаратами». Рассмотрены и одобрены секцией аграрного образования и сельскохозяйственного консультирования Минсельхоза России (протокол №30 от 24 сентября 2012 г.).

3. «Совершенствование рабочих органов картофелеуборочных машин на основе объектно-ориентированных имитационных моделей». Поддержано Отделением механизации, электрификации и автоматизации РАСХН (25.01. 2012 г.).

Результаты исследований автора включены в книгу “Обеспечение агроэкологической безопасности в Республике Башкортостан”, предназначенную для использования органами государственной власти, заинтересованными ведомствами и специалистами (Рекомендовано к изданию президиумом РАСХН, Академиями Наук Республики Башкортостан и Республики Татарстан).

Материалы, содержащиеся в диссертации, могут быть полезны для научных сотрудников и инженеров-конструкторов, занимающихся системными исследованиями и модельными построениями, а также разработкой инженерного обеспечения агротехнологий, для руководителей и специалистов АПК, аспирантов и студентов.

Достоверность результатов исследований обеспечивалась использованием при выполнении лабораторных и полевых исследований современных контрольно-измерительных комплексов и программного обеспечения, сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований и оценкой соответствия с результатами, опубликованными в независимых источниках, а также

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

Реализация результатов исследований. Результаты проведённых исследований использованы Министерством сельского хозяйства Республики Башкортостан при разработке республиканской системы машин и перспективной программы технического обеспечения АПК республики. Работа “Построение математической модели процесса сепарации картофельного вороха и обоснование рациональных конструкций сепараторов” велась по договору с ГСКБ по машинам для возделывания и уборки картофеля г. Рязань. Результаты исследований приняты для использования при проектировании устройств по отделению клубней картофеля от почвенных комков. Материалы по обоснованию конструктивно-технологических параметров копирующего лемеха с замедлением и фрикционных сепарирующих устройств приняты ЗАО «Колнаг» (г. Коломна) для рассмотрения и включения в конструкцию разрабатываемых картофелеуборочных машин. Технологии возделывания картофеля на основе интенсификации деструкции вторичной фитомассы, выравнивания дневной поверхности и плотного ложа при обработке почвы, применения биопрепаратов и расширенных междурядий внедрены в республике Башкортостан на общей площади 1200 га, с включением опытных образцов разработанных технических устройств: усовершенствованного опрыскивателя, протравливателя клубней картофеля с рециркуляцией аэрозоли, картофелеуборочной машины с копирующим лемехом и вибрационным сепаратором, фрикционных сепараторов картофельного вороха.

Исследования технологий обработки сельскохозяйственных культур биопрепаратами и разработка технических средства для их осуществления поддержаны грантами Фонда содействия развитию малых предприятий в научно-технической сфере (Госконтракты №4822р/7290 и №7744р/11499). Полученные результаты использованы при усовершенствовании конструкции полевого опрыскивателя ОП-24, выпускаемого ОАО “Стерлитамакская машиностроительная компания”.

В научно-исследовательской работе, выполненной под руководством автора, по гранту МСХ России инв. №МСХ-2/2008 № госрегистрации 01200853489 по теме “Разработка методологии комплексной оценки эффективности сельскохозяйственного производства на основе имитационного моделирования с учётом биоклиматических, технологических и социально-экономических условий”, разработана и использована методология объектно-ориентированного системного моделирования на основе энтропийных критериев эффективности.

Материалы исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены на научных конференциях Башкирского ГАУ (г. Уфа, 2003-2016 гг.), Московского ГАУ им. В.П. Горячкина (г. Москва, 1998), Ленинградского ГАУ (г. Ленинград, 1985,1986 гг.), Волгоградского ГАУ (Волгоград, 1987) и Куйбышевского СХИ (Кинель, 1987), Оренбургского ГАУ (Оренбург, 2005), Чувашской ГСХА (Чебоксары, 2006), Челябинской ГАА (Челябинск, 2010-1013 гг.), Ульяновской УГСХА (Ульяновск, 2017). Разработка универсального модуля к мотоблоку для возделывания и уборки картофеля, признана победителем конкурса «Десять лучших ин-

новационных идей Республики Башкортостан – 2007», удостоена дипломов второй степени на выставках «Агрокомплекс-2009» (г. Уфа, 2009) и «Российским инновациям – российский капитал» (г. Чебоксары, 2008). Технологии и технические средства для применения биопрепаратов удостоены дипломов второй степени и серебряной медали на выставках «Агрокомплекс» (г. Уфа, 2008, 2010, 2011 и 2015 гг.), а также двух золотых медалей Российской агропромышленной выставки «Золотая Осень» (2010, 2012 гг.), серебряной и бронзовых медалей (г. Москва, 2015 г.). Технология обработки семян с иммобилизаций микроорганизмов на носитель с использованием инкрустатора семян БИС-4 включена в «Десять лучших инновационных идей Республики Башкортостан- 2010».

Результаты исследований рассматривались, после предварительной экспертизы, на заседании научно-техническом совете (НТС) Минсельхоза России (протокол №9 от 7 июня 2012 г., Москва), НТС Министерства сельского хозяйства Башкортостана (протокол №2-13 от 15 мая 2013 г., Уфа), на выездном заседании Бюро отделения механизации, электрификации и автоматизации сельского хозяйства РАСХН (ФГБОУ ВО Башкирской ГАУ 6–8 июня 2013 г.).

Публикации. Автор имеет 120 опубликованных работ, по теме диссертации - 65 научных работ, из них 26 работ в изданиях, рекомендованных ВАК, получено 9 патентов на изобретения и 2 на полезную модель. В опубликованных работах автору принадлежат основные научные идеи, теоретические и прикладные разработки, заключения и выводы. Общий объем публикаций составляет 42,3 п.л., из них авторских 31,6 п.л.

Вклад автора в диссертационные исследования. Выполнена структуризация, определены цели и предложены основные направления дальнейшего совершенствования технологий и технических средств для повышения устойчивости картофелеводства в России. Дано стратифицированное представление об использовании системных подходов, обоснована необходимость создания и предложена библиотеки типовых классов объектов – “Сельскохозяйственные машины”. Разработаны методология объектно-ориентированного моделирования и методы энтропийной оценки качества и стабильности технологических операций при возделывании и уборке картофеля. Определена продольная и поперечная плотность почвы в теле гребня и влияние точности копирования плотного ложа на чистоту сходового вороха. Рассмотрен процесс разрушения комков в рамках теории малоцикловой усталостной прочности и особенности просеваемости почвы на начальных участках сепаратора. Разработаны конструкции и обоснованы рациональные параметры копирующего лемеха с замедлением, вибрационного и фрикционных сепараторов картофельного вороха.

Разработаны и апробированы технологии возделывания и уборки картофеля на основе формирования выровненной дневной поверхности и плотного ложа, интенсификации процессов деструкции и гумификации вторичной фитомассы, а также широкого применения биологических препаратов. Установлено угнетающее влияние ряда физико-механических воздействий, возникающих при использовании технических средств для внесения биопрепаратов, на жизнеспособность микроорганизмов и предложены конструктивно-технологические решения по снижению данных негативных факторов.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Анализ состояния и выбор приоритетных направлений развития технологий и средств механизации по восстановлению промышленного производства и перехода России к устойчивому развитию картофелеводства.
2. Методология оценки качества выполнения и стабильности технологических операций сельскохозяйственных машин на основе энтропийных критериев оптимизации.
3. Основные положения и методология объектно-ориентированного моделирования процесса работы картофелеуборочного комбайна на основе энтропийных критериев оптимизации.
4. Взаимосвязи влияния физико-механических характеристик картофельных посадок и конструктивно-технологических параметров подкапывающих и сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин на качество отделения клубней от почвы.
5. Теоретическое обоснование процессов копирования плотного ложа клубненосного пласта подкапывающими и разрушения почвенных частиц сепарирующими рабочими органами картофелеуборочных машин.
6. Теоретическое обоснование движения и сепарирования клубней картофеля и почвенных частиц на криволинейных поверхностях и обоснование выбора конструктивных параметров и кинематических режимов конического и ленточного фрикционных сепараторов.
7. Методики численной реализации, в программных средах математического расчёта, объектно-ориентированных моделей взаимодействия подкапывающих и сепарирующих органов картофелеуборочных машин с клубненосным пластом, разработка виртуальных моделей и обоснования их рациональных параметров в CAD/CAE системах автоматизированного проектирования и инженерного анализа;
8. Рекомендации по дальнейшему совершенствованию технологий и конструктивно-технологических параметров сельскохозяйственных машин, ориентированных на реализацию концепции устойчивого земледелия, на основе учёта агробиологических факторов и широкого применения биологических средств защиты и стимуляции роста сельскохозяйственных культур.
9. Результаты экспериментальной проверки обоснованности предложенных технологий, выбор конструктивно-технологических параметров и соответствия рабочих процессов предложенных технических устройств заявленным требованиям качества и экономической эффективности.

Работа выполнена в ФБГОУ ВО Башкирский ГАУ согласно тематическому плану научно-исследовательских работ, а также в соответствии с программой на 2008-2013 гг. “Разработка современных технологий и технических средств для возделывания сельскохозяйственных культур”, № госрегистрации 01200950301.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, семи глав, общих выводов, библиографического списка из 326 наименований, приложений на 40 страницах. Основной текст изложен на 313 страницах, включает 114 рисунков и 25 таблиц.

Диссертационная работа выполнена автором самостоятельно. В решении отдельных частных задач по теме диссертации принимали участие профессор

Угланов М.Б., д.т.н. Яруллин Р.Б., д.т.н. Мартынов В.М. Автор выражает искреннюю признательность профессорам Еникееву В.Г. и Мударисову С.Г. за неоценимую помощь в подготовке диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обоснована значимость устойчивого земледелия для обеспечения продовольственной безопасности России и необходимость совершенствования методологии НИОКР при разработке технологий и технических средств для возделывания и уборки картофеля.

В первой главе "Состояние проблемы и основные задачи исследования" проведён анализ уровня механизации сельскохозяйственного производства и сделан вывод, что в среднесрочной перспективе продовольственная безопасность России может быть обеспечена лишь при восстановлении производства ряда сельскохозяйственных культур, в частности картофеля с уровня начальной стадии товарного воспроизводства в личных подсобных хозяйствах до уровня промышленного производства. Это выдвигает на первый план проблему завершения механизации выполнения уборочных работ, в частности снижения содержания в сходовом ворохе почвенных примесей и травмированных клубней, являющейся по данным И.Л. Волкинд, А.С. Лобанова, Ю.В.Волосов, В.П. Жиглевич, М.А.Мосин, П.Ф.Сокол, Burton, Hine, Nilson, основными факторами увеличения потерь клубней при хранении. Решить данную задачу невозможно без перехода к технологиям, ориентированным на реализацию положений устойчивого развития земледелия и восстановление выпуска отечественных машин для картофелеводства. Предлагаемые в настоящее время технологии и технические средства ориентированы на интенсификацию производства и во главу угла ставиться снижение затрат и выход максимального объёма продукции с единицы площади. На рисунке 1 приведена обобщённая диаграмма, в которой отражены цели традиционного и устойчивого картофелеводства при выполнении отдельных технологических операций и возможные способы их решения. При этом необходимо констатировать, что недостаточно внимания уделяется вопросам:

- формирования симбиотической микрофлоры в резистентной зоне на протяжении всего производственного цикла от стимуляции энергии прорастания до закладки на хранение, ориентированной не только на получение высоких урожаев и сохранение товарного вида, но и на снижение общих потерь, пищевых и репродуктивных качеств при хранении;
- снижения уровня механических повреждений клубней картофеля и получение требуемой чистоты сходового вороха при механизированной уборке независимо от почвенно-климатических условий зоны возделывания.

Многогранность и сложность вышеприведённых положений диктует необходимость перевода на новый качественный уровень выполнения конструкторско-технологических и исследовательских работ на основе объектно-ориентированных модельных построений и энтропийных оценок качества выполнения технологических процессов, обеспечивающих эволюционное развитие НИОКР и охват возрастающего числа значимых факторов.

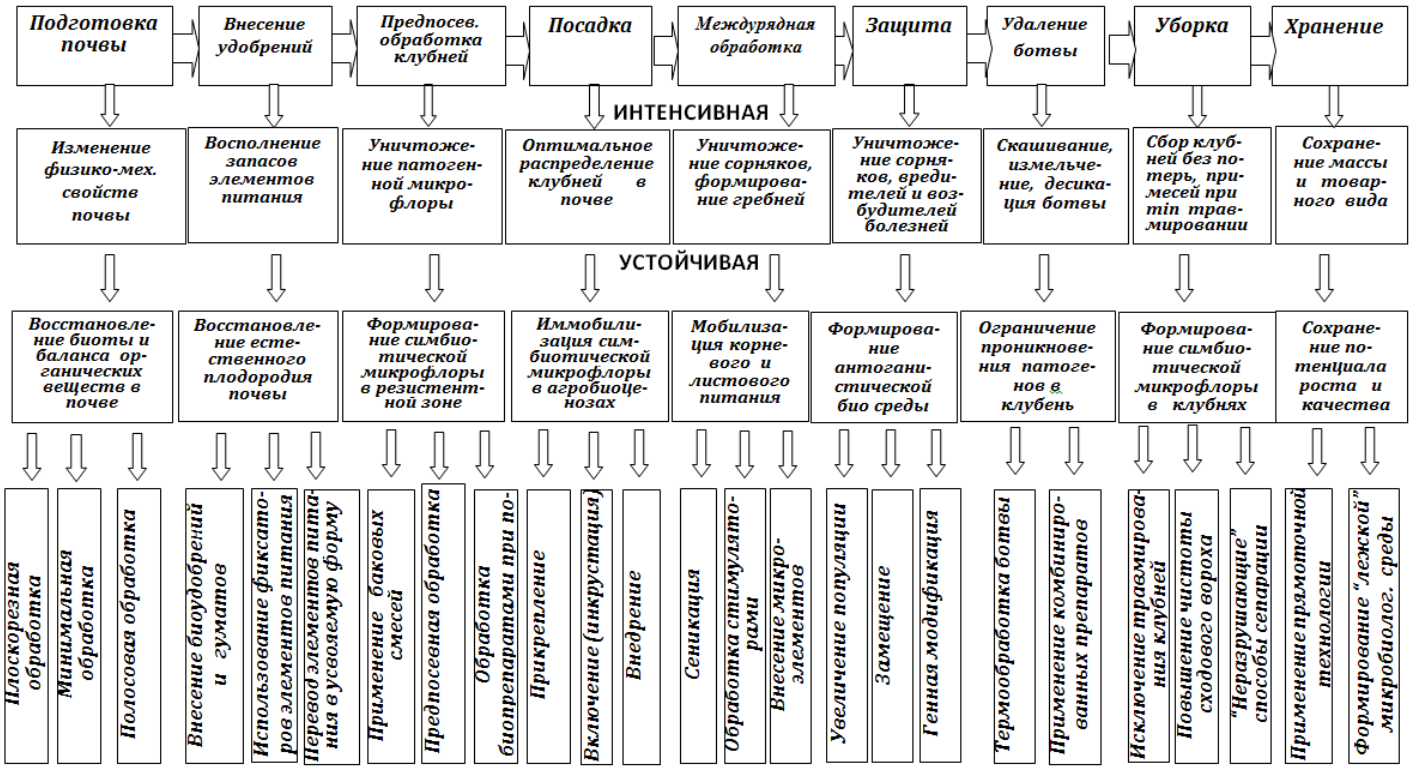


Рисунок 1- Диаграмма целей отдельных операций интенсивных технологий и устойчивого развития картофелеводства и способы их достижения

С учётом вышеизложенного были определены следующие задачи:

1. Провести анализ и выявить приоритетные направления совершенствования технологий и средств механизации в картофелеводстве, ориентированных на реализацию концепции устойчивого развития земледелия.

