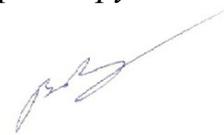


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени
императора Петра I»

На правах рукописи



ВОЛКОВ Виталий Сергеевич

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВ ОЧИСТКИ ДОНЬЯ
ТРАНСПОРТЕРА СВЕКЛОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА**

05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в
сельском хозяйстве

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Пухов Евгений Васильевич, доктор технических наук, доцент

Воронеж – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УБОРКИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ.....	12
1.1 Значение производства сахарной свеклы в сельском хозяйстве и анализ существующих технологии уборки сахарной свеклы	12
1.2 Обеспеченность свеклоуборочной техникой в сельском хозяйстве.....	19
1.3 Направления повышения эффективности функционирования свеклоуборочных комбайнов, включая способы и средства борьбы с налипанием почвенных масс	29
1.4 Выводы и постановка задач исследования	36
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СВЕКЛОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОСТНО-МЕХАНИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ МАСС С ДОНЬЯ ТРАНСПОРТЕРА.....	38
2.1 Технология жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортера и конструктивно-технологическая схема устройства для ее реализации	38
2.2 Моделирование процесса жидкостно-механического удаления почвенных масс ..	42
2.2.1 Описание в модели почвенных масс	43
2.2.2 Представление в модели скребков донного транспортера	47
2.2.3 Задание в модели неровной поверхности донья бункера	49
2.2.4 Начальные и граничные условия, допущения модели	50
2.3 Оптимизация параметров системы удаления почвенных масс	50
Выводы по главе 2	54
ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ МАСС С ДОНЬЯ	

БУНКЕРА СВЕКЛОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА	55
3.1 Программа исследований с использованием визуализации на компьютере	55
3.2 Методика проведения экспериментов по оценке эффективности процесса удаления почвенных масс с донья транспортера с использованием компьютерной ре- ализации модели.....	56
3.3. Программа исследований по оценке эффективности процесса удаления почвенных масс с донья транспортера с использованием лабораторного стенда	58
Выводы по главе 3	62
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	63
4.1 Результаты проведения теоретических экспериментальных исследований.....	63
4.1.1 Влияние расхода воды	64
4.1.2 Влияние угла разбрызгивания форсунок	66
4.1.3 Влияние высоты неровностей поверхности дна бункера	68
4.1.4 Влияние липкости почвенных масс	70
4.2 Основные параметры удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна	71
4.3 Результаты практических экспериментов с использованием лабораторного стенда	73
Выводы по главе 4	76
ГЛАВА 5 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА, РЕКОМЕНДАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРЕДЛОЖЕННЫХ РЕШЕНИЙ	78
5.1 Оборудование для дополнительного смачивания донья транспортера свеклоуборочного комбайна и рекомендации производству	78
5.2 Методика и результаты расчета экономической эффективности предложенных решений.....	82
Выводы по главе 5	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	88

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	89
ПРИЛОЖЕНИЕ А	102
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	105
ПРИЛОЖЕНИЕ В	106
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	121

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время производство сельскохозяйственной продукции сопровождается потреблением большого количества ресурсов и необходимостью использования дорогостоящей, в том числе импортной техники, что, безусловно, сказывается на рентабельности российских сельскохозяйственных предприятий. Производители сельскохозяйственной техники регулярно совершенствуют технологии проектирования и изготовления машин. Однако, в процессе их эксплуатации при влиянии совокупности природно-климатических факторов зачастую возникают ситуации, которые могут привести к поломке агрегатов машин или снижению эффективности работы. Например, анализ процесса уборки сахарной свеклы, показал, что 20% от общего времени работы комбайна составляют его простои. До 80 % этих простоев, в частности для свеклоуборочного комбайна «Holmer» T2, уходит на очистку донья транспортера от налипания почвенных масс в бункере. На налипание и уплотнение почвенных масс на донье оказывают влияние погодные условия (как правило, осадки в виде дождей), влажность и состав почвы, сахарно-свекловичный сок, выделяемый при повреждении свеклы, а также механическое воздействие скребков транспортера. Поэтому, разработка решений по предотвращению и устранению загрязнений почвенными массами с транспортера является перспективным направлением исследований.

Таким образом, разработка технологий и средств, способствующих удалению почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна и повышению его производительности, является актуальной для сельского хозяйства страны.

Степень разработанности темы.

Применение теорий адгезии широко известно в различных отраслях науки и техники при исследовании процессов склеивания, пайки, сварки, нанесения покрытий и др. Так, в сельском хозяйстве на основе изучения адгезионных свойств известны различные технологические и технические решения по предотвращению налипания различных веществ на металлические поверхности, представленные в трудах академиков Гайдара С.М., Ерохина М.Н., Агеева Е.В., Дидманидзе О.Н., За-

вражнова А.И., Аксенова А.В., Лебедева А.Т., Дорохова А. С., Фадеева И.В и многих других ученых.

В настоящее время зарубежными и отечественными учеными разрабатываются технологии и технические средства по повышению производительности сельскохозяйственной техники. Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2020...2025 годы поддерживается создание и внедрение отечественных конкурентно способных технологий при производстве сельскохозяйственной продукции.

В области оптимизации уборочных процессов сахарной свеклы известны работы ученых ведущих научных и образовательных организаций РФ. Так, в работах Завражнова А.И. рассмотрены проблемы неэффективного использования техники в сельском хозяйстве. В.Ф. Федоренко исследовал и обосновал тенденции информационного развития сельскохозяйственного производства. В трудах Дробышева И.А. и Гуреева И.И. изложены основы технологии уборки сахарной свеклы. В работах Окунева Г.А. и Шепелева С.Д. рассмотрена эффективность совместной работы транспортных средств с технологическими машинами. Маслов Г.Г. и Московский М.Н. исследовали вопросы оптимизации комплекса уборочных и послеуборочных работ. В работах Смирнова И.Г. и Личмана Г.И., Балабанова В.И. изучены проблемы и перспективы научно-технического обеспечения агропромышленного комплекса инновационными технологиями, включая цифровые.

Однако, в трудах ученых недостаточно внимания уделено вопросам сокращения времени простоев свеклоуборочной техники.

В то же время проведение автоматизированной очистки выгрузного конвейера от почвенных масс, не затрачивая на эту операцию много дополнительного времени является одной из приоритетных задач, позволяющих сократить время простоев свеклоуборочных комбайнов и тем самым повысить их производительность.

В этом случае потребуется разработка комплекса технологических и технических решений, обеспечивающих быструю и качественную очистку выгрузного конвейера свеклоуборочного комбайна без его остановки и применения ручного труда.

Повышению эффективности эксплуатации свеклоуборочных комбайнов за счет жидкостно-механической очистки, с использованием устройства для нанесения жидкости (воды) на донье бункера свеклоуборочного комбайна уделено недостаточное внимание. Предлагаемая конструкция не имеет примеров использования на свеклоуборочных комбайнах.

Цель исследования: повышение производительности свеклоуборочных комбайнов, за счет снижения их простоев путём обоснования жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортера.

Задачи исследования:

1) провести анализ технологий и технических средств, обеспечивающих уборку сахарной свеклы;

2) предложить технологию жидкостно-механического удаления почвенных масс и предложить конструктивно-технологическую схему оборудования для ее реализации;

3) разработать математическую модель процесса жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна;

4) выполнить экспериментальные исследования по определению функционирования предложенного оборудования жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна в лабораторных и полевых условиях;

5) провести технико-экономическое обоснование предложенных технических и технологических решений.

Объект исследования: свеклоуборочный комбайн, выполняющий операции по уборке сахарной свеклы.

Предмет исследования: закономерности изменения показателей эффективности процесса удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна в зависимости от параметров очищаемой поверхности, форсунок и почвенных масс.

Научная новизна заключается в:

– методике по снижению простоев свеклоуборочных комбайнов путем жидкостно-механического удаления почвенных масс (основанной на принципе разделения жидкостью твердых сред (поверхности донья и почвенных масс) от плотного взаимодействия друг с другом) и последующим механическим устранением почвы скребками транспортера;

– моделировании процесса жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна, отличающимся представлением почвенных масс как пластичной и фрагментируемой среды, и позволяющей адаптироваться к различным условиям эксплуатации и учитывать различные физико-химические свойства почв и тип взаимодействующих покрытий;

– закономерностях влияния параметров очищаемой поверхности, форсунок и почвенных масс на эффективность процесса удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна, и позволяющих определить основные параметры жидкостно-механического удаления (время прохода одного скребка, высота слоя грязевых масс после прохода скребка, расход рабочей жидкости).

Теоретическая значимость работы.

Заключается в разработке метода повышения эффективности эксплуатации свеклоуборочных комбайнов, на основе управления процессом удаления почвенных масс с донья транспортера с учетом различных типов взаимодействующих твердых и жидких сред.

Практическая значимость работы.

Разработана конструктивно-технологическая схема удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна. Предложено оборудование, включающее емкость для доступной жидкости (воды), напорный насос, гидрораспределитель, соединительные шланги и форсунки, и обеспечивающее смачивание поверхности донья транспортера, что способствует дальнейшему устранению почвенных масс с донья скребками транспортера. Определена последовательность действий по смачиванию поверхности донья в технологическом процессе ра-

боты комбайна. Представлены результаты расчета количества подаваемой жидкости и времени удаления почвенных масс, а также показано их влияние на эффективность процесса.

Методология и методы исследования.

Решение поставленных задач реализовано с применением методов теоретических и экспериментальных исследований. При проведении лабораторных исследований использованы классические и частные методики с применением современных приборов и вычислительной техники.

Положения, выносимые на защиту:

1) технология жидкостно-механического удаления почвенных масс (основанная на принципе разделения жидкостью твердых сред (поверхности металла и почвенных масс) от плотного взаимодействия друг с другом) и последующим механическим устранением почвы скребками транспортера обеспечивающее снижение налипания и уплотнения почвенных масс;

2) конструктивно-технологическая схема удаления почвенных масс в виде оборудования (включающая емкость для доступной жидкости (воды), напорный насос, гидрораспределитель, соединительные шланги и форсунки) для смачивания поверхности донья транспортера жидкостью (водой), способствующего дальнейшему устранению почвенных масс с донья скребками транспортера;

3) физико-математическая модель процесса жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс, состоящих из множества элементов и обладающих упруго-вязким вариантом описания механического взаимодействия как друг с другом, так и с движущимся скребком и позволяющая определить ряд показателей эффективности процесса удаления почвенных масс с донья свеклоуборочного комбайна в зависимости от параметров очищаемой поверхности, форсунок и почвенных масс;

4) результаты опытно-экспериментальной проверки оборудования, обеспечивающего жидкостно-механическое удаление почвенных масс с донья транспортера и подтверждающие повышение производительности свеклоуборочного комбайна.

Степень достоверности и апробация результатов.

Закономерности, полученные в ходе моделирования, подтверждены результатами экспериментальных исследований. Необходимая глубина анализа и достоверность выводов достигается применением общенаучных методов и приемов. Эмпирическая база исследования включает обработанные данные, полученные в результате проведения экспериментов в лабораторных и производственных условиях.

Результаты диссертационного исследования представлены в докладах на отчетных научных конференциях ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (2018...2021 гг.), международной конференции IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, индексируемой в Scopus и Web of Science.

Диссертация выполнена в рамках научно-исследовательской работы агроинженерного факультета «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», утвержденной ученым советом ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (№ 01.200.1-003986).

Реализация результатов исследований.

Результаты исследования внедрены на предприятиях ООО «Агротех-Гарант» Воронежской области, что подтверждено соответствующими актами.

Личный вклад соискателя.

Личный вклад соискателя заключается в постановке задач исследования, выборе методов, разработке методики исследований, выполнении математических преобразований, получении и реализации на ЭВМ аналитических зависимостей, разработке технологии и устройства для очистки конвейеров свеклоуборочных машин, проектировании и создании лабораторного стенда для проведения экспериментальных исследований по очистке конвейеров свеклоуборочных комбайнов, проведении экспериментов, формулировке выводов, предложений, рекомендаций, подготовке публикаций по теме диссертации.

Публикация результатов исследования.

По материалам диссертации опубликовано шесть статей, в том числе три статьи – в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы

основные научные результаты диссертаций

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 121 страниц, из них 88 основного текста и 19 страниц приложений. Работа включает 41 рисунок 2 таблиц и 122 наименования используемых источников.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УБОРКИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Для большинства сельскохозяйственных операций, в том числе уборочного процесса сахарной свеклы, работа свеклоуборочной техники на максимальной производительности имеет важное значение. Часто при их работе возникают обусловленные простои, которые при проведении отдельных операций могут достигать 20-25% от общего времени.

Сжатые сроки уборки и большие объемы продукции, которые должны быть убраны в этот период, указывают на необходимость сокращения простоев свеклоуборочных комбайнов.

1.1 Значение производства сахарной свеклы в сельском хозяйстве

Сахарная свекла является одной из важнейших технических культур, также сахарная свекла является основным сырьём для производства сахара в стране. Объём площадей, занятых под посевами сахарной свеклы, в настоящее время, не удовлетворяет в полной мере потребность страны в сахаре. Одновременно с необходимостью расширения посевных площадей встает задача использования высокопроизводительной и надежной техники [1].

Одним из самых проблемных этапов технологии производства сахарной свеклы является её уборка. После распада СССР, в нашей стране не осталось заводов-изготовителей свеклоуборочной техники. На сегодняшний день комбайны для уборки сахарной свеклы, которые находятся в эксплуатации хозяйств, сильно изношены, а единицы техники, поступающие с заводов, морально устарели. Все перечисленные причины в значительной мере оказывают влияние на качество выполняемых работ. Для уборки сахарной свеклы современные сельхозпредприятия России закупают современную зарубежную технику. На полях страны работает большое количество свеклоуборочных машин немецких, голландских, американских и других производителей. Перед сельскохозяйственными товаропроизводителями

стоит задача эффективного их использования (эксплуатации), что невозможно без знания конструкции и технологических процессов машин, умения правильной их настройки на оптимальный режим работы в зависимости от производственно-климатических условий.

Для уборки сахарной свеклы наиболее оптимальными сроками является период с 20 сентября по 1 ноября. Уборка корнеплодов должна быть завершена до наступления устойчивой температуры воздуха ниже 5°C и промерзания почвы [2].

Также сахарную свеклу можно начать убирать в более ранний календарный срок, начиная уборку – с 1 сентября (в годы с экстремальными погодными условиями или ожиданием количества сырья сверх нормативного) по согласованному с перерабатывающими предприятиями графику. В ранние сроки уборка начинается на участках с более высокой продуктивностью, с содержанием сахара в корнеплодах не менее 14%.

Несмотря на то, что по масштабам выращивания сахарной свеклы Россия ближе к США, чем к Европе, отечественные аграрии признают необходимость использования не прицепной американской, а самоходной европейской техники. Это связано в первую очередь с тем, что самоходные свеклоуборочные комбайны продуктивнее на российских черноземах в дождливых погодных условиях осенью, чем прицепные агрегаты [3].

Одной из важнейших технических культур в России является сахарная свекла, которая используется для производства сахара. На территории Российской Федерации посевные площади сахарной свеклы составляют около 1 млн. га, причем 240,1 тыс. га засеивается в Приволжском федеральном округе. Сахарная свекла – является единственной сельскохозяйственной культурой России, урожайность которой растет уже 8 лет подряд, а показатель отраслевой продуктивности (сбор с 1 га посевных площадей) за 9 лет вырос более чем в 2 раза [4].

Операции производства этой культуры более трудоемкие, поэтому огромное внимание уделяется совершенствованию технологических процессов и совершенствованию машин для уборки сахарной свеклы. На сегодняшний день практически

все операции производства корнеплодов сахарной свеклы полностью механизированы и выполняются без затрат ручного труда. Несмотря на достигнутый уровень эксплуатационных и технологических показателей, на доочистке корнеплодов очень часто применяется ручной труд. Механизированные процессы уборки сахарной свеклы представляют собой сложный комплекс технологических операций, включающих обрезку, извлечение из почвы, очистку, сбор, укладку, погрузку и транспортировку корнеплодов.

Чтобы повысить качество работы уборочных машин перед уборкой проводят рыхление почвы в междурядьях на глубину 10...12 см культиватором УСМК-5,4В или КМС-5,4 [5].

Существует несколько способов уборки сахарной свеклы.

Однофазный способ уборки сопровождается выкапыванием из почвы свеклоуборочным комбайном корнеплодов, отделением от них ботвы и загрузкой урожая в транспортные средства.

Двухфазный способ уборки заключается в том, что ботвоуборочной машиной ботву удаляют и отправляют ее в транспортное средство, которое движется рядом. Затем свеклоуборочным комбайном свеклу извлекают из почвы, очищают от почвенных масс и остатков ботвы и отправляют свеклу в транспортное средство.

Трехфазный способ уборки заключается в выполнении следующих операций: удаление ботвы ботвоуборочной машиной; извлечение свеклы свеклоуборочным комбайном с ее частичной очисткой и укладкой ее в продольные бурты, сбор свеклопогрузчиком, доочистка и погрузка свеклы в транспортные средства для транспортировки на сахарные заводы.

Более всех трех способов распространен двухфазный способ уборки сахарной свеклы. Осуществляется он шести и четырех рядными комбайнами. При ширине междурядий 45 см используют шестирядный комплекс, включающий в себя ботвоуборочные машины БМ-6Б (рисунок 1.1), МБП-6, МБК-2,7 и корнеуборочные машины КС-6Б, КС-6В, РКС-6, РКМ-6, МКП-6. Свеклу, посеянную с междурядьем 60 см, убирают четырехрядным комплексом, состоящим из ботвоуборочных машин БМ-4А и корнеуборочных машин РКМ-4.

При проведении однофазного способа уборки, машина скашивает ботву и разбрасывает ее в измельченном виде по полю, либо направляет ее в транспортное средство, которое движется рядом, при помощи которого скошенную ботву доставляют к местам заготовки кормов и скармливания животным. Существуют два варианта применения данного способа: а) отдельным агрегатом (например, на базе ботвоуборочной машины типа БМ-6А) самостоятельно от процесса уборки корнеплодов; б) совместно с процессом уборки корнеплодов (например, самоходный комбайн SF-25 (Германия), «Terra Dos» фирмы «Holmer» (Германия) и т.д.) [4].

В зависимости от обеспеченности транспортом и погодных условий применяют перевалочную, поточную и поточно - перевалочную технологии уборки.

Поточная технология предусматривает транспортировку ботвы на ферму, а корней на сахарный завод, для дальнейшей переработки.



Рисунок 1.1 – Ботвоуборочная машина БМ-6Б

Перевалочная технология связана с перевозкой корней на край поля и выгрузкой их во временные бурты (кагаты) шириной 3...3,5 м, высотой до 1,2 м и длиной около 100 м, которые для устранения потерь сахара укрывают землей [2].

Перед транспортировкой корнеплодов на завод, их очищают от примесей и грузят свеклопогрузчиками в транспортное средство. Очень хорошо зарекомендовали себя на данных видах работ современные свеклопогрузчики-очистители европейского производства, таких фирм как HOLMER, ROPA, FRANZ KLEINE.

Данные свеклопогрузчики-очистители успешно применяются во всем мире и служат примером бережной и эффективной технологии погрузки свеклы с одновременной ее доочисткой. Об этом свидетельствует разработка запатентованного компанией HOLMER свеклопогрузчика Terra Felis 3 (рисунок 1.2.). Данный свеклопогрузчик обеспечивает максимальный комфорт в работе, который обусловлен устройством автоматизированного наполнения кузова автомобиля HOLMER DynaFill, а также просторной кабиной и самой быстрой складной автоматикой. Концепция очистки подбирается индивидуально. Имеются решения для самых разнообразных условий использования. Приемный стол шириной 9,50 м, расстояние перегрузки 15 м и продуманное расположение уравнивания противовеса дополняют общую концепцию. Главной целью при разработке Terra Felis 3 являлась оптимизация сохранности сахарной свеклы при максимальной безопасности перегрузки. Для ее достижения наши разработчики приложили все свои знания: запатентованный приемный стол HOLMER непрерывно совершенствовался вместе с системой VarioPick, а в процесс перегрузки вносились революционные изменения, такие как улучшенный обзор из подъемной кабины и система помощи водителю DynaFill. С помощью перегрузочного транспортера длиной до 15 м, высотой перегрузки свыше 6 м и двух поворотных шарниров с гидроприводом обеспечивается угол поворота при перегрузке 332°. Благодаря подъемной кабине водитель всегда имеет полный обзор. Уникальный инновационный лазерный механизм HOLMER DynaFill полностью автоматизирован и осуществляет контроль наполнения кузова автомобиля, обеспечивая существенную помощь водителю и оператору [6,7,8,9,10,11].

Поточно-перевалочная технология заключается в том, что одну часть убранных корнеплодов увозят на завод, другую - на перевалочную площадку в кагаты с последующим использованием свеклопогрузчиков.



Рисунок 1.2 – Свеклопогрузчик Terra Felis 3 фирмы HOLMER

Перед проведением уборки во всех сельхозпредприятиях составляют план уборочных работ с учетом состояния растений на отдельных полях и участках и других факторов. В первую очередь для уборки предназначены те участки, которые поражены болезнями и удалены на большое расстояние от дорог, так как в дальнейшем со сменой погодных условий, ее тяжелее будет доставить к месту переработки. Продолжительность уборки сахарной свеклы в большинстве хозяйств обычно составляет 40 – 60 дней, но в отдельно взятых хозяйствах может длиться более двух месяцев, в зависимости от выращиваемого объема сахарной свёклы и количества, и качества свеклоуборочной техники [12].

Уборка сахарной свеклы состоит из комплексного технологического процесса, который в свою очередь состоит из нескольких фаз. При машинной уборке технологические фазы следуют одна за другой в одинаковой последовательности:

- удаление ботвы, доочистка или дообрезка головки корнеплода;
- выкапывание корнеплода из почвы, частичная очистка и (в зависимости от способа уборки) укладка в валки на поверхности поля или загрузка в транспортное средство;
- подбор корнеплодов из валков, окончательная очистка, загрузка в бункер-накопитель или непосредственно в транспортное средство.

Технологические операции можно совмещать и выполнять с помощью машинных агрегатов, осуществляющих аналогичные процессы [13,14].

Ранее сахарную свеклу убирали в основном комбайнами теребильного типа: на неполивных землях – трехрядными, на поливных двух рядными (КСТ – 3А, СКД – 2). Уборка была однофазной. Потом уборка стала двухфазной и осуществляется на неполивных землях 6-рядными машинами – прицепными ботвоуборочными БМ – 6, и самоходными корнеуборочными КС – 6, КС – 6Б (рисунок 1.3) или РКС – 6, а на поливных – 4-рядными – БМ – 4 и РКС – 4.



Рисунок 1.3 – Свеклоуборочная машина КС-6Б

В настоящее время уборка сахарной свеклы стала осуществляться намного легче, быстрее и качественнее, благодаря новой современной свеклоуборочной технике.

На сегодняшний день уборка сахарной свеклы осуществляется в основном

однофазным способом при помощи одного комбайна. Скашивание ботвы и выкапывание корнеплода происходит практически одновременно, что повышает качество уборки и позволяет за меньшие сроки убрать большее количество выращенных площадей [15,16,17,18].

1.2 Обеспеченность свеклоуборочной техникой в сельском хозяйстве

Состояние рынка свеклоуборочной техники далеко от идеала: в период 2008–2017 г. цены на подобные машины росли на 11–15% в год. Несмотря на это, многие хозяйства планируют в ближайшее время приобретение новых единиц свеклоуборочной техники. Российские аграрии отдают большее предпочтение самоходным (европейским) моделям, чем прицепным (американским). Это связано с возможностью самоходных машин работать даже в плохих погодных условиях. И хотя прицепная техника обходится, как правило, значительно дешевле, некоторые сельхозпроизводители готовы приобретать для своих хозяйств новые самоходные агрегаты. Однако из-за их дороговизны и сложности освоения на российских полях пока продолжают преобладать прицепные модели [19].

Всем известно, что уборка урожая – один из самых ответственных технологических этапов выращивания любой культуры. Уборка сахарной свеклы не исключение: ее успех напрямую зависит от того, уложится ли аграрий в установленные природой сроки или же часть урожая так и останется неубранной. Чтобы справиться с уборкой в кратчайшие сроки, важно грамотно подобрать свеклоуборочную технику (рисунок 1.4).

Рынок уборочной техники разнообразен, но в последние годы на нем стали преобладать самоходные машины фирм Holmer, Rora (рисунок 1.5) и др., нежели прицепные модели, например, компании Amity Technology (которые сохранились в основном на Юге).



Рисунок 1.4 – Уборка сахарной свеклы комбайном Holmer.



Рисунок 1.5 – Свеклоуборочный комбайн фирмы «Ропа»

Свеклоуборочные комбайны и свеклопогрузчики — это сложные и дорогие в производстве и эксплуатации машины. Поэтому спрос на них обеспечивают крупные агрокомпании, которые занимаются не только возделыванием свеклы, но и ее переработкой. Такие компании располагают средствами для приобретения новой дорогостоящей техники. А небольшие агрофирмы из-за нехватки финансирования вынуждены работать на устаревших машинах [20].

Среди наиболее распространенных в Центрально-Черноземном районе свеклоуборочных комбайнов являются такие агрегаты фирм как Franz Kleine, Holmer и Rora. Это комбайн SF 10-2 и очиститель-погрузчик сахарной свеклы Maus RL 200 SF и RL -350V от Franz Kleine (рисунок 1.6), свеклоуборочный комбайн Holmer Terra Dos и погрузчик-очиститель сахарной свеклы Holmer Terra Felis, комбайн Rora euro – Tiger V8h и погрузчик-очиститель Rora euro — Maus 3. За последние два года на рынок также стали поступать новые свеклоуборочные комплексы Big Six, производимые фирмой Agrifac [21,22,23].



Рисунок 1.6 –Свеклоуборочный комбайн фирмы «Franz Kleine»

Все эти машины высокопроизводительны, надежны в эксплуатации, просты в обслуживании и подходят для работы по всем существующим технологиям производства сахарной свеклы.

В настоящее время в сельском хозяйстве задействовано огромное количество самой разнообразной техники. В отличие от других отраслей, в сельском хозяйстве перед машинами одновременно ставится целый комплекс задач, точное выполнение которых гарантирует стабильный и высокий урожай. Также одним из отличий являются агрессивные условия работы машин, от которых зависит долговечность работы узлов и деталей [24].

Производство сахарной свеклы, в настоящее время, является одним из самых прибыльных направлений производства в сельском хозяйстве. Именно поэтому преуспевающие предприятия сельского хозяйства ставят на первое место возделывание данной культуры. Урожайность сахарной свеклы с каждым годом становится всё выше при хороших показателях содержания в ней сахара, и на сегодняшний день, в отдельно взятых хозяйствах, достигает 800 центнеров с гектара [25].

Рост площадей под сахарную свёклу вызывает потребность в высокопроизводительной технике, обеспечивающей требуемое качество выполняемых работ. На эффективность использования таких средств оказывают влияние вынужденные простои. Так в результате исследования функционирования свеклоуборочных машин выявлены проблемы с загрязнением донного транспортёра бункера почвенными массами, что может привести к его поломке или его остановке во время работы [3].

Современные свеклоуборочные комбайны (Holmer, Franz Kleine, Ropa) оснащены шести и девяти-рядковыми выкапывающими устройствами. В основном это шести-рядковые выкапывающие устройства. В передней части выкапывающего устройства установлена ботвоуборочная машина с разбрасывателем скошенной ботвы. За ней установлено дорезающее устройство, которое выравнивает высоту среза ботвы с корнеплодов. За ботвоудалительным устройством идет так называемый «Корчеватель» с выкапывающими органами, которые выполняют функцию выкапывания корнеплода из почвы, без травмирования корнеплода доставляют на

транспортировочно-очистительные валы. Транспортировочно-очистительные валы доставляют корнеплоды к приемно-очистительному сепаратору. Приёмно-очистительный сепаратор в свою очередь доставляет корнеплоды на очистительные звезды, далее на кольцевой транспортёр, по которому корнеплоды попадают в накопительный бункер свеклоуборочного комбайна [25].

По наполнению накопительного бункера до определенного уровня осуществляется выгрузка свеклы при помощи откидного выгрузного транспортера, и двух донных транспортеров, которые подают корнеплоды к откидному транспортеру (рисунок 1.7).

В количественном отношении доминируют комбайны фирмы Holmer (Terra Dos модели T2, T3), стоимость которых колеблется от 15 до 22 млн.руб. Вместе с тем опыт их применения в хозяйствах свидетельствуют о том, что потенциальные их возможности реализуются пока недостаточно полно. Высокая стоимость комбайнов при низкой сезонной наработке и эксплуатационной надежности обуславливает высокую себестоимость уборочных работ [26,27].

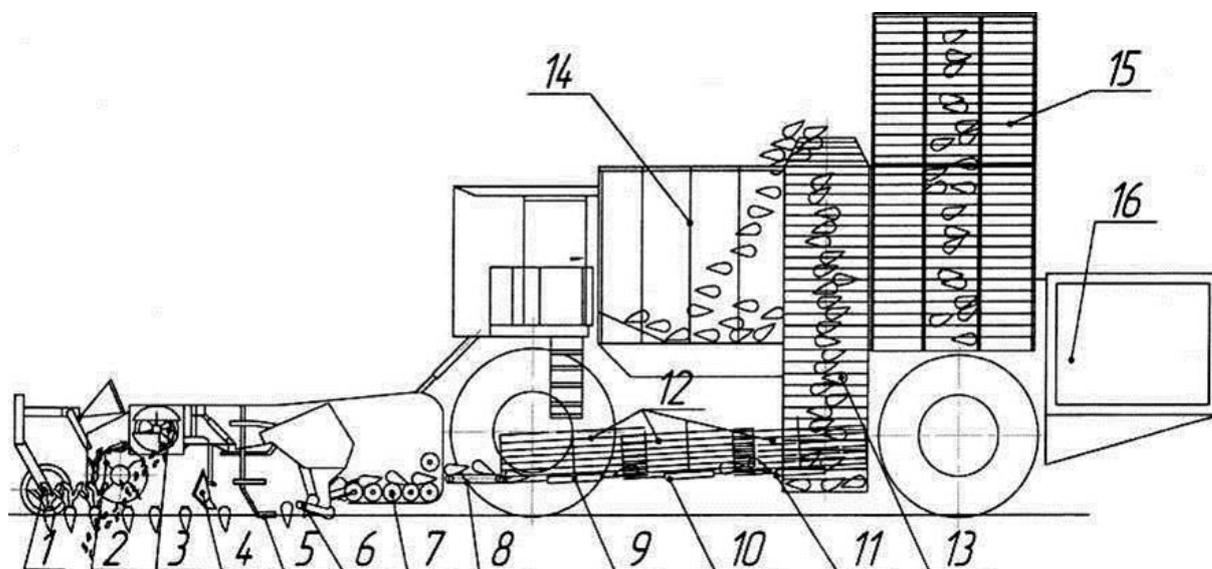


Рисунок 1.7 – Технологическая схема работы свеклоуборочного комбайна:

- 1 – опорные колеса; 2 – ботвоудалитель; 3 – ботворазбрасыватель;
- 4 – дообрезчик; 5 – Копир; 6 – Вибрационные копачи; 7 – Вальцы;
- 8 – Подающий транспортер; 9, 10, 11 – Роторные очистители;
- 12 – Оградительные решетки; 13 – Кольцевой элеватор; 14 – Бункер-накопитель; 15 – Выгрузной транспортер; 16 – Двигатель

Немецкая фирма «Holmer» предлагает шестирядный свеклоуборочный комбайн «Terra Dos T2» (рисунок 1.8).

Конструкцией данного комбайна предусмотрено фронтальное извлечение корнеплодов из почвы подкапывающими рабочими органами. При этом ботва срезается и измельчается ботвоудалителями. По выбору измельченную ботву можно разбрасывать по полю для заправки, или погрузить в транспортное средство, движущееся рядом. Система очистки корнеплодов состоит из шести спиральных валиков, сепарирующего элеватора и трех сепарирующих звезд (рисунок 1.9). После очистки корнеплоды через кольцевой элеватор подаются в бункер. Выгрузка корнеплодов из бункера осуществляется выгрузным транспортером [19].



Рисунок 1.8 –Комбайн «Terra Dos» фирмы «Holmer»

Комбайн может быть оборудован ботвоудалителем интегральной обрезки, с помощью которого измельченная ботва будет укладываться в междурядья сахарной свеклы.

При работе ботвоуборочная машина имеет опору на 2 колеса, которые отдельно регулируются по вертикали. Заданная высота среза поддерживается автоматически в зависимости от давления опорных колес на почву. В передней части ботвоуборочной машины имеется копирующее устройство автомата вождения по рядкам.

Сепарирующие звезды, в количестве 3 шт. достаточно эффективно очищают свеклу и подают ее на кольцевой транспортер. Первая звезда имеет диаметр 170 мм и расположена под шарниром рамы и смонтирована на поверхности оси. В этой позиции она аккуратно поднимает и очищает весь поток корнеплодов сахарной свеклы не зависимо от того, в каком положении находится шарнир рамы [22].



Рисунок 1.9 – Вальцовая группа комбайна «Terra Dos T2»

Кольцевой элеватор служит для транспортировки свеклы от очистительных

звезд в бункер. Бункер прямоугольной формы, имеет объем 24 м.³ В бункере располагаются поперечные и продольные донные цепочно-планчатые транспортеры и выгрузной элеватор (рисунок 1.10). Шнек, установленный в верхней части бункера, служит для равномерного распределения корнеплодов в бункере. В процессе разгрузки свекла к выгрузному элеватору подается циклически включаемыми продольным и поперечным донными транспортерами. Привод донных транспортеров осуществляется от гидромоторов. Одновременно с включением транспортеров масло подается в гидроцилиндры, отвечающие за их натяжение. Выгрузной конвейер имеет ширину 1,85 м, а скорость движения его ленты изменяется бесступенчато [20]. Продолжительность выгрузки всего объема бункера не превышает трёх минут.



Рисунок 1.10 – Бункер с загрузочным транспортером свеклоуборочного комбайна «Terra Dos» фирмы «Holmer»

Ходовые колеса приводятся через гидростатическую трансмиссию и двухступенчатую коробку перемены режимов. На первом режиме скорость движения можно изменять от нуля до 12 км/ч, а на втором – от нуля до 25 км/ч. Управление комбайном можно осуществлять воздействием через руль на передние, а джойстиком – на задние колеса. При разворотах и крутых поворотах активируется излом рамы. При работе в автоматическом режиме управление комбайном осуществляется через передний мост под воздействием сигналов, поступающих от датчиков копиров рядков или датчиков смещения копачей. Наиболее часто применяемой схемой управления является та, при которой сигналы от копиров рядков управляют задними колесами, а сигналы смещения копачей передними [19].

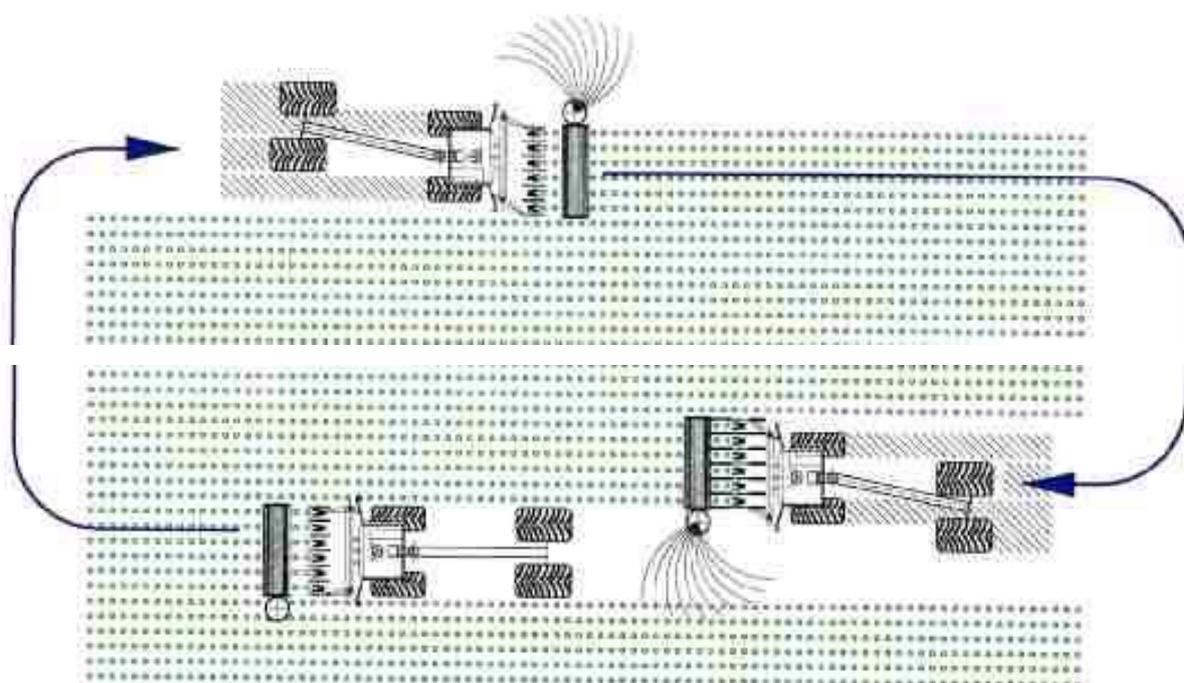


Рисунок 1.11 – Технологическая схема работы комбайна в поле

При первом проходе комбайна по полю ботвоудалитель и корчеватель устанавливаются по центру машины, а при последующих – смещают в сторону на 200 мм для предотвращения наезда колес на рядки свеклы (рисунок 1.11).

Таким образом, в России на сегодняшний день преимущественно используется техника зарубежного производства. Технологические процессы используемые

для уборки свеклы осуществляются в сельском хозяйстве с учетом имеющейся техники. Современные машины способны в круглосуточном режиме осуществлять соответствующие работы. Однако, внешние природно-климатические условия оказывают влияние на эффективное использование суточного рабочего времени комбайна [28,29,30]. В основном, это связано с налипанием почвенных масс на рабочие поверхности свеклоуборочного комбайна, так как вместе с корнеплодами сахарной свеклы по комбайну перемещаются большие количества почвенных масс. Они в процессе перемещения по рабочим органам комбайна смешиваются с сахарным соком, выделяемый свеклой при взаимодействии с рабочими органами комбайна. В результате этого почвенные массы попадают в бункер свеклоуборочного комбайна, и под давлением корнеплодов налипают на донье и донный транспортёр бункера. Во время работы комбайна количество почвенных масс на донье бункера возрастает быстрыми темпами. Чтобы избежать перебоев в работе донного транспортёра свеклоуборочного комбайна, комбайнёру (оператору) приходится очищать поверхность донья от налипших почвенных масс [31,32,33].



Рисунок 1.12 – Донный транспортер свеклоуборочного комбайна

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что уборка сахарной свеклы очень сложный и энергоёмкий процесс, требующий ответственного отношения на каждом этапе. Простои технологических или транспортных машин на любом этапе приводят к увеличению общей длительности уборки, что влечет к финансовым потерям. При этом продолжительность технологического обслуживания современного свеклоуборочного комбайна во время работы может сильно возрастать из-за возникающих при уборке сахарной свеклы ряда проблем.

Одной из этих проблем является налипание грязевых масс под планки донного транспортёра накопительного бункера свеклоуборочного комбайна. В результате сильного загрязнения донного транспортёра во время выгрузки свеклы происходит отказ его работы из-за повышенного сопротивления вращению приводного вала, а также его поломки. Это возникает из-за чрезмерного натяжения транспортёра под давлением грязевых масс. Для устранения причин повышенного сопротивления вращению приводного вала требуется проведение ручных очистительных операций транспортёра и бункера, а также ремонт транспортёра в случае его поломки. Ручная очистка — это довольно трудоёмкая операция для комбайнера. В результате этого простои комбайна могут достигать до 20 % от сменного времени, что значительно снижает производительность машины, что приводит к финансовым потерям и снижению эффективности использования машин.

1.3 Направления повышения эффективности функционирования свеклоуборочных комбайнов, включая способы и средства борьбы с налипанием почвенных масс

К основным задачам науки о надёжности относятся выбор наиболее продуктивных направлений повышения показателей надёжности машин и их показатели долговечности. На сегодняшний день выделяется три основных направления, которые представляют различные методы повышения показателей надёжности и долговечности машин [34,35].

1. Увеличение способности машин сопротивляться внешним воздействиям. Сюда можно отнести методы создания прочных, жестких, износостойких узлов за

счет их рациональной конструкции, и методы применения материалов с высокой теплостойкостью, прочностью, коррозионостойкостью, износостойкостью, и др. Данное направление объединяет все новые достижения в области конструирования и технологии, которые позволяют увеличивать способность повышенного сопротивления узлов и механизмов к воздействиям, характерным для данных типов машин и агрегатов. Способности сопротивления деструктивным процессам ограничены. На сегодняшний день в мире нет неизнашивающихся материалов, практически невозможно обеспечить во всех узлах механизмов жидкостное трение, отсутствуют материалы, которые не деформируются и не изменяют своих параметров при изменении температуры. Если к этому добавятся источники внутренних и внешних воздействий на машины и механизмы, то и требования к ее выходным параметрам будут все время повышаться. Целесообразно сказать, что перечисленные методы, для борьбы с неблагоприятными влияниями необходимы, но их недостаточно. Они ограничиваются уровнем развития той или иной области техники [36,37].

2. Применение принципа саморегулирования, когда машина при помощи специальных устройств автоматически восстанавливает утраченные функции и реагирует на внешние возмущения, является новым направлением в создании надежных машин для сложных систем и агрегатов. Это направление имеет практически неограниченные возможности по повышению надежности и долговечности, так как, основываясь на принципах кибернетики, можно для машины любой сложности обеспечивать ее необходимую работоспособность. Исследований по указанным вопросам недостаточно для выработки конкретных рекомендаций промышленности и товаропроизводителям. В связи с этим целесообразна глубокая научная проработка всей совокупности задач, решение которых обеспечит значительное повышение эффективности применения свеклоуборочных машин.

3. Изоляция машин от вредных воздействий за счёт установки их на фундамент для виброизоляции, обеспечения специальных температурных условий и влажности, защиты от запыления и загрязнения поверхностей, применения антикоррозионных покрытий и т. д. Во всех этих случаях узлы, и элементы машины

изолируются от вредных процессов и создаются более благоприятные условия для работы машины. К ним можно отнести рациональные методы ремонта, обслуживания и хранения машин, которые за счет профилактических мероприятий и восстановления утраченной работоспособности машины уменьшают эффект от влияния на машину вредных процессов. Изоляция машины от внешних воздействий повышает ее работоспособность, однако эти возможности также ограничены. Остаются внутренние источники возмущений, полная изоляция от внешних источников также затруднена из-за их неопределенности. Поэтому принцип изоляции от внешних возмущений имеет ограниченные возможности по повышению надежности машин [37].

На сегодняшний день применимы два этапа повышения показателей надежности, которые тесно связаны с основными этапами эксплуатации технических средств.

Первый этап – проектирование и производство; второй – эксплуатация. Увеличение показателей надежности на этапе проектирования можно считать основным, при нем закладываются все возможности по качественному исполнению технических средств и их основных функций безопасной работы в установленных временных характеристиках. Второй этап тесно связан с обеспечением потенциальных показателей надежности при проектировании техники. Однако, установленными мероприятиями в процессе эксплуатации можно увеличить показатели надежности и даже превзойти её уровень, заложенный при проектировании и производстве. Это достигается доработками основных показателей аппаратуры и улучшением исходных организационных и технологических мероприятий в процессе её эксплуатации при двусторонней связи эксплуатационника и производства [37].

К основным методам повышения показателей надежности на этапе производства и проектирования относятся:

1. Применение высоконадежных комплектующих элементов. Для выполнения этого проводят либо выборочную, либо полную предварительную проверку и испытание элементов в условиях, приближенных к условиям эксплуатации.
2. Проектирование, возможно более простой техники применение известных

раннее и хорошо себя зарекомендовавших блоков, узлов и схемных решений.

3. Снижение возможных перегрузок в работе изделий.

4. Автоматизацию проектирования, при которой оптимизируется конструкция объекта с учетом требований стандартов и исключаются конструкционные ошибки при переносе информации на технологическую и производственную базу

5. Резервирование особо ответственных узлов, блоков, операций в программном обеспечении [37].

На этапе эксплуатации используют следующие методы увеличения показателей надежности:

- доработку изделий на основе опыта эксплуатации и связи потребителя с разработчиком и производителем.

- снижение нагрузок, действующих на технику, улучшение условий работы и хранения.

- повышение квалификации обслуживающего персонала.

- совершенствование технологических процессов работы и обслуживания в соответствии с требованиями потребителя.

- внедрение современных средств контроля.

- выполнение всех плановых профилактических мероприятий.

- совершенствование организации труда у потребителя.

- анализ статистики отказов и прогнозирование надежности [36].

В условиях перехода к эксплуатации техники на основе анализа ее текущего состояния, большее значение для обеспечения её надежности имеет своевременная диагностика отказов. На этапе проектирования аппаратуры наиболее кардинально решаются вопросы повышения показателей надежности также при закладывании ее основных узлов. Технический сервис, как основной фактор высокопроизводительного использования комбайнов зарубежного производства в России развит слабо и находится в стадии становления. Существуют разные подходы к формам предоставления услуг и за рубежом. Положительным моментом является полная ориентация производителей техники на исполнение требований потребителя как в

части конструкций машин, так и дальнейшего сервиса. Технический сервис машин, на стадии эксплуатации, требует дальнейшего совершенствования организации и выполнения ремонта машин в гарантийный и послегарантийный периоды эксплуатации, технического обслуживания, организации использования машин у потребителя, форм обучения персонала и информационно-консультационного обеспечения по вопросам эксплуатации машин [37].

В стадии технологического отказа, работа комбайнов может представлять особый интерес. Выполнение функций с пониженными показателями назначения, кратковременных значений, технологических параметров за поле допуска обуславливают значительные потери и снижают эффективность использования дорогостоящих комбайнов зарубежного производства. Для свеклоуборочных комбайнов не установлены временные промежутки возникновения технологических отказов и не установлены показатели работы комбайнов при технологических отказах [37].

На основе анализа и обзора научных исследований, а также изучения передового опыта можно установить:

- отсутствие производства специализированных свеклоуборочных машин побуждает сельского товаропроизводителя приобретать машины зарубежного производства [38];

- эффективность производства сахарной свеклы неразрывно связана с освоением новых технологий и применением высокопроизводительных свеклоуборочных машин [39];

- интенсивность использования комбайнов в значительной мере обусловлена состоянием почвы и культуры к моменту уборки, правилами приёмки сырья, состоянием машины, квалификацией комбайнёра, правильностью выбора скоростных и нагрузочных режимов работы;

- с приобретением сложных зарубежных комбайнов у потребителя возникает комплекс организационных, технологических и технических задач организации эффективного использования комбайнов и технического сервиса [40];

– требуют теоретического обоснования и разработки технологические процессы обслуживания и хранения комбайнов, оценки эффективности заложенных конструктивных решений в сильно изменяющихся почвенно-климатических условиях [41];

– технический сервис, как основа обеспечения высокой эксплуатационной надёжности и экономичности комбайнов, развит пока слабо, как итог потенциальные возможности свеклоуборочных комбайнов реализованы на уровне 60...65% [42,43,44, 45];

– остаются открытыми вопросы оценки изменений показателей эксплуатационной надёжности комбайнов, определения затрат на приобретение запасных частей для восстановления их работоспособности, вероятности исправного состояния комбайнов при хранении, материальных затрат, связанных с простоями комбайнов, оценки параметрической и технологической надёжности.

В направлениях исследований липкости почвенных масс известны работы Алдошина Н.В., Заднепровского Р.П. [46,47,48,49,50,51,52]. В них раскрывается природа липкости грунтов, закономерности ее изменения в зависимости от различных факторов.

Существенный вклад в изучение вопросов мойки и предотвращение налипания почвенных масс внесли Синельников А.А. [37], Янина Т.И., Серпокрылов Н.С. [53,54,55,56,57,58,59,60].

Известны различные технические и технологические решения по предотвращению налипания различных веществ на металлические поверхности, представленные в трудах академиков Гайдара С.М., Ерохина М.Н., Дидманидзе О.Н., Завражнова А.И. [61,62,63,64]. В трудах Фадеева И.В. исследовались параметры смазывания различных поверхностей [65,66,67,68,69,70,71]. Также в трудах Фадеева И.В. рассматриваются факторы воздействия различных моющих средств на сельскохозяйственную технику, с учётом повышения противокоррозионных свойств моющих растворов [72,73,74,75].

В области оптимизации уборочных процессов сахарной свеклы известны работы ученых, ведущих научных и образовательных организаций РФ. Так, в работах Завражнова А.И. рассмотрены проблемы неэффективного использования техники в сельском хозяйстве [64]. В трудах Дробышева И.А., Гуреева И.И, изложены основы технологии уборки сахарной свеклы [2,3]. Маслов Г.Г. и Московский М.Н. исследовали вопросы оптимизации комплекса уборочных и послеуборочных работ [76,77]. В работах Смирнова И.Г. и Личмана Г.И. изучены проблемы и перспективы научно-технического обеспечения агропромышленного комплекса инновационными технологиями, включая цифровые [78,79].

В работе Трубицина М. Н. «Способы ликвидации завесаний и налипаний почвенной массы» описана технология разрушения налипших почвенных масс, в частности описан способ механического разрушения налипшей почвы с применением вибрации и устройство ликвидации налипших почвенных масс, при котором вибрации передаются на загрязнённую поверхность основания, а через них на толщу налипшего материала [80].

Данный способ может быть использован в горной, строительной, перерабатывающей, сельскохозяйственной и пищевой промышленности.

К числу недостатков указанного способа можно отнести:

- уплотнение материала, находящегося в статике в местах, удаленных от эпицентра вибрации;
- постепенное вибрационное разрушение самих бункеров и их футеровок за счет вхождения в резонанс с нерегулируемым спектром частот вибрационных побудителей;
- необходимость почти непрерывной работы механизмов, создающих вибрацию, что приводит к увеличению энергопотребления;
- нарушение норм техники безопасности и промышленной санитарии из-за постоянного шума и вибраций, действующих на здоровье и психику обслуживающего персонала.

В работе Яниной Т.И. «Способы борьбы с налипанием почвенных масс на

ковш экскаватора» предлагается использование жидких профилактических покрытий [53].



Рисунок 1.13 – Ковш экскаватора ЭКГ-4,6 с налипшими почвенными массами

На рабочих органах карьерных экскаваторов ЭКГ-4,6 и ЭКГ-8И профилактические покрытия РПС-67 и НИОГРИН проходили испытания на производственных объединениях «Челябинскуголь» и «Красноярскуголь». Экскавируемые породы представляют собой главным образом почвы повышенной влажности (14 ... 31%), температура воздуха изменялась от +12 до -23° С. Эффективность действия профилактического средства обосновывалась на количестве циклов экскавации без признаков налипания породы в ковше на каждую профилактическую обработку.

Одноразовая обработка ковша данным средством обеспечивает чистую до металла поверхность ковша в течение 10 ... 15 циклов экскавации в условиях налипания и 20 ... 30 циклов в условиях примерзания при профилактике веществом НИОГРИН. Комбинирование вещества РПС-67 с НИОГРИНом увеличивает профилактический эффект последнего до 4 ... 6 циклов экскавации и снижает его рас-

ход на одну обработку. Средний расход профилактического средства на одну обработку составляет 0,5 ... 0,8 л для ковша емкостью 4 м³ и 0,8 ... 1,2 л для ковша емкостью 8-10 м³.

Данный процесс влечёт за собой недостаток, связанный с недолговечностью удержания на поверхности металла адсорбционных пленок, требующая систематического повторного опрыскивания поверхности, что влечет за собой значительный расход профилактических средств.

В связи с тем, что в нашей стране и мире активно развиваются технологии экологического земледелия использование химических различных средств, может оказать негативное воздействие на окружающую среду [81].

1.4 Выводы и постановка задач исследования

Обзор технологии уборки сахарной свеклы показал, что является актуальной задача снижения простоев свеклоуборочной техники, которые возникают вследствие забивания почвенными массами донного выгрузного конвейера. Это приводит к неэффективному использованию техники и, следовательно, к убыткам хозяйства.

Так же из-за указанной проблемы увеличивается трудоёмкость ежедневного обслуживания свеклоуборочной техники ввиду отсутствия автоматизированного средства для очистки выгрузного конвейера свеклоуборочного комбайна

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- предложить конструктивно-технологическую схему устройства для удаления почвенных масс с транспортера бункера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс;
- выполнить экспериментальные исследования работы предложенного устройства по удалению почвенных масс с конвейера при уборке сахарной свеклы с определением качественных показателей;
- выполнить технико-экономическую оценку предложенных решений.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СВЕКЛОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОСТНО-МЕХАНИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ МАСС С ДОНЬЯ ТРАНСПОРТЕРА

2.1 Технология жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья конвейера от почвенных масс и конструктивно-технологическая схема устройства для ее реализации

Анализ причин простоев свеклоуборочной техники показал, что существенным фактором, влияющим на их производительность, является разработка решения по предотвращению забивания донного конвейера почвенными массами.

Повышение производительности машин является существенным фактором, влияющим на себестоимость производимой продукции. Исследование технологических процессов функционирования техники и выявление возможностей роста показателей от их применения является важной задачей. Например, при анализе работы свеклоуборочной техники были выявлены значительные затраты времени на очистку донья донного транспортёра от загрязнения почвенных масс. В этом случае общее падение суточной производительности уборочных работ свеклоуборочным комбайном может достигать 20 процентов.

Для решения задачи повышения производительности работы свеклоуборочной техники предложено использовать технологию смачивания поверхности донья транспортера жидкостью (водой). В этом случае интерес представляет исследование процессов взаимодействия почвенных масс с поверхностью донья и их удаления с помощью механического воздействия от скребков транспортера. В работе приведена математическая модель процесса жидкостно-механической очистки транспортера, построенная на основе классической механики. Она позволяет проводить расчеты по определению рациональных режимов расхода жидкости, времени очистки и экономической эффективности предложенных решений [82].

Предложенные результаты могут быть использованы в части обоснования механизма протекания подобных процессов в машинах сельскохозяйственного и другого назначения.

Предложена принципиальная схема устройства для очистки донного транспортера свеклоуборочного комбайна при помощи распыления жидкости под давлением на базе свеклоуборочного комбайна «Terra Dos» фирмы «Holmer» (рисунок 2.1).

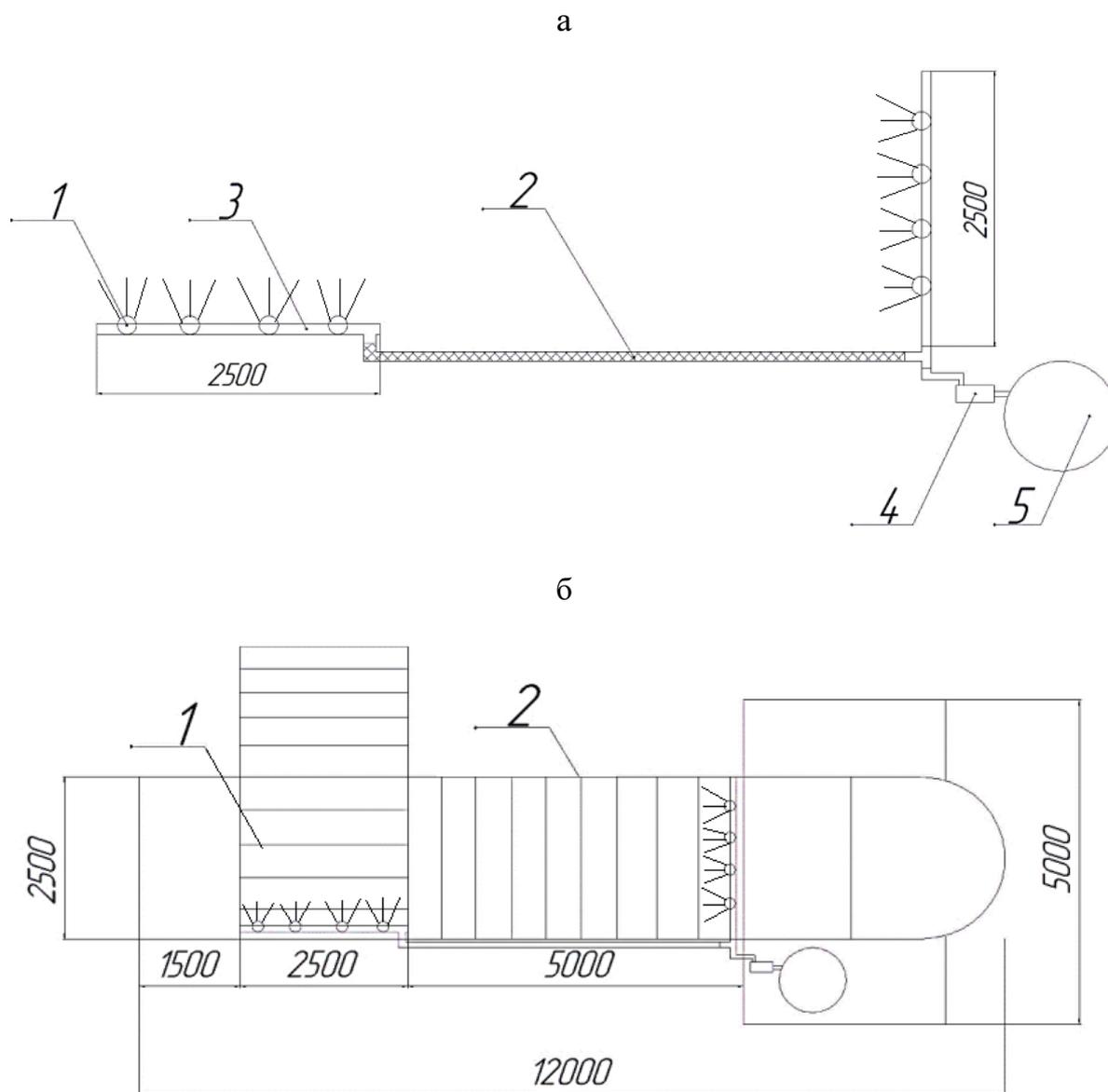


Рисунок 2.1 – Схема основных элементов устройства для очистки конвейеров:
 а) схема устройства для смачиванию донья бункера. 1 – форсунка-опрыскиватель; 2 – шланг подающий; 3 – водяная рампа; 4 – насос для подачи воды; 5 – бак для хранения запаса воды;
 б) расположение элементов устройства для смачивания донья бункера на комбайне. 1 – поперечный донный транспортер; 2 – продольный донный транспортер;

Данное устройство позволяет после выгрузки свеклы из накопительного бункера во время переезда комбайна от места выгрузки к загонке произвести очистку донного транспортера от грязевых масс (рисунок 2.2). При использовании рассматриваемого технического средства, снижаются затраты времени на технологическое обслуживание уборочного агрегата в течении смены за счет периодического удаления налипших грязевых масс и исключения тем самым длительных простоев комбайна для ручного удаления трудноотделяемого плотного слоя грязевых масс или устранения поломок донного транспортера и его привода.