2. Разработать методику комплексной оценки качества и стабильности выполнения технологических операций сельскохозяйственного производства на основе энтропийных критериев оптимизации;

3. Разработать методологию и составить объектно-ориентированную модель рабочего процесса картофелеуборочной машины и на основе ее анализа предложить конструктивно-технологические решения, обеспечивающие качество сепарации картофельного вороха в соответствии с агротехническими требованиями, в том числе на тяжёлых переувлажнённых почвах.

4. Разработать технологию возделывания картофеля, основанную на широком применении биопрепаратов, и предложить конструктивно-технологические решения для ее реализации с учётом негативного влияния внешних физико-механических воздействий на живые микроорганизмы.

5. Разработать виртуальные модели взаимодействия клубненосного пласта с выкапывающими и сепарирующими рабочими органами картофелеуборочных машин в CAD/CAE системах автоматизированного проектирования и инженерного анализа и обосновать их рациональные конструктивно-технологические параметры;

6. Оптимизировать параметры и оценить экономическую эффективность предложенных технологических решений и технических устройств в лаборатор-

ных и полевых условиях, провести производственные испытания рекомендованных к внедрению устройств.

Во второй главе «Теоретико-методологическое обоснование объектно-ориентированных модельных построений» проведен анализ работ В.П. Горячкина, М.Е.Мацепуро, М.Н. Летошнева, П.М. Василенко, Л.В. Погорелого, И.Ф. Бородина, С.М. Григорьева, С.А. Васильева, Н.Н. Колчина, Г.Д. Петрова, И.В. Размысловича, К.И. Родионова, О.А. Сафразбекяна, Г.Н. Синеокова, А.А. Сорокина, А.Б. Лурье, В.Г. Еникеева, А.П. Иофинова, С.Г. Мударисова и других авторов, использовавших в своих исследованиях элементы системного подхода. Однако в них нет общего методологического единства, что не позволяет в полной мере объединить полученные результаты в едином графическом, тем более аналитическом пространстве. Даже в области системотехники многочисленные концепции Л. Фон Берталанфи, Р.Л. Акофа, В.Н. Садовского, А.И. Уемова, Ю.А. Урманцева, М. Месаровича, Я. Такахара, Дж. Клира, Б.С. Флейшмана, У.Р. Эшби и многих других не смогли преодолеть фактор “субъективизма”, а предложенные ими основные положения практически невозможно объединить до уровня самодостаточного научного направления. С учётом этого нами предложено рассматривать уровни использования общесистемных подходов в соответствии со схемой, приведённой на рисунке 2 и возможность их объединения в рамках объектно-ориентированных модельных построений на основе энтропийного критерия качества. В общепринятой трактовке соблюдение заданных требований качества технологических процессов сельскохозяйственных машин определяется значением критерия оптимизации и может быть представлена как совокупность пространства состояний, например, векторных полей. Границы пространства состояний определяются исходя из допустимых границ или диапазона полей допусков:

Рисунок 2 - Стратифицированное представление общесистемных подходов

$$Y_{i\,min} \le y_i \le Y_{i\,max},$$

где y_i – величина значения i-го показателя параметра; $Y_{i\,max}$ – максимальное значение допуска; $Y_{i\,min}$ – минимальное значение допуска.

Соответствие заданным требованиям качества будет соблюдаться, если значение параметров данных показателей будут находиться внутри подпространства, ограниченного границами допусков. Для оценки “попадания” отдельных параметров в заданный диапазон традиционно используются доверительные интервалы при выбранной надёжности, как выборочная средняя $M_{ср}$, дисперсия

SS, коэффициент вариации *V*, уравнение регрессии и т.д. Имея развитый статистический аппарат, данная методология недостаточно эффективна при значительном увеличении числа значимых параметров, а также при необходимости одновременной оценки нескольких показателей качества, имеющих разные размерности. Решение вышеуказанной проблемы связанно с выбором показателя качества, обладающего свойствами аддиативности и стабильности. Данным требованиям в полной мере соответствует энтропийные показатели состояния.

На рисунке 3 представлен график изменения энтропии *H* различных состояний системы имеющего два исхода *к=2*, например, сепарации смеси, состоящей из компонентов *A* – проход и *B* – сход или параметры показателя оцениваемые как *A* – соблюдение и *B* – нарушения агротребований и т.д.

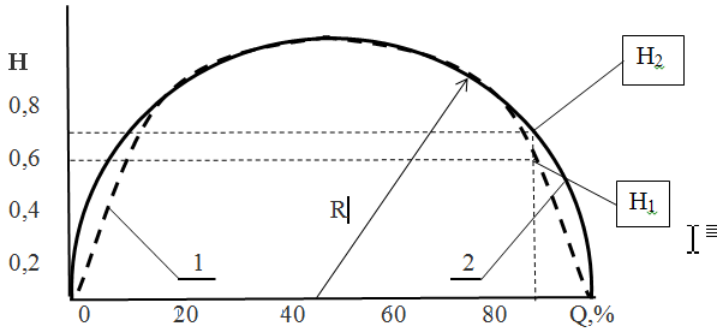


Рисунок 3 - Графическое представление: 1 - энтропии в зависимости от процентного соотношения Q компонентов бинарной смеси, 2 - полуокружность радиуса *R* в масштабе $M=\frac{H}{R}$

Исходя из того, что на основании полученных данных можно определить вероятность *p* содержания в сходе компоненты или соблюдение агротребований *A*, и вероятность *q* = 1-*p* содержания компоненты или нарушение предъявляемых требований *B*, энтропия для обеих случаев, независимо от их физической природы может быть определена как:

$$H = -p\log_2 p-(1-p)\log_2 (1-p). \quad (1)$$

Выбрав масштаб отношения осей $2H = Q_{max}$, и проведя линию окружности радиусом *R* в соотношении *R=H*, мы получим линию полуокружности весьма близкую к графику энтропии. Максимальные отклонения полученных графиков незначительны, что на этапах предварительного анализа, позволяет заменить кривую энтропии на полуокружность и существенно упростить графические построения. Предложенный нами подход весьма удобен для оценки качества выполнения процессов, имеющих два исхода, и нашло своё отражение при оценке нами стабильности отдельных технологических операций при возделывании картофеля и процесса сепарации картофельного вороха.

Стабильность технологического процесса обусловливается постоянством распределений вероятностных характеристик параметров оценочных показателей во времени без вмешательства извне. При этом контролируемые параметры должны находиться внутри граничных условий и не наблюдаться тренд к их выходу за пределы допусков. Одним из наиболее распространённых статистических инструментов оценки стабильности технологических процессов являются контрольные карты Шухарта, базирующиеся на анализе попадания графиков отдельных показателей в поле допусков технического задания. Вместе с тем достоверность полученных результатов во многом зависит от опыта и требует высокой квалификации эксперта и затрат времени. С учётом этого нами предлагается ввести безразмерный показатель – коэффициент стабильности K_C, рассчитываемый как отношение энтропии (неопределенности) оцениваемого параметра H_p

полученного в результате реальных замеров к энтропии H_d допустимых значений. Если показателем качества выполнения отдельной операции выбран параметр, представленный как доля, например, содержания примесей в сходовом ворохе, неповреждённых и повреждённых клубней или растений и т.п., то коэффициент стабильности рассчитывается по следующей зависимости:

$$K_c = \frac{H_p}{H_d} = \frac{-\sum_{i=1}^{k} p_i log_2\, p_i - \sum(1-p_i) log_2\,(1-p_i)}{-((p_d log_2\, p_d + (1-p_d) log_2\,(1-p_d)) \times k}, \quad (2)$$

где p_i –значение оцениваемого параметра при i-ом измерении, представленная в долях от единицы; p_d- допустимое значение параметра; k - общее количество измерений.

В случае оценки отклонения параметров показателя качества от заданной средней, например глубины хода почвообрабатывающего орудия, нормы расхода рабочей жидкости и т.п., коэффициент стабильности

$$K_c = \frac{H_p}{H_d} = \frac{\log_2\,(\sigma_p * 2/\sqrt{3})}{\log_2(2 * \Delta x)}, \quad (3)$$

где σ_p– среднеквадратическое отклонение оцениваемого параметра, полученного по результатам реальных замеров; $\Delta x -$ допустимое отклонение от средней.

Аналогичные зависимости получены для определения коэффициента стабильности при его оценке по заданному среднеквадратическому отклонению, а также по совокупности нескольких показателей. В таблице 1 приведены результаты оценки стабильности отдельных технологических операций при возделывании картофеля по вышеприведённой методике. Численные значения коэффициента стабилизации свидетельствуют:

а) K_c=1 – качество выполнения операции не выходит за рамки допуска, а оценочные параметры по данному показателю имеют достаточный уровень “требовательности” к ее выполнению;

б) K_c >1 – операция выполняется с превышением заданного уровня качества, что может, наряду с значительным конструктивно-технологическим прогрессом, свидетельствовать о заниженных требованиях к данному показателю и необходимости корректировки полей допусков;

в) K_c <1 – при выполнении операции по данному показателю не обеспечивается достижение требуемого уровня качества, и необходимо принятие мер по устранению несоответствия.

Проведенный анализ показывает (см. таблицу 1), что для таких операций как подготовка почвы наблюдается существенные отклонения глубины обработки и, соответственно, залегания плотного ложа.

При комбайновой уборке и хранении выполнение требований по чистоте сходового вороха, количеству травмированных клубней и потерь, значительно ниже допустимых показателей качества, а для операций с использованием микробиологических препаратов оценочных критериев нет, что ещё раз подтверждают достоверность априорных выводов о необходимости дальнейшего повышения эффективности рабочих процессов картофелеуборочных машин и технических средств для обработки сельскохозяйственных культур биопрепаратами.

Таблица 1 Стабильность технологических операций возделывания картофеля

№ п/п	Наименование операции	Агротехнические показатели качества	Допуск	Средний фактический показатель по данным авторов	Коэф-нт стабильности k_c
1	Подготовка почвы	Содержание частиц: 0,25 - 10 мм. - более 50 мм. – Отклонение глубины -	 ≥ 50 % Нет ± 1 см	С.Г Мударисов ≥ 75% Нет ± 2 см.	 1,7 1,0 0,18
2	Внесение удобрений	Отклонения нормы- Равномерность-	 ≤ 10% ≥ 75 %	Р.М. Латыпов 5% 85 %	 1,6 1,3
3	Предпосевная обработка клубней	 Отклонения нормы- Равномерность-	 ≤ 10% ≥ 75 %	Э.Р. Хасанов 5% 85 %	 1,6 1,5
4	Посадка клубней	Отклонения: нормы - глубины - шага посадки- междурядий: основных- стыковых -	 ± 2% ± 2 см ≤ 25% ± 2 см ± 10 см	Н.Н. Колчин ± 2% ± 2 см 15% ± 2 см ± 10 см	 1,0 1,0 1,3 1,0 1,0
5	Междурядная обработка	Повреждение растений	до 2 %	Р.К. Абдрахманов 2 %	 1,0
6	Обработка химическими препаратами	Отклонение нормы- Равномерность: по ширине- по ходу -	 ± 5 % ≥50 % ≥20 %	М.М. Ганеев ± 5% 50% 20 %	 1,0 1,0 1,0
7	Обработка микробиологическими препаратами	Отклонение нормы - Равномерность: по ширине- по ходу – Сохранность жизнеспособности КОЕ	 ± 5 % ≥50 % ≥20 % Нет данных	Р.Р. Камалетдинов ± 5% ≥50 % ≥20 % Нет данных	 1,0 1,0 1,0 0,0
8	Удаление ботвы	Высота среза скошенных стеблей	 ≤ 20 см. ≥ 7 0 %	П.Л. Максимов ≤ 20 см. ≥ 7 0 %	 1,0 1,0
9	Уборка	 Потери Повреждения клубней Содержание почвы	 ≤ 5% ≤ 3% ≤ 10%	Н.И. Верещагин 3…5% 11…35% 22…45%	 1,5-1,0 0,22-0,34 0,47-0,61
10	Хранение	Потери за 8 месяцев	 ≤ 7 %	К.А. Пшеченков 18–20%	 0,50-0,53

При объектно-ориентированном подходе в процессе исследования объекта предоставляется возможность последовательного перехода от общих концептуальных моделей к более частным и к детальным описаниям технологического, функционального, структурного и физического уровней, концентрирующихся в рамках объекта определённого класса. Каждый последующий этап построения дополняется все большим количеством элементов и взаимосвязей. Использование объектной кластеризации прослеживается в “Земледельческой механике” В.П. Горячкина. Практически все виды процессов выстроены в строгую иерархическую последовательность, и каждый объект внутри класса имеет ясный физический смысл (имя), завершенное аналитическое описание (поведение - определяемое параметрами и функциями объекта) и однозначный критерий оценки достижения цели.

Недостаткам объектно-ориентированного подхода является то, что нет немедленной отдачи, необходима разработка и накопление библиотеки повторно используемых объектов, которое возможно лишь при наличии значительной мотивации и консолидации инженерного научного сообщества. С учётом этого на основе всестороннего анализа развития системных представлений, объектно-ориентированных методологии и имитационного моделирования нами предлагается использовать в качестве элементов построения базис устройств для передачи сообщений по каналам связи. Сравнение вычислительного алгоритма имитационной модели и передачи сообщения, представленного на рисунке 4, показывает, что возможности генерации и обработки случайных процессов в среде теории информации значительно шире, чем в традиционных стохастических имитационных моделях.