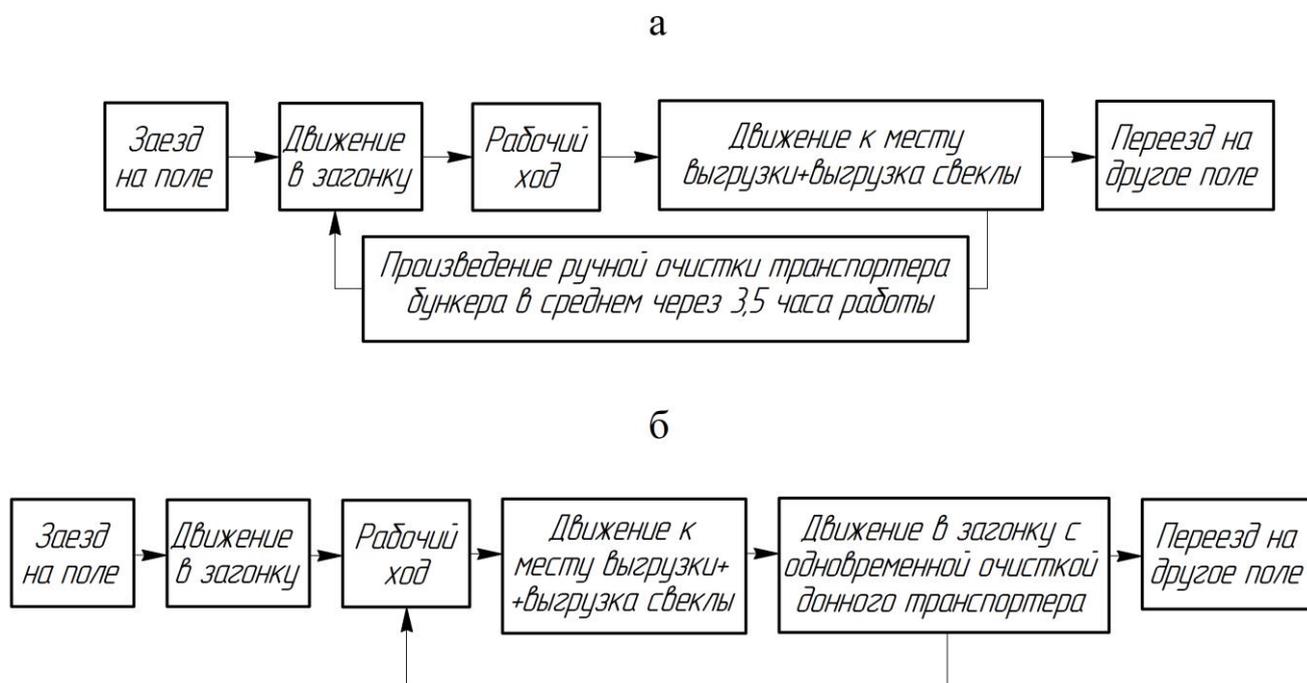


Рисунок 2.2 – Схема основных операций технологического процесса работы свеклоуборочного комбайна:

- а) без дополнительного смачивания поверхности донья бункера комбайна
- б) с дополнительным смачиванием поверхности донья бункера комбайна

Исходя из этих условий, было разработано устройство для удаления почвенных масс с транспортёра свеклоуборочного комбайна при помощи распыления жидкости. При использовании рассматриваемого технического средства очистка донного транспортёра будет производиться во время выгрузки свеклы за очень малое время, что должно снизить время простоев [83].

Конструкция устройства (рисунок 2.1) для очистки донного транспортёра представляет собой две водные рампы, в которых установлены по 4 форсунки на

каждой. Одна рампа рассчитана на очистку продольного транспортера, вторая на мойку поперечного транспортера. Рампы соединены между собой резиновым шлангом параллельно, и подсоединены, при помощи того же шланга, к полиэтиленовому баку с запасом воды на 200 литров. Бак с водой расположен с правой стороны кабины на помосте. Бак с водой никоим образом не мешает своим расположением эксплуатации и техническому обслуживанию комбайна.

В баке с водой расположен подающий насос, который питается от бортовой сети комбайна.

Форсунки имеют возможность регулировать расход жидкости довольно в широком диапазоне от 0,5 до 5 л/мин на каждой форсунке.

Используя регулируемые форсунки предложенного типа, мы получаем возможность проведения экспериментальных исследований, и получить зависимость параметров расхода воды от времени и качества очистки донного транспортера свеклоуборочного комбайна.

Расположение и направление форсунок следует выбирать в зависимости от самых загрязняемых участков транспортера.

Всего установлено в бункере 8 форсунок. 4 форсунки установлены на мойку продольного донного транспортёра, 4 установлены на мойку поперечного транспортёра. Расположение форсунок следует выбирать исходя из опыта работы с данной установкой. Форсунки должны устанавливаться с расстоянием 60 сантиметров. Диапазон суммарного расхода всех форсунок будет изменяться от 7,5 л/мин до 20 л/мин [84].

Работает устройство следующим образом. Очистка транспортёра происходит при распылении из форсунок жидкости под давлением. Давление в данной системе обеспечивает электронасос, который запитан от бортовой сети комбайна. После каждой выгрузки бункера, в зависимости от погодных условий, комбайнер включает электронасос, который создает давление в системе, в результате чего происходит распыление жидкости из форсунок, направленное на участки загрязнённых мест донного транспортера накопительного бункера. Транспортёр в это время должен находиться в рабочем состоянии. После распыления жидкости на донный

транспортер грязевые массы размываются и при движении транспортера последуют в сторону выгрузки из бункера. При проведении данных очистительных операций транспортера бункера, по мере его загрязнения, потребность проведения ручных очистительных операций не потребуется, вследствие чего комбайн будет меньше простаивать.

Простота и удобство использования предлагаемого решения не требует дополнительных знаний, умений и навыков по обслуживанию устройства. В межсезонное хранение требуется консервация устройства путём смазки форсунок и слив жидкости из ёмкости и магистрали.

Для реализации предложенного решения необходимо провести разработку математического аппарата, описывающего процесс жидкостно- жидкостно-механической очистки донья донного транспортера свеклоуборочного комбайна и провести комплекс экспериментальных исследований [85,86,87,88].

2.2 Моделирование процесса жидкостно-механической очистки донья донного транспортера свеклоуборочного комбайна

Для определения эксплуатационно-технологических показателей применения жидкостно-механической очистки донья конвейера необходимо одновременно учитывать большое число факторов, влияющих на точность результатов (рисунок 2.3).

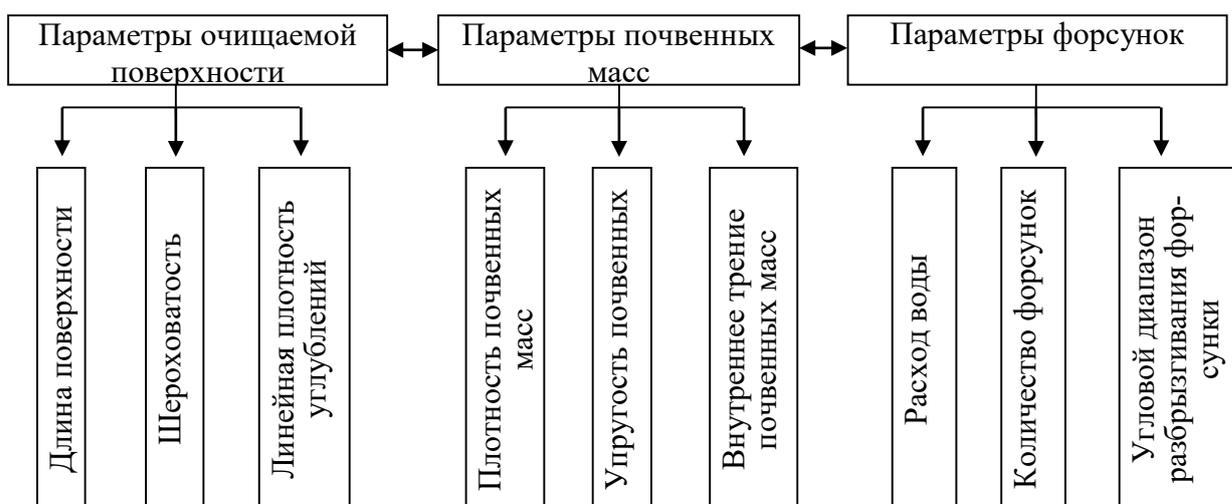


Рисунок 2.3 – Факторы, влияющие на эксплуатационно-технологические показатели эффективности процесса удаления почвенных масс с поверхности донья бункера свеклоуборочного комбайна

Ввиду многообразия природно-производственных условий эксплуатации проведение натуральных экспериментов в полном объеме по определению эксплуатационно-технологических показателей применения жидкостно-механической очистки донья донного транспортера свеклоуборочного комбайна является трудно выполнимой задачей. Однако, это может быть реализовано с использованием математического моделирования. Оно позволит изучить закономерности изменения влияния расхода жидкости, угла разбрызгивания форсунок, высоты неровностей (шероховатостей) поверхности дна бункера, липкости почвенных масс. Определит основные параметры очистки донья бункера свеклоуборочного комбайна, по результатам которых будут построены соответствующие графики.

В рамках предлагаемой модели скребок донного транспортёра многократно проходит по дну бункера, постепенно очищая его от почвенных масс. Почвенные массы условно представлены в виде множества элементов круглой формы. Элементы взаимодействуют между собой, с дном бункера и скребком донного транспортёра. Вода, поступающая от форсунок, так же представлена в виде элементов.

Разрабатываемая модель должна описывать целый ряд физических процессов, протекающих при очистке бункера:

- изменение формы или высоты слоя почвенных масс под механическим воздействием;
- фрагментация почвенных масс;
- смачивание почвенных масс водой;
- взаимодействие почвенных масс со скребками донного транспортёра.

Среди возможных методов моделирования данного процесса наиболее отвечает перечисленным требованиям метод динамики частиц, который в последние десятилетия все чаще используется в различных отраслях науки и техники [88].

2.2.1 Описание в модели почвенных масс

Для того, чтобы модель обладала высоким пространственным разрешением,

моделируемые почвенные массы состоят из множества (порядка $10^3 \dots 10^5$) элементов (рисунок 2.4). Слой почвенных масс состоял в модели из 1000–10000 элементов в зависимости от вида исследования и модельного времени.

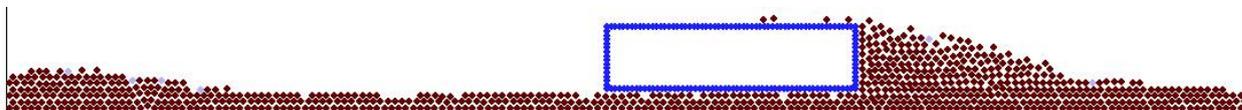
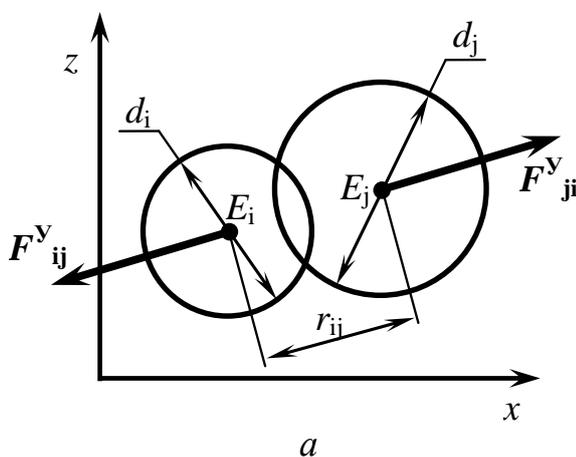


Рисунок 2.4 – Представление в модели почвенных масс, скрепка донного транспортёра и дна бункера

Решение уравнений механического движения элементов позволяет определить траектории их движения внутри бункера, и тем самым воспроизвести в модели эволюцию слоя почвенных масс в процессе очистки бункера [89,90,91].

Исходя из симметрии задачи – вдоль горизонтального поперечного направления процесс протекает одинаково, – используется двухмерное пространство (x, z) для моделирования. Каждый элемент характеризуется в пространстве моделирования положением (x_i, z_i) и скоростью (v_{xi}, v_{zi}) . Из возможных вариантов описания механического взаимодействия между элементами выбран упруго-вязкий вариант. Это позволяет перенести в модель такие механические свойства почвенных масс как модуль упругости и коэффициент трения [92].

При внедрении элементов друг в друга возникают силы отталкивания, пропорциональные величине внедрения (рисунок 2.5). При отдалении до определенного предела Δd_v связанных элементов возникают линейные возвращающие силы.



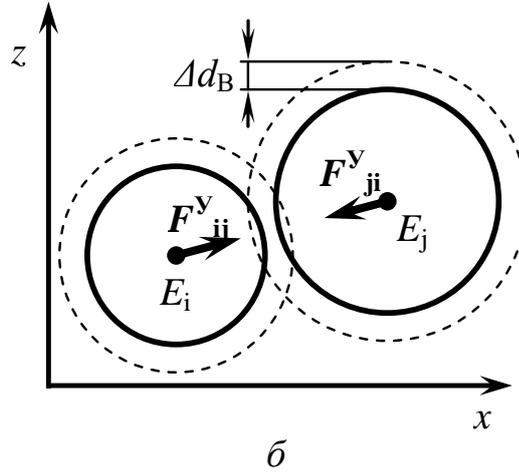


Рисунок 2.5 – Возможные варианты взаимодействия элементов:

a – силы отталкивания, пропорциональные величине внедрения;

б – силы притяжения, пропорциональные величине удаления до порогового значения Δd_B .

Для описания движения элементов используются уравнения Ньютона для двух декартовых составляющих x и z :

$$\left\{ \begin{array}{l} m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_3} \left\{ \begin{array}{l} c_{ij} \left(\frac{d_i + d_j}{2} - r_{ij} \right) \frac{(x_i - x_j)}{r_{ij}} + k_{ij} \left(r_{ij} - \frac{d_i + d_j}{2} \right) (v_{xi} - v_{xj}), \quad r_{ij} < \frac{d_i + d_j}{2} + \Delta d_B; \\ 0, \quad r_{ij} \geq \frac{d_i + d_j}{2} + \Delta d_B; \end{array} \right. \\ \\ m_i \frac{d^2 z_i}{dt^2} = -m_i g + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_3} \left\{ \begin{array}{l} c_{ij} \left(\frac{d_i + d_j}{2} - r_{ij} \right) \frac{(z_i - z_j)}{r_{ij}} + k_{ij} \left(r_{ij} - \frac{d_i + d_j}{2} \right) (v_{zi} - v_{zj}), \quad r_{ij} < \frac{d_i + d_j}{2} + \Delta d_B; \\ 0, \quad r_{ij} \geq \frac{d_i + d_j}{2} + \Delta d_B; \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (2.1)$$

где m_i – масса элемента; i – порядковый номер элемента; x_i и z_i – координаты элемента; t – модельное время; j – порядковый номер соседнего элемента; N_3 – общее число элементов; c_{ij} – коэффициент жесткости взаимодействия; d_i – диаметр элемента i ; v_{xi} и v_{zi} – компоненты скорости; d_B – пороговое значение расстояния между элементами, при котором элементы считаются не взаимодействующими; g – гравитационная постоянная.

Довольно затратным в вычислительном плане в процессе программной реализации модели является расчет расстояния r_{ij} между центрами элементов:

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}.$$

Составленная система дифференциальных уравнений (2.1) решается численно. Среди численных методов выбран метод Рунге-Кутты второго порядка [93]:

$$\begin{aligned} x_i^{\tau+1} &= x_i^{\tau} + v_{xi}^{\tau} \cdot \Delta t + a_{xi}^{\tau} \cdot (\Delta t)^2 / 2; & v_{xi}^{\tau+1} &= v_{xi}^{\tau} + a_{xi}^{\tau} \cdot \Delta t; \\ z_i^{\tau+1} &= z_i^{\tau} + v_{zi}^{\tau} \cdot \Delta t + a_{zi}^{\tau} \cdot (\Delta t)^2 / 2; & v_{zi}^{\tau+1} &= v_{zi}^{\tau} + a_{zi}^{\tau} \cdot \Delta t, \end{aligned} \quad (2.2)$$

где τ и $\tau+1$ – порядковые номера временного шага; Δt – величина шага численного интегрирования.

Для первоначальной подготовки модели к компьютерному эксперименту используется следующий алгоритм. В зависимости от заданной толщины слоя почвенных масс h определяется количество элементов, которое необходимо поместить в модельное пространство:

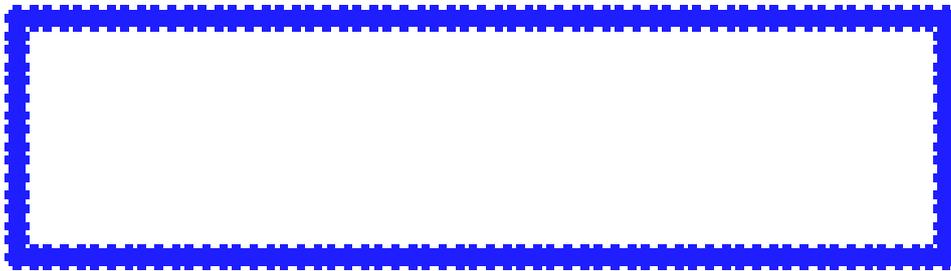
$$N_{\Pi} = \frac{S_C}{k_{yn} S_{\Theta}} = \frac{4L_x h}{k_{yn} \pi D_{\Theta}^2}, \quad (2.3)$$

где S_C и S_{Θ} – площадь слоя (в двухмерной модели рассматривается не объем почвенных масс, а площадь) и отдельного элемента; k_{yn} – коэффициент упаковки элементов с учетом пористости слоя (составляет около 1,4); L_x – длина модельного пространства; D_{Θ} – диаметр элемента.

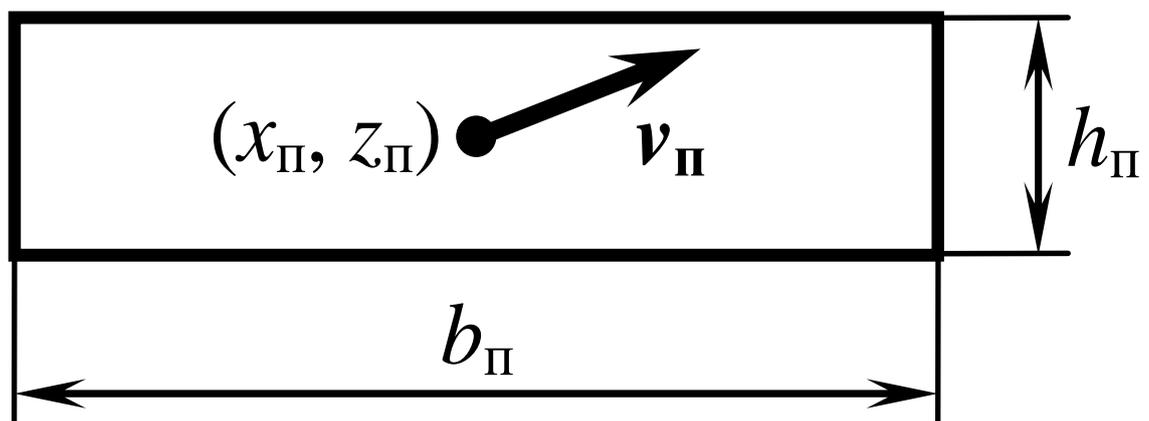
Для первоначального образования слоя почвенных масс элементы сначала размещаются по всей области моделирования случайным образом по равномерному закону распределения и выдерживаются 1 с модельного времени под действием сил тяжести. Элементы оседают в нижнюю часть области моделирования, образуя случайную плотную упаковку, и приходят в стабильное механическое состояние. После этого начинается моделирование основного процесса: движения скребок по слою почвенных масс [94,95,96,97,98,99,100].

2.2.2 Представление в модели скребков донного транспортера

Скребок донного транспортера представлена в модели в виде прямоугольника, состоящего из 150 элементов-кругов (рисунок 2.6). Для унификации и повышения физической адекватности модели скребок состоит из элементов того же диаметра, что и элементы почвенных масс, однако обладающих соответствующими свойствами (коэффициенты жесткости, вязкого трения, липкости) при расчете контакта сталь-почва.



a



б

Рисунок 2.6 – Представление скребка донного транспортера в модели (*a*) и его геометрические параметры (*б*)

По общепринятой классификации моделей, предлагаемая модель является алгоритмической, но не аналитической. Это означает, что выходные характеристики модели рассчитываются по входным не путем аналитических преобразований (это в принципе не возможно для моделируемого процесса), а с помощью пространственной и временной дискретизации, и соответствующего алгоритма расчета [101,102,103,104,105,106]. Упрощенно алгоритм расчета можно представить следующей схемой (рисунок 2.7).

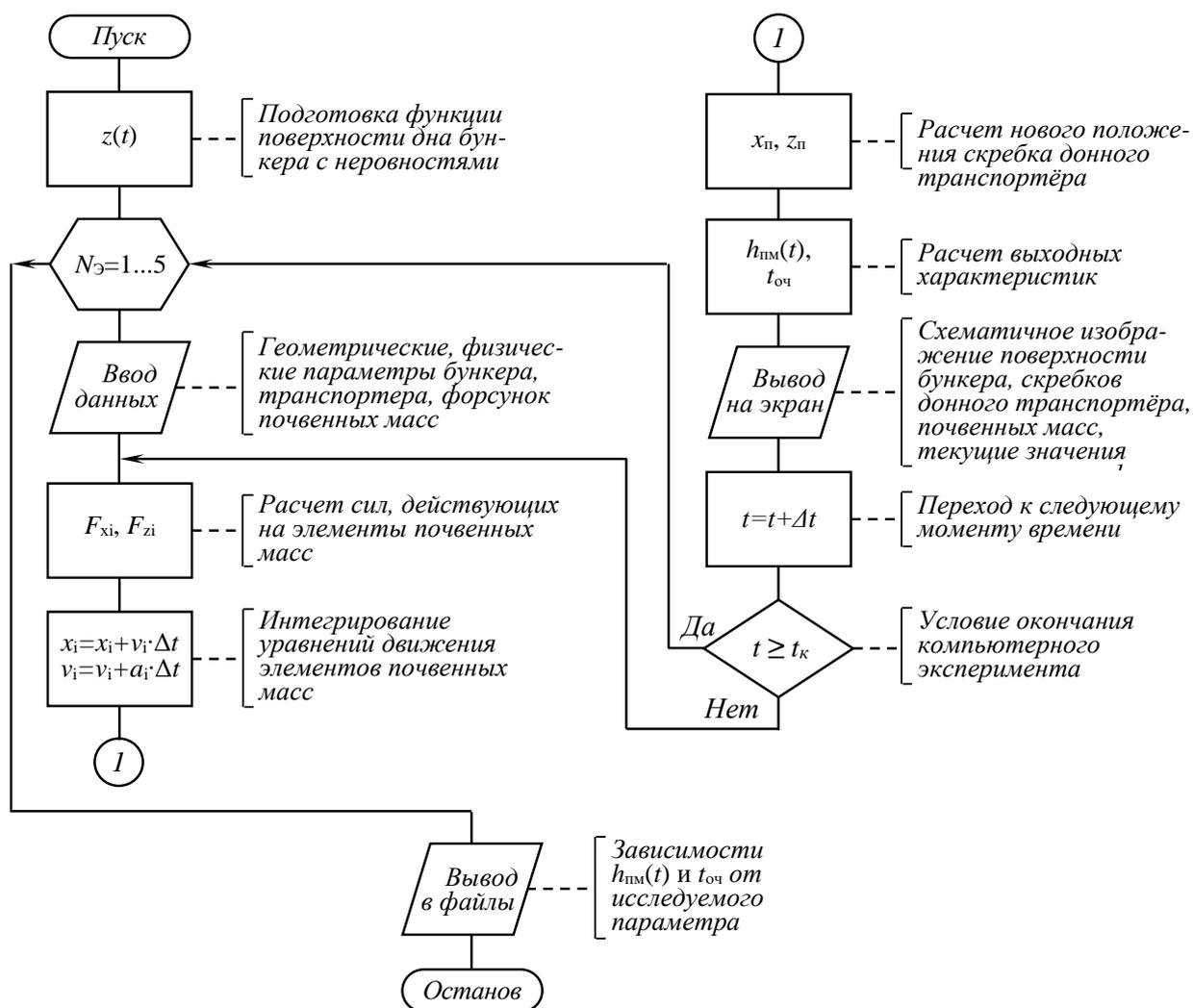


Рисунок 2.7 – Схема алгоритма моделирования процесса очистки бункера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс

В основе алгоритма лежит цикл численного интегрирования, на каждом шаге которого:

- вычисляются силы, действующие на элементы;
- рассчитывается новое положение элементов и скребков;
- рассчитываются показатели скорости и качества очистки.

2.2.3 Задание в модели неровной поверхности дна бункера

Разработанная модель позволяет задавать как идеально ровное дно бункера, так и шероховатое, с различными статистическими параметрами неровностей.

Функция рельефа поверхности дна бункера $z(x)$ задается совокупностью 200 гауссовых функций, каждая из которых моделирует отдельное углубление в поверхности (рисунок 2.8):

$$z(x) = \sum_{i=1}^{N_n} h_i \left(-\exp\left(-\frac{(x-x_i)^2}{2\sigma_i^2}\right) \right), \quad (2.5)$$

где N_n – количество неровностей; i – номер неровности; h_i – высота (глубина) неровности; x_i – положение неровности; σ_i – параметр ширины неровности (для гауссового закона по правилу «трех сигма» ширина неровности составляет 6σ).

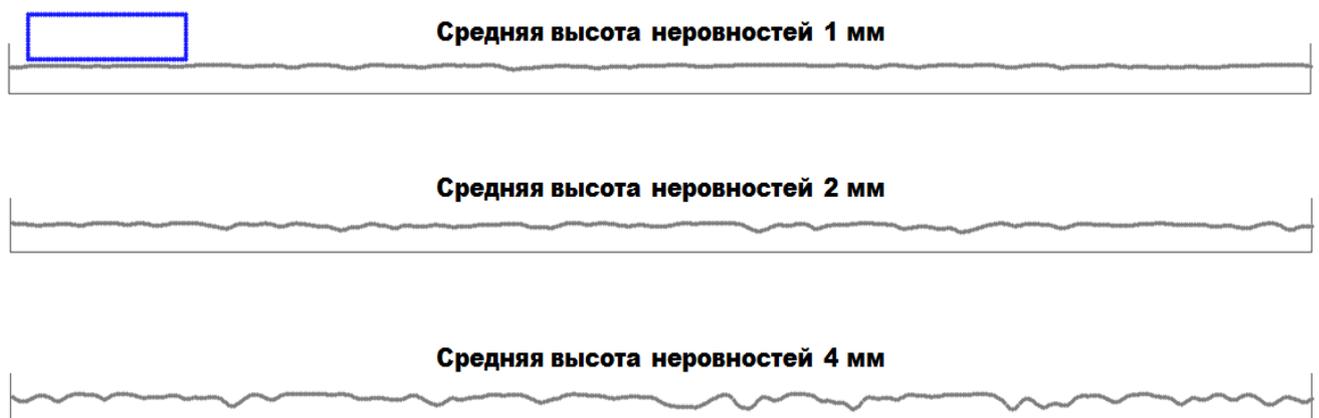


Рисунок 2.8 – Внешний вид неровностей поверхности дна бункера в зависимости от высоты неровностей h_n

2.2.4 Начальные и граничные условия, допущения модели

Начальные условия

Начальные координаты элементов почвенных масс определяются алгоритмом начального размещения (см. выше). Начальные скорости механического движения элементов равны нулю: $v_{xi}^0 = 0$, $v_{zi}^0 = 0$.

Граничные условия

Механическое движение элементов ограничено границами модельного пространства. Те элементы, которые выходят за границы модельного пространства, возвращаются в него. Так, например, если координата z_i элемента превысит высоту модельного пространства L_z , производится коррекция координаты и скорости элемента если: $z_i > L_z$, то $z_i = L_z$; $v_{zi} = -v_{zi}$ [106,107].

В модели приняты следующие допущения:

- в пределах одного элемента вещество считается сплошной средой;
- элементы движутся по законам классической динамики, механически взаимодействуя между собой и с дном бункера;
- механическое взаимодействие между элементами носит линейный вязкоупругий характер;
- механические свойства рассматриваемой среды (почва, вода, сталь) зависят только от пяти параметров элементов (диаметр, масса, коэффициенты жесткости, вязкости, ограничения взаимодействия) [108,109,110,111,112,113].

2.3 Оптимизация параметров системы удаления почвенных масс с транспортера бункера

Выше рассмотрено влияние отдельных конструктивных и эксплуатационных параметров на показатели эффективности системы очистки транспортера. Большую ценность представляет исследование одновременного влияния нескольких параметров на показатели эффективности. Для этого целесообразно выполнить мно-

гофакторную оптимизацию конструктивных параметров системы очистки транспортера.

Из большого количества конструктивных параметров системы очистки выбраны параметры, наиболее существенно влияющие на эффективность: расход воды Q и угол разбрызгивания форсунок $\Delta\alpha$. Аналитически задачу оптимизации конструктивных параметров системы очистки можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} h_{\text{пм}}(Q, \Delta\alpha) \rightarrow \min; \\ t_{\text{оч}}(Q, \Delta\alpha) \rightarrow \min; \end{cases} \Rightarrow Q^{\text{opt}}, \Delta\alpha^{\text{opt}}. \quad (2.6)$$

Решение задачи оптимизации заключается в поиске такой области изменения факторов Q и $\Delta\alpha$, в которой будут минимальными и толщина слоя почвенных масс $h_{\text{пм}}$, оставшегося после очистки, и время очистки $t_{\text{оч}}$.

Для решения двухфакторной задачи оптимизации провели девять компьютерных экспериментов, в которых изменяли Q на уровнях 50, 100, 150 мл/с при одновременном изменении $\Delta\alpha$ на уровнях 10, 25, 40°.

На основе набора данных, полученного в результате проведения девяти оптимизационных компьютерных экспериментов, получены аналитические формулы для функций $h_{\text{пм}}(Q, \Delta\alpha)$ и $t_{\text{оч}}(Q, \Delta\alpha)$. Данные формулы имеют высокую практическую ценность? на этапе конструирования системы очистки транспортера: позволяют оценить показатели эффективности системы, не прибегая к длительным компьютерным расчетам. Функции $h_{\text{пм}}(Q, \Delta\alpha)$ и $t_{\text{оч}}(Q, \Delta\alpha)$ аппроксимировали полиномами второго порядка в виде:

$$K(Q, \Delta\alpha) = k_1 Q^2 + k_2 \Delta\alpha^2 + k_3 Q \cdot \Delta\alpha + k_4 Q + k_5 \Delta\alpha + k_6, \quad (2.7)$$

где K – критерий оптимизации ($h_{\text{пм}}$ или $t_{\text{оч}}$); $k_1 \dots k_6$ – параметры полинома.

Параметры полиномов определены методом наименьших квадратов (МНК), в рамках которого минимизировалась сумма квадратов отклонений аналитической

зависимости от результатов компьютерного эксперимента:

$$\sum_{i=1}^{N_{KЭ}} (K_{\text{аналит.}}(Q^i, \Delta\alpha^i) - K_{KЭ}^i(Q^i, \Delta\alpha^i))^2 \rightarrow \min, \quad (2.8)$$

где i и $N_{KЭ}$ – порядковый номер и общее количество компьютерных экспериментов; $K_{\text{аналит.}}$ – искомая аналитическая (полиномиальная) зависимость критерия K от факторов Q и $\Delta\alpha$; $K_{KЭ}^i$ – значения критерия K , определенные в i -м компьютерном эксперименте с параметрами Q^i и $\Delta\alpha^i$.

Для аппроксимация методом МНК использовали математическую программу MathCAD 14. В результате получены следующие аналитические формулы для показателей эффективности вихревого эжектора:

$$h_{\text{пм}}(Q, \Delta\alpha) = 1,533 \cdot 10^{-3} Q^2 + 4,815 \cdot 10^{-3} \Delta\alpha^2 + 3,833 \cdot 10^{-3} Q \cdot \Delta\alpha - 0,539 Q - 0,963 \Delta\alpha + 55,68; \quad (2.9)$$

$$t_{\text{оч}}(Q, \Delta\alpha) = 0,037 Q^2 + 0,143 \alpha_{\text{вх}}^2 + 0,065 Q \cdot \alpha_{\text{вх}} - 12,23 Q - 21,28 \Delta\alpha + 1298, \quad (2.10)$$

где Q измеряется в миллилитрах в секунду; $\Delta\alpha$ – в градусах; $h_{\text{пм}}$ – в миллиметрах; $t_{\text{оч}}$ – в секундах.

Полученные формулы могут использоваться для быстрой оценки (без выполнения реальных или компьютерных экспериментов) показателей эффективности системы очистки транспортера.

Разработанная математическая модель представляет собой систему из нескольких тысяч дифференциальных и алгебраических уравнений. Для удобства исследования системы уравнений составлена компьютерная программа "Программа для моделирования очистки транспортера бункера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс" на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7.0 (рисунок 2.9).

Основные функциональные возможности программы:

- проведение компьютерного эксперимента по очистке дна бункера от почвенных масс;
- задание основных физико-геометрических параметров скребков, слоя почвенных масс, потока распыляемой жидкости;
- вывод на экран в процессе компьютерного эксперимента схематичного изображения почвенных масс, дна бункера, скребков, жидкости, а также значений основных параметров компьютерного эксперимента.

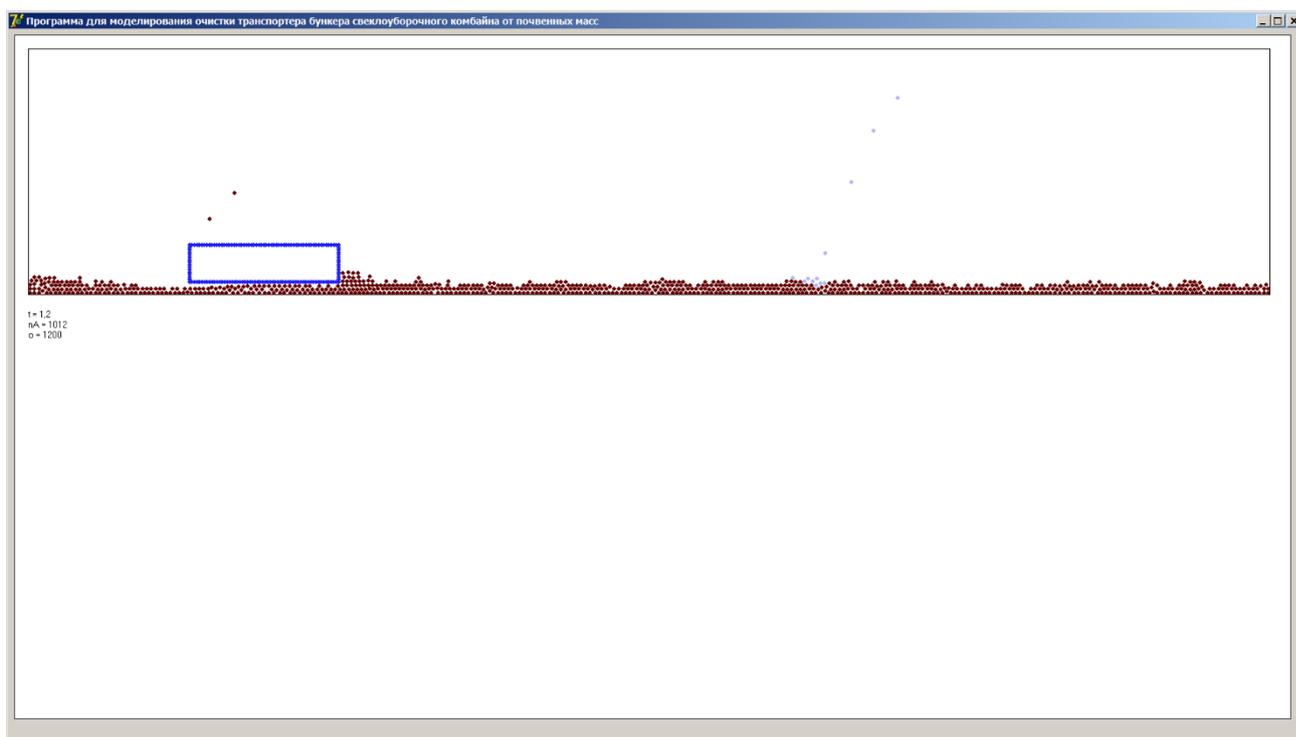


Рисунок 2.9 – Изображение, выводимое на экран компьютера разработанной программой

Программа предназначена для многократного проведения компьютерных экспериментов по очистке дна бункера от почвенных масс очищающими полосами и определения на этой основе оптимальных технологических параметров процесса и конструктивных параметров форсунок.

Основные технические характеристики программы:

- количество элементов слоя почвенных масс от 1000 до 10000.
- ориентировочное время проведения одного компьютерного эксперимента около 5 мин (при тактовой частоте процессора 3 ГГц) [приложение В].

Выводы по главе 2

1 Предложена схема устройства для очистки транспортёра свеклоуборочного комбайна при помощи распыления жидкости. При использовании рассматриваемого технического устройства очистка донного транспортёра может производиться во время выгрузки свеклы, что снизит время простоев.

2 Проведено теоретическое исследование процесса очистки донья бункера свеклоуборочного комбайна.

3 Разработана математическая модель процесса очистки донья бункера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс, обладающая высокой детализацией. Она способна адаптироваться к различным условиям эксплуатации и учитывать физико-химические свойства почв. Модель базируется на общепринятых методах классической механики, и реализуется в полной мере на основе вычислительных возможностей современных компьютеров.

5 Разработанная математическая модель в процессе теоретического исследования дает возможность проведения компьютерных экспериментов по очистке дна бункера. Модель позволяет водить различные данные по особенностям почвенных условий, типа взаимодействующих поверхностей. Это позволит определить основные параметры очистки (время прохода одного скребка, высота слоя грязевых масс после прохода скребка, расход рабочей жидкости). Модель позволяет стать основой для оценки эффективности работы предложенных решений для различных условий эксплуатации.

ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ
ПОЧВЕННЫХ МАСС С ДОНЬЯ БУНКЕРА СВЕКЛОУБОРОЧНОГО
КОМБАЙНА

3.1 Программа исследований с использованием визуализации на компьютере

Для исследования показателей эффективности процесса очистки донья свеклоуборочного комбайна необходимо учитывать параметры очищаемой поверхности, форсунок и почвенных масс. Дальнейшее теоретическое исследование процесса очистки донья бункера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс, производили в соответствии со следующей схемой (рисунок 3.1).

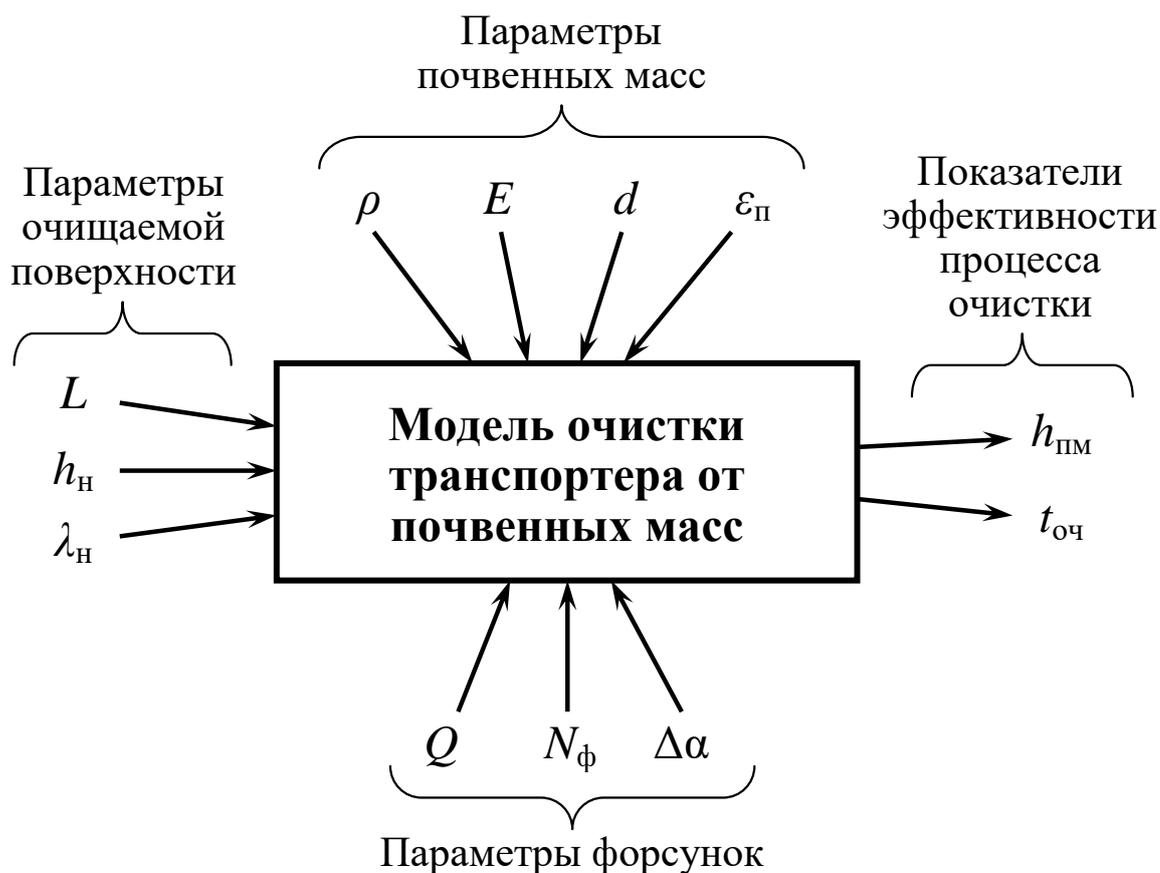


Рисунок 3.1 – Входные параметры и выходные характеристики разработанной математической модели процесса удаления почвенных масс с донья бункера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс

Входные параметры условно разделены на три группы. Первая группа представляет собой параметры почвенных масс:

ρ – плотность почвенных масс;

E – модуль упругости почвенных масс;

d – коэффициент внутреннего трения почвенных масс;

$\varepsilon_{\text{п}}$ – предел деформации почвенных масс при испытании на растяжение.

Ко второй группе относятся параметры очищаемой поверхности:

L – длина поверхности;

$h_{\text{н}}$ – средняя высота неровностей поверхности (шероховатость);

$\lambda_{\text{н}}$ – количество углублений в поверхности на единице длины (линейная плотность углублений).

К третьей группе входных переменных относятся параметры форсунок:

Q – расход воды;

$N_{\text{ф}}$ – количество форсунок;

$\Delta\alpha$ – угловой диапазон разбрызгивания форсунки.

Показатели эффективности процесса очистки:

$h_{\text{пм}}$ – толщина слоя почвенных масс, оставшегося после очистки;

$t_{\text{оч}}$ – время очистки (полной очистки или очистки до заданной толщины слоя почвенных масс).

Дальнейшее исследование заключается в поочередном и одновременном изменении входных параметров и определении их влияния на показатели эффективности процесса очистки.

3.2 Методика проведения экспериментов по оценке эффективности процесса очистки донья свеклоуборочного комбайна с использованием компьютерной реализации модели

Разработанная математическая модель процесса очистки донья бункера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс и компьютерная программа (реализующая указанную модель) позволяет проводить большое количество (в нашем

случае около 120) компьютерных экспериментов по очистке дна бункера. В начале каждого компьютерного эксперимента скребок донного транспортера помещался на слой почвенных масс и через некоторое время его положение по высоте стабилизировалось в результате баланса силы тяжести и сил отталкивания от почвенных масс (рисунок 3.2, $t = 0,7$ с). При этом, с начального момента времени компьютерного эксперимента скребок совершал движение в горизонтальном направлении с постоянной скоростью.

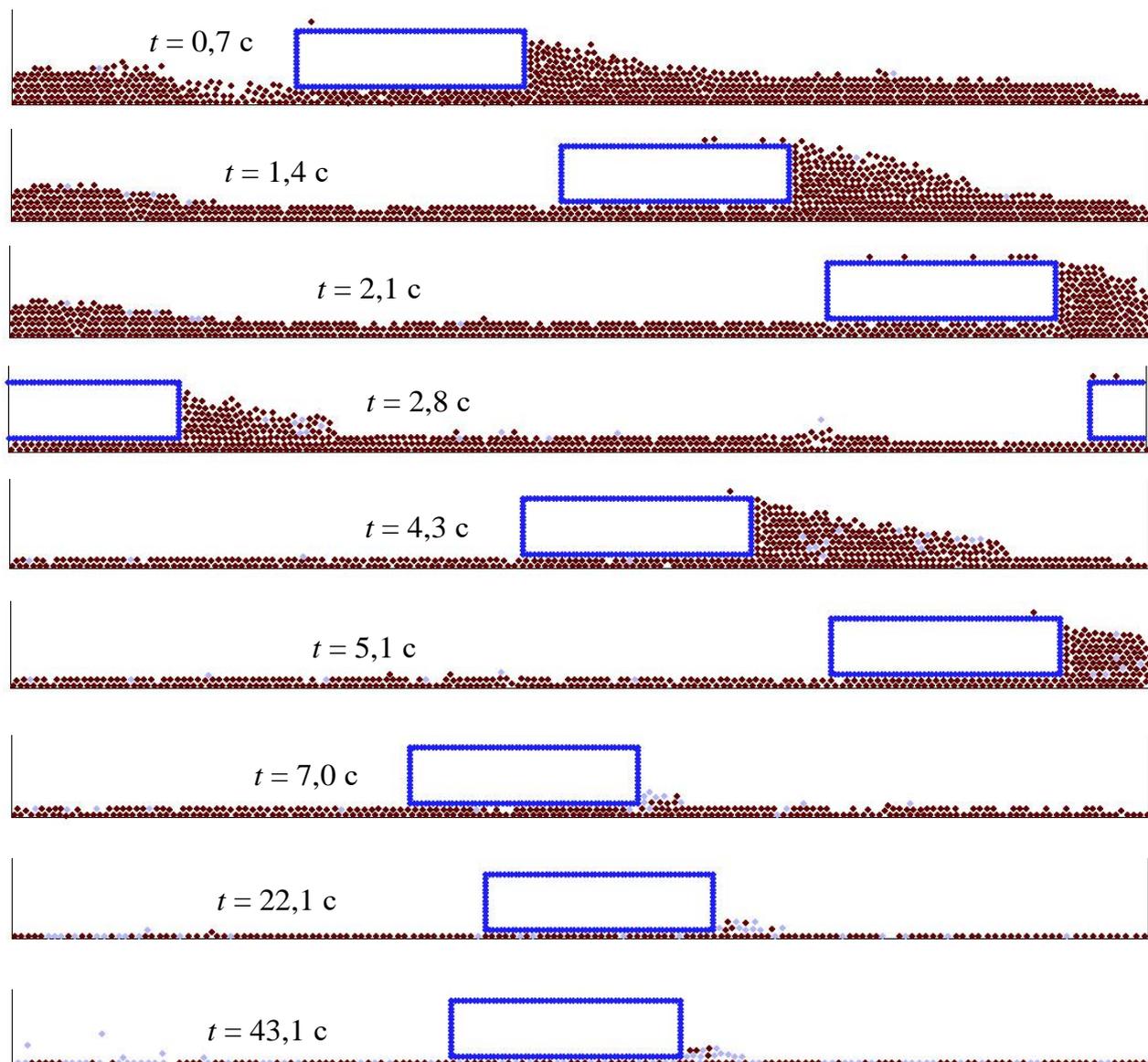


Рисунок 3.2 – Изменение состояния почвенных масс по мере движения скребок донного транспортера в процессе очистки

По мере движения скребка перед его передней гранью собирался определенный объем почвенных масс (рисунок 3.2, $t = 1,4$ с). При достижении скребком

границы области моделирования (рисунок 3.2, $t = 2,1$ с) он уходил из области моделирования справа и появлялась слева, чтобы обеспечить циклическое действие скребков (рисунок 3.2, $t = 2,8$ с). При этом накопленный объем почвенных масс перед скребком удалялся из области моделирования, что имитировало сброс почвенных масс со дна бункера со стороны выхода скребков конвейера.

После двух проходов толщина слоя почвенных масс становится приблизительно вдвое меньше первоначальной (рисунок 3.2, $t = 5,1$ с). Для дальнейшего уменьшения толщины слоя вдове требуется приблизительно в четыре раза больше времени (рисунок 3.2, $t = 22,1$ с). При дальнейшей очистке остается тонкий одноэлементный слой почвенных масс (рисунок 3.2, $t = 43,1$ с), который постепенно разбавляется поступающей из форсунок водой.

3.3. Программа исследований по оценке эффективности процесса очистки донья свеклоуборочного комбайна с использованием с использованием лабораторного стенда

В сельском хозяйстве для исследований процессов обработки почвы в лабораторных условиях используются специальные лабораторные установки. Например, для исследования процесса вспашки почвы используются почвенные каналы, которые позволяют смоделировать процесс работы лемеха плуга при срезе и перевороте почвенного пласта. При обработке растений опрыскивателями используются разработанные стенды, которые позволяют определять параметры работы форсунок, насосов опрыскивателей и другие параметры оборудования.

Загрязнение бункеров почвенными массами значительно сказывается на производительности свеклоуборочной техники и эффективности сельскохозяйственных работ. Для проведения оценки эффективности жидкостно-механической очистки донья транспортера бункера свеклоуборочных комбайнов было предложено использовать математическое моделирование процесса очистки. Полученные результаты были изложены в работе. Процесс функционирования свеклоуборочной

техники проходит в условиях открытого воздуха, сопровождается образованием липкой почвенной массы, которая состоит в основном из почвы и сахарно-свеклового сока. Для создания близких к естественным условиям функционирования машин предлагается использование установки подобной реальному бункеру комбайна. [114,115,116]. Также, для исследований необходимо использование почвенных масс в том же составе, что и в реальных условиях работы. Для оценки параметров очистки необходимо предусмотреть фиксацию времени очистки донья транспортера и расхода жидкости (воды).

Предлагается, для исследования процесса очистки донья бункера свеклоуборочного комбайна, использовать следующую установку (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3. Экспериментальная лабораторная установка для исследования процесса очистки донья конвейеров свеклоуборочных машин от почвенных масс:

- 1 – донье бункера; 2 – скребок; 3 – цепь приводная; 4 – шестерня привода цепи;
5 – рама силовая; 6 – моторредуктор

Данный лабораторный стенд был спроектирован и изготовлен на кафедре эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО Воронежского ГАУ для проведения лабораторных экспериментальных исследований.

Установка представляет собой макет донья бункера 1 свеклоуборочного ком-

байна с располагающимся на нем транспортером. Транспортёр состоит из двух шаговых цепей 3 и 7, вращающихся на шестернях, закрепленных между собой на валах. Между цепями закреплены транспортерные скребки 2, которые в свою очередь прилегают к донью бункера 1 под собственным весом. Для вращения транспортера установлен мотор-редуктор 6 на один вал между шестернями 4. Мотор-редуктор был подобран исходя из количества оборотов в минуту реального транспортера свеклоуборочного комбайна. Мотор-редуктор приводится во вращение при помощи электросети напряжением 12 вольт.

Влажность и липкость почвы предлагается обеспечивать за счёт смешивания почвы с сахарным соком при помощи лабораторных инструментов (рисунок 3.4).

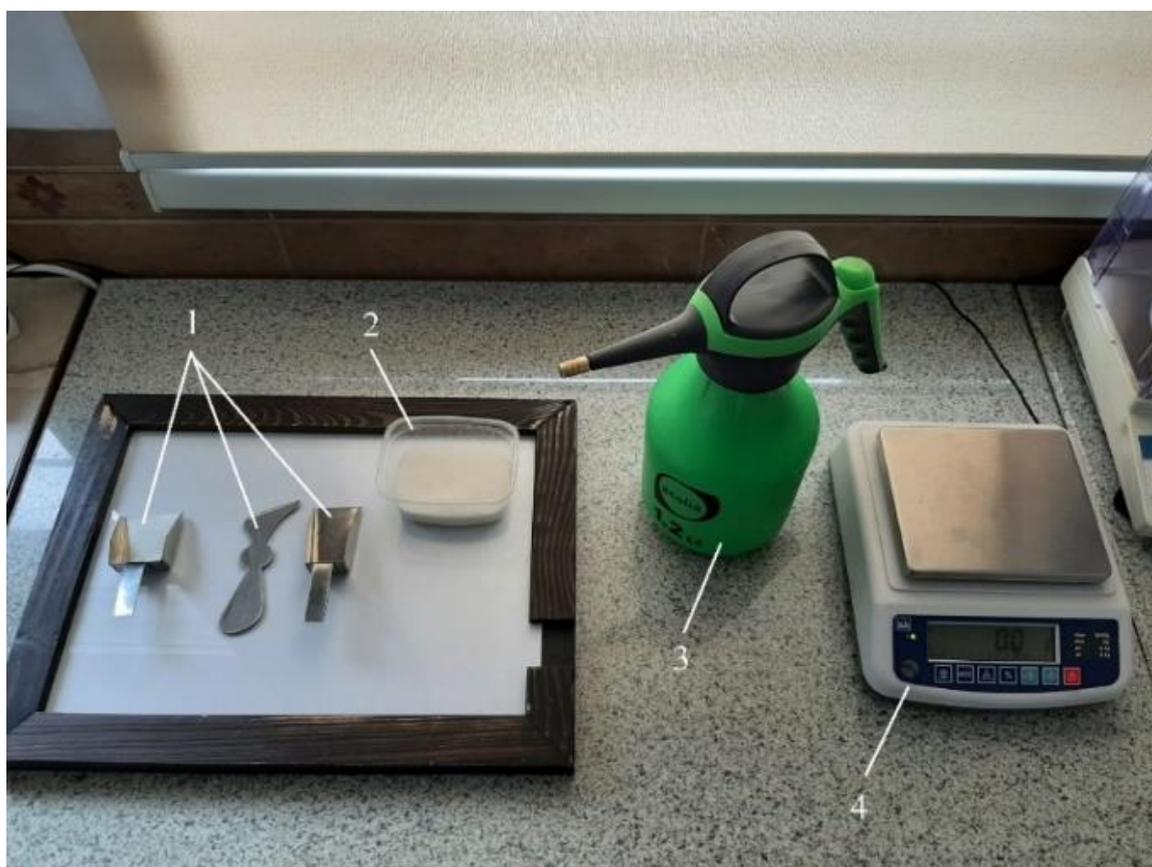


Рисунок 3.4. Лабораторные принадлежности для приготовления липких почвенных масс.

1 – лопатки для смешивания; 2 – свекольный сахар;

3 – распылитель для воды; 4 – лабораторные весы «Massa-K ВК-3000.1»

Контроль влажности почвы предлагается производить при помощи бесконтактного гигрометра, представленным на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5. Гигрометр бесконтактный «Мегеон 20720»

Необходимо учесть, что процент содержания сахара в готовом сахарном растворе может быть в пределах 20-25%, что является средним показателем содержания сахара в свекольном соке. Влажность почвы следует установить в пределах 15-20% влажности [117]. Это средний показатель влажности почвы при уборочных работах сахарной свеклы. Полученный раствор наносится на почву при помощи распылителя до тех пор, пока почва не станет достаточно влажной. Процент влажности почвы не может быть фиксированным, так как напрямую зависит от погодных условий, а также от количества содержания сахарного сока в корнеплодах.

Все измерения предлагается производить экспертным методом. Очистку транспортёра предлагается оценивать методом визуального сравнения поверхностей очищенной до эталонного состояния и очищаемой поверхности. Время необходимо фиксировать секундомером, расход воды при помощи мерной ёмкости, из которой будет производиться забор воды.