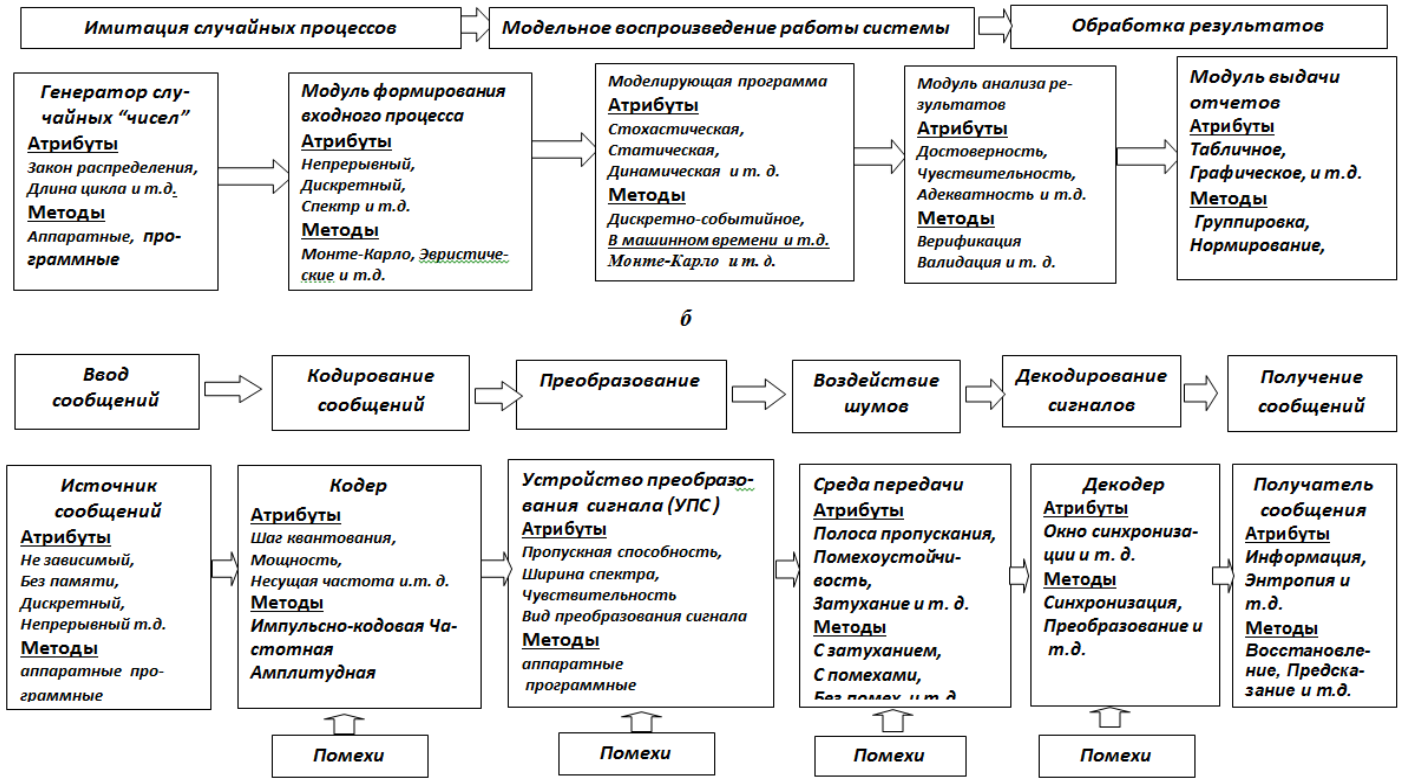
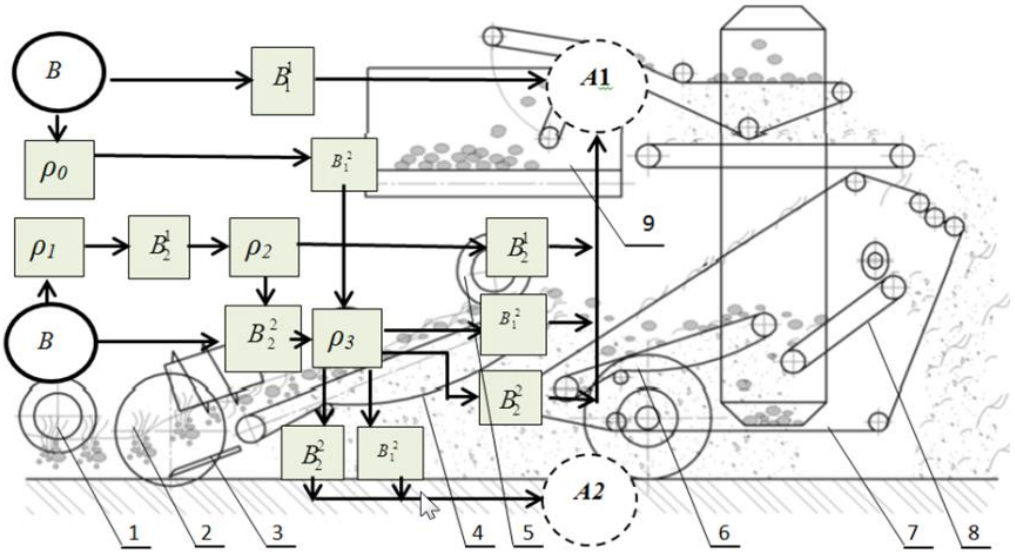


Рисунок 4 - Алгоритмы построения имитационной и объектно-ориентированной моделей

С позиции теории информации любое явление независимо от физической природы может рассматриваться как "сообщение", передаваемое по каналам связи с "помехами", при этом сущность "помех" может раскрываться сколь угодно глубоко любыми методами без нарушения аналитического и программного описания основной модели. В предложенной интерпретации характеристики процесса могут быть оценены по изменению значений энтропии входа H(x), выхода H(y) при наличии помех(ρi). Неоспоримым преимуществом энтропийного критерия является то, что даже в случае несовпадения входных и выходных законов распределения мы можем оценить процесс на основе перераспределения начальных и конечных вероятностных характеристик, а уровень выполнения требований качества по "извлечённой" информации J(x,y) - разности между начальной и конечной энтропией т.е. "снятой неопределенности ".



B1- клубни картофеля*;* *B2* – почвенные частицы; *A1*- сход; *A2*- проход; B_1^1 - крупные клубни; B_1^2 - мелкие клубни; B_2^1 - непроходовые почвенные комки; B_2^2 -проходовые почвенные частицы

Рисунок 5 - Обобщённая технологическая схема рабочего процесса картофелеуборочной машины*:* 1 – катки; 2 – вертикальные диски; 3 – лемех; 4 – первый просеивающий элеватор; 5 – комкоразрушающее устройство; 6- второй просеивающий элеватор; 7 – редкопрутковый транспортер; 8 – наклонная резиново - пальцевая горка; 9 – бункер

Исходя из вышеизложенных предпосылок рабочий процесс картофелеуборочной машины (рисунок 5) можно рассмотреть, как объектно-ориентированную модель, представленную на рисунке 6.

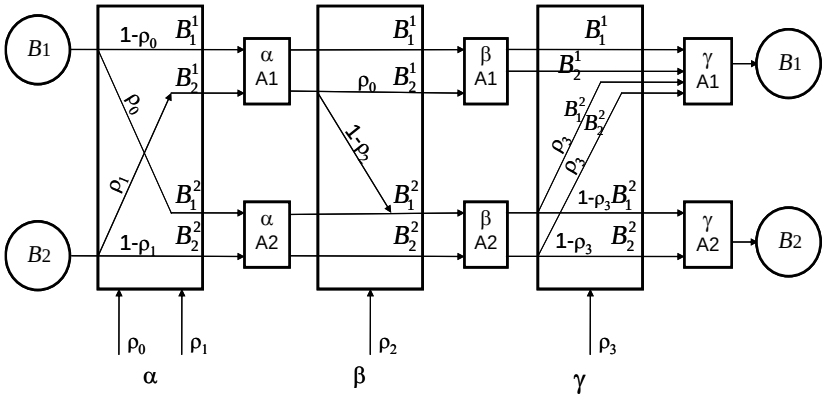


Рисунок 6 - Объектно-ориентированная модель рабочего процесса картофелеуборочной машины при однократной «примерке»

Поступившая на комбайн компонента вороха может быть представлена как «сходовая» *A1* или как «проходовая» *A2*. Это аналогично операции кодирования в источнике сообщения (опыт α). Кодирование будет безошибочным, если всем одинаковым буквам сообщения будут присвоены соответствующие им сигналы, т.е. почвенные частицы *B2* будут представлены как «проходовые» *A2*, а клубни картофеля *B1* как «сходовые» *A1*. Однако из-за действия различного рода факторов клубни картофеля могут иметь проходовые (помеха ρ_0), а почвенные комки непроходовые (помеха ρ_1) размеры, т.е. сигнал может быть закодирован неверно при передаче сообщения от источника к кодеру канала. Почвенные комки, представляемые как «сходовые», для полного их отделения от клубней картофеля, должны быть разрушены до «проходовых» размеров. Это аналогично прохождению сигнала через преобразователь, где ошибочно закодированным компонентам будет присвоен верный сигнал (опыт β). Наличие помех $\rho 2$ приведет к тому, что не все ошибочно закодированные сигналы при дополнительной перекодировке также будут закодированы верно, т.е. после воз-

действия внешних усилий не все почвенные комки разрушатся до проходовых размеров. Процесс отделения проходовых компонентов вороха аналогичен работе порогового ограничителя сигналов, переданных по каналу связи при наличии помех ρ_3, которая вносит также искажения в передаваемое сообщение. При соотнесении сигналов к тому или иному виду по пороговому значению также возникают ошибки (опыт γ). После декодирования будет выдано сообщение адресату, в котором всем сигналам будут присвоены соответствующие им коды, т.е. «сход» – картофель» «проход» – почва. Данные сопоставления не нарушают общей логичности и физической сущности и корректно описывают как процесс сепарации картофельного вороха, так и передачи сообщений по каналам связи. Вероятность содержания в «сходе» клубней картофеля и почвенных частиц соответственно равны условным вероятностям

$$P_{A1}(B1) = \frac{P_{B1} \cdot (1 - \rho_0 + \rho_0 \cdot \rho_3)}{P_{A1}^{\gamma}} \quad , \tag{4}$$

$$P_{A1}(B2) = \frac{P_{B2} \cdot \left[\rho_1 \cdot \rho_2 - \rho_3 \cdot (1 - \rho_1) + \rho_1 \cdot \rho_3 \cdot (1 - \rho_2)\right]}{P_{A1}^{\gamma}} \, . \tag{5}$$

При этом условная энтропия (разнородность) оставшегося вороха будет определяться выражением:

$$H_{A1}(\beta, \gamma) = -P_{A1}(B1) \cdot \log_2 P_{A1}(B1) - P_{A1}(B2) \cdot \log_2 P_{A1}(B2) . \tag{6}$$

В продольном направлении процесс опознания многократно повторяется, что обеспечивает компенсацию ошибок, вызываемых помехами ρ_2 и ρ_3. Выделив элементарный участок, на котором происходит однократная «примерка», причем сход *i-1* является входом для *i* участка, процесс сепарации картофельного вороха по длине решета можно представить в виде последовательности однократных «примерок». С учётом этого, в обобщённом виде величина полученной информации о составе на каждом *i*- цикле, может быть определена из следующего выражения:

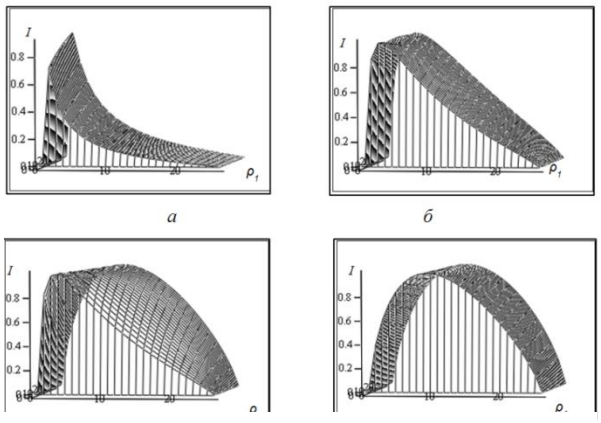


Рисунок 7 - Зависимость изменния информации от содержания в ворохе клубней картиофеля P_{B1} и почвенных комков ρ_1 при: *а* – ρ_2 =0,01 и ρ_3=0,01; *б* –ρ_2 =0,1 и ρ_3=0,1; *в* – ρ_2 =0,1 и ρ_3=0,5; *г* – ρ_2 =0,5 и ρ_3=0,5

$$J(\beta\gamma, \alpha)_i = H_{A1}(\beta, \gamma)_{i-1} - H_{A1}(\beta, \gamma)_i \, . \tag{7}$$

Относительная информация соответственно будет равна

$$E(\beta\gamma, \alpha)_i = \frac{J(\beta\gamma, \alpha)_i}{H_{A1}(\beta, \gamma)_{i-1}} \, . \tag{8}$$

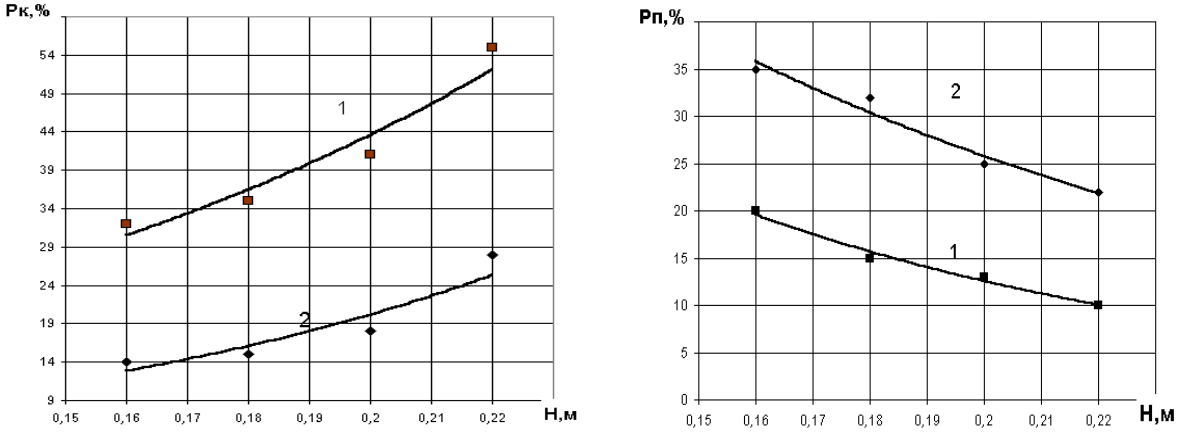
Связь между свойствами сепаратора, его производительностью и составом исходной смеси может быть выражена соотношением:

$$Q_i = \frac{P_{B2i} \cdot W \cdot J(\beta\gamma, \alpha)i}{H_{A1}(\beta, \gamma)_{i-1}} , \tag{9}$$

где Q_i – количество просеявшейся почвы в *i-м* цикле; P_{B2i} - содержание почвенных частиц в *i-м* цикле; W – максимальная нагрузка, обеспечивающая безошибочное отделение почвенных частиц от клубней картофеля. Полученные зависимости (рисунок 7)

позволили достаточно широко охватить многие стороны процесса и учесть априорное исходное состояние смеси – опыт α, разрушение почвенных комков – опыт β и отделение проходовых компонентов – опыт γ на качество процесса сепарации в виде величины полученной информации $J(\beta\gamma,\alpha)$ или интенсивности просеявшейся почвы Q_i. Однако для получения решений на уровне конструктивного исполнения необходим более углублённый анализ предложенной объектно-ориентированной модели и воздействующих "помех", значение которых определяется эффективностью технологических процессов отдельных рабочих органов картофелеуборочных машин.

В третьей главе "Оптимизация процесса подкапывания клубненосного пласта и конструктивно-технологических параметров подкапывающих рабочих органов" на основе анализа работ С.А. Герасимова, В.П. Горячкина, И.П. Гудзенко, В.Т. Дудникова, М.Ю. Костенко, Н.Н. Лутхова, Н.М. Марченко, М.Е. Мацепуро, П.Н. Настенко, И.В. Никулина, Р. Норчаева, И.М. Панова, В.М. Переведенцева, А.Е. Пермякова, Г.Д. Петрова, И.В. Размысловича, К.Н. Мазитова,Р.К. Абдрахманова, М.М. Давлетшина,К.И. Родина, О.А. Сафразбекяна, Г.Н. Синеокова, Н.В. Сладкова, А.А. Сорокина, Ж.Е. Токушева, А.В.Усатова, И.А. Успенского, K. Siebenbrodt, установлено, что содержание почвы в сходовом ворохе картофелеуборочных машин в значительной мере зависит от эффективности работы подкапывающих органов и качества обработки почвы, что также подтверждено нашими исследованиями, приведёнными на рисунке 8.



а *б*

Рисунок 8 - Зависимость содержания почвы в сходовом ворохе комбайнов «Гримми» (1) и КПК-2 (2) от глубины хода лемехов Н: а) почвенных комков, б) поврежденных клубней

Основными источниками непроходовых почвенных комков являются нижние слои переуплотнённой почвы, варьирующие по глубине, как в поперечном, так и в продольном направлениях, о чем свидетельствуют результаты, приведенные на рисунке 9 и 10.