Выводы по главе 3

1 Разработана компьютерная программа на языке Object Pascal, реализующая математическую модель и позволяющая проводить компьютерные эксперименты по очистке транспортера

2 В основе алгоритма, реализованного в программе, лежит цикл численного интегрирования, на каждом шаге которого:

- вычисляются силы, действующие на элементы;
- рассчитывается новое положение элементов и очищающей полосы;
- рассчитываются показатели скорости и качества очистки.

Указанные значения фиксируются в виде цифровых значений для дальнейшей обработки.

3 Спроектирован и изготовлен опытный образец лабораторной установки донного транспортера бункера современного свеклоуборочного комбайна.

4 Была построена программа исследований с использованием лабораторного стенда для оценки достоверности результатов теоретических исследований очистки донья транспортеров.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проведении экспериментальных исследований были получены результаты зависимостей отделяемых почвенных масс от донья и времени работы транспортера, влияние расхода жидкости, влияние угла разбрызгивания форсунок, влияние высоты неровностей поверхности дна бункера, влияние липкости почвенных масс.

Определены основные параметры очистки донья бункера свеклоуборочного комбайна, по результатам которых были построены соответствующие графики. Получены результаты практических экспериментов с использованием лабораторного стенда. Проведено сравнение теоретических и практических результатов лабораторных исследований.

4.1 Результаты проведения теоретических экспериментальных исследований

При проведении первоначальных компьютерных исследований были получены зависимости массы удаляемых загрязнений с дна бункера от времени удаления почвенных масс (рисунок 4.1).

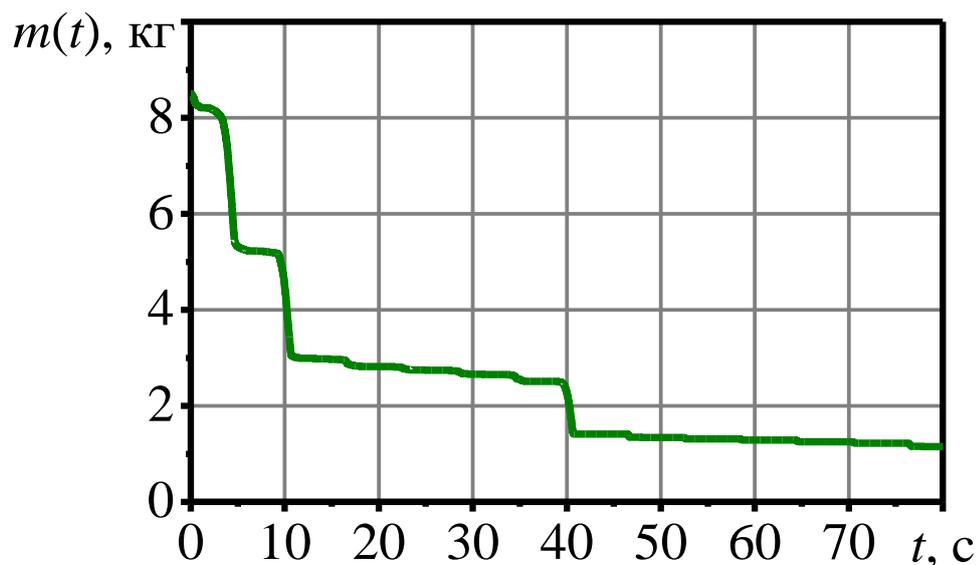


Рисунок 4.1 – Зависимость массы удаляемых почвенных загрязнителей m от времени t их удаления с площади донья

Исходя из графика наблюдаем что начиная с определенного момента времени дальнейшая очистка является нецелесообразной. Так, судя по графику на рисунке 4.1, очистку целесообразно производить до 41 с, так как дальнейшая очистка вплоть до 80 с не приводит к существенному уменьшению загрязнения. В то же время, при временах очистки более 100...150 с скребок донного транспортёра в модели может удалить и одноэлементный слой загрязнения и поступающей жидкости. На первом проходе очищающая полоса удаляет верхнюю, наиболее рыхлую, часть почвенных масс. При этом на первом проходе удаляется наибольший объем почвенных масс, и с каждым следующим проходом уменьшение массы почвы все менее заметно (рисунок 4.1)

4.1.1 Влияние расхода воды

С увеличением расхода воды можно ожидать повышение эффективности очистки за счет размягчающего действия на слой почвенных масс. С целью изучения влияния расхода воды Q на показатели эффективности процесса очистки проведена серия из шести компьютерных экспериментов, в которой изменяли Q от 0 до 200 мл/с с шагом 40 мл/с (рисунок 4.2).

С увеличением расхода воды уменьшается высота слоя оставшегося загрязнения после цикла очистки длительностью 100 с (рисунок 4.2, а). По форме графика можно сделать вывод, что увеличивать расход воды более 120 мл/с не целесообразно, так как это практически не приводит к снижению толщины слоя оставшихся почвенных масс.

Время полной очистки зависит от расхода жидкости по закону, близкому к экспоненциальному (рисунок 4.2, б). Из экспоненциального характера графика можно сделать вывод, что увеличивать расход жидкости выше 150 мл/с не целесообразно, так как время полной около 100 с почти не уменьшается.

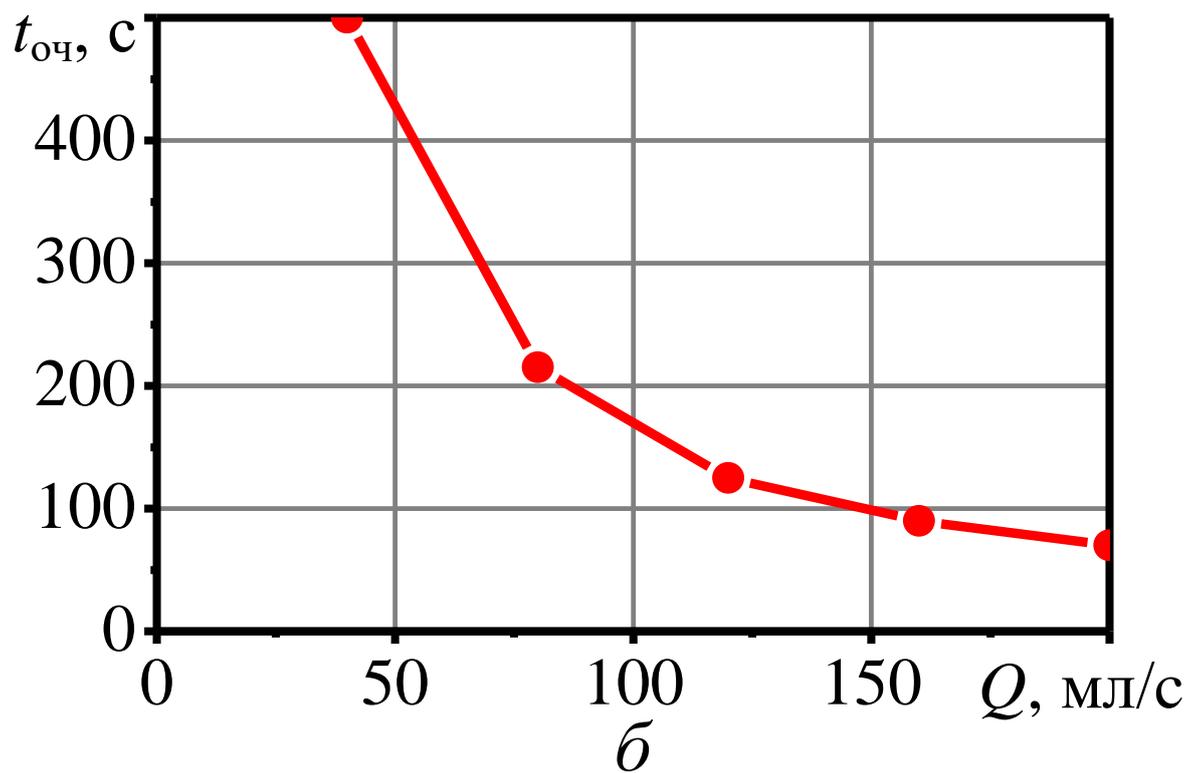
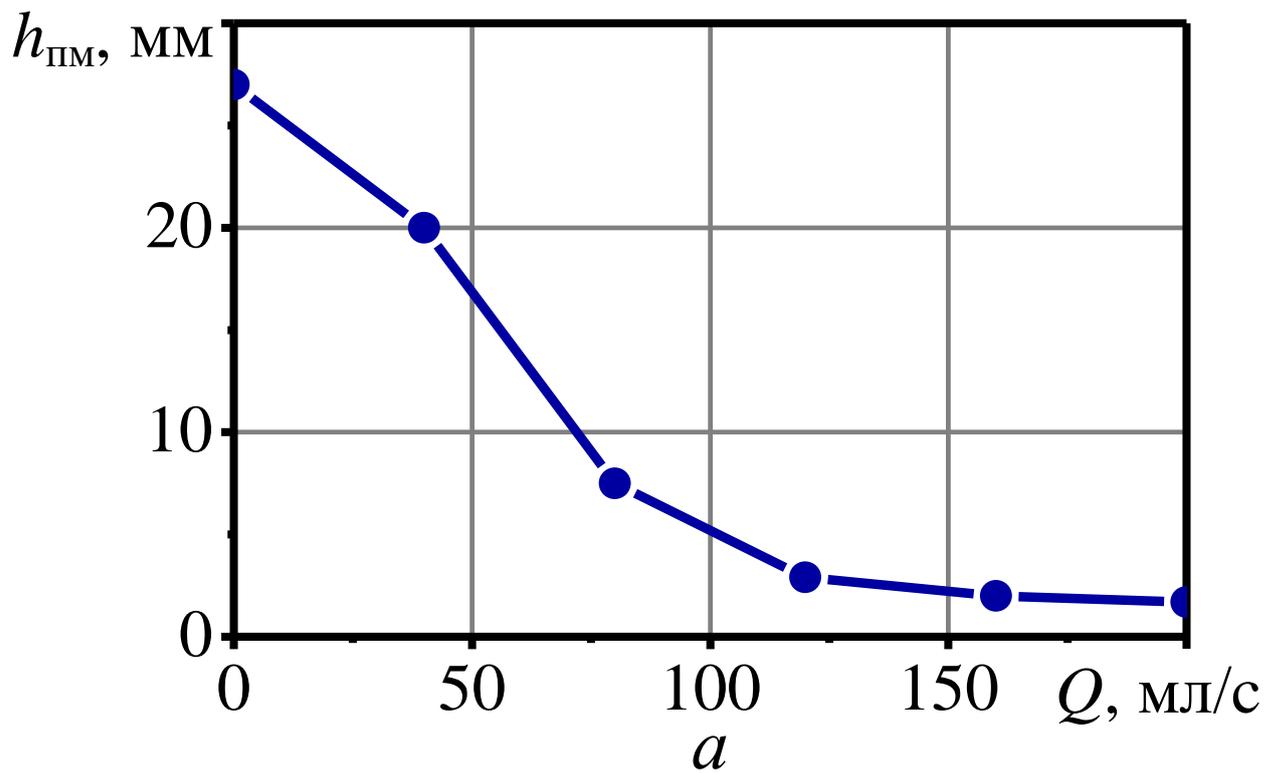


Рисунок 4.2 – Зависимость влияния расхода воды Q на толщину слоя почвенных масс $h_{\text{ПМ}}$, (а) и на время очистки $t_{\text{оч}}$ (б)

Таким образом, оптимальный расход воды составляет около 120...150 мл/с. При этом толщина почвенных масс уменьшается с 27 до 2...3 мм за время очистки около 100 с.

4.1.2 Влияние угла разбрызгивания форсунок

От угла разбрызгивания форсунок $\Delta\alpha$ зависит равномерность покрытия жидкостью дна бункера, а также плотность потока жидкости. С целью изучения влияния параметра $\Delta\alpha$ на показатели эффективности процесса очистки проведена серия компьютерных экспериментов, в которой изменяли $\Delta\alpha$ от 0 до 60° с шагом 10°.

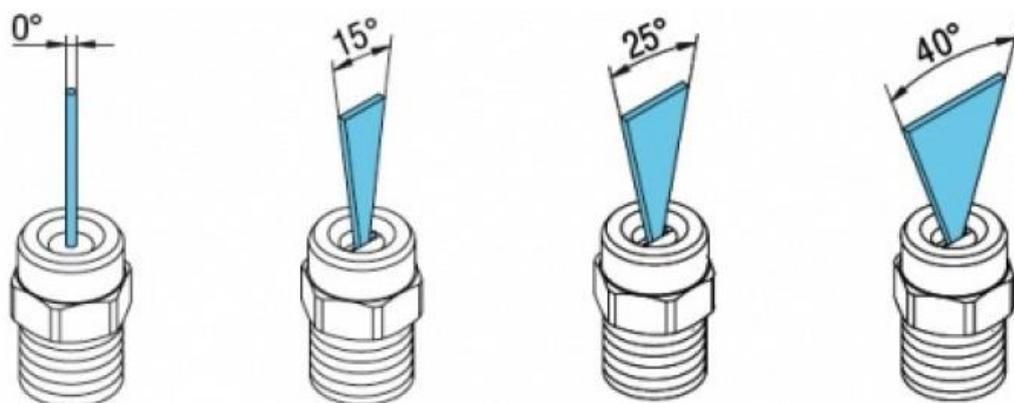


Рисунок 4.3 – Иллюстрация изменения угла распыла форсунки

Результаты компьютерного моделирования позволили заключить, что наилучшая очистка производится при угле разбрызгивания форсунок 40...45°. В данном диапазоне углов минимальны как остаточный слой почвенных масс (около 2,5 мм) при длительности цикла очистки 100 с (рисунок 4.4, а), так и время очистки (около 95 с) до заданной толщины (3 мм) (рисунок 4.4, б).

При малых углах разбрызгивания (20° и менее) жидкость покрывает загрязненное дно бункера существенно неравномерно, из-за чего на значительной площади дна бункера слой почвенных масс не смачивается, что затрудняет очистку.

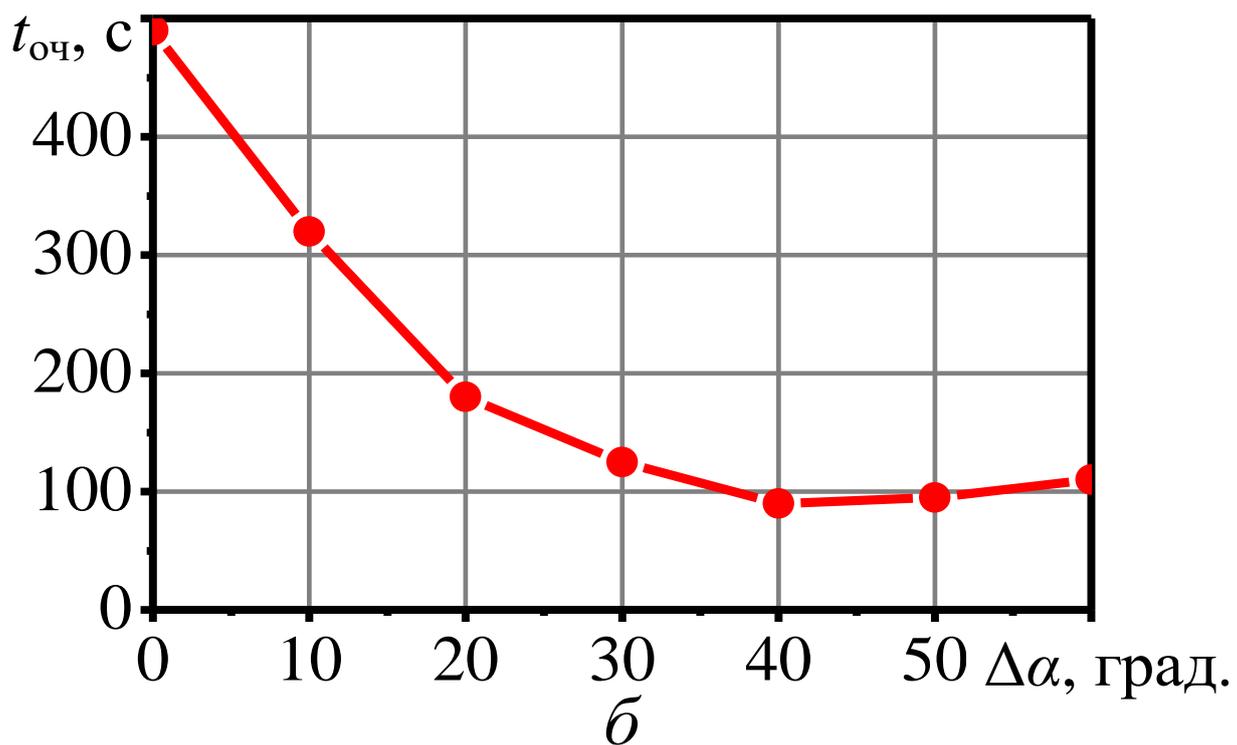
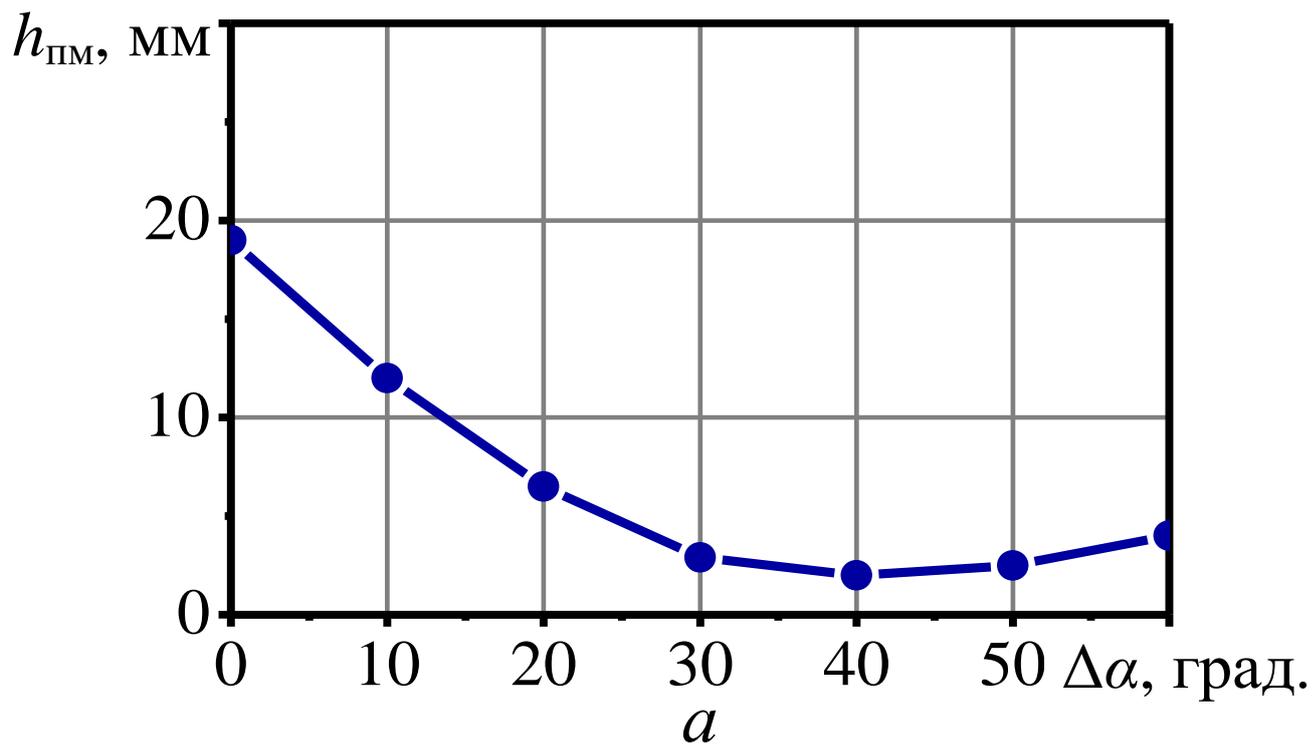


Рисунок 4.4 – Влияние угла $\Delta\alpha$ разбрызгивания форсунок в продольно-вертикальной плоскости на толщину слоя почвенных масс $h_{\text{ПМ}}(a)$ и на время очистки $t_{\text{оч}}(б)$

Толщина слоя почвенных масс после цикла очистки длительностью 100 с

составляет 7...19 мм (рисунок 4.4, *а*), а время очистки до толщины почвенных масс 3 мм составляет 180...480 с (рисунок 4.4, *б*).

При больших углах разбрызгивания (более 50°) эффективность очистки несколько снижается по сравнению с оптимальной, по-видимому, из-за того, что часть потока распыленной не попадает на дно бункера.

Таким образом, оптимальный угол разбрызгивания форсунок составляет 40...45°, что обеспечивает толщину остаточного слоя почвенных масс около 2,5...3,0 мм при длительности цикла очистки 95...100 с.

4.1.3 Влияние высоты неровностей поверхности дна бункера

Для проверки эффективности предлагаемого способа очистки при различном состоянии поверхности дна бункера проведена серия компьютерных экспериментов, в которых изменяли высоту неровностей поверхности дна бункера от 0 до 10 мм.

Обнаружено, что в широком исследованном диапазоне высот неровностей поверхности дна бункера предложенный способ очистки остается эффективным.

С увеличением неровностей h_n увеличивается толщина остаточного слоя почвенных масс (рисунок 4.5, *а*) и время очистки до заданной толщины 3 мм (рисунок 4.5, *б*).

В наиболее неблагоприятном из исследованных случаев $h_n = 10$ мм толщина остаточного слоя почвенных масс при длительности цикла очистки 100 с составляет около 7 мм, а время очистки до приемлемой толщины слоя почвенных масс 3 мм составляет около 170 с.

Таким образом, разработанный способ эффективен в широком диапазоне высот неровностей поверхности дна бункера (от 0 до 10 мм), при этом для наибольших исследованных неровностей 10 мм время очистки до приемлемой толщины слоя почвенных масс (3 мм) составляет около 170 с.

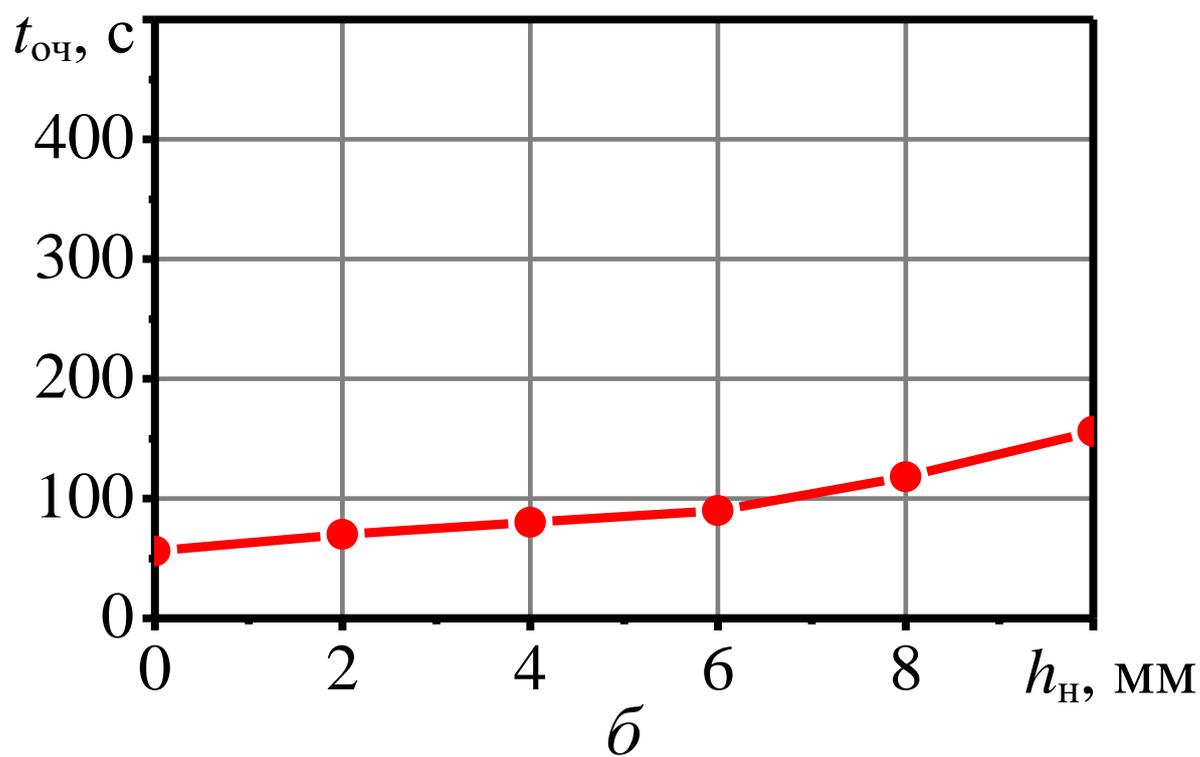
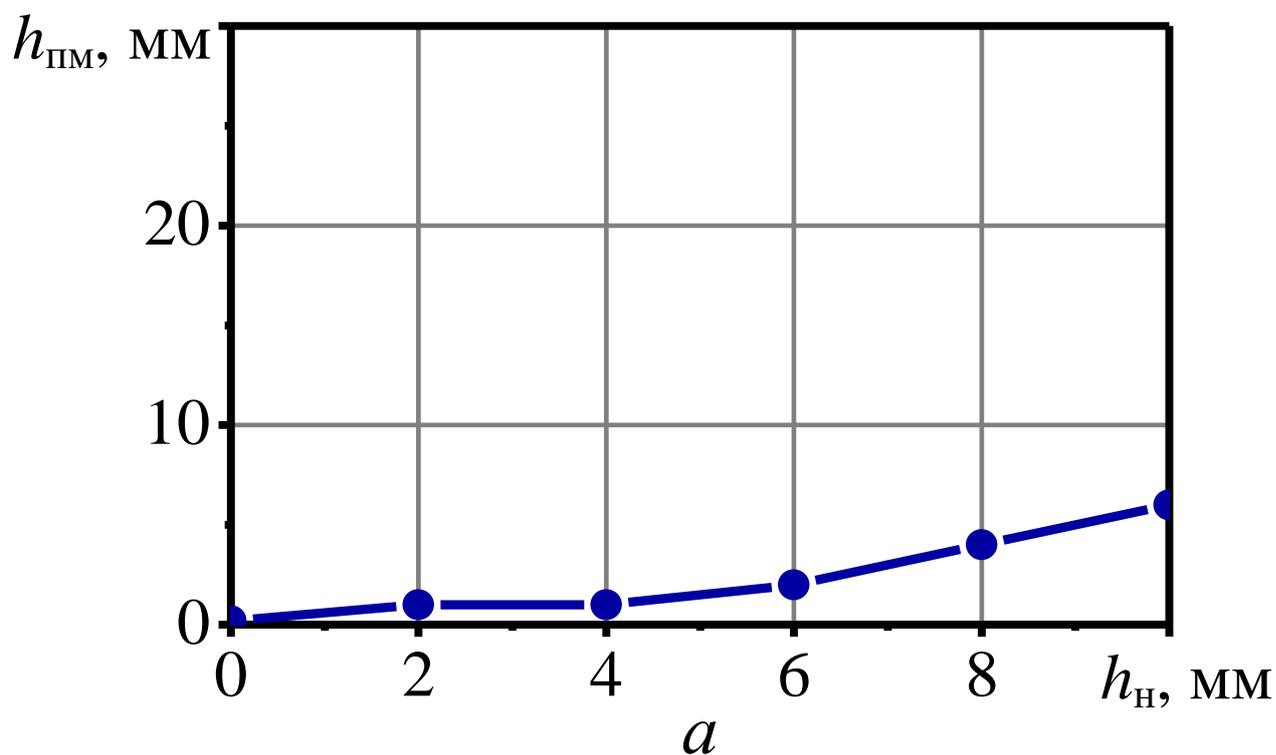


Рисунок 4.5 – Влияние высоты неровностей h_H поверхности дна бункера на толщину слоя почвенных масс $h_{\text{ПМ}}$, (а) и на время очистки $t_{\text{оч}}$ (б)

4.1.4 Влияние липкости почвенных масс

Сложность очистки дна бункера в значительной мере определяется липкостью почвенных масс. Для исследования влияния липкости почвенных масс на эффективность способа очистки дна бункера изменяли коэффициент ограничения взаимодействия элементов почвенных масс от 1,00 (рассыпчатая почвенная масса) до 1,20 (сильно слипшаяся почвенная масса) с шагом 0,04.

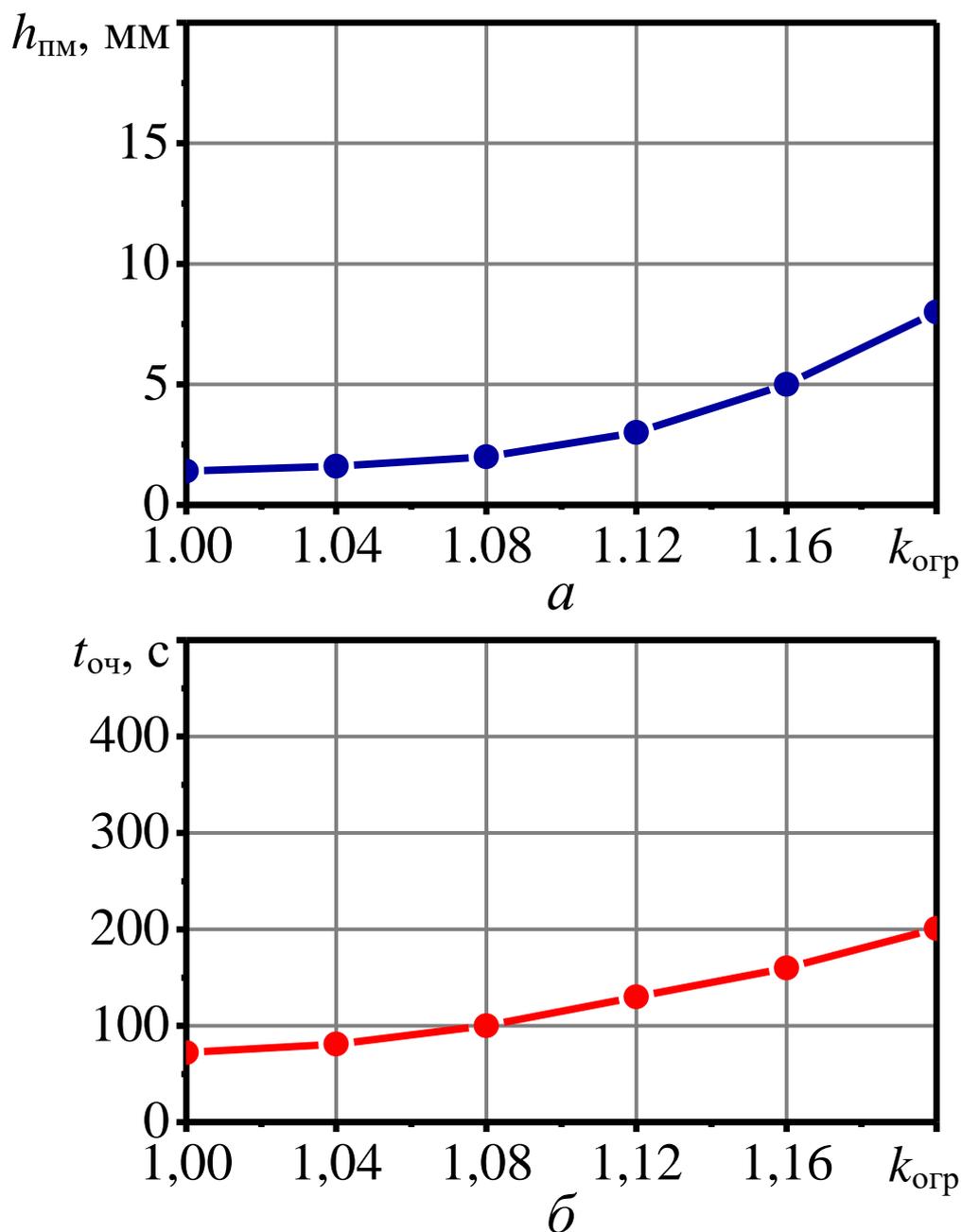


Рисунок 4.6 – Влияние коэффициента $k_{огр}$ ограничения взаимодействия элементов почвенных масс, задающего липкость, на толщину слоя почвенных масс $h_{пм}$, (а) и на время очистки $t_{оч}$ (б)

С увеличением коэффициента ограничения взаимодействия (липкости почвенных масс) закономерно снижаются показатели эффективности способа очистки (рисунок 4.6). Однако даже в случае наиболее липких почвенных масс ($k_{огр} = 1,20$) показатели эффективности составляют приемлемые значения: толщина слоя почвенных масс при длительности очистки 100 с составляет около 7,5 мм (рисунок 4.5, а), время очистки до толщины слоя почвенных масс 3 мм составляет около 200 с (рисунок 4.6, б).

4.2 Основные параметры очистки донья бункера свеклоуборочного комбайна

Для дальнейшего анализа функции $u(D_{ВЭ}, \alpha_{ВХ})$ и $\Delta P_0(D_{ВЭ}, \alpha_{ВХ})$ представлены в виде графиков (рисунок 4.7) и картограмм (рисунок 4.8) [приложение Г].

Графики позволяют визуально понять характер влияния расхода воды и угла разбрызгивания на толщину оставшихся почвенных масс и время полной очистки. Оба показателя уменьшаются при увеличении расхода воды и угла разбрызгивания (рисунок 4.7).

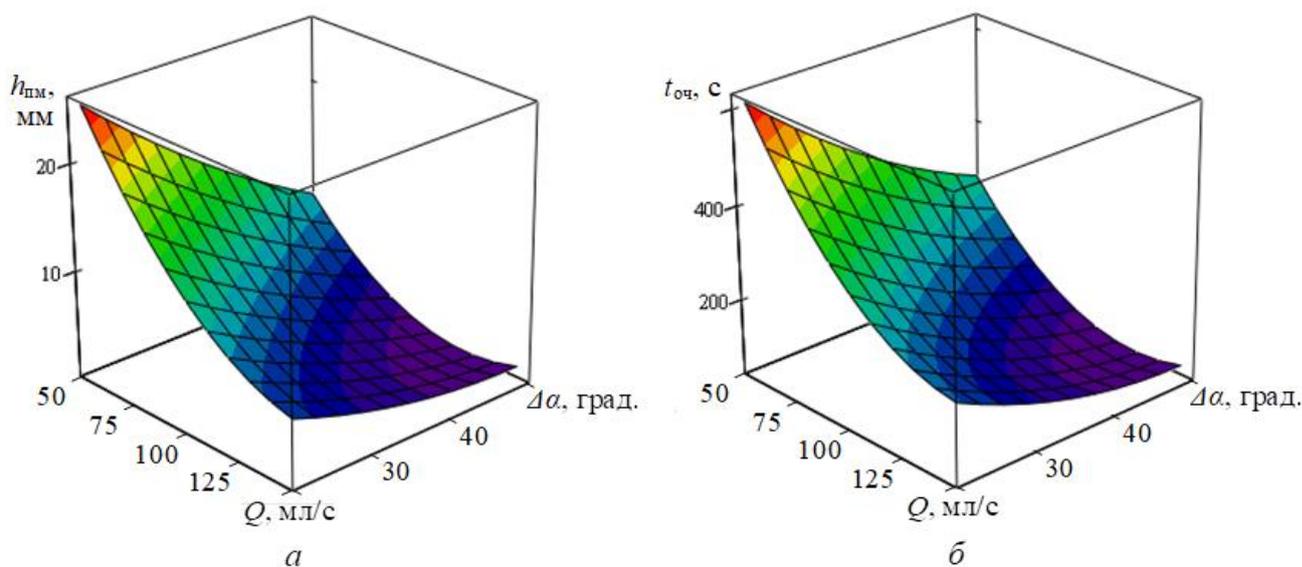


Рисунок 4.7 – Влияние расхода воды Q и угла разбрызгивания форсунок $\Delta\alpha$ на толщину слоя почвенных масс $h_{пм}$, и на время очистки $t_{оч}$

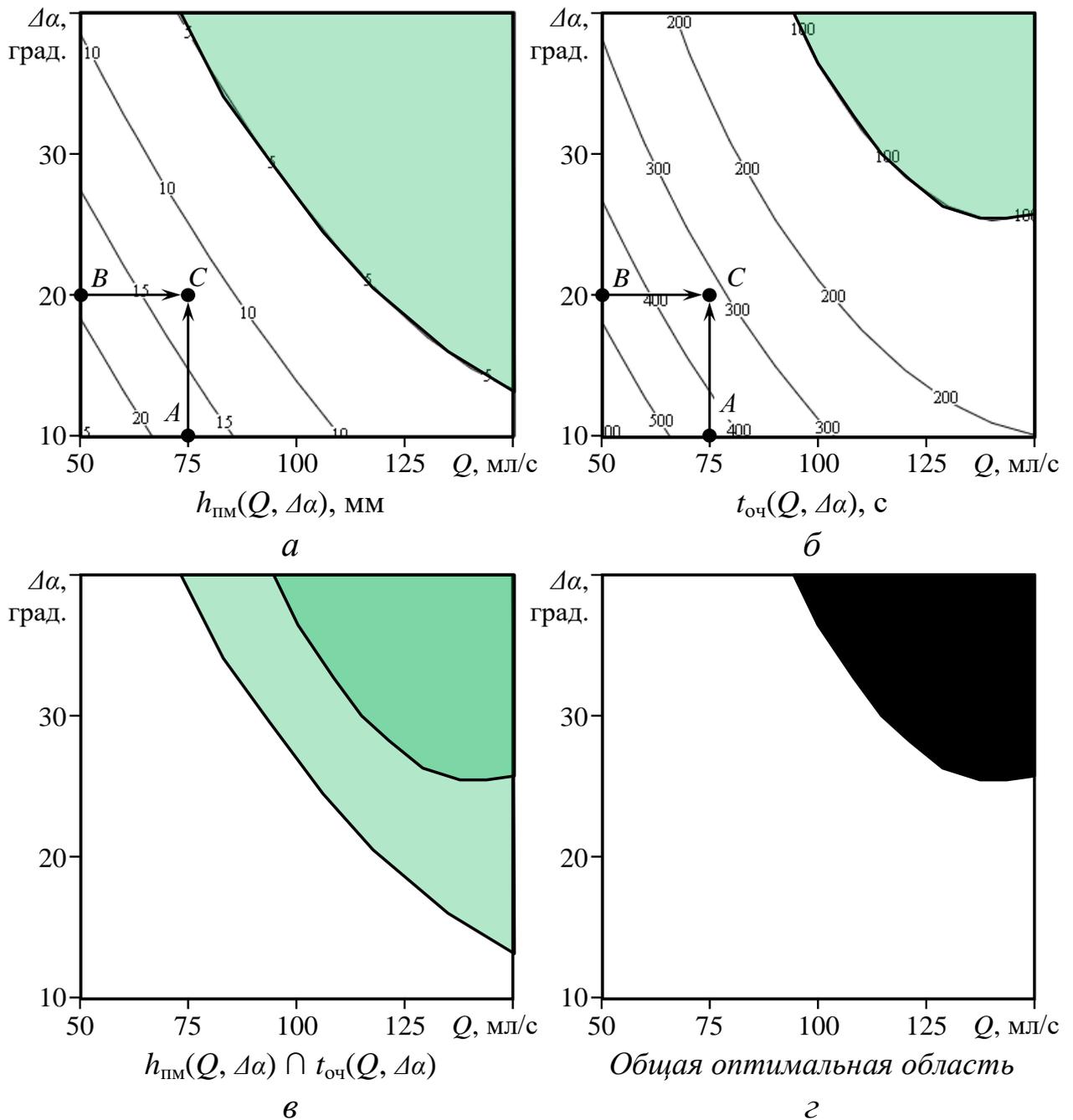


Рисунок 4.8 – Картограммы оптимизации конструктивных параметров системы очистки транспортера. Затемнены благоприятные области факторного пространства

Трехмерные графики (рисунок 4.7) позволяют понять закономерности на качественном уровне; для количественного же анализа графики целесообразно перестроить в картограммы: виды на графики сверху, где поверхность отклика изображена линиями уровня (рисунок 4.8).

Пример использования картограмм показан на рисунке 4.8, а. Если расход

воды составляет 75 мл/с (точка *A*) и угол разбрызгивания форсунки составляет 20 градусов (точка *B*), то соответствующая точка факторного пространства *C* попадает приблизительно посередине между линиями уровня 10 и 15 мм. Поэтому высота почвенных масс после цикла очистки составит около 12,5 мм. Аналогичным образом, можно графоаналитически установить, что время полной очистки составляет около 320 с (рисунок 4.8, б).

На картограммах затемнены области благоприятных (низких) значений показателей эффективности. Пороговые значения для разделения на благоприятную и неблагоприятную области выбраны $h_{\text{пм}} = 5$ мм (рисунок 4.7, а) и $t_{\text{оч}} = 100$ с (рисунок 4.8, б) исходя из условий, что благоприятная область будет занимать значительную долю факторного пространства, включать наименьшие значения критерия и граница области будет представлять собой линию уровня на картограмме.

Пересечение благоприятных областей (рисунок 4.8, в) представляет собой оптимальную область (в данном случае совпадающую с областью на рисунке 4.8, б), в которой одновременно учитываются требования низких значений высоты оставшихся почвенных масс и времени полной очистки.

По расположению общей оптимальной области в факторном пространстве (рисунок 4.8, г) можно сделать следующий вывод. Оптимальный расход жидкости составляет не менее 110 мл/с, оптимальный угол разбрызгивания должен составлять не менее 28° . При этом высота оставшегося слоя почвенных масс после цикла очистки составит не более 5 мм, время полной очистки составит не более 100 с.

4.3 Результаты практических экспериментов с использованием лабораторного стенда

Для оценки возможности использования предложенной технологии и технического средства для очистки донья транспортеров был проведен ряд исследований жидкостно-механической очистки донья транспортёра бункера свеклоуборочного комбайна. На рисунке 4.9 представлены результаты очистки донья на предлагае-

мом стенде с фиксацией в различных временных интервалах без применения жидкости (воды).



а

б

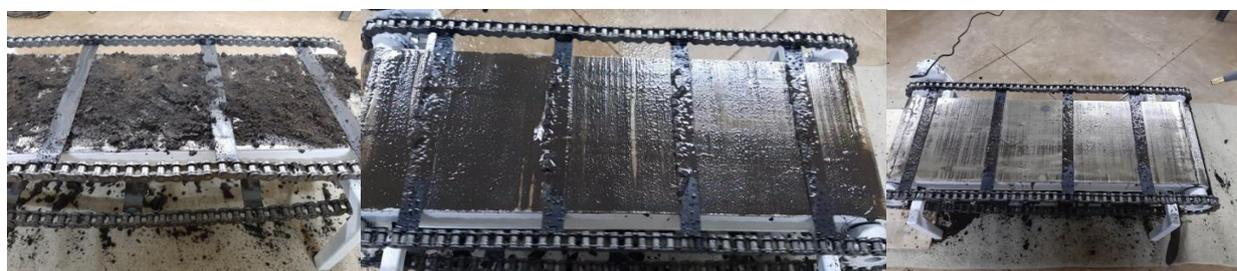
в

Рисунок 4.9 – Результаты очистки донья с фиксацией в различных временных интервалах без применения жидкости (воды)

а – исходное состояние; б – через 40 с очистки ; в – через 100 с очистки

По истечении 40 с работы установки был зафиксирован результат очистки донья без применения жидкости (воды). Далее по истечению времени результат очистки изменялся не значительно. Было принято решение ограничить время механической очистки 200 с, так как после этого времени изменения не наблюдались. Причиной этого нами видится уплотнение почвенных масс на поверхности донья и трудность их последующего удаления с поверхности скребками.

Затем был проведён эксперимент жидкостно-механической очистки. Лабораторная установка была приведена в исходное состояние. Подавая воду на установку первые 40 с был зафиксирован результат фотографией (рисунок 4.10).



а

б

в

Рисунок 4.10 – Результаты очистки донья с фиксацией в различных временных интервалах с применением жидкости (воды)

а – исходное состояние; б – через 40 с очистки; в – через 100 с очистки.

Эксперимент был доведён до эталонного результата очистки донья спустя 100 секунд. Подача жидкости осуществлялась при помощи форсунки производительностью 6-7 мл/с. Начальная толщина слоя почвенных масс на поверхности донья составляет 10-15 мм.

Результаты представлены на рисунке 4.11.

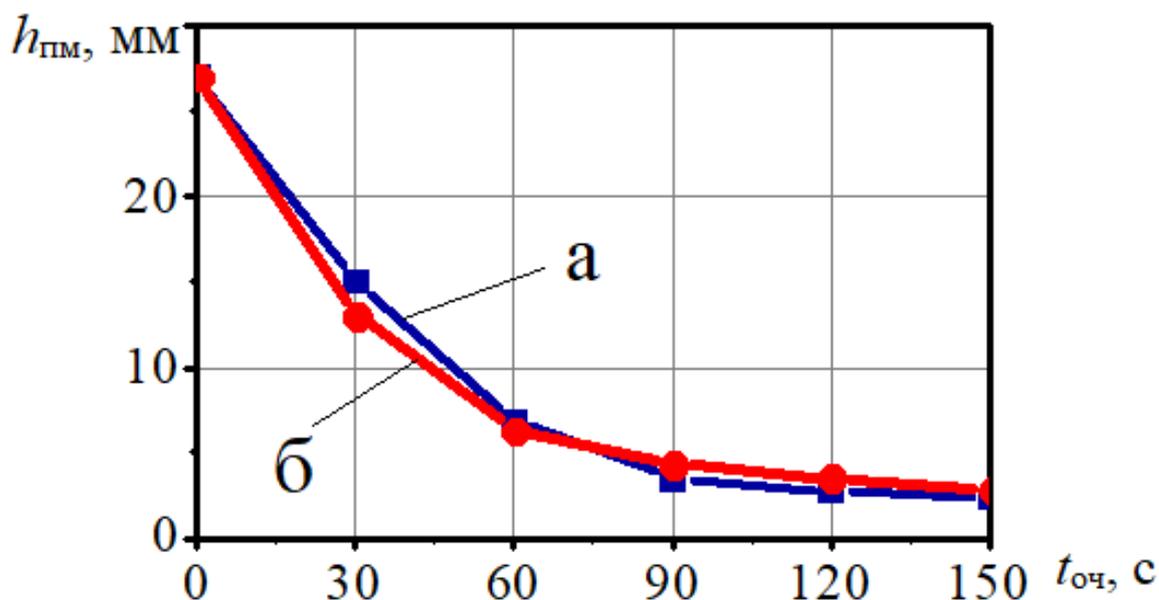


Рисунок 4.11 – Зависимость изменения высоты почвенных масс от времени их жидкостно-механического удаления с поверхности донья в результате проведения экспериментальных исследований:

а) на лабораторном стенде; б) в компьютерной модели.

Проведение экспериментальных лабораторных исследований показало достаточно высокую сходимость результатов математического моделирования, с результатами практических исследований.

При помощи лабораторной установки в процессе теоретического и практического исследований возможно проведение экспериментов по очистке дна бункера. Установка повторяет все параметры донья и донного транспортёра бункера свеклоуборочного комбайна. Это позволяет определить основные параметры очистки (время прохода одного скребка, высоту слоя грязевых масс после прохода скребка, расход рабочей жидкости). Разработанная установка может стать основой по

оценке эффективности работы различных способов очистки донья для различных условий эксплуатации.

С целью исследования процесса очистки донья свеклоуборочного комбайна и повышения производительности свеклоуборочных комбайнов была разработана лабораторная установка, имитирующая донье бункера свеклоуборочного комбайна, с донным транспортёром. При помощи данной установки проведены ряд экспериментальных исследований по изучению процесса очистки донья транспортера бункера свеклоуборочного комбайна (определено время жидкостно-механической очистки в пределах 100 с, объем жидкости для смачивания поверхности перед началом уборки составил до 10 мл. на кв.см.). Показана перспективность применения установка при исследовании различных способов очистки донья свеклоуборочной техники.

Выводы по главе 4

1 Проведена серия компьютерных экспериментов по очистке дна бункера при помощи математической модели в процессе теоретического исследования. Модель позволяет водить различные данные по особенностям почвенных условий, типа взаимодействующих поверхностей. Это позволило определить основные параметры очистки (время прохода одного скребка, высота слоя грязевых масс после прохода скребка, расход рабочей жидкости). Модель является основой для оценки эффективности работы предложенных решений для различных условий эксплуатации.

2 Была разработана лабораторная установка, имитирующая донье бункера свеклоуборочного комбайна, с донным транспортёром. С целью исследования процесса очистки донья свеклоуборочного комбайна и повышения производительности свеклоуборочных комбайнов при помощи данной установки проведены ряд экспериментальных исследований по изучению процесса очистки донья транспортера бункера свеклоуборочного комбайна (определено время жидкостно-механической очистки в пределах 100 с, объем жидкости для смачивания поверхности перед

началом уборки составил до 10 мл. на кв.см.). Показана перспективность применения установка при исследовании различных способов очистки донья свеклоуборочной техники.

3 Проведение экспериментальных лабораторных исследований показало достаточно высокую сходимость результатов полученных в результате математического моделирования с результатами практических исследований

ГЛАВА 5 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА, РЕКОМЕНДАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРЕДЛОЖЕННЫХ РЕШЕНИЙ

5.1 Оборудование для дополнительного смачивания донья конвейера свеклоуборочного комбайна и рекомендации производству

Для реализации предложенных решений был изготовлен опытный образец системы смачивания донья бункера свеклоуборочного комбайна. Данная система была размещена на свеклоуборочном комбайне «Holmer T2», который был предоставлен компанией ООО «Агротех-Гарант» для внедрения разработанных технических решений.

Конструкция устройства для очистки донного транспортёра представляет собой две водные ramпы, в которых установлены по 4 форсунки на каждой. Одна ramпа рассчитана на очистку продольного транспортера, вторая на мойку поперечного транспортера. Ramпы соединены между собой резиновым шлангом параллельно, и подсоединены, при помощи того же шланга, к полиэтиленовому баку с запасом воды на 200 литров. Бак с водой расположен с правой стороны кабины на помосте. Бак с водой никоим образом не мешает своим расположением эксплуатации и техническому обслуживанию комбайна.

В баке с водой расположен подающий насос, который питается от бортовой сети комбайна. В данной установке применяется насос для воды 24 вольта DC50K-24160A - циркуляционный, бесщеточный подходит для продолжительной непрерывной работы. В данной модели предусмотрена регулировка скорости. Сам насос 3-х фазный - технология ШИМ, но для подключения используются всего два провода, как в обычных "+" и "-". Насос для воды 24 вольта DC50K-24160A может быть полностью погружен в воду. Максимальная производительность насоса – 1500 литров в час, потребляемая мощность составляет 90 ватт. В качестве резервуара для воды будем использовать бочку полиэтиленовую, объёмом 200 литров. Место установки на комбайне позволяет расположить более вместительную ёмкость для воды, благодаря чему можно будет избежать частых дозаправок водой.



Рисунок 5.1 – Место размещения и крепления емкости с водой для обеспечения работы насосной станции и распылителей (на базе комбайна Holmer T2):
1 – ёмкость с водой; 2 – площадка комбайна; 3 – подающий шланг.

Форсунки имеют возможность регулировать расход жидкости довольно в широком диапазоне от 0,5 до 5 л/мин на каждой форсунке.

Используя регулируемые форсунки предложенного типа, мы получаем возможность проведения экспериментальных исследований, и получить зависимость параметров расхода воды от времени и качества очистки донного транспортера свеклоуборочного комбайна.

Все компоненты данной установки соединены резиновым армированным шлангом Ду-20 мм. В качестве штанги для установки форсунок используем трубу водогазопроводную стальную оцинкованную цилиндрической формы, диаметром 20 мм.

Всего установлено в бункере восемь (8) форсунок. Четыре (4) форсунки установлены на мойку продольного донного транспортера, четыре (4) установлены на

мойку поперечного транспортёра. Расположение форсунок следует выбирать исходя из опыта работы с данной установкой. На данный момент расположение и наклон форсунок является самым оптимальным и эффективным, что было достигнуто ранее, при тестировании данного решения. Форсунки должны устанавливаться с расстоянием 60 сантиметром. Форсунки имеют возможность регулировать расход жидкости через них довольно в широком диапазоне. Диапазон расхода всех форсунок будет изменяться от 7,5 л/мин до 20 л/мин.

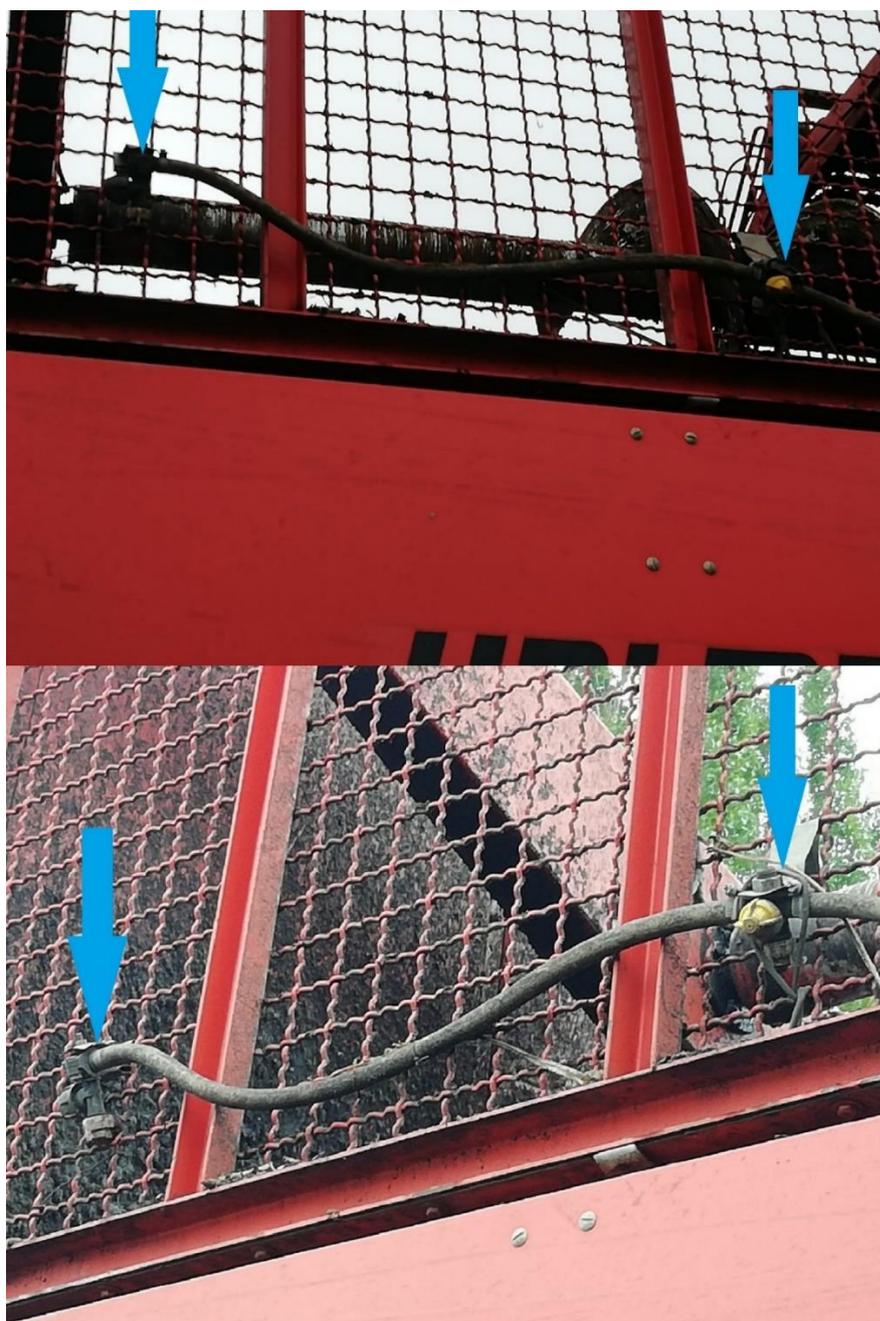


Рисунок 5.2 – Расположение форсунок на бункере комбайна

Расположение и направление форсунок следует выбирать в зависимости от самых загрязняемых участков транспортера. Для удобства коммутации и согласования работы форсунок рекомендуется применять гидрораспределитель. Это устройство позволит быстро отключать форсунки отдельно друг от друга.