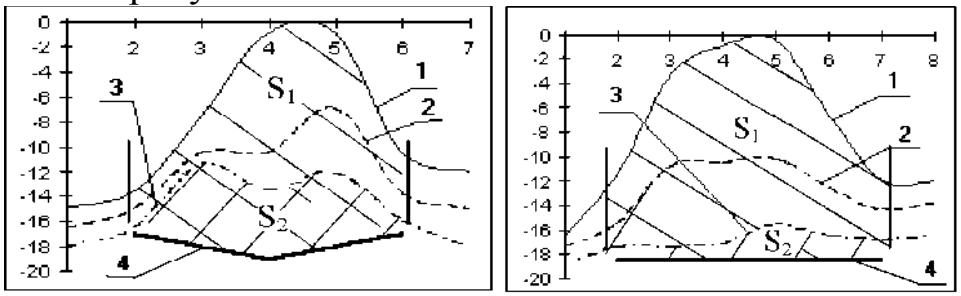


Рисунок 9 - Изолиний твёрдости при использовании заворовской и западноевропейской технологий: 1-профиль гребня, 2-изолиния твёрдости 0,4 мПа, 3- изолиния твёрдости 0,8 мПа, 4- контур лемеха

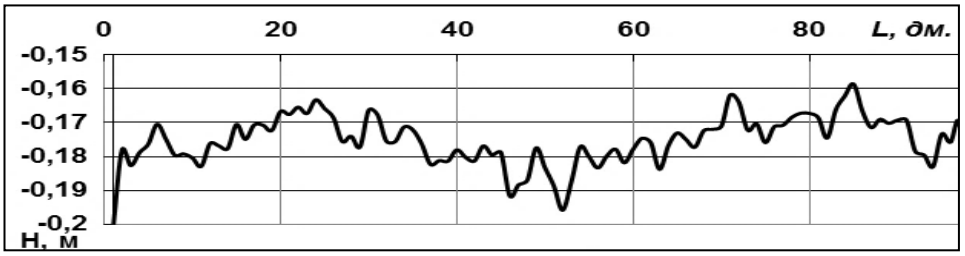


Рисунок 10 - Изолиния продольной твёрдости почвы 0,8 мПа по центру гребня при междурядной обработке пассивными рабочими органами

В качестве решений предлагается осеннее и весеннее выравнивание дневной поверхности поля диагональной обработкой широкозахватными агрегатами. Для обоснований решений посредством копирования рельефа плотного ложа была составлена расчётная схема, приведённая на рисунке 12.

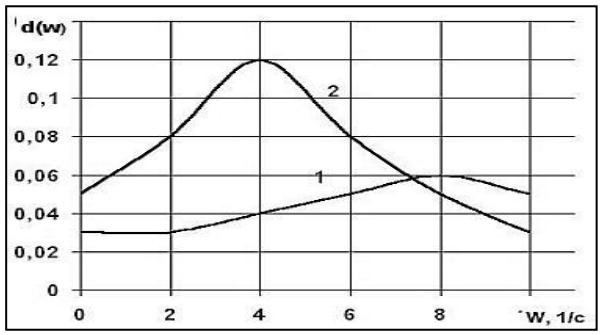


Рисунок 11 – Нормированная спектральная плотность продольной твёрдости почвы при v=1,2 м/с: 1-западноевропейская, 2- заворовская технологии

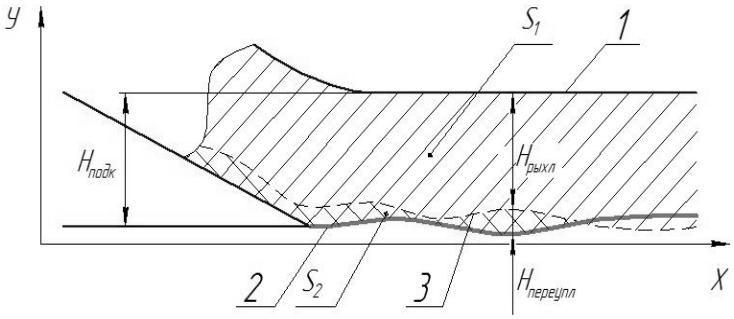


Рисунок 12 - Расчётная схема процесса подкапывания клубненосного пласта: 1- профиль дневной поверхности гребня; 2 – траектория движения носка подкапывающего лемеха; 3 - профиль изолинии твёрдости 0,8 мПа

Из-за жёсткой фиксации лемеха относительно рамы и несовпадения рельефа дневной поверхности гребня 1, а также действия возмущающих воздействий (искажений и помех), траектория движения режущей кромки лемеха 2 не совпадает с критической изолиний критической твёрдости почвы 3 (для средних суглинков более 0.8 мПа). На рисунке 13 представлена объектно-ориентированная модель процесса подкапывания и траектории копирования изолинии критической твердости почвы режущей кромкой лемеха, реализованная в виде программы симулятора на MathCad. Из-за подрезания переуплотнённого почвенного слоя $H_{переуп}$ в исходном ворохе образуются непроходовые почвенные комки, что может рассматриваться как помеха p_1, значение которой определяется при $H_{подк} > H_{рыхл}$ соотношением:

$$p_1 = \frac{H\text{подк} - H\text{рыхл}}{H\text{подк}}, \qquad (10)$$

где $H_{подк}$ - глубина подкапывания лемеха; $H_{рыхл}$ – глубина залегания критической изолинии. Усреднённое значение $p_{1ср}$ может быть определено как:

$$p_{1ср} = \frac{s_2}{s_1 + s_2}\ , \qquad (11)$$

где S_1 – площадь, ограниченная дневной поверхностью гребня и изолинией твердости 0,8 мПа; S_2 – площадь, ограниченная траекторией движения режущей кромки лемеха и изолинией критической твёрдости. При $H_{подк} \leq H_{рыхл}$, S_2=0.

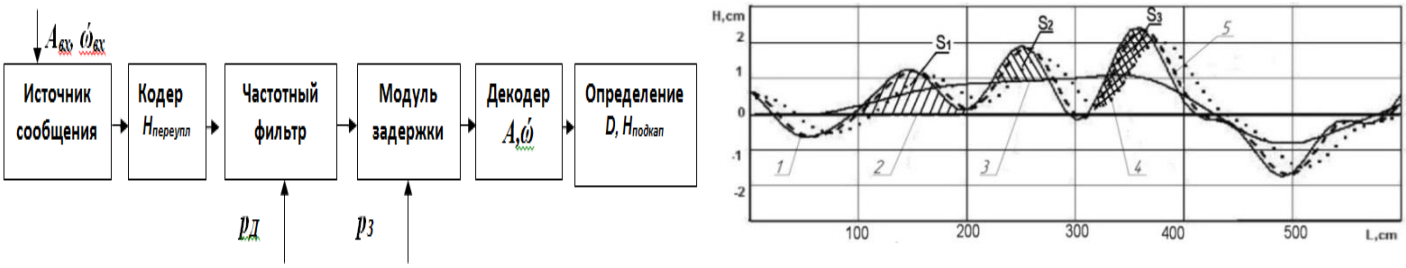


Рисунок 13 - Объектно-ориентированная модель процесса подкапывания и графическое представление: 1 - изолинии критической твёрдости почвы, траектории режущей кромки лемеха: 2 – без копирования; 3 – с высокочастотной фильтрацией; 4 – с запаздыванием копирования 0,2 с. и 5–0,05 с

В результате машинных экспериментов (таблица 2) с использованием различных алгоритмов сглаживания и копирования входного сообщения, было выявлено что наиболее приемлемо, с учётом возможности технической реализации, если входное сообщение (траектория критической изолинии твёрдости) пройдёт через фильтр, а выходное сообщение (траектория режущей кромки копирующего лемеха) сместится в область уменьшенных амплитуд и низких частот (например, установкой «фильтра высоких частот»).

Таблица 2 Показатели эффективности различных вариантов копирования

Вариант	Дисперсия, D ($см^2$)	Энтропия, $H(x)$	Извлечённая информация, $E(x,y)$	Содержание комков, %,
1 – без копирования	1,56	2,64	–	100
2 – с фильтрацией	1,03	2,09	0,21	48
3 –с запаздыванием 0,2 сек.	1,01	2,07	0,21	44
4–с запаздыванием 0,05 сек.	0,35	0,33	0,87	13

В данном случае снижение содержания в исходном ворохе прочных почвенных частиц может достигнуть 50% по сравнению с жёстким креплением, что существенно повысит качество работы сепарирующих органов просеивающего типа. Для дальнейшего снижения подачи переуплотнённых почвенных комков необходимо более точное копирование, но даже в этом случае при запаздывании перемещения режущей кромки лемеха по изолинии критической твёрдости, содержание почвенных комков в исходном ворохе существенно увеличивается. Нами предложены конструкции копирующих лемехов с одной и двумя пружинами (рисунок 14), работающие в области резонансных частот, при встрече с зоной повышенной твёрдости, поступательная скорость которых замедляется, что позволяет снизить инерционный срез переуплотненной почвы.

В результате частотного анализа установлено, что лемех с одной пружиной представляет собой колебательный контур, из условия равновесия описывающийся соответствующей передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{P_{\text{вх}}(p)}{X_{\text{вых}}(p)} = \frac{K}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \quad (12); \qquad A(w) = \frac{k}{\sqrt{(1 - T_2^2 w^2)^2 + T_1^2 w^2}} \quad (13)$$

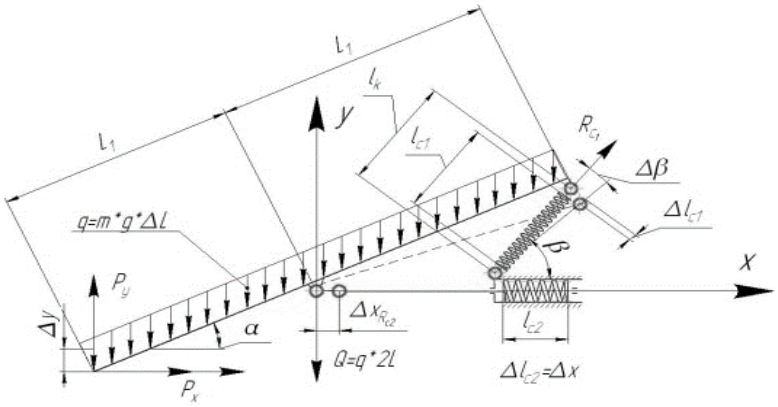
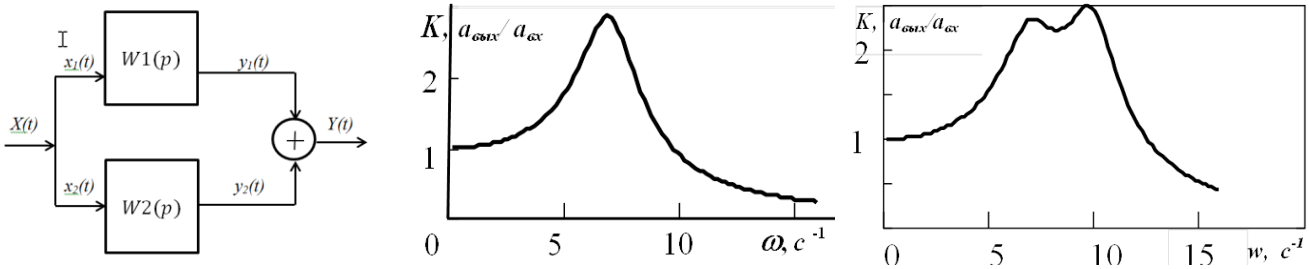


Рисунок 14 - Расчётная схема усовершенствованного копирующего лемеха с замедлением

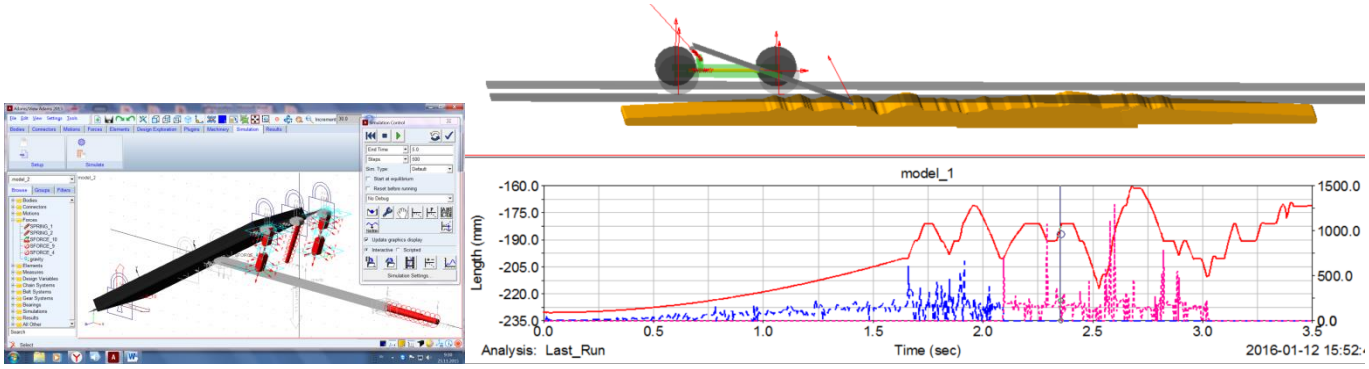
При исполнении лемеха с двумя пружинами частотные характеристики суммируются, что существенно расширяет “полосу пропускания”. Приняв ограничения из условия минимального подъёма вороха (наименьший угол наклона лемеха 10°) и по конструктивным ограничениям (длина лемеха не более 0,45 м), при массе подрезаемого слоя почвы и подвижных частей лемеха m=40 кг, кинетической вязкости почвы $\delta = 0{,}08$, были определены оптимальная жёсткость для горизонтальной пружины $c_г$=25 кН/м, наклонной - $c_н$=45 кН/м (рисунок 15).



а *б* *в*

Рисунок 15 - Структурная схема динамической системы копирующего лемеха с двумя пружинами (*а);* амплитудно-частотные характеристики одноконтурного *(б)* и двухконтурного (*в)* копирующих лемехов с замедлением

Для оценки достоверности полученных выводов, а также априорных исследований нами были разработаны виртуальные модели предложенных конструкций и рабочего процесса копирования плотного ложа(рисунок 16) и проведён их анализ в среде MSC ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems) компании Software .



а *б*

Рисунок 16 - Виртуальная модель *(а)* и результаты машинных экспериментов на виртуальном почвенном канале (*б)* двухконтурного копирующего лемеха в программе ADAMS

Результаты показали, что среднее контактное усилие в двухконтурном копирующем лемехе значительно меньше и составляют в среднем 2000 Н/м, а в одноконтурном – 1600 Н/м. При этом пиковые нагрузки (превышающие 5000 Н/м) и, соответственно, срез переуплотненной почвы в первом случае возникают в три раза реже, чем во втором, что позволяет предположить о вероятности снижения попадания в исходный ворох переуплотнённых почвенных частиц не менее чем в два раза и снижении тягового сопротивления.

Лабораторные исследования и полевые испытания (рисунок 17) подтвердили правомерность полученных выводов. Применение копирующих подкапывающих лемехов позволяет повысить чистоту сходового вороха в среднем на 28% при одноконтурном исполнении и на 46% при двухконтурном. Оптимальные результаты были достигнуты при скорости движения агрегата 1,2-1,4 м/с. Увеличение рабочей скорости, наряду с ростом тягового сопротивления, приводит к снижению чистоты сходового вороха и увеличению потерь клубней, что также подтверждает наши выводы о существенном влиянии времени запаздывания на эффективность работы копирующих подкапывающих органов.

а

б

Рисунок 17 - Фрагменты лабораторно-полевых испытаний копирующего лемеха: *а)* на почвенном канале БГАУ; *б)* в ООО “Букал” Дюртюлинского района Башкортостана

В четвертой главе “Обоснование технологий и технических средств для использования биопрепаратов при возделывании картофеля” отмечено, что накопление средств химической защиты растений в окружающей среде привело к повсеместному ухудшению экологической обстановки. В настоящее время ведется активная работа по разработке альтернативных способов и технологий защиты сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней. В связи с этим, по принятым в России планам в перспективе более одной трети всех производимых средств защиты должны составить микробиологические препараты. Вместе с тем проектирование и изготовление машин для обработки посадок и семян биопрепаратами остались в рамках подходов и тенденций, применяемых при разработке машин для химической защиты, без учета того, что используется живые микроорганизмы и внешние воздействия могут иметь угнетающее влияние на их сохранность и жизнеспособность. Исходя из общей теории гибели и размножения и рассматривая только процесс отмирания, динамику численности $N(t)$

можно представить в виде монотонно убывающей функции:

$$N(t) = N_0 \cdot (1 - a) \cdot exp\{-\mu_c \cdot t\} \ (ед/мм^2) \qquad (9)$$

где t - время наблюдения, ч; a - коэффициент адаптационной устойчивости; N_0 – начальный титр микроорганизмов, $N(t_0)$ /$см^3$; μ_c - удельная скорость отмирания, $ч^{-1}$

Для проверки полученных выводов в качестве исходного материала выбран штамм *Bacillus subtilis* 26Д, основа широко распространённого биопрепарата Фитоспорин – М. Была проверена реакция бактерий на избыточное статическое давление, транспортировку под давлением по трубопроводу с арматурой, воздействие шестерёнчатого насоса, механического перемешивания, создание аэрозоля дисковыми и гидравлическими распылителями. На рисунке 18 показано изменение титра жизнеспособных микроорганизмов.

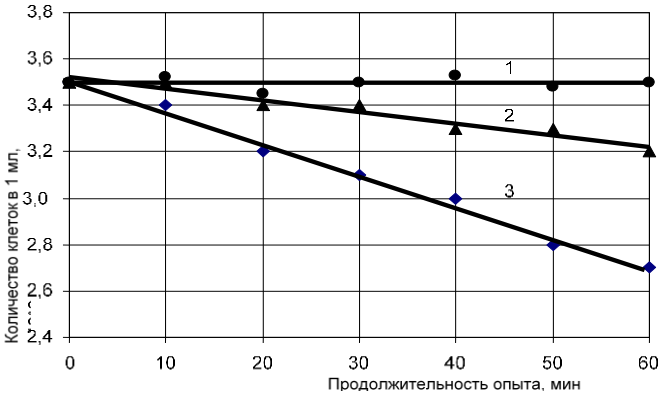
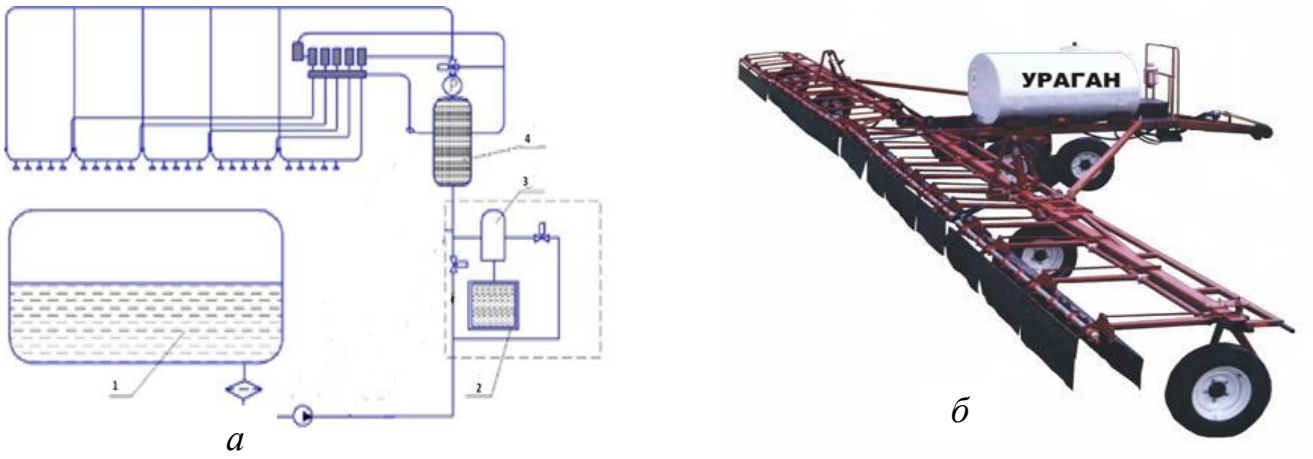


Рисунок 18 - Влияние воздействия гидравлического распылителя (1), движения препарата по трубопроводу с арматурой (2) и насоса (3) на количество микроорганизмов способных к размножению

Эксперименты показали, что воздействие шестерёнчатых насосов в течение часа снижает показатель КОЕ микроорганизмов» на 30%, а механическое перемешивание – на 12% (рисунок 18). В связи с чем, разработка конструкции машин, предназначенных для использования биопрепаратов, должна вестись с учётом того, что существующие машины оказывают негативное воздействие на жизнестойкость микроорганизмов, преимущественно из-за того, что в определенных зонах гидравлического потока образуются зоны кавитации, приводящие к образованию колоссального давления, и к гибели практически любых видов микроорганизмов. Неслучайно данный эффект весьма успешно используется для стерилизации в медицине и биотехнологиях.

С учётом этого рекомендуется минимизировать длину трубопроводов и ограничить установку насосов и арматуры, создающих местные сопротивления и образование зон кавитации. Также при селекции штаммов микроорганизмов необходимо учитывать их устойчивость к внешним негативным фактором и возможность использования в многокомпонентных рабочих жидкостях, а при разработке технологий и технических устройств предусмотреть варианты иммобилизации микроорганизмов на носитель. На рисунке 19 представлена схема усовершенствованного опрыскивателя и её реализация на ОП-24 (Ураган). В предложенном решении опрыскиватель снабжается дополнительным модулем, состоящим из пропорционального насоса дозатора Mix Rite, всасывающего препарат в соотношении от 0,2% до 10% от количества протекающей через насос рабочей жидкости и емкости с биопрепаратом, установленным в термоконтейнере, поддерживающим оптимальную для микроорганизмов температуру. При этом нет необходимости кардинального изменения конструкции, привод насоса и дозирование осуществляется за счёт движения жидкости в магистрали.



1 - бак с рабочей жидкостью; 2 – термоконтейнер с биопрепаратом;
3 - пропорциональный насос дозатор Mix Rite; 4 – смеситель.
Рисунок 19 - Опрыскиватель с модулем подачи биопрепаратов: *а)* технологическая схема; *б)* реализация на ОП-24 (Ураган)

При возделывании картофеля наибольшее распространение получили технологии обработки клубней картофеля непосредственно при посадке. Недостатками данного способа является образование при распыливании рабочей жидкости крупных капель, и как следствие неравномерность покрытия поверхности клубней, а также вынос значительной части защитно-стимулирующих препаратов из зоны обработки с последующим попаданием данных препаратов в почву. Для снижения негативного влияния на биоту предлагается обработку клубней средствами химической защиты проводить на станционере, например, разработанными нами дисковыми протравителями, а обработку биопрепаратами проводить непосредственно во время посадки с использованием приставки к картофелепосадочной машине схема которого показана на рисунке 20.

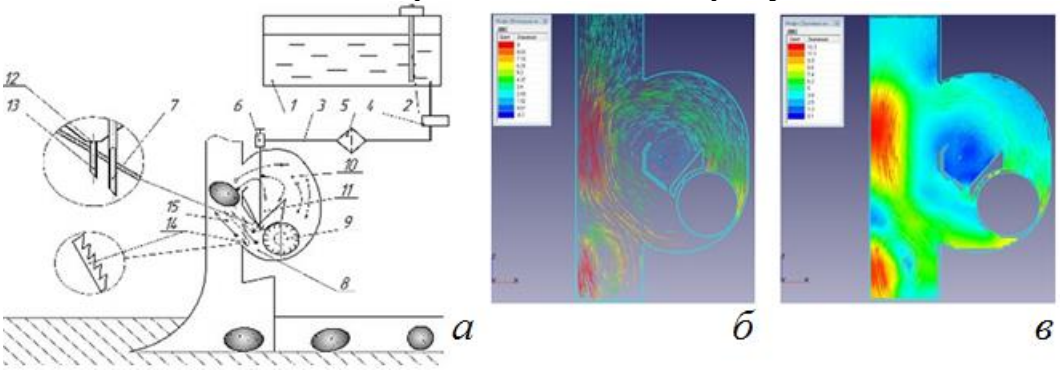


Рисунок 20 - Схема протравливающего модуля, установленного на семяпровод картофелепосадочной машины (*а*) и фрагменты его анализа в программе FLOWVISION: вспышки скорости *(б),* заливка по модулю скорости *(в)*

Для оптимизации характеристик воздушного потока в программе FLOWVISION было проанализировано несколько типов модулей и отобрана наиболее рациональная, это камера смешивания овальной формы 110х80, с диаметральным вентилятором и каплеуловителем во всасывающем воздуховоде. В результате машинных и лабораторно-полевых экспериментов установлено, что требуемое качество покрытия обеспечивается при скоростях воздуха 6-8 м/с, ре-

циркуляцинный воздушный поток позволяет практически избежать потерь препарата и равномерно обрабатывать клубни картофеля с нормой расхода до 10л/т.

Для восстановления баланса органических веществ в почве за счет деструкции вторичной фитомассы установлено, что при заделке соломы в почву без обработки препаратами (контроль) предпочтительней получение более рыхлого поверхностного слоя до 1100 кг/м^3. В случае применения биопрепаратов лучшие результаты были достигнуты при плотности 1200…1300 кг/м^3, т.е. после прикатывания. Для этих целей наиболее эффективны дискаторы с катками с установленным на нем модулем для внесения биопрепаратов, рабочий процесс которого аналогичен работе усовершенствованного опрыскивателя.

В пятой главе “ Обоснование параметров и режимов работы просевающих сепараторов” на основании выводов полученных Г.Д. Петровым, Т.Н. Терсковым, В. М. Цециновским, М. Е. Мацепуро, Е.А. Непомнящим, Н.В. Фирсовым, Н.М. Летошневым, А.А. Сорокиным, П.М. Настенко, Я.И. Верменко, В.М. Кузьминым, О.А. Сафразбекяном, Н.И. Верещагиным, Н.Н. Колчиным, Н.В. Бышовым и др., а также собственных исследований установлено, что при работе на тяжелых почвах эффективность работы просевающих сепараторов картофельного вороха во многом определяется интенсивностью разрушения комков до проходовых размеров под воздействием внешних сил. Считалось, что разрушение происходит почти мгновенно, если для данного состояния почвы внешние усилия достигают некоторой критической величины. Вместе с тем, начиная с работ А.Ф. Иоффе, А.А. Грифтиса, Е.О. Орована процесс разрушения начал рассматриваться как развитие содержащихся начальных дефектов и заключается в зарождении и развитии имеющихся в теле трещин. Наиболее характерен данный подход при рассмотрении усталостных разрушений, вызванных воздействием циклической нагрузки, что соответствует силовым воздействиям просевающих сепараторов. Теоретически обоснованно и экспериментально доказано, что плотность вероятности разрушения почвенных комков после N циклов нагружения можно представить, как логарифмически нормальное распределение

$$f(N(m)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}b} \cdot e^{\frac{-(\ln N^{(m)} - a)^2}{2b^2}} . \qquad (14)$$

В предложенной трактовке данный процесс рассматривается как наложение разрушения и упрочнения. Интегральная функция логарифмически нормального распределения может быть вычислена на основании общих правил. Вероятность того, что почвенный комок не разрушится после N циклов нагружения будет:

$$p\left\{N^{(m)} \geq N\right\} = 1 - \Phi\left(\frac{\ln N - a}{b}\right) . \qquad (15)$$

Поученное выражение по своему физическому смыслу является помехой ρ_2 и может использоваться как показатель характеризующей разрушаемость и упрочняемость почвенных частиц в зависимости от числа циклов воздействия внешних сил в процессе сепарации. На рисунке 21 представлены гистограммы необходимого числа ударов для разрушения почвенных комков при воздействии внешних сил в случайные и ограниченные зоны, построенные на основании

опытных данных. При воздействии в ограниченную зону вероятность разрушения почвенного комка при меньшем числе воздействий выше.

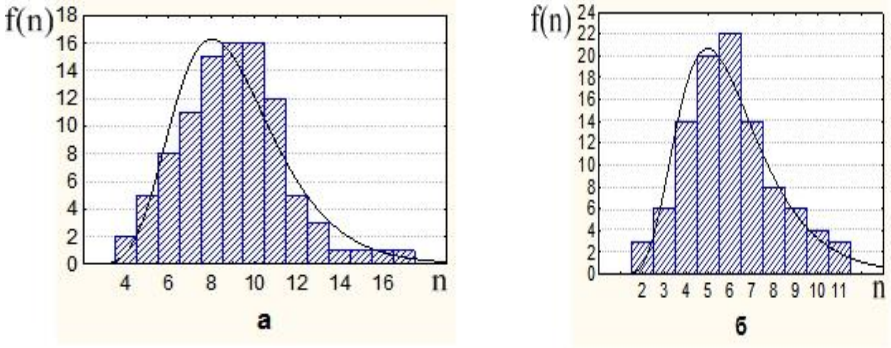


Рисунок 21 - Гистограммы разрушаемости почвенных комков плотностью p=1600..1700 кг/м^3 и влажностью w= 25 % при воздействии сил: *а)* в случайную; *б)* ограниченную зоны

Это свидетельствует, что удары в ограниченную зону обеспечивают целенаправленное развитие трещин и более быстрое разрушение комков, на основании которых предложена гипотеза о целесообразности многократного воздействия в ограниченную зону почвенных частиц, например, посредством вибрационного воздействия. На рисунке 22 представлены границы разрушаемости не менее 95 % почвенных комков под действием различных видов нагрузок.

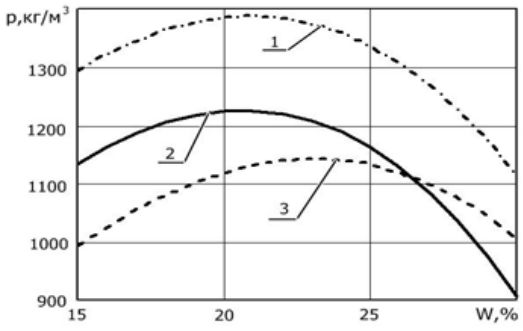
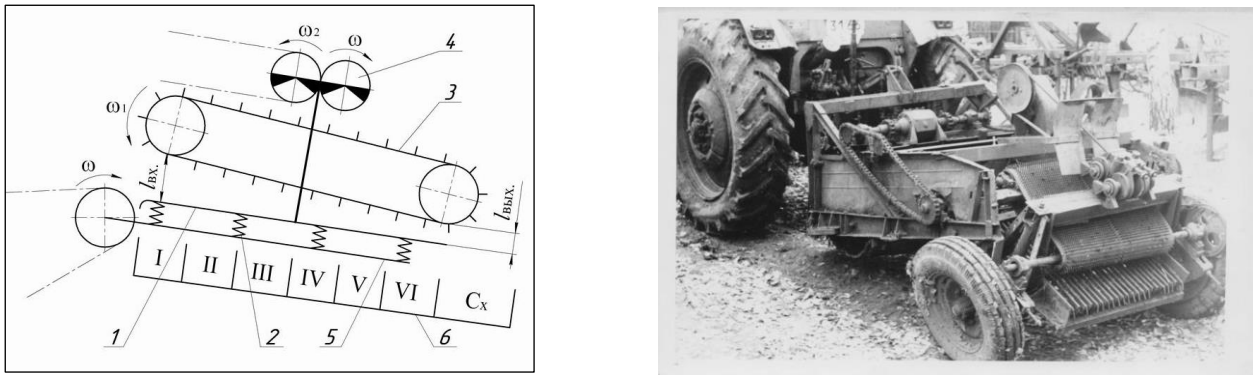


Рисунок 22 - Границы разрушаемости почвенных комков в зависимости от плотности и влажности при действии: 1 - вибрации на решете υ=40 Гц, А=2,5 мм; 2-динамического удара о решетчатую поверхность с высоты h=0,5 м; 3 -статического сжатия 150 Н

Более эффективное разрушение при малой амплитуде колебаний практически объясняется отсутствием значительного отрыва почвенных комков от поверхности решета и их вращения, чем обеспечивается воздействие нагрузок примерно в одну и ту же зону. В качестве технической реализации полученных выводов предложена конструкция картофелеуборочной машины с вибрационным сепаратором, представленная на рисунке 23.