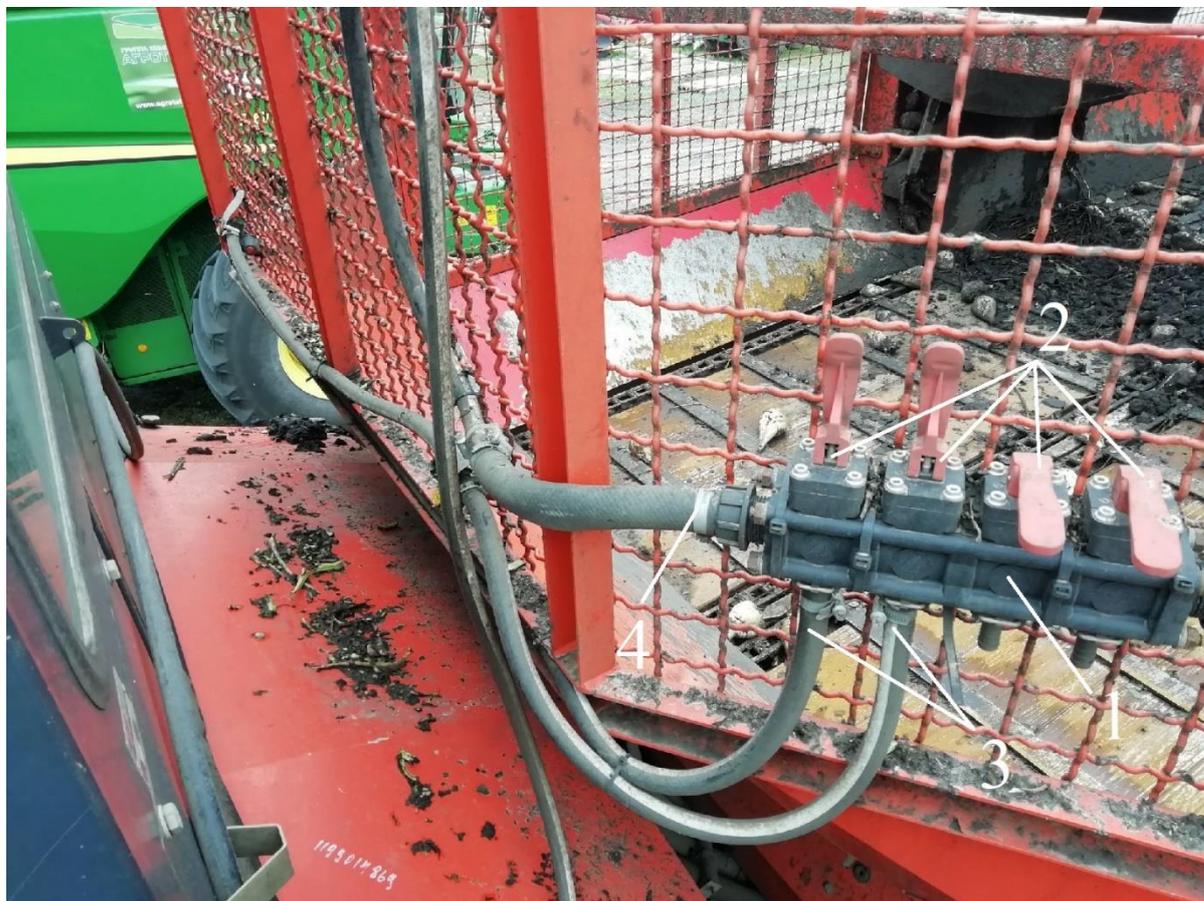


Рисунок 5.3 – Размещение гидрораспределителя на ограждении бункера свеклоуборочного комбайна: 1 – гидрораспределитель; 2 – регулирующие клапаны; 3 – питающие шланги форсунок; 4 – подающий шланг.

Простота и удобство использования предлагаемого решения не требует дополнительных знаний, умений и навыков по обслуживанию устройства. В межсезонное хранение требуется консервация устройства путём смазки форсунок и слив жидкости из ёмкости и магистрали.

Рекомендуется использование предлагаемой установки по очистке от почвенных масс после каждой выгрузки бункера свеклоуборочного комбайна. Во время пересмены операторов комбайна необходимо проводить дозаправку резервуара для

воды объемом 200 литров для бесперебойной работы установки в течении смены.

5.2 Методика и результаты расчета экономической предложенных решений

Целью экономического обоснования является определение экономической целесообразности применения технического средства для очистки донного транспортера накопительного бункера свеклоуборочного комбайна.

Основным ожидаемым результатом внедрения разработки является снижение простоев и как следствие, повышение производительности свеклоуборочных машин.

В результате выполнения настоящей работы установлено, что применение данного технического решения позволит повысить производительность свеклоуборочных машин за счет снижения простоев по причине загрязнения выгрузного транспортера накопительного бункера путем автоматизации его очистки.

В связи с тем, что в процессе исследований была изготовлена и смонтирована установка для мойки транспортера бункера на серийный свеклоуборочный комбайн, возникла необходимость рассчитать стоимость (цену) смонтированной установки на комбайн. Оснащение данной установкой комбайна включает в себя: затраты на приобретение материалов и деталей; затраты по оплате труда с начислениями на изготовление и монтаж конструкции (токарные, сварочные и монтажные работы). Стоимость комплекта оборудования для изготовления установки представлена в таблице 5.1. Тогда стоимость модернизации одного свеклоуборочного комбайна (капитальные вложения) с учетом затрат на изготовление деталей и монтаж конструкции составляет 17000 рублей.

На февраль 2021 г. по данным предприятий, занимающихся оказанием услуг по уборке сахарной свеклы, убрать 1 га сахарной свеклы современным свеклоуборочным комбайном составляет 9500 руб. Стоимость свеклоуборочного комбайна Holmer Terra Dos составляет порядка 25 млн руб.

Таблица 5.1 – Расходы на комплектующие детали и оборудование

Наименование	Количество	Цена, руб.
Насос для воды	1	6500
Форсунка – опрыскиватель	8	1200
Бочка полиэтиленовая	1	2000
Труба водогазопроводная стальная оцинкованная цилиндрической формы, м	5	500
Шланг резиновый, м	10	1100
Итого цена за комплект		11300

Рассчитаем сменную производительность агрегатов по базовому и проектируемому вариантам [118,119].

Сменная производительность (за час сменного времени) определяется по известной формуле [120]

$$\omega_{см} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \quad (5.1)$$

где B_p – рабочая ширина захвата агрегата, м;

V_p – рабочая скорость движения агрегата, км/ч;

τ – коэффициент использования времени смены.

Рабочая ширина захвата шести рядкового свеклоуборочного комбайна составляет 2,7 метра.

Для расчетов принимаем $B_p = 2,7$ м, $V_p = 7,2$ км/ч (средняя рабочая скорость движения комбайна при проведении полевых испытаний) принимаем для обоих вариантов. Результаты исследований технологического процесса мойки донного транспортера показали, что коэффициент использования времени смены без использования предложенного технического решения составил $\tau = 0,5$, а при использовании данного технического средства коэффициент использования времени смены возрастает до $\tau = 0,7$ [121].

Окончательно получим:

по базовому варианту

$$\omega_{\text{см}} = 0,1 \cdot 2,7 \cdot 7,2 \cdot 0,5 = 0,972 \text{ га/ч}$$

по проектируемому варианту

$$\omega_{\text{см}} = 0,1 \cdot 2,7 \cdot 7,2 \cdot 0,7 = 1,36 \text{ га/ч}$$

Из расчета видно, что производительность свеклоуборочного комбайна увеличилась на 0,6 га/ч.

Рассчитаем суточную производительность комбайна [122].

$$\omega_{\text{сут}} = \omega_{\text{см}} \cdot 24$$

Окончательно получим:

по базовому варианту

$$\omega_{\text{сут}} = 0,972 \cdot 24 = 23,3 \text{ га/сут}$$

по проектируемому варианту

$$\omega_{\text{сут}} = 1,36 \cdot 24 = 32,6 \text{ га/сут}$$

Из расчета получаем увеличение производительности на 9,3 га в сутки.

Учитывая, что стоимость уборки 1 га сахарной свеклы составляет 9500 руб., данное техническое средство для очистки транспортера бункера позволяет экономить текущие затраты комбайна в размере 88,4 тыс. руб. в сутки.

Таблица 5.2 – Экономическая эффективность модернизации свеклоуборочного комбайна

Показатели	Базовый вариант	По проекту
1. Обрабатываемая площадь, га/год	750	1150
2. Стоимости уборки 1 га сахарной свеклы	9500	9500
3. Сменная производительность комбайна, га/ч	0,972	1,36
4. Суточная производительность комбайна, га/ч	23,3	32,6
5. Экономия труда, чел.-ч	-	663,0
6. Суточный экономический эффект, т.р.	-	88,4
10. Капитальные вложения, тыс. руб.	-	17000

Анализируя полученные данные можно отметить, что наблюдается положительный экономический эффект при сравнительно небольших затратах на изготовление и установку предложенного технического средства для очистки донных транспортеров бункера свеклоуборочных комбайнов.

Выводы по главе 5

1 Был проведен анализ работ по внедрению установки для жидкостно-механической очистки донья и донного транспортёра свеклоуборочного комбайна на предприятии ООО «Агротех-Гарант». Это позволило установить, что применение данного устройства и технологии по очистке донья бункера, позволяет сократить время простоев свеклоуборочных машин на ручную очистку донного транспортёра и внеплановый ремонт привода донного транспортёра.

2 Расчеты показывают, что на экономический эффект на один комбайн за год эксплуатации может составить около 2 млн. рублей.

3 Полученные результаты могут быть использованы мелкими и крупными предприятиями, занимающимися производством сахарной свеклы. Рекомендуется использование предлагаемой установки по очистке от почвенных масс после каждой выгрузки бункера свеклоуборочного комбайна. Во время пересмены операторов комбайна необходимо проводить дозаправку резервуара для воды объёмом 200 литров для бесперебойной работы установки в течении смены.

Заключение

1. Анализ современной свеклоуборочной техники показал, что, несмотря на высокий уровень подхода к ее проектированию и изготовлению, в процессе эксплуатации возможно налипание почвенных масс на скребки и донье выгрузного транспортера в бункере, что вызывает простои техники для ручной очистки, и ремонта.

2. Предложена технология жидкостно-механического удаления почвенных масс (основанная на принципе разделения жидкостью твердых сред (поверхности металла и почвенных масс) от плотного взаимодействия друг с другом) с последующим механическим удалением почвы скребками транспортера, которая обеспечивает снижение налипания и уплотнения почвенных масс. Предложена конструктивно-технологическая схема удаления почвенных масс в виде оборудования, включающего емкость для доступной жидкости (воды), напорный насос, гидрораспределитель, соединительные шланги и форсунки для смачивания поверхности донья транспортера жидкостью (водой) способствующая дальнейшему выносу почвенных масс с донья скребками транспортера.

3. Разработанная физико-математическая модель процесса жидкостно-механического удаления почвенных масс с донья транспортера свеклоуборочного комбайна, отличающаяся представлением почвенных масс как пластичной и фрагментируемой среды, состоящей из множества элементов и обладающих упруго-вязким вариантом механического взаимодействия как друг с другом, так и с движущимся скребком, позволила установить ряд показателей эффективности процесса удаления почвенных масс с донья транспортёра свеклоуборочного комбайна в зависимости от параметров очищаемой поверхности, форсунок и почвенных масс:

– зависимость массы загрязнения дна бункера от времени в процессе удаления близка к экспоненциальной, поэтому, начиная с определенного момента времени дальнейшая очистка является нецелесообразной. Очистку целесообразно производить до 41 с если допустима толщина остаточного слоя загрязнения около 3 мм, или до 100...150 с если необходимо полностью удалить слой почвенных масс;

- оптимальный расход воды составляет около 120...150 мл/с. При этом толщина почвенных масс уменьшается с 27 до 2...3 мм за время очистки около 100 с;
- оптимальный угол разбрызгивания форсунок составляет 40...45°, что обеспечивает толщину остаточного слоя почвенных масс около 2,5...3,0 мм при длительности цикла очистки 95...100 с.;
- разработанный способ очистки эффективен в широком диапазоне высот неровностей поверхности дна бункера (от 0 до 10 мм), при этом для наибольших исследованных неровностей 10 мм время очистки до приемлемой толщины слоя почвенных масс (3 мм) составляет около 170 с.;
- в случае существенно липких почвенных масс (коэффициент ограничения взаимодействия элементов почвенных масс $k_{огр} = 1,20$) показатели эффективности процесса очистки составляют приемлемые значения: толщина слоя почвенных масс при длительности цикла очистки 100 с составляет около 7,5 мм, время очистки до толщины слоя почвенных масс 3 мм составляет около 200 с.

4. Экспериментальная проверка показала, что оборудование для смачивания поверхности донья транспортера доступной жидкостью (водой) и последующее устранению почвенных масс с донья скребками транспортера обеспечивает высокую степень удаления почвенных масс. Экспериментальные исследования подтвердили результаты теоретических расчетов. Отклонения экспериментальных данных от расчётных не превышают 5%.

5. Результаты полевых испытаний показали, что при соблюдении указанного режима работы данного устройства при круглосуточной работе комбайна (2 смены по 12 ч) сменная производительность возрастает с 0,97 га/ч до 1,36 га/ч. Исходя из этого получено увеличение производительности комбайна на 9,3 га в сутки. При этом суточный экономический эффект на один переоборудованный свеклоуборочный комбайн с учетом стоимости уборки 1 га сахарной свеклы 9,5 тыс. руб., составит 88,4 тыс. руб.

Рекомендации производству

1. Полученные результаты могут быть использованы мелкими и крупными предприятиями, осуществляющими производство сахарной свеклы. Рекомендуется использование предлагаемого оборудования по смачиванию поверхности донья транспортера жидкостью (водой) после каждой выгрузки бункера свеклоуборочного комбайна, а также на стадии переезда комбайна от места выгрузки к загонке. При этом снижаются затраты времени на технологическое обслуживание уборочного агрегата в течении смены и исключаются тем самым длительные простои комбайна.

2. Расчеты показали, что рациональное использование жидкостно-механического удаления почвенных масс на примере свеклоуборочного комбайна «Холмер» Т2 в условиях Воронежской области возможно при обеспечении подачи насосом жидкости в пределах значений указанных в заключении. При этом форсунки должны обеспечивать равномерный распыл по поверхности донья. Рекомендуемый запас жидкости (воды) составляет 200 литров, что достаточно для бесперебойной работы установки в течении смены.

3. Предложенные технологические и технические решения способствуют предотвращению поломок донного транспортера свеклоуборочного комбайна и его привода.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Совершенствование конструкций, используемых материалов, технологий и устройств, способствующих удалению почвенных масс с транспортёров.

Список литературы

1. Гуреев, И.И. Оптимальные условия уборки урожая / И.И. Гуреев, А.В. Агибалов // Сахарная свекла. – 2001. – № 8. – С. 21-24.
2. Гуреев, И.И. Производство сахарной свеклы без затрат ручного труда / И.И. Гуреев, А.В. Агибалов // Курск. – 2000. – 124 с.
3. Дробышев, И.А. Анализ работы свеклоуборочных машин / И.А. Дробышев, А.В. Богометов // Аграрная наука в начале XXI века: часть 3. – 2002. – С. 162-165.
4. Балашов, А. В. Использование зарубежных свеклоуборочных комбайнов / А. В. Балашов // Сахарная свекла. – 2004. – № 8. – С. 27-29.
5. Гавришев, Е. М. Комплекс машин для возделывания и уборки сахарной свеклы / Е. М. Гавришев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1999. – № 5. – С. 9-12.
6. РУП Гомсельмаш – Сельхозтехника, сельскохозяйственная техника, машины сельскохозяйственные [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.gomselmash.by/>, свободный
7. Amity Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.amitytech.com/>, свободный
8. Fontani S.r.l. – Le macchine per la bieticoltura [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.fontani-srl.it/>, свободный
9. Holmer Maschinenbau GmbH [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.holmer-maschinenbau.com/>, свободный
10. Welkom bij Vervaet: Fabrikant van Zelfrijdende Bietenrooiers en Mestinjecteurs [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.vervaet.nl/>, свободный
11. Мартыненко, В.А. Перспективные конструкции свеклоуборочной техники / В.А. Мартыненко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1996. – 12. – С. 15-16.
12. Марнов, В.С. Комбайны фирмы «Холмер» на российском рынке / В.С. Марнов // Сахарная свекла. – 2003. – № 4. – С. 14-15.

13. Тырнов, Ю.А. Высоко адаптированные машинные технологии и технические средства нового поколения для низко затратного и устойчивого производства сельскохозяйственных культур (на примере сахарной свеклы) / Ю.А. Тырнов // Воронеж: Истоки. – 2005. – 173 с.

14. Тырнов, Ю.А. Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов на возделывании уборке сахарной свеклы / Ю.А. Тырнов // Воронеж: Истоки. – 1999. – 209 с.

15. Кухмазов, К.З. Сепарирующие рабочие органы свеклоуборочных комбайнов / К.З. Кухмазов, Р.У. Янгазов // Образование, наука, практика: инновационный аспект: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.Ф. Блинохватова. – 2008. – С. 211-212.

16. Карташов, В.П. Организация технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники / В.П. Карташов, В.М. Мальцев // Сельхозтехника. – 1979. – 215 с.

17. Боднев, А.Г. Устройство, эксплуатация и техническое обслуживание свеклоуборочных комбайнов / А.Г. Боднев, В.М. Дагович // Сельхозтехника. – 1974 – 254 с.

18. Кормаков, Л.Ф. Рынок сельскохозяйственной техники: Проблемы и решения. / Л.Ф. Кормаков // Росинформагротех. – 2007. – 192с.

19. Кухмазов, К.З. Проблемы уборки сахарной свеклы / К.З. Кухмазов, Р.У. Янгазов // Образование, наука, практика: инновационный аспект: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.Ф. Блинохватова. – 2008. – С. 210-211.

20. Гуцин, Д.А. Повышение эффективности самоходных свеклоуборочных комбайнов HOLMER за счет совершенствования технического сервиса / Д.А. Гуцин // Автореф, дисс. на соиск. уч. степ. к. т. н. – 2010. – 19с.

21. Тырнов, Ю.А. Адаптация гусеничных тракторов общего назначения и агрегатов к условиям использования в технологиях производства сахарной свеклы / Ю.А. Тырнов // Воронеж: Истоки. – 2004. – 164 с.

22. Ногтиков, А.А. Сравнительная эксплуатационно-технологическая оценка показателей качества работы зарубежных свеклоуборочных комбайнов. Анализ

воздействия ходовых систем комбайнов на почву / А.А. Ногтиков, Д.А. Гушин // Повышение эффективности использования свеклоуборочных комбайнов зарубежного производства: Сб. науч. тр. ГНУ ВНИИТиН. – 2009. – № 16. – С. 27 - 33.

23. Николаев, С.Н. Современный технический сервис техники: мировой опыт / С.Н. Николаев // Строительная техника и технологии. – 2002. – №2. С. 101-105.

24. Тырнов, Ю.А. Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов на возделывании и уборке сахарной свеклы / Ю.А. Тырнов // Воронеж. – 1999. – 209 с.

25. Тырнов, Ю.А. Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов совершенствованием систем контроля режимов их работы: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. док. тех. наук. / Ю.А. Тырнов. – Саратов, 2001. – 48с.

26. Орлянский, А.В. Оценка ресурса безотказной работы кормоуборочного комбайна / А.В. Орлянский // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – №6. – С. 5-7

27. Габитов, И.И. Особенности технического сервиса импортных мобильных сельхозмашин / И.И. Габитов, В.И. Портнов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – №1. С. 75-80.

28. Кузьмин, В.Н. Использование сельскохозяйственной техники в современных условиях / В.Н. Кузьмин // Росинформагротех. – 2005. – 384с.

29. Новиков, А.В. Европейская система технического сервиса сельскохозяйственной техники / А.В. Новиков, В.Н. Кецко, В.К. Клыбик // Инновационные технологии в производстве переработке сельскохозяйственной продукции: доклады Международной научно-практической конференции. – 2011. – В 2 ч. 4.1. – С. 301 - 304.

30. Пастухов А.Г. Особенности системы технического обслуживания и ремонта зарубежной техники / А.Г. Пастухов, А.В. Ефимцев // Машинно-технологическая станция. – 2009. №6. – С. 28 - 29.

31. Андреева, Е.В. Эффективность вариантов технического сервиса машинно-тракторного парка сельскохозяйственных предприятий / Е.В. Андреева // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2009. – №2. – С. 618-618.

32. Дорофеева, Н.А. О дилерском обслуживании техники в сельском хозяйстве / Н.А. Дорофеева, А.В. Федотова, О.И. Жукова // Техника и оборудование для села. – 2000. – №1. – С. 23 - 25.

33. Корольков, И.В. Оптимальная система обслуживания с непрерывной загрузкой / И.В. Корольков // Техника в сельском хозяйстве. – 2003. №2. – С. 27-29.

34. Тырнов, Ю.А. Аналитическое обоснование оптимальной системы сервисного обслуживания свеклоуборочных комбайнов с непрерывной сезонной загрузкой / Ю.А. Тырнов, Д.А. Гушин // Повышение эффективности использования свеклоуборочных комбайнов зарубежного производства: Сб. науч. тр. ГНУ ВИИ-ТиН. – 2009. – № 16. – С. 13-19.

35. Черноиванов, В.И. О создании стратегии технического сервиса в экономике АПК / В.И. Черноиванов // Труды ГОСНИТИ. – 2007. – Т. 99. – С. 8- 13

36. Синельников, А.А. Теоретический анализ режимов нагружения свеклоуборочных комбайнов «Holmer» и их взаимосвязь с показателями надежности / А.А. Синельников // Наука в Центральной России. – 2014. – №3. – С. 24-27.

37. Синельников, А.А. Повышение эксплуатационной надежности и экономичности свеклоуборочного комбайна Holmer в условиях сельского товаропроизводителя: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.03 / Синельников Александр Алексеевич. – Тамбов, 2014. – 159 с.

38. Кухмазов К.З. Проблемы уборки сахарной свеклы / К.З. Кухмазов, Р.У. Янгазов // Образование, наука, практика: инновационный аспект. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.Ф. Блинохватова. – 2008. – С. 210-211.

39. Кушнарёва М. Н. К выбору рациональных технических средств механизации уборки сахарной свеклы / М. Н. Кушнарёва // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования. – 2011. – С. 68-69.

40. Демидов, И.А. Системы очисток свеклоуборочных комбайнов / И.А. Демидов, И.А. Виткалов, М.Н. Зуев, В.Н. Солнцев // Молодежный вектор развития аграрной науки. Материалы 68-й студенческой научной конференции. – 2017. – С. 317-325.

41. Kohli, R. Developments in Surface Contamination and Cleaning: Applications of Cleaning Techniques / R. Kohli, K. Mittal // Book Elsevier The Aerospace Corporation, NASA Johnson Space Center, Houston, TX, United States Hopewell Junction, NY. – Vol. 11. – 2018. – P. 1–808

42. Ничке, В.В. Определение режимов нагружения землеройно-транспортных машин / В.В. Ничке // Надежность и долговечность машин и оборудования (опыт и теоретические исследования): Издательство стандартов. – 1972. – 314 с.

43. Холодов, А.М. Основы динамики землеройно-транспортных машин / А.М. Холодов // Машиностроение. – 1968. – С. 105-108.

44. Балашов, А.В. Взаимосвязь параметров и режимов работы свеклоуборочных комбайнов с критериями эффективности и качества работ / А.В. Балашов, Д.А. Гуцин // Повышение эффективности использования свеклоуборочных комбайнов зарубежного производства: Сборник научных трудов ГНУ ВИИТиН. – №16. – 2009. – 56 с.

45. Волков, В.С. Особенности проведения технического обслуживания сельскохозяйственной техники / В.С. Волков, Е.В. Пухов, С.С. Мешкова // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. – 2019. – С. 125-128.

46. Алдошин, Н.В. Совершенствование транспортно-технологического обслуживания сельскохозяйственных предприятий / Н.В. Алдошин // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: матер. международной науч. практ. конф. – 2018. – С. 19-25.

47. Алдошин, Н.В. Планирование объемов посевов сельскохозяйственных культур / Н.В. Алдошин // Сборник статей по итогам II международной научно-практической конференции "ГОРЯЧКИНСКИЕ ЧТЕНИЯ", посвященной 150-летию со дня рождения академика В.П. Горячкина. – 2019. – С. 23-27.

48. Беляев, В.И. Сравнительная оценка технологий возделывания сельскохозяйственных культур / В.И. Беляев, Н.В. Алдошин // Сборник статей по итогам II международной научно-практической конференции "ГОРЯЧКИНСКИЕ ЧТЕНИЯ", посвященной 150-летию со дня рождения академика В.П. Горячкина. – 2019. – С. 18-23.

49. Алдошин, Н.В. Обоснование параметров инжекторного распылителя / Н.В. Алдошин, М.А. Сафонов // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 5 (275). – С. 16-19.

50. Алдошин, Н.В. Исследование пределов прочности почвы на сжатие и растяжение / Н.В. Алдошин, А.С. Васильев, В.В. Голубев // Агроинженерия. – 2020. – № 3 (97). – С. 27-33.

51. Алдошин, Н.В. Исследования прочностных характеристик почвы / Н.В. Алдошин, А.С. Васильев, В.В. Голубев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – №3. – С. 68-73.

52. Заднепровский, Р.П. Способы борьбы с налипанием и намерзанием влажных грунтов на рабочие органы строительных машин / Р.П. Заднепровский, Ю.С. Мерлицкий, К.Ф. Лукьяненко // Стройиздат. – 1976. – 32 с.

53. Янина, Т.И. Способы борьбы с намерзанием глинистых пород на ковш экскаватора при отрицательных температурах / Т.И. Янина, А.Ф. Новокрещенов, А.С. Гумённый / Сборник материалов 9 всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая". – 2017. – С. 86-90

54. Серпокрылов, Н.С. Водоохраные технологии как источник воздействия на окружающую среду / Н.С. Серпокрылов, В.А. Онкаев, В.Д. Бараев и др. // Природно-ресурсный потенциал Прикаспия и сопредельных территорий: проблемы рационального использования: матер. международной науч. практ. конф. – 2018. – С. 117-122.

55. Эрендженев, В.Г. Воздействие минеральных масел и нефтепродуктов на экологическое равновесие окружающей среды / В.Г. Эрендженев, Н.С. Серпокрылов, В.А. Онкаев и др. // Природно-ресурсный потенциал Прикаспия и сопредельных территорий: проблемы рационального использования: матер. международной науч. практ. конф. – 2018. – С. 153-156.

56. Абросимов, М.В. Дополнения к классификации фазово-дисперсных состояний примесей в воде / М.В. Абросимов, Н.С. Серпокрылов, Е.В. Яковлева // Технологии очистки воды "ТЕХНОВОД-2018": матер. международной науч. практ.

конф. – 2018. – С. 79-84.

57. Саид, М.А. Основные характеристики и классификации погружных вращающихся биофильтров примененных для очистки сточных вод / М.А. Саид, Н.С. Серпокрылов // EUROPEAN SCIENCE OF THE FUTURE: матер. международной науч. практ. конф. – 2019. – С. 60-64.

58. Серпокрылов, Н.С. Методика расчета и технико-экономические показатели радиально-восходящего фильтрования в режимах "изнутри - наружу" и "снаружи - внутрь" / Н.С. Серпокрылов, С.З. Тажиева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 3 (29). – С. 33-38.

59. Serpokrylov, N.S. Sewage cleaning by using a phase separator / N.S. Serpokrylov, A.S. Smolyanichenko, E.V. Yakovleva // E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. – 2020. – С. 01020.

60. Кондакова, Н.В. Использование механически очищенных сточных вод для орошения сельскохозяйственных культур / Н.В. Кондакова, А.А. Мозгунова, Н.С. Серпокрылов // Актуальные вопросы совершенствования технической эксплуатации мобильной техники: матер. международной науч. практ. конф. – 2020. – С. 147-150.

61. Гайдар, С.М. Молекулярная инженерия в трибологии / С.М. Гайдар, А.Б. Лагузин // Трибология – машиностроению. – 2018. – С. 128-132.

62. Ерохин, М.Н. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники / М.Н. Ерохин, А.С. Дорохов, Ю.В. Катаев // Агроинженерия. – 2021. – №2. – С. 45-50.

63. Дидманидзе, О.Н. Теоретические основы очистки резервуаров гидромеханическим способом / О.Н. Дидманидзе, В.Н. Попов, В.С. Богданов // Международный технико-экономический журнал. – 2012. – №4. – С. 128-130.

64. Завражнов, А.И. О проблемах эффективного использования техники в сельском хозяйстве / А.И. Завражнов, А.Н. Зазуля, С.А. Нагорнов, Л.Г. Князева // Наука в центральной России. – 2015. – №5. – С. 5-24.

65. Антоненко, М.В. Эффективность технологического процесса мойки при эксплуатации и ремонте сельскохозяйственной техники / М.В. Антоненко, И.А.

Успенский, И.В. Фадеев // Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации: матер. международной науч. практ. конф. – 2021. – С. 479-483.

66. Фадеев, И.В. К вопросу улучшения свойств синтетических моющих средств для мойки деталей мобильной техники / И.В. Фадеев, Н.В. Бышов // Наука, производство, образование: состояние и направления развития, сборник научных трудов. – 2019. – С. 22-29.

67. Alekseev, V.V. Automation of determining the contact angle of washing liquids wetting / V.V. Alekseev, V.P. Philippov, I.V. Fadeev, S.I. Chuchkalov // Journal of Physics: Conference Series. International Conference "Information Technologies in Business and Industry". – 2019. – С. 042001.