а ***б***

1-грохот; 2 - пружины; 3 - резиновопальцевый транспортёр; 4 - вибратор; 5 - рама; 6 - секционный ящик

Рисунок 23 - Картофелеуборочная машина с вибрационным сепаратором: *а*) принципиальная схема; *б*) опытный образец

Наибольшая чистота сходового вороха наблюдалась при максимально возможных частотах колебаний. Однако с учётом ограничений, наложенных на

взаимное увеличение амплитуды и частоты колебаний, а также низкой транспортирующей способности при амплитудах менее A = 2 мм, была выбрана частота порядка ν =40...42 Гц. В этом случае максимальная амплитуда колебаний может составить A = 2,5 мм. Агротехническая оценка работы серийного КТН-2 и копателя с установленным экспериментальным сепаратором заключалась в определении состава сходового вороха, величины потерь и количества повреждённых клубней картофеля по методике, изложенной в ОСТ 70.8.5.74 «Испытания картофелеуборочных машин». Часть полученных результатов представлена в таблице 3.

Таблица 3 Усреднённые показатели качества работы экспериментального и серийного копателей

Повторности на разных полях	1		2		3	
	КТН-2Б	Эксп-ный	КТН-2Б	Эксп-ный	КТН-2Б	Эксп-ный
Извлечено клубней на поверхность, %	96,1	98,0	81,7	93,4	75,6	94,0
Содержание почвы в сходовом ворохе, %	76,8	45,6	90,5	82,3	84,2	45,7
Повреждено клубней, %	3,1	3,6	2,0	2,3	1,7	2,1

Установка вращающегося отражателя обеспечивала более высокую скорость перемещения верхних слоёв, чем достигалось уменьшение количества травмированных клубней. Проведённые исследования показывают, что вибрационный сепаратор с отражателем имеет ряд неоспоримых положительных эффектов и является перспективным элементом в качестве дополнительно рабочего органа картофелеуборочных машин, используемых на тяжёлых переувлажнённых почвах.

В шестой главе ”Разработка и обоснование конструктивно-технологических параметров сепараторов вторичной доочистки картофельного вороха” на основании работ П.М.Василенко, Н.Н.Колчина М.Н. Летошнева, Л.М. Максимова, С.Н. Борычева, И.А Успенского, Г.П. Юхина, В.М. Мартынова и др., посвящённых сепарации сельскохозяйственных культур на наклонных поверхностях и аналитических модельных построениях, на основании расчётной схемы представленной на рисунке 24, получен вывод, что центробежные силы и коэффициенты трения оказывают значительное влияние на траекторию компоненты картофельного вороха, что подтвердило возможность создания устройства для отделения клубней картофеля от почвенных комков в форме вращающегося усечённого конуса с внутренней сепарирующей поверхностью. В цилиндрической системе координат баланс сил, действующих на компоненту вороха, находящуюся внутри вращающегося усечённого конуса, представляет собой следующую системы уравнений:

$$\left.\begin{aligned} m\left(\ddot{\rho}-\rho\dot{\varphi}^2\right) &= G\sin\beta\cos\varphi - N\cos\alpha - fN\dot{\rho}/\sqrt{\upsilon_o^2+\dot{\rho}^2/\sin^2\alpha};\\ m\left(\rho\ddot{\varphi}+2\dot{\rho}\dot{\varphi}\right) &= -G\sin\beta\sin\varphi - fN\upsilon_o/\sqrt{\upsilon_o^2+\dot{\rho}^2/\sin^2\alpha};\\ m\ddot{z} = m\ddot{\rho}/tg\alpha &= N\sin\alpha - G\cos\beta - fN\dot{\rho}/\left(tg\beta\sqrt{\upsilon_o^2+\dot{\rho}^2/\sin^2\alpha}\right), \end{aligned}\right\} \quad (16)$$

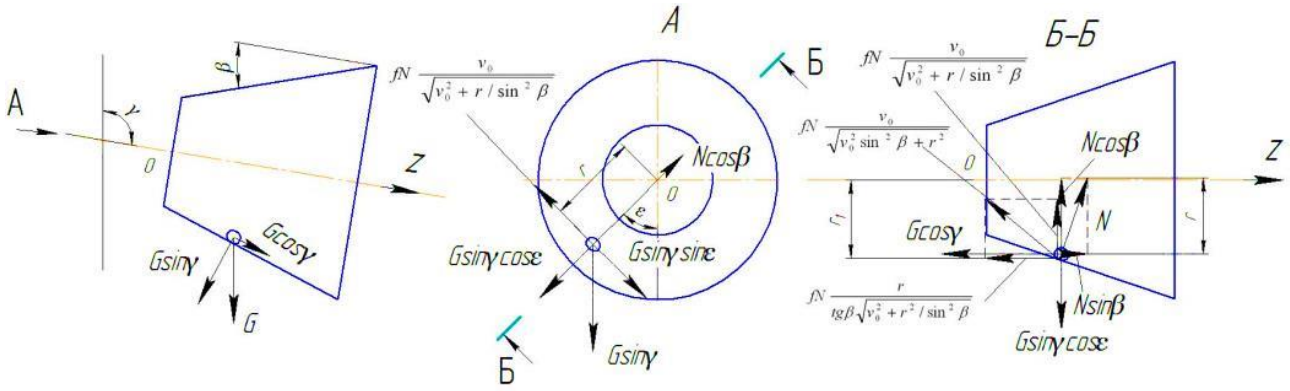


Рисунок 24 - Схема сил действующих на компоненту картофельного вороха, движущегося по внутренней поверхности сепаратора выполненного в виде вращающегося усечённого конуса

После соответствующих преобразований уравнений движения компоненты принимает вид:

$$\left.\begin{aligned}\ddot{\varphi} &= -\frac{1}{r}\left\{2\dot{\rho}\dot{\varphi} + g\sin\beta\sin\varphi + \left[\rho\dot{\varphi}^2 + g\left(\cos\beta\cdot tg\alpha + \sin\beta\cos\varphi\right)\right]\frac{f\upsilon_o\sin\alpha\cos\alpha}{\sqrt{\upsilon_o^2\sin^2\alpha + \dot{\rho}^2}}\right\};\\ \ddot{\rho} &= \sin\alpha\left[\rho\dot{\varphi}^2 = g\left(\cos\beta\cdot tg\alpha + \sin\beta\cos\varphi\right)\right]\left(\sin\alpha - \frac{f\cdot\dot{\rho}\cos\alpha}{\sqrt{\upsilon_o^2\sin^2\alpha + \dot{\rho}^2}}\right) - g\cos\beta\cdot tg\alpha.\end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

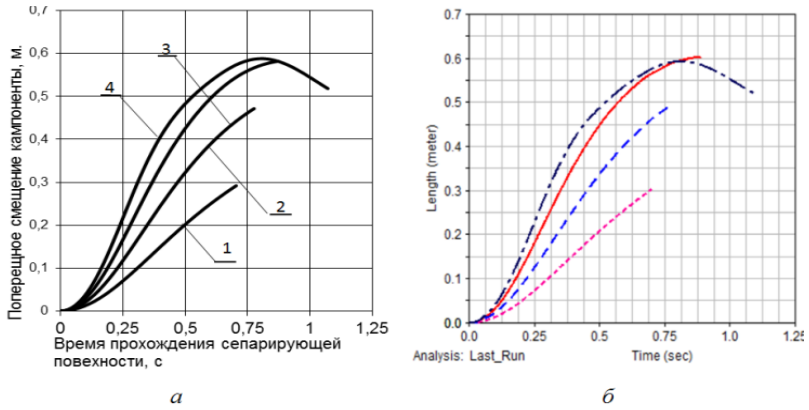
Численное решение системы (17) позволило определить текущие значения угла φ и радиуса ρ для любого времени t или угла поворота конуса $\psi = \omega_0 t$. Начальный радиус $\rho = \rho_0$, из условия $\rho_0 = R_{min} - \rho_к cos\alpha$, где R_{min} – радиус меньшего основания усеченного конуса. Этот радиус при заданных значениях угла α, радиуса большего основания R_{max} и высоте h_z усечённого конуса равен

$$R_{\min} = R_{\max} - h_z\cdot tg\alpha.$$

Текущая координата z при известном радиусе ρ равна:

$$z = \left(\rho + \rho_к/\cos\alpha - R_{\min}\right)/tg\alpha.$$

На рисунке 25 показаны боковые смещения компоненты вороха при движении по внутренней поверхности вращающегося с угловой скоростью ω=6 $с^{-1}$ конического конуса, образующая которой равна 1 метру, угол уклона α =30^0 и диаметр меньшего основания R_{min} =0.6 м, при различных коэффициентах трения полученные по аналитической и упрощённой виртуальной моделям в MSC ADAMS. Проведённый анализ выявил, что закон движения компоненты вороха по внутренней поверхности конуса зависит от угла образующей α, наклона β к оси вращения *Oz*, коэффициента трения *f*, а так же угловой скорости ω_0 и радиуса $\rho_к$. Полученные результаты свидетельствуют, что предпосылка об использовании в качестве разделительного признака коэффициент трения качения, значения которых для комков при групповом скатывании равно φ = 0,40…0,62, клубней φ=0,25…0,42 , т.е. находятся в зоне достижения максимальной разницы их траекторий, предопределят перспективность поиска технического решения по созданию сепаратора вторичной доочистки картофельного вороха в виде усечённого конуса.



а *б*

Рисунок 25 - Поперечное смещение траектории компоненты вороха полученные: *а*) на аналитической; *б*) виртуальной моделях при коэффициентах трения: 1- *f*=0.3; 2- *f*=0.5; 3- *f*=0.7 и *f* =0.9

Используя общее уравнение динамики, и приняв допущение, что клубни картофеля и почвенные комки представляют собой идеальный шар, были определены предельные углы подъёма данных тел (рисунок 26) и режимы стабилизации движения, т.е. качения без проскальзывания, т.к. последнее приводит к сдиранию кожицы клубней.

Рисунок 26 - Предельные углы подъёма почвенных комков (1) и клубней картофеля (2) в зависимости от угловой скорости при *r*=0,45 м

Таким образом, действие центробежных сил обеспечивает дополнительное расхождение углов качения клубней картофеля и почвенных комков. Для одиночных клубней и почвенных комков на плоской поверхности разница в углах качения составляет в среднем 11^0 и имеют зоны перекрытия. Во вращающемся барабане данный показатель может достигать $36–40^0$. Установлено, что переход из статического в кинетический режим, и соответственно изменение значений коэффициентов трения, требует определённого времени, т.е. присутствует переходная фаза, влияние которой на траектории движения сепарируемых компонентов никем не рассматривалось.

На основе анализа предложенных решений был получен вывод, что наиболее достоверные результаты при рассмотрении подобного класса задач, а именно учет перехода от статических и динамических фаз трения, могут быть получены в среде виртуального моделирования MSC ADAMS. Учитывая ограниченность возможностей встроенного графического редактора, трёхмерная модель цилиндрического барабана была создана в среде “Компас-3D” и в формате *.stl импортирована в препроцессор. Твердотельные модели клубней картофеля и почвенных комков смоделированы в виде шаров и эллипсоидов, имеющих контактное взаимодействие с внутренней поверхностью барабана. В результате проведенных машинных экспериментов с генерацией по нормальному закону фрикционных свойств компонентов разделяемого вороха и на различных частотах вращения барабана выявлено, что траектория движения компонентов вороха носит волновой характер (рисунок 27). При этом изменение частоты вращения барабана на

траекторию перемещения картофеля влияет незначительно, в отличие от почвенных комков, которые совершают колебания, подъем и скатывание с более высокой частотой и амплитудой. При условии схода компоненты с сепарирующей поверхности в первой четверти колебания можно избежать пересечения траекторий, а разницу углов подъёма почвенных комков и клубней можно использовать как разделительный признак и рассмотреть возможность отделения клубней от почвенных комков в однонаправленных потоках. Проведённый анализ позволил сделать вывод о необходимости поиска конструктивно–кинематических параметров, при которых траектории перемещения компонентов вороха не пересекаются, а разница отклонений по оси X при сходе была максимальной.

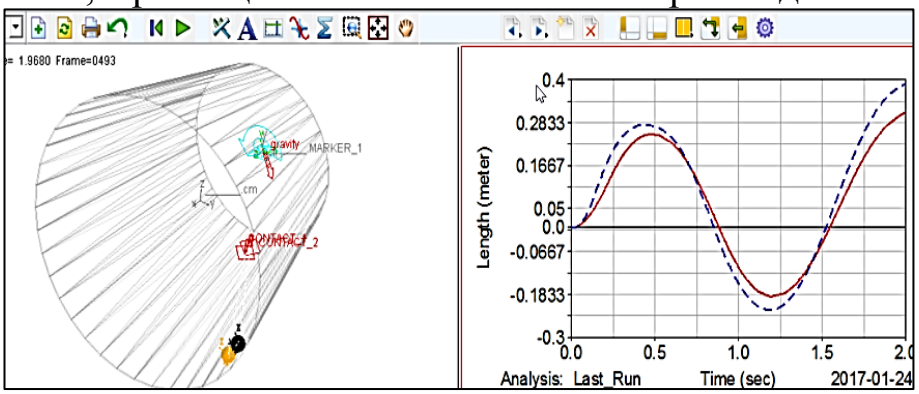
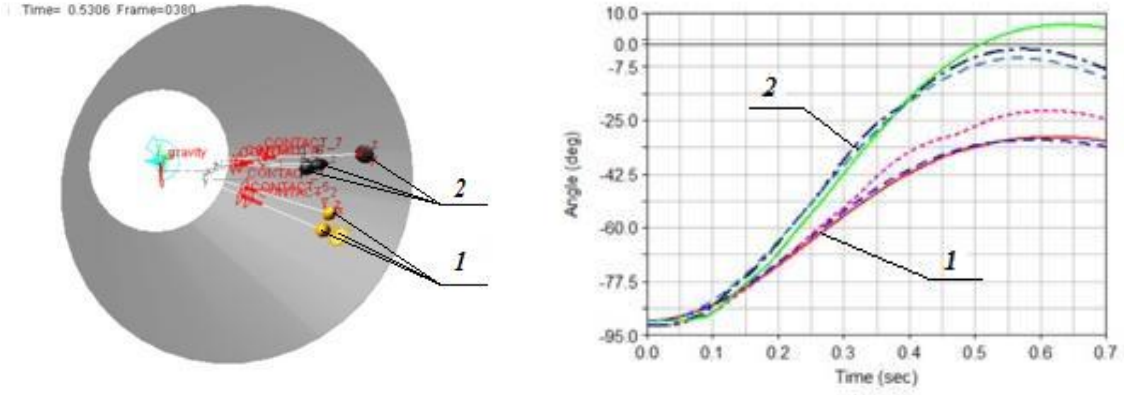


Рисунок 27 - Фрагмент анализа траекторий перемещения идеальных почвенных комков (- - - - -) и клубней картофеля (———) в горизонтальной плоскости при движении по внутренней поверхности вращающегося $\acute{\omega}$= 12,56 $с^{-1}$ резинового усечённого конуса при: $\alpha = 15^{o}$ и $\beta = 85^{o}$

На рисунке 28 представлен фрагмент анализа траектории перемещения клубней картофеля и почвенных комков в форме идеального шара, эллипса и “блина” в виртуальной модели конического сепаратора с углом образующей $\alpha = 30^{0}$, иллюстрирующий возможность получения существенной разности точек схода клубней картофеля и почвенных комков. В рассмотренной нами виртуальной модели максимальное отличие углов схода при $\acute{\omega}$=12,5 $с^{-1}$, было достигнуто практически в момент схода клубней картофеля и почвенных комков с сепарирующей поверхности. Для получения максимальной разности достаточно незначительно увеличить угол наклона оси вращения β.



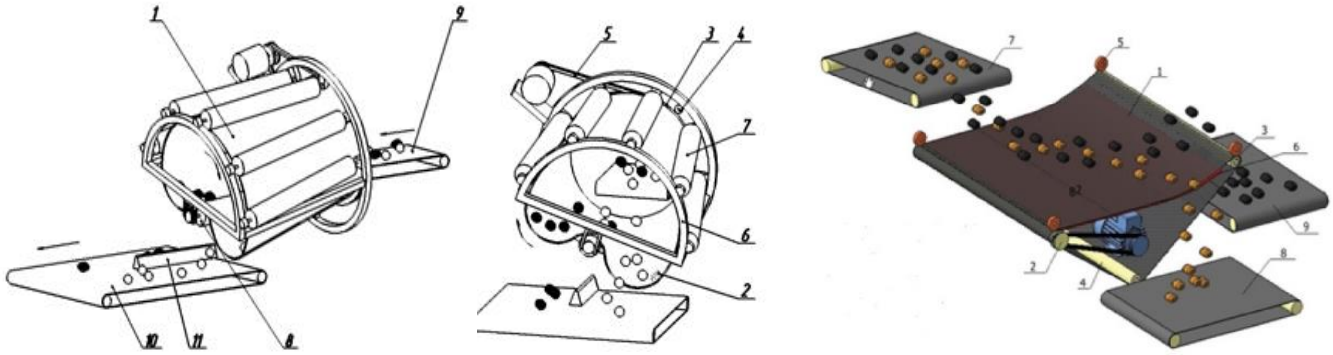
а *б*

Рисунок 28 - Фрагмент анализа траектории *(а)* и графики углов подъёма *(б)* по внутренней поверхности конического сепаратора различных по форме клубней картофеля (1) и почвенных комков (2)

Правомерность результатов, полученных на виртуальных моделях, была проверена на экспериментальной установке схема которого приведена на рисун-

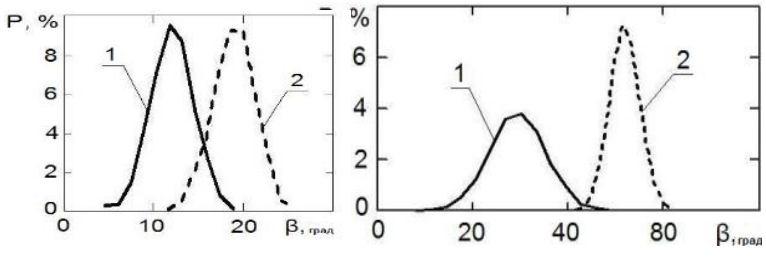
ке 29 *а*. На рисунке 29 *б* показан фрикционный сепаратор, выполненный в виде ленточного транспортера с переменной кривизной рабочей поверхности, полученной на основании предыдущих выводов.

Анализ углов подъёма, приведённый на рисунке 30, показывает, что при использовании демпфирующего валика обеспечивается отделение до 80% почвенных примесей, без него – не более 50%. На основании проведённых исследований рекомендованы следующие технологические и конструктивные параметры: угол при вершине конуса 60° необходимый диапазон наклона оси вращения 0…15°; максимальная скорость подачи клубней на вход устройства не более 0,5 м/с; длина образующей 1,2 м ограничена допустимой скоростью схода клубней -1,5 м/с.; входной диаметр барабана, исходя из урожайности 250 ц/га не менее 0,6 м.; обороты конуса должны иметь плавный диапазон от 6 до 12$с^{-1}$ исходя из условий необходимости подбора оптимального кинематического режима.



а *б*

Рисунок 29 - Фрикционные сепараторы картофельного вороха: барабанного в форме усечённого конуса *(а*), ленточного с переменной кривизной рабочей поверхности (*б*)



а *б*

Рисунок 30 - Вариационные кривые угла схода без демпфирующего валика *(а*) и с демпфирующим валиком (*б*): 1 – клубней картофеля, 2 – почвенных комков

В седьмой главе «Результаты внедрения и технико-экономическая оценка предложенных решений» отражены результаты внедрения технологий возделывания картофеля в Башкортостане на площади 1200 га, обеспечивающих, наряду с повышением средней урожайности до 20% и возможностью комбайновой уборки, в том числе за счёт применения грядовых и широкорядных посадок, формирование выравненной дневной поверхности поля и плотного ложа, оптимального микробиологического фона, восстановление баланса органических веществ и повышение плодородия почвы посредством широкого применения биопрепаратов и интенсификации процессов деструкции вторичной фитомассы. С учётом рекомендаций автора по усовершенствованию технических средств для обработки сельскохозяйственных культур биопрепаратами ОАО “Стерлитамакская машиностроительная компания” выпущено 150 опрыскивателей ОП-24 ”Ураган”. Предложенные автором технологии и технические сред-

ства рассмотрены и одобрены НТС Минсельхоза России, РАСХН, НТС МСХ республики Башкортостан. Конструкции копирующего лемеха и фрикционных сепараторов приняты ЗАО ”Колнаг” к рассмотрению и включению в конструкцию картофелеуборочных машин. Разработанная технология устойчивого возделывания картофеля с широким использованием биопрепаратов внедрена в основных картофелеводческих предприятиях республики Башкортостан на площади более 1200 га. Годовой экономический эффект использования копирующих лемехов на двухрядном картофелеуборочном комбайне составляет 32 тыс. руб., вибрационного сепаратора с отражателем 18 тыс. руб, устройства для отделения клубней картофеля от почвенных комков с внутренней сепарирующей поверхностью 80 тыс. руб. Суммарная экономия только за счёт снижения затрат труда по ручной доочистке сходового вороха на один комбайн составит 130 тыс. руб. за сезон. Общий экономический эффект от внедрения разработанных технологий возделывания картофеля и всего комплекса предлагаемых конструктивно-технологических решений, без учёта хранения, составляет – 14,8 млн. руб. или 12,3 тыс. руб./га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общие выводы

1. Установлено, что неотъемлемым условием возрождения промышленного производства картофеля в России – одной из основных культур, обеспечивающих продовольственную безопасность страны, является переход к технологиям, ориентированным на выполнение не только агротехнических, но и агробиологических показателей качества на основе реализации положений концепции устойчивого земледелия, предполагающих, наряду с получением высоких урожаев, сохранение и восстановление естественного плодородия почвы, формирование симбиотического микробиологического фона, как при возделывании, так и хранении полученной продукции.
2. Разработана методика комплексной оценки качества и стабильности выполнения многооперационных технологических процессов на основе энтропийных критериев оптимизации, позволяющая рассмотреть разноплановые процессы в единых критериальных параметрах и оценить стабильность, как отдельных операций, так и их совокупности. Анализ технологических операций на основе энтропийных критериев позволил установить, что качество выполнения основного перечня операций возделывания картофеля соответствуют требованиям стабильности и качества, за исключением отклонений глубины предпосадочной обработки почвы (K_c=0,18), травмирования клубней (K_c=0,22…0,34) и чистоты сходового вороха при уборке (K_c=0,47…0,61), что значительно ниже оптимального значения равного единице. Для операций по использованию микробиологических препаратов на сегодняшний день не выработаны показатели качества и не выявлено влияние внешних физико-механических воздействий на сохранность и жизнеспособность микроорганизмов.

3. Разработана методология и составлена объектно-ориентированная модель в виде последовательности передачи сигналов, вероятностные характеристики которых определяются уровнем “помех”, позволяющая при дальнейших исследованиях базироваться на уже разработанных модельных описаниях, углублением раскрытия и (или) расширением перечня помехообразующих факторов, не нарушая общей логичности предыдущих построений, обеспечивая при этом изоморфность и возможность применения аналитического аппарата теории информации для поиска и оптимизации конструктивно-технологических параметров сельскохозяйственных машин. На основе анализа помехообразующих факторов в разработанной объектно-ориентированной модели установлено, что основным источником содержания в сходовом ворохе картофелеуборочных машин непроходовых комков являются слои почвы, лежащие ниже “плотного ложа”, рельеф которой существенно варьируется по глубине, как в поперечном, так и в продольном направлениях. Установлено, что выравнивание дневной поверхности поля и рельефа “плотного ложа” снижает количество подрезанной подкапывающим рабочим органом и поданной на сепарирующие органы переуплотнённой почвы не менее чем на 50% и существенно снижает содержание почвы в сходовом ворохе. Для выравнивания дневной поверхности поля рекомендуется использование планировщика с лазерным управлением или проведение осенних и весенних поверхностных обработок почвы широкозахватными орудиями под углом предыдущих обработок, с последовательной сменой диагоналей.

4. Машинные эксперименты на объектно-ориентированной и виртуальной моделях различных вариантов процесса подкапывания почвы рабочими органами показали, что запаздывание при огибании “плотного ложа” является основным фактором, влияющим на подачу на сепарирующие органы картофелеуборочных машин “непроходовых” почвенных комков. Для снижения негативного влияния данного фактора разработана конструкция копирующего лемеха с “замедлением” со следующим конструктивными параметрами лемеха L_1 =0,2 м, L_2=0,2 м, α=25 град, d=0,02 м, $l_к$=0,08 м и жёсткости горизонтальной пружины $c_г$= 22 кН/м, установленной с предварительным поджатием 0,02 м, длиной не менее 250 мм, пружиной на коромысле жёсткостью $c_н$= 40 кН/м с предварительным поджатием 0,01 м, обоснованные из условия резонансного совпадения частот автоколебаний и рельефа плотного ложа и обеспечивающие устойчивое копирование по глубине в диапазоне ±0,02 м. Применение копирующих подкапывающих лемехов позволяет повысить чистоту сходового вороха в среднем на 28 % при одноконтурном исполнении и на 46 % при двухконтурном и снизить тяговое сопротивление на 15…20%.

5. Установлено, что для сохранности жизнеспособности микроорганизмов входящих в состав биопрепаратов при разработке технологических процессов и технических средств необходимо учитывать негативное влияние кавитации, избыточного статического давления, воздействия прямых солнечных лучей и длительных высоких температур. На основе экспериментальных исследований установлено, что воздействие шестерёнчатых насосов снижает показатель «колониеобразующих единиц микроорганизмов» на 30%, а механическое перемешивание

– на 12%. Разработана технология возделывания картофеля с широким использованием биопрепаратов, включающая следующие новые технологические операции: деструкция и гумификация вторичной фитомассы, обработка клубней при посадке, обработка посадок и обработка семенных клубней перед закладкой на хранение. Для осуществления данной технологии и снижения негативных физико-механических воздействий на микроорганизмы разработаны следующие технические средства: протравливатель клубней картофеля ПКД-20, приставка к картофелепосадочной машине с рециркуляцией аэрозоля для обработки клубней, опрыскиватель с насосом дозатором для подачи биопрепарата из термоконтейера непосредственно в штангу, успешно прошедшие производственные испытания.

6. Разработан и изготовлен вибрационный сепаратор с отражателями, рекомендуемый для использования в виде дополнительного сепарирующего устройства к традиционно принятым прутковым элеваторам. Оптимальная работа сепаратора обеспечивается при частоте 40...42 Гц, амплитуде 2...2,5 мм, направленности колебаний 40...45^{o} и угле наклона решета назад 20...25°, при расстоянии от резиново-пальцевого транспортёра до сепарирующей поверхности на входе 0,175 м и на выходе 0,125 м. Обоснованы новые конструктивные решения для повышения эффективности разделения почвенных комков и клубней картофеля по комплексу физико-механических свойств, реализованные в фрикционных сепараторах в форме усечённого конуса с углом при вершине 60°, диапазоном наклона оси вращения 0…15, длиной образующей 1,2 м, входным диаметром, исходя из урожайности 250 ц/га, не менее 0,6 м, регулировкой оборотов конуса в диапазоне от 6 до 12 с$^{-1}$. Предлагаемое устройство обеспечивает отделение от клубней картофеля до 80% почвенных примесей.

9. Годовой экономический эффект использования в картофелеуборочном комбайне копирующего лемеха с замедлением и устройства для отделения клубней картофеля от почвенных комков с внутренней сепарирующей поверхностью только за счёт снижения затрат труда по ручной доочистке сходового вороха составляет 130 тыс. руб за сезон, а с учётом всего комплекса предлагаемых конструктивных и технологических мероприятий – 14,8 млн. руб. или 12,3 тыс. руб/га.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Дальнейшее совершенствование объектно-ориентированных подходов позволит сформировать библиотеки классов объектов, что предоставит возможность повторного использования и развития уже созданных моделей, в том числе в CAD/CAE системах автоматизированного проектирования и обеспечит новый уровень синтеза сложных технических систем сельскохозяйственного производства. Предложенные технологические и технические решения могут служить основой к расширению исследований и практической реализации перехода России к устойчивому развитию картофелеводства.

Основные положения диссертации опубликованы в работах

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Иофинов А.П. Работа сепарирующих органов картофелеуборочных машин в зависимости от степени уплотнения почвы / А. П. Иофинов, Р. Р. Камалетдинов, С. В. Лоренц // Механизация и электрификация сельского хозяйства. -1989. -№9.-С.58-59
2. Камалетдинов Р.Р. Исследование процесса протравливания корнеклубнеплодов с использованием методов имитационного моделирования / Р.Р. Камалетдинов, Э. Р. Хасанов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2005. - №11. - С. 5-7
3. Иофинов А.П. Использование машинных экспериментов при анализе протравливания корнеплодов / А.П. Иофинов, Р.Р. Камалетдинов, Э.Р. Хасанов // Техника в сельском хозяйстве. - 2005. - №6. - С. 13-16.
4. Камалетдинов Р.Р. Для комбайновой уборки картофеля требуется специализированная технология возделывания / Р.Р. Камалетдинов, Ф.Н. Галлямов// Картофель и овощи. – 2006.- №6. - С. 5-6.
5. Камалетдинов Р.Р. Установка для жидкостной обработки корнеклубнеплодов / Р.Р. Камалетдинов, Э.Р. Хасанов // Картофель и овощи. – 2006. - №7. - С. 13-14.
6. Камалетдинов Р.Р. Использование теории информации при имитационном моделировании процесса сепарации картофельного вороха / Р.Р. Камалетдинов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. - №11. - С. 8-10.
7. Камалетдинов Р.Р. Разрушение почвенных частиц при сепарации картофельного вороха на просевающих сепараторах / Р.Р. Камалетдинов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. - №12. - С. 6-7.
8. Камалетдинов Р.Р. Обработка почвы – уборки картофеля – зависимость прямая / Р.Р. Камалетдинов, Ф.Н. Галлямов // Сельский механизатор. – 2006. - №9. - С. 16-17.
9. Камалетдинов Р.Р. Протравливание клубней картофеля / Р.Р. Камалетдинов, Э.Р. Хасанов // Сельский механизатор. – 2006. - №10. - С. 12.
10.Камалетдинов Р.Р. Усовершенствованный подкапывающий рабочий орган картофелеуборочного комбайна/ Р.Р. Камалетдинов, Ф.Н. Галлямов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. - №10. - С. 4-5.
11. Хасанов Э.Р. Оценка качества работы дискового распылителя погружного типа / Э.Р. Хасанов, Р.Р. Камалетдинов // Известия Оренбургского ГАУ. – 2005. - №3. - С.143-145.
12. Галлямов Ф.Н. Об использовании информационно-измерительных комплексов при исследовании рабочих органов / Ф.Н. Галлямов, Р.Р. Камалетдинов // Известия Оренбургского ГАУ. - 2005. - №3. - С. 146-148.
13. Камалетдинов Р.Р. Особенности машин для обработки сельскохозяйственных культур биопрепаратами / Р.Р. Камалетдинов, Э.Р. Хасанов, Р.М. Хайруллин и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2007. - №6. - С. 2-3.
14. Камалетдинов Р.Р. Методика оценки качества аэрозольного покрытия / Р.Р. Камалетдинов, Э.Р. Хасанов // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. - №5. - С. 39-40.
15. Камалетдинов Р.Р. Установка для жидкостной обработки клубней / Р.Р. Камалетдинов, Э.Р. Хасанов // Главный агроном. - 2008. - №1. - С. 60-61.
16. Камалетдинов Р.Р. Использование измерительно- информационных систем при исследовании подкапывающих рабочих органов / Р.Р. Камалетдинов, Ф.Н. Галлямов // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. - №4. - С. 44-45.
17. Хасанов Э.Р. Обеззараживание семян СВЧ облучением и защитными препаратами / Э.Р. Хасанов, Р.Р. Камалетдинов, Р.М.Хайруллин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2010. - №3. - С. 14-15.

18. Камалетдинов Р.Р. Использование энтропийных критериев при имитационном моделировании процесса сепарации картофельного вороха / Р.Р. Камалетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. - 2008. - Том 1, выпуск №7. - С.67-70.
19. Камалетдинов Р.Р. Объектно-ориентированное имитационное моделирование в среде теории информации (информационное моделирование) / Р.Р. Камалетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2012. - Том 1, выпуск №14. - С.178-186.
20. Камалетдинов Р.Р. Оптимизация параметров барабанного фрикционного сепаратора корнеклубнеплодов / Р.Р. Камалетдинов , И.Р. Сабирзянов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. – Том 1, выпуск №17. - С.45-50.
21. Камалетдинов Р.Р. Модельное представление и машинный анализ процесса инкрустации семян сельскохозяйственных культур в воздушном потоке / Р.Р. Камалетдинов, Д.Ю. Широков // Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. – Том 1, выпуск №17. - С.41-45.
22. Камалетдинов Р.Р. Роль информационных моделей сепарации А. П. Иофинова в развитии объектно-ориентированных системных представлений / Р.Р. Камалетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. – Том 1, выпуск №17. - С.10-16.
23. Камалетдинов Р.Р. Особенности совершенствования машин для защиты растений с учетом микробиологических факторов / Р.Р. Камалетдинов, Р.М. Хайруллин // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - 2013. - № 4 (28). - С. 87-91.
24. Широков Д.Ю. Инкрустирующий модуль приставка к пневматической сеялке/ Д.Ю. Широков, Р.Р. Камалетдинов // Сельский механизатор. - 2014. - №8. - С. 7.
25. Сабирзянов И.Р. Разработка конструкции и оптимизация параметров устройства для сепарации корнеклубнеплодов / И.Р. Сабирзянов, Р.Р. Камалетдинов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2014. - № 6. - С. 72-74.
26. Камалетдинов Р.Р. Фрикционный сепаратор корнеклубнеплодов / Р.Р. Камалетдинов, И.Р. Сабирзянов // Сельский механизатор. - 2014. - № 8. - С. 4.

Монографии и рекомендации

27. Камалетдинов Р.Р. Рекомендации по совершенствованию рабочих органов картофелеуборочных машин.- Уфа: Башкирский ГАУ, 2014.-44 с. 2-е издание (Рекомендовано к изданию НТС МСХ РФ, протокол №19 от 7 июня 2012 г).
28. Камалетдинов Р.Р. Совершенствование рабочих органов картофелеуборочных машин на основе объектно-ориентированных имитационных моделей.- Уфа: Башкирский ГАУ, 2012.-71 с. (Рекомендовано к изданию Отделением механизации, электрификации и автоматизации РАСХН).
29. Хасанов Э.Р. Перспективные направления совершенствования способов и конструкции машин для инкрустации семян защитно-стимулирующими препаратами/ Э.Р. Хасанов, Р.Р. Камалетдинов, Д.Ю. Широков // Рекомендации. - Уфа: БГАУ, 2012.-30 с.
30. Камалетдинов Р.Р. Обеспечение агроэкологической безопасности в Республике Башкортостан / Под ред. академика РАСХН и почетного академика АН РБ Ф.И. Фисинина. – Уфа: Гилем, 2013. – 112 с. (Рекомендовано к изданию президиумом РАСХН, Академиями Наук Республики Башкортостан и Республики Татарстан и т.д.).

Изобретения и полезные модели

31. Устройство для сепарации корнеклубнеплодов: А.С.1314973 СССР: МКИ А01 Д 33/08 / Камалетдинов Р. Р. - № 3967599/30-15; заявл. 23.07.85; опубл. 07.06.87, Бюл. №21. – 3 с.

32. Комкодавитель: А.С. 1323008 СССР: МКИ А 01 Д 33/04 / Иофинов А.П., Камалетдинов Р.Р., Насибуллин А.Х. - № 3977111/30-15; заявл. 15.11.85; опубл. 15.07.87, Бюл. №26. – 2 с.
33. Устройство для сепарации коренеклубеплодов: А.С. 690591 СССР: МКИ А01 Д 33/08 / Иофинов А.П., Угланов М.В., Камалетдинов Р.Р., Лоренц С.В. - № 4452352/15; заявл. 29.06.88; опубл. 15.11.91, Бюл. №42. – 3 с.
34. Установка для жидкостной обработки конклубнеплодов: пат. №2239970 Рос. Федерация: МПК А01 С 01/06 / Камалетдинов Р. Р., Хасанов Э.Р., Варисов М.А.; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. – № 2002142593/12; заявл. 08.12.02; опубл. 20.11.04. - 3 с.
35. Выкапывающий рабочий орган картофелеуборочной машины пат. №2197810 Рос. Федерация: МПК А01 D17/00 / Камалетдинов Р.Р., Галлямов Ф.Н., Аблеев Р.Ш. – № 2000102543/10; заявл. 25.12.00; опубл. 10.02.03. - 6 с.
36. Универсальный модуль для возделывания картофеля пат. № 78030 Рос. Федерация: МПК А01 D13/00 / Камалетдинов Р. Р., Галлямов Ф.Н., Минигалеев А.М.; заявитель и патентообладатель ООО «Биофорт». – № 2008342513/12; заявл. 24.07.08; опубл. 20.11.08. - 3 с.
37. Посадочный аппарат пат. № 78627 Рос. Федерация: МПК А01 С9/00 / Камалетдинов Р.Р., Галлямов Ф.Н., Минигалеев А.М.; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. – № 2007112503/12; заявл. 19.07.07; опубл. 10.12.08. - 3 с.
38. Устройство для протравливания семян: пат. №2346422 Рос. Федерация: МПК А01 С 01/06 / Камалетдинов Р.Р., Хайруллин Р.М., Хасанов Э.Р., Сираев Р.Х.; заявитель и патентообладатель ООО «Биофорт». – № 2007122523/12; заявл. 03.07.07; опубл. 20.02.09. - 3 с.
39. Устройство для отделения корнеклубнеплодов от примесей: пат. № 2481763 Рос. Федерация: МПК А01 D 33/08 / Камалетдинов Р. Р., Садыков Р.Р.; заявитель и патентообладатель ООО «Биофорт». – № 2011127923/12; заявл. 29.06.11; опубл. 20.05.13. - 6 с.
40. Термоконтейнер для хранения и транспортировки биопрепаратов: пат. №2495340 Рос. Федерация: МПК F25 D 11/00 / Галлямов Ф.Н., Камалетдинов Р.Р., Кинзягулов Р.Ф., Хайруллин Р.М.; заявитель и патентообладатель ООО «Агромастер». – № 2011128063/12; заявл. 29.06.13; опубл. 10.10.13. - 7 с.
41. Фрикционный сепаратор корнеклубнеплодов: пат. №2555138 Рос. Федерация: МПК А01 D 33/08 / Камалетдинов Р.Р., Сабирзянов И. Р., Широков Д.Ю. – № 2013112032; заявл. 18.03.13; опубл. 03.06.15. - 1 с.
42. Протравливающий модуль к картофелепосадочным машинам: пат. №2555139 Рос. Федерация: МПК А01 С 01/08 / Камалетдинов Р.Р., Хасанов Э.Р., Широков Д.Ю., Нуртдинов Т.И.; заявитель и патентообладатель Башкирский ГАУ. – № 2013112561/13; заявл. 18.01.13; опубл. 20.03.13. - 5 с.

Публикации в других источниках и материалах конференций:

43. Камалетдинов Р. Р. Результаты испытания высокочастотного вибрационного сепаратора / Р. Р. Камалетдинов // Тезисы докладов XI областной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов сельского хозяйства. -Куйбышев: КСХИ. -1987. - С. 63-64
44. Иофинов А.П. Вибрационный сепаратор / А. П. Иофинов, Р. Р. Камалетдинов // Уральские нивы. -1986. -№8.-С.58.
45. Иофинов А.П. Опыт возделывания картофеля на грядках / А.П. Иофинов, Р. Р. Камалетдинов, С.В. Лоренц // Информ. листок Баш.ЦНТИ,-Уфа:1987, №111

46. Иофинов А.П. Некоторые пути повышения эффективности работы сепарирующих органов картофелеуборочных машин / А.П. Иофинов, Р. Р. Камалетдинов // Тез. докл.научно-производственной конференции.-Уфа, Баш.СХИ,1988.-С 33-34.
47. Камалетдинов Р. Р. Анализ процесса разрушения почвенных комков с целью повышения качества работы просевающих сепараторов / Р. Р. Камалетдинов // Совершенствование конструкций сельскохозяйственной техники: Сб. науч .работ. -Уфа, Ульяновский СХИ,1989.- С.93-96.
48. Камалетдинов Р. Р. Исследование прочностных свойств почвенных комков/ Р. Р. Камалетдинов // Совершенствование конструкций и методов повышения работоспособности сельскохозяйственной техники: Сб.науч.тр.. -Уфа, Ульяновский СХИ ,1989. - С. 54-57.
49. Камалетдинов Р. Р. Приставка к ТЗК-30 для протравливания клубней картофеля/ Р. Р. Камалетдинов // Тез.докл.102 науч.конф.проф.-преп. состава, науч.сотр. и аспирантов БГАУ. -Уфа, Уфа,1993. -С.21.
50. Камалетдинов Р. Р. Машинный анализ процесса сепарации картофельного вороха / Р.Р. Камалетдинов // Совершенствование конструкции, методов эксплуатации и рем. с.-х.техники: Тез. докл. межвуз. науч.-техн. конф.: -Уфа, Уфа,1992. -С.22-23.
51. Камалетдинов Р. Р. Протравитель клубней картофеля / Р.Р. Камалетдинов, М.А. Варисов // Совершенствование конструкций, методов эксплуатации и ремонта с.-х. техники: Сб.науч.тр.. -Уфа, Уфа,1995. -С.40-43.
52. Иофинов А.П. Применение информационной модели для оптимизации процесса сепарации картофельного вороха / А.П. Иофинов, Р.Р. Камалетдинов // Совершенствование конструкций ,методов эксплуатации и рем.с.-х.техники: Сб. науч. тр.-Уфа, Уфа,1995. -С.43-48.
53. Камалетдинов Р.Р. Об использовании имитационного моделирования при анализе процесса сепарации картофельного вороха/ Р.Р. Камалетдинов, И.М. Ильин//. Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти академика В.П. Горячкина: Докл. и тез..Т.2 / Моск. гос. агроинж. ун-т им. В.П.Горячкина.-М.,1998.-225 с.:ил.- с. 144- 147
54. Иофинов А.П. Проблемы управления качеством работы сельскохозяйственной техники / А.П. Иофинов, Р.Р. Камалетдинов, С.Г. Мударисов и др. // -Уфа, Гилем,1999. -156 с.
55. Камалетдинов Р. Р. Протравливание клубней - одна из важнейших операций при возделывании картофеля / Р. Р. Камалетдинов, Э. Р. Хасанов // Информац. Бюллетень Минсельхозпрода РБ.-2000.-№ 9.- С.35-36.
56. Камалетдинов Р. Р. Оптимизация параметров подкапывающих органов картофелеуборочных комбайнов / Р. Р. Камалетдинов, Ф.Н. Галлямов // Информац. Бюллетень Минсельхозпрода РБ.-2000.-№ 1.- С.12-14.
57. Камалетдинов Р. Р. Использование теории информации при имитационном моделировании процесса сепарации картофельного вороха / Р. Р. Камалетдинов // Материалы международной науч.-практ. конф. Оренбург, 2005. - С. 101-103
58. Камалетдинов Р. Р. О возможности использования машин для химической защиты растений при обработке микробиологическими препаратами / Р. Р. Камалетдинов, Р. Х. Сираев, Т. С. Минина // Материалы международной научно-практической конференции. – Чебоксары, 2006, с. 439-441.
59. Камалетдинов Р. Р. Некоторые вопросы применения теории систем при поиске новых конструктивных решений сельскохозяйственных машин / Камалетдинов Р.Р: материалы всероссийской науч. практ. конф". –Уфа 2009. - С. 78-81.

60. Камалетдинов Р. Р. Системный анализ на основе объектно-ориентированной декомпозиции / Камалетдинов Р.Р. // Материалы XLIXмеждународной научно-практической конференции". Челябинск: ЧГАА, 2010. с. 89-92
61. Камалетдинов Р. Р. Объектно-ориентированный системный подход к исследованию работы сельскохозяйственных машин / Камалетдинов Р.Р. // Материалы международной научно-практической конференции Уфа: БГАУ, 2010. с. 47-50.
62. Камалетдинов Р. Р. Повышение качества работы и синтез новых конструктивных решений машин для уборки картофеля на основе объектно-ориентированных системных построений / Камалетдинов Р.Р. // Материалы международной научно-практической конференции .- Челябинск: ЧГАА, 2011. с. 148-151.
63. Камалетдинов Р. Р. Обоснование конструктивных параметров копирующего лемеха с замедлением / Камалетдинов Р.Р., Галлямов Ф.Н. // Материалы международной научно-практической конференции. Челябинск:ЧГАА,2011.с.145-148.
64. Камалетдинов Р.Р. Имитационное моделирование процесса подкапывания копирующим лемехом в программной среде MathCAD. Материалы всероссийской научно-практической конференции. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. – 41-42.
65. Камалетдинов Р.Р. Некоторые особенности развития технологий и технических средств устойчивого земледелия / Р.Р. Камалетдинов // Материалы Международной научно-практической конференции. Уфа: Башкирский ГАУ, 2013. С. 154-160.