68. Фадеев, И.В. К вопросу повышения моющих и противокоррозионных свойств растворов синтетических моющих средств / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов, Н.В. Бышов, И.А. Успенский, И.А. Юхин // Научно-инновационные технологии как фактор устойчивого развития отечественного агропромышленного комплекса: матер. Национальной научно-практической конференции, РГАУ им. П.А. Костычева. – 2019. – С. 240-245.

69. Бышов, Н.В. Повышение противокоррозионных свойств растворов синтетических моющих средств для мобильной техники в АПК / Н.В. Бышов, И.В. Фадеев, Г.А. Александрова, Ш.В. Садетдинов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2019. – № 45. – С. 20-24.

70. Бышов, Н.В. Изменение контактных углов смачивания при добавлении в моющие растворы поверхностно-активных веществ / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, В.В. Алексеев, И.В. Фадеев // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29. – № 2. – С. 295-305.

71. Успенский, И.А. Анализ факторов воздействия моющих средств на сельскохозяйственную технику / И.А. Успенский, И.В. Фадеев, А.В. Шемякин, Н.В. Лимаренко, М.В. Антоненко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2021. – Т. 13. – № 3. – С. 120-129.

72. Фадеев, И.В. Повышение противокоррозионных свойств растворов для мойки деталей при ремонте автомобилей / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов, Л.Ш.

Пестряева и др. // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – № 3 (66). – С. 62-66.

73. Бышов, Н.В. Исследование способов улучшения моющих и противокоррозионных свойств растворов синтетических моющих средств / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, И.А. Юхин, И.В. Фадеев, Г.А. Александрова // Техника и оборудование для села. – 2020. – № 5 (275). – С. 42-44.

74. Юхин, И.А. Улучшение противокоррозионных свойств растворов синтетических технологических средств / И.А. Юхин, И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов, А.С. Казарин // Механика и технология. – 2020. – № 1 (1). – С. 132-137.

75. Фадеев, И.В. Повышение противокоррозионных свойств синтетических моющих средств в машиностроительной промышленности / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Наука, производство, образование: состояние и направления развития, сборник научных трудов. – 2019. – С. 105-113.

76. Маслов, Г. Г. Перспективная система машин - основа высокой эффективности / Г. Г. Маслов, Е.М. Юдина // Colloquium-journal. – 2018. – №5-5. – С. 78-83.

77. Московский, М.Н. Перспективы применения пластиков в конструкциях современных сельскохозяйственных машин / М.Н. Московский, В.И. Пахомов, С.В. Брагинец, А.И. Бурьянов // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства. – 2015. – С. 26-29.

78. Смирнов, И.Г. Оптимизация управления технологическими процессами в растениеводстве / И.Г. Смирнов, А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, В.К. Хорошников, Н.Т. Гончаров, Е.С. Лужнова // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – №3. – С. 4-11.

79. Личман, Г.И. Системы технического зрения, используемые в точном земледелии часть 2 / Г.И. Личман, И.Г. Смирнов, А.И. Беленков // Фермер. Черноземье. – 2018. – №3. – С. 22-25.

80. Пат. RU 2085454 С1 Российская Федерация, МПК В65D 88/64. Способ ликвидации зависаний и налипаний внутрибункерной массы и устройство для разгрузки внутрибункерной массы. М.Н. Трубицин; заявитель и патентообладатель ГГАУ. – № 94030092/13; заявл. 10.08.1994; опубл. 27.07.1997

81. Кузнецов, Ю.А. Исследование коррозионной стойкости покрытий на деталях сельскохозяйственной техники, изготовляемых из алюминиевых сплавов / Ю.А. Кузнецов, И.Н. Кравченко, Ю.А. Шамарин // Техника и оборудование для села. – 2018. – №4. – С. 37-41.

82. Волков, В.С. Разработка технологии и технического средства для очистки конвейера свеклоуборочных машин / В.С. Волков, Е.В. Пухов, В.А. Следченко // Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных режимах движения. – 2017. – №1. – С. 252-255.

83. Волков, В.С. Разработка методики проведения эксперимента по очистке конвейера свеклоуборочных машин / В.С. Волков, В.А. Следченко, Е.В. Пухов, С.С. Мешкова, К.Р. Казаров, С.И. Коржов // Проблемы развития технологий создания, сервисного обслуживания и использования технических средств в агропромышленном комплексе: материалы международной научно практической конференции. – 2017. – 362 с.

84. Волков, В.С. Разработка технических средств для исследования процесса очистки донья конвейеров свеклоуборочных машин от почвенных масс / В.С. Волков, Е.В. Пухов // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 6. – С. 84–89.

85. Волков, В.С. Моделирование процессов функционирования транспортных и технологических машин / В.С. Волков, Е.В. Пухов, С.С. Мешкова, В.А. Следченко, В.К. Астанин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – С. 19-25.

86. ГОСТ 18509-88. Метрологическое обеспечение оборудования и приборов для испытания и контроля. Госстандарт. – 1988. – 22с.

87. Коновалов, В.В. Практикум по обработке результатов научных исследований с помощью ПВЭМ: учебное пособие / В.В. Коновалов. – 2003. – 176 с.

88. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. Колос. Ленинградское отделение. – 1980. – 168 с.

89. Pukhov E. V. Modeling the process of liquid-mechanical cleaning of the bottom dish of the bottom conveyor of a beet harvester / E. V. Pukhov, V. S. Volkov and V. A.

Sledchenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Mechanization, engineering, technology, innovation and digital technologies in agriculture. – 2021. – Vol. 723

90. Кожухар, В. М. Основы научных исследований: Учебное пособие / В. М. Кожухар. – 2010. – 216 с.

91. Буховец, А.Г. Алгоритмы вычислительной статистики в системе R./ Буховец А.Г., Москалев П.В. // Лань. – 2015. – 160 с.

92. Спириин, Н.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Конспект лекций (отдельные главы из учебника для вузов)/ Н.А. Спириин, В.В. Лавров. – 2009. – 257 с.

93. Советов, Б. Я. Моделирование систем: учебное пособие / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев // Высш. шк. – 1998. – 319 с.

94. Bolintineanu D.S., Grest G.S., Lechman J.B., Pierce F., Plimpton S.J., Schunk P.R. Particle Dynamics Modeling for Colloid Suspensions // Comp. Part. Mech. – 2014. – Vol. 1. – P. 321-356.

95. Kovalev O.O. On Simulation of Hydraulic Fracturing Using Particle Dynamics Method // Proc. of Summer School – Conference “Advanced Problems in Mechanics”. – St. Petersburg, 2013. – P. 285-291.

96. Суравкин, А.Ю. Реализация метода SPH на CUDA для моделирования несжимаемых жидкостей / А.Ю. Суравкин // Наука и образование. – 2012. – № 7. – С. 87-106.

97. Паршиков, А.Н. Численный метод SPH, использующий соотношения распада разрывов, и его применение в механике деформируемых гетерогенных сред // Дис. докт. физ.-мат. наук. – 2013. – 202 с.

98. Давыдов, М.Н. Моделирование разрушения жидких сред с использованием метода SPH / М.Н. Давыдов, В.К. Кедринский // Ученые записки физического факультета. – 2014. – Т. 5. – с. 145302 (5 с.).

99. Allen M.P. Computer Simulation of Liquids / M.P. Allen, D.J. Tildesley // Clarendon Press. – 1987. – 408 p.

100. Полухин, В.А. Компьютерное моделирование динамики и структуры жидких металлов / В.А. Полухин, В.Ф. Ухов, М.М. Дзугутов // Наука. – 1981. – 323

с.

101. Monaghan J. Smoothed Particle Hydrodynamics // *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 1992. - Vol 30. – P. 543-574.

102. Hoover W.G. Atomistic Nonequilibrium Computer Simulations // *Physica A.* – 1983. – Vol. 118. – P. 111-122.

103. Кривцов, А.М. Деформирование и разрушение тел с микроструктурой / А.М. Кривцов // *ФИЗМАТЛИТ.* – 2007. – 304 с.

104. Гулд, Х. Компьютерное моделирование в физике / Х. Гулд, Я. Тобочник // *Мир.* – 1990. – 400 с.

105. Хеерман, Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике / Д.В. Хеерман // *Наука.* – 1990. – 176 с.

106. Лагарьков, А.Н. Метод молекулярной динамики в статистической физике / А.Н. Лагарьков, В.М. Сергеев // *УФН.* – 1978. – Т. 125. – № 7. – С. 409-448.

107. Hafner J. Atomic-Scale Computation Materials Science // *Acta Mater.* – 2000. – Vol. 48. – P. 71-92.

108. Инженерные расчеты на ЭВМ: Справочное пособие / Под ред. В.А. Троицкого // *Машиностроение.* – 1979. – 288 с.

109. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский // *Наука.* – 1976. – 279 с.

110. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин // *Колос.* – 1980. – 168 с.

111. Полухин, В.А. Компьютерное моделирование динамики и структуры жидких металлов / В.А. Полухин, В.Ф. Ухов, М.М. Дзугутов // *Наука.* – 1981. – 323 с.

112. Hafner J. Atomic-Scale Computation Materials Science / J. Hafner // *Acta Mater.* – 2000. – Vol. 48. – P. 71-92.

113. Кривцов, А.М. Деформирование и разрушение тел с микроструктурой / А.М. Кривцов // *ФИЗМАТЛИТ.* – 2007. – С. 304.

114. Хлызов, Н.Т. Некоторые методические подходы к разработке комплекса

машин для энергосберегающих технологий обработки почвы и посева / Н.Т. Хлызов // Достижения науки и техники в АПК. – 2010. – № 10. – С. 56.

115. Карпачевский, Л.О. Почва в современном мире / Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Ковалева Н.О., Ковалев И.В., Ашинов Ю.Н. // Опыт популярного изложения вопросов современного почвоведения / Майкоп. – 2018. – 164 с.

116. Сяпуков, Е.Е. О сахарозе корнеплодов и особенностях сахаронакопления / Сяпуков Е.Е., Костин В.И., Ошкин В.А. // Журнал сахарная свекла. – 2015. – С. 34-38

117. Спирин, Н.А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Конспект лекций (отдельные главы из учебника для вузов) / Н.А. Спирин, В.В. Лавров. Под общ. ред. Н.А. Спирина // Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ. – 2019. – 257 с.

118. Баландин, Н.Е. Практикум по экономике сельского хозяйства / Н.Е. Баландин, А.Р. Палис // Колос. – 1993. – 255с.

119. Полунин Г.А. Методические рекомендации по определению общего экономического эффекта от использования результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в агропромышленном комплексе / Г.А. Полунин, А.В. Гарист, Р.И. Князева // АНО «НИЦПО». – 2007. – 32с.

120. Гуцин, Д.А. Анализ экономических показателей применения зарубежных свеклоуборочных комбайнов в хозяйствах ЦФО / Д.А. Гуцин // Труды ГОСНИТИ. – 2009 – С. 166 - 168.

121. Волкова, Н.А. Экономическая оценка инженерных проектов: учебное пособие / Н.А. Волкова, В.В. Коновалов, И.А. Спицын // РИО ПГСХА. – 2002. – 242 с.

122. Жданов, В.Н. Экономическое обоснование внедрения фирменного обслуживания комбайнов / В.Н. Жданов, Г.Н. Ерохин, А.С. Решетов // Техника в сельском хозяйстве. – 1991. – №4. – С. 14-16

ПРИЛОЖЕНИЕ А



ООО «Агротех-Гарант»,
394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д.
114/14

ИНН 3666110241\366601001, р/с 40702810113000021272
в Центрально-Черноземный банк Сбербанка РФ г.
Воронеж
БИК 042007681, к/с 30101810600000000681

АКТ

о внедрении научных и практических результатов диссертации
Волкова Виталия Сергеевича на тему
«ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВ ОЧИСТКИ ДОНЬЯ
ТРАНСПОРТЕРА СВЕКЛОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА»

Настоящим актом подтверждаю, что научные и практические результаты работы Волкова В.С. внедрены в производство группы компаний «Агротех-Гарант». Результаты работы использованы на предприятии путем внедрения технологии и устройства для жидкостно-механической очистки донья конвейера свеклоуборочного комбайна.

Внедрение предложенного устройства в технологический процесс уборки сахарной свёклы позволило снизить время работ по очистке донья свеклоуборочного комбайна марки Holmer T2 до 90 % в сравнении с временем на проведение ручной очистки, а в некоторых случаях исключить её, тем самым повысило экономическую эффективность работы комбайна.

Директор ООО «Агротех-Гарант» _____ Евсеев А.В.

Научный руководитель работы _____ д.т.н., доц. Пухов Е.В.

Ответственный исполнитель _____ Волков В.С.

ВОРОНЕЖ
394087, г. Воронеж,
ул. Ломоносова, 114/14
тел: (473) 235-76-35
agrotex@vmail.ru

ЛИПЕЦК
398036, г. Липецк,
ул. Бунина, д. 11
тел. (4742) 78-77-05,
78-77-06

БЕЛГОРОД
308510, Белгородская область,
Белгородский район, п. Разумное,
проспект Ленина, д. 1а
тел.: (4722) 30-07-80

ТАМБОВ
392000, г. Тамбов,
ул. Студенческая, дом 10
тел. (4752) 47-49-36 т/ф
47-49-35, 48-78-73

АКТ
о производственной проверке и внедрении
законченной научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ в лице руководителя научно-исследовательской работы зав. кафедрой эксплуатации транспортных и технологических машин д.т.н., доцента Пухова Е.В., ответственного исполнителя Волкова В.С., и представитель в лице директора ООО НПКФ «Агротех-Гарант» Березовский Кичигина В.И. составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской работы на тему: «Обоснование технологии и средств очистки донья транспортера свеклоуборочного комбайна» выполненной на кафедре эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ» в 2021 году внедрены в ООО НПКФ «Агротех-Гарант» Березовский путем установки оборудования (совокупности технических средств), включающего емкость для жидкости (воды), напорный насос, гидрораспределитель, соединительные шланги и форсунки и обеспечивающего смачивание поверхности донья транспортера. Предложенная технология смачивания способствует дальнейшему устранению почвенных масс с донья скребками транспортера.

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

1. Использование разработанной технологии смачивания донья транспортера и средств ее реализации позволили значительно сократить время простоев свеклоуборочного комбайна, связанного с очисткой донья бункера и донного транспортёра.

2. В результате использования предложенных технологии и технических средств повышается суточная производительность

свеклоуборочного комбайна на 5-7 га в сравнении с аналогичными комбайнами работающими без предложенных решений. В денежном выражении экономия средств составляет порядка 60-80 тыс.руб. в сутки, что является значимым экономическим эффектом для предприятия.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению:

Продолжить работы по совершенствованию направления очистки других рабочих органов свеклоуборочной техники.

От ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ

Научный руководитель работы

 д.т.н., доц. Пухов Е.В.

Ответственный

исполнитель

 Волков В.С.

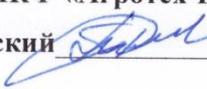
От ООО НПКФ «Агротех-Гарант»

Березовский

Директор  Кичигин В.И.

Главный инженер

ООО НПКФ «Агротех-Гарант»

Березовский  Тарарыков Д.А.



ПРИЛОЖЕНИЕ Б



Диплом

за участие

IV региональной научно-практической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
**«Современные разработки в области пищевой
промышленности, сельского хозяйства и
биотехнологии»**
(конкурс проектов по программе «УМНИК»)

25 октября 2016 года

Воронежский государственный университет
инженерных технологий
награждается участник

Волков
Виталий Сергеевич

Ректор



Е.Д. Чертов

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Программа для моделирования процесса очистки транспортера бункера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс

Программа для моделирования очистки транспортера бункера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс

Программа для моделирования процесса очистки транспортера бункера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс

Параметры модельного пространства		Параметры почвенных масс	
<input type="text" value="300"/> Длина модельного пространства, мм		<input type="text" value="1000"/> Количество элементов почвенных масс	
<input type="text" value="100"/> Высота модельного пространства, мм		<input type="text" value="0,035"/> Диаметр элемента, м	
Параметры очищающей полосы		<input type="text" value="0,08"/> Масса элемента, кг	
<input type="text" value="60"/> Ширина полосы, мм		<input type="text" value="10000"/> Коэффициент жесткости взаимодействия элементов, Н/м	
<input type="text" value="15"/> Высота полосы, мм		<input type="text" value="8"/> Коэффициент демпфирования взаимодействия элементов, Н·с/м	
<input type="text" value="1"/> Скорость движения полосы, м/с		<input type="text" value="1,02"/> Коэффициент ограничения взаимодействия элементов	
Параметры подачи воды			
<input type="text" value="100"/> Расход воды, мл/с			
<input type="text" value="15"/> Угол разбрызгивания форсунок, град.			

Рисунок В.1. Интерфейсная форма ввода параметров компьютерного эксперимента

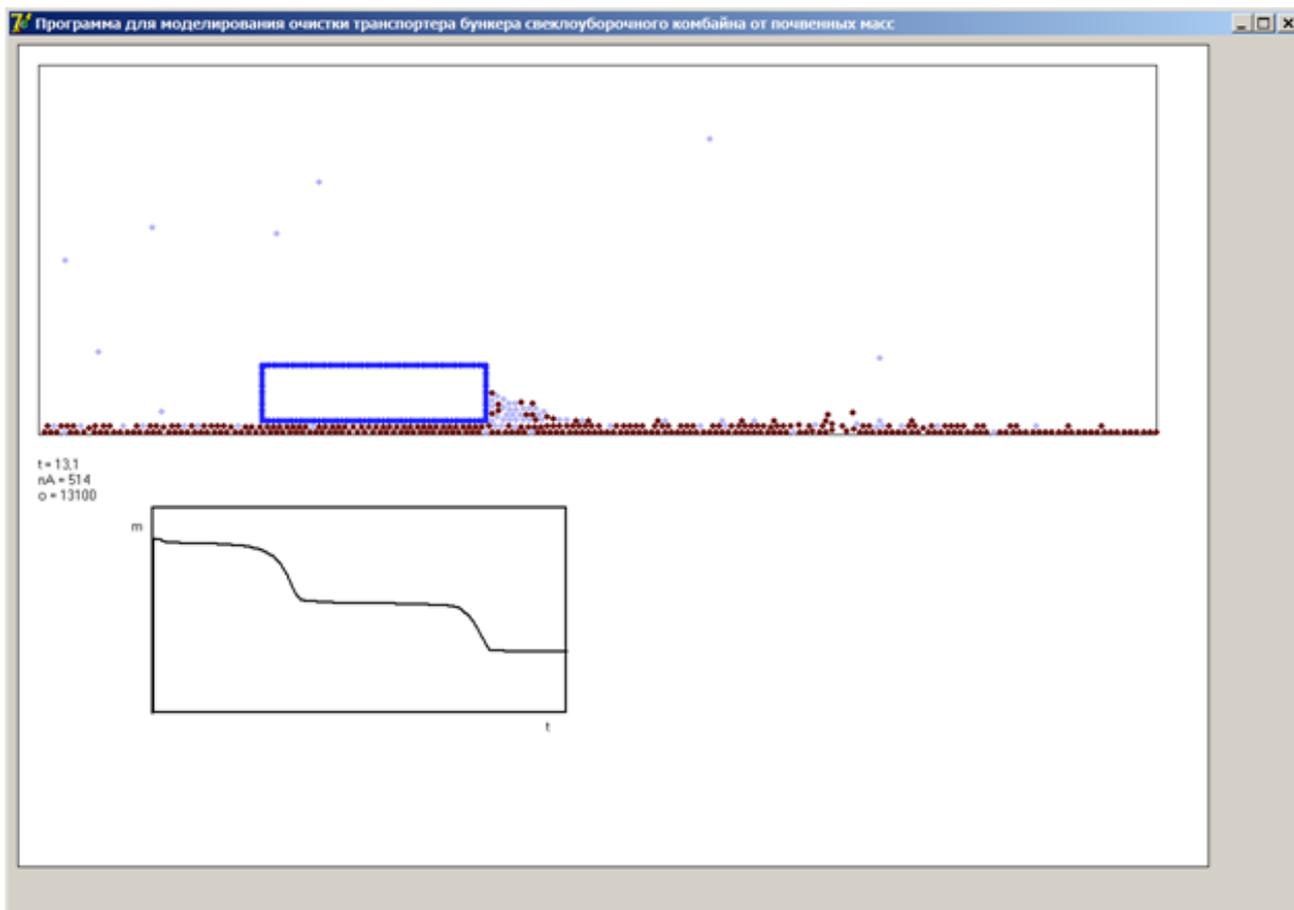


Рисунок В.2. Интерфейсная форма вывода результатов моделирования процесса очистки дна бункера свеклоуборочного комбайна

Текст программы для моделирования процесса очистки транспортера бункера свеклоуборочного комбайна от почвенных масс

```
unit ConveyerCleaner;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics,
  Controls, Forms,
  Dialogs, ExtCtrls, StdCtrls, ComCtrls;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Timer1: TTimer;
    Panel4: TPanel;
    Label6: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Label12: TLabel;
    Label13: TLabel;
    Label14: TLabel;
    Label15: TLabel;
    Label1: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label16: TLabel;
    Label17: TLabel;
    Label18: TLabel;
    Label19: TLabel;
    Label20: TLabel;
    Button1: TButton;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    Edit6: TEdit;
    Edit7: TEdit;
    Edit8: TEdit;
    Edit9: TEdit;
    Edit10: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Edit11: TEdit;
    Edit12: TEdit;
```

```

Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit19: TEdit;
Label23: TLabel;
PaintBox1: TPaintBox;
Edit17: TEdit;
Label21: TLabel;
Label22: TLabel;
Edit18: TEdit;
Label24: TLabel;
Label25: TLabel;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
procedure PaintBox1Click(Sender: TObject);
procedure StartCount;

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;

CONST
  nAm=200000; //максимальное кол.элементов
  zm=180;
VAR
  i,j,k,g,h,o,p:longint;
  dt:extended;
  nA:longint;
  D,Dr:extended;
  Dgr:extended;
  m:extended;
  Lx,Ly,Lz:extended;
  kzh,kzz,Damp:extended;
  xel,yel,del:longint;
  A,A0,PL,PL0,PLL:array[0..nAm] of record
    x,y,z:extended;
    i,j,k:longint;
    Fx,Fy,Fz:extended;
    vx,vy,vz:extended;
    c:boolean;
    t:longint;
  end;
  BMP:TBitMap;
  //Kle:array[1..nAm,1..nAm] of boolean;{Какие элементы связаны
с данным, true-связан}

```

```

NgrX,NgrY,NgrZ:longint;
gr:array[-5..1000,-5..20,-5..100,0..20]of longint;
{gr:array[-1..200,-50..150,-1..200,0..30]of longint;}
{gr:array[-1..20,-1..100,-1..20,0..30]of longint;}
Nbr:array[0..nAm*2] of longint;{Массив соседей}
r:extended;
kv:extended;
Tem:extended;
gx,gy,gz:extended;{Ускорение свободного падения}
kz:extended;
count:longint;
odx,ody,odz:array[0..nAm]of longint;
up:array[-100..1100,0..16000] of longint;
ind:longint;
dbl:longint;
DC,DP,DA,DS,DB,DE,DF:record
    x,y,z:extended;
end;
rdisc,ddisc:extended;

RRdisc,alfdisc,betdisc,lendisc,a_disc,b_disc,c_disc,d_disc:extended;
nP,nPB,nP_Final:longint;

FName_soil,FName_plgh:string;
TeFile:TextFile;

SoilIsPreparing,ExpIsGoing:boolean;

SpinRate{,PlghRate}:extended;
DL:extended;
NTrj:longint;
PlSum,PlSumS,PlA,PlAS:extended;

Fx,Fy,Fz:extended;
fi,SpinV:extended;
fi0,ri0:extended;
t:extended;

hB,lB,alfB,betB:extended;
Abo,Bbo,Cbo,Dbo:extended;

dSP:extended;
nSPx,nSPz:longint;
SPColor:longint;
MaxSP:extended;

SoilLev:extended;
NLayD,NLayU:longint;
PlghStop:boolean;
TimeOfPlStop:longint;
LowPl:extended;
Depth:extended;

```

```

NShifted:longint;
Turnity,TurnityZX,TurnityXX,Displacement:extended;
LevOld,LevNew,LevOldX,LevNewX:extended;

start:boolean;
NExp:longint;
LetSavePict:boolean;
NFrame:longint;

c1,c2,c3:extended;
c1x,c1y,c1z,c2x,c2y,c2z,
c3x,c3y,c3z,c4x,c4y,c4z:array[0..10000]of extended;
c1x0,c1y0,c1z0,c2x0,c2y0,c2z0,
c3x0,c3y0,c3z0,c4x0,c4y0,c4z0:array[0..10000]of extended;

o1x,o1y,o1z,o2x,o2y,o2z,o3x,o3y,o3z,o1x0,o1y0,o1z0,o2x0,o2y0,o2z
0,o3x0,o3y0,o3z0:array[0..10000]of extended;
u1x,u1y,u1z,u1x0,u1y0,u1z0:array[0..10000]of extended;

cA,cB,cC,cD:extended;
co:extended;
ST0,ST1,ST2,ST3:extended;
nT,cN:longint;

Nszh:longint;
szh:array[0..20]of record
  l,lc,m,Jx,Jy,Jz,
  xc,yc,zc,vxc,vyc,vzc,Fxc,Fyc,Fzc,
  fix,fiy,fiz,omex,omey,omez,Mx,My,Mz:extended;
  x,y,z,vx,vy,vz,Fx,Fy,Fz:array[0..100] of extended
end;
Pow1,Pow2:array[0..50000]of extended;
PowMid1,PowMid2:extended;
AccX,AccY:extended;

ve:array[0..100]of record
  x,y,z,l:extended; end;
SzhDist:extended;
AccL,AccA:extended;
roB,roS,roM:extended;

alf,bet:extended;

e:longint;
//GMZ1,GMZ2:extended;
dex1,dex2,dez1,dez2:extended;

Pad:array[0..10000]of record
  x,z,t:extended;
  n:longint;
end;
PR:array[0..200]of extended;

```

```

PSR:extended;
PRMid:extended;
Proizv:extended;

FFx,FFy,FFz:extended;

nO:longint;
rP2,rP1,r12,r23:extended;
nU:longint;

xC0,xC1,xC2,yC0,zC0:extended;
RK,BM:extended;
LST,omeV:extended;
LL1,LL2,BL,uL,uL2:extended;

kvar,kvara,kvarx,kvary,kvarz:array[0..100000]of extended;
NRR,NGG,NRG:longint;

xsr,ysr,zsr:extended;

concl,conc2,concsr,conc3,conc4,conc5,conc6,conc7,conc8:extended;
kcsr,kcsra,kcsrx,kcsry,kcsrz:extended;

percentage:extended;

In_vokr,In_sdv,In_BLop,In_HLop,In_Zazor,In_FiLop,In_FiLop2,In_Di
st:extended;
Po:extended;
PoAr:array[0..100000]of extended;
PoM:extended;
In_kcLevel:extended;
tsm:extended;

xC,yC,zC:extended;
BK,ome:extended;

FName,SName,LName:string;
SF_File:TextFile;
ch,ch2:char;
StrType:array[0..100000]of longint;
TRG:array[0..10000]of record
  n1,n2,n3:longint;
  P,fiX,S,z:extended;
end;
NTRG:longint;
str:string;
val:array[0..200]of longint;

B:array[0..500000]of record
  x,y,z:extended;
  nx,ny,nz:extended;
end;
NB:longint;

```

```

OTRE:array[0..13000]of record n1,n2:longint; end;
q,r1,r2:extended;

TF:TextFile;
FN:string;
vtransp:extended;

xP,zP,vzP,FzP,mp:extended;

xG,hG,sG:array[0..1000]of extended;

implementation

{$R *.dfm}
{$M 10000, 130000000}
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
Randomize;
Panel4.Visible:=true;
Start:=false;
NExp:=0;
NFrame:=0;
LetSavePict:=false;
Pad[0].n:=0;
end; {Конец FormCreate}

{Нажатие на кнопку [Запуск]}
PROCEDURE TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
StartCount;
end;

{Задание исходных параметров}
PROCEDURE TForm1.StartCount;
BEGIN
Panel4.Visible:=false;

With PaintBox1.Canvas do TextOut(10,10,FloatToStr(i));
With PaintBox1.Canvas do TextOut(10,30,FloatToStr(j));
With PaintBox1.Canvas do TextOut(10,50,FloatToStr(k));

gx:=0; gy:=0; gz:=10;
PlA:=0; PlAS:=0;

t:=0;
fi:=0;
o:=0;

NSzh:=0;

```

```

{Считывание параметров эксперимента}

nA:=StrToInt(Edit5.Text){15000};
percentage:=StrToInt(Edit4.Text)/100{15000};

D:=StrToFloat(Edit6.Text){0.06};
m:=StrToFloat(Edit7.Text){0.2};

//kzh:=StrToFloat(Edit8.Text){500};
//kzz:=kzh;

ExpIsGoing:=true; SoilIsPreparing:=false;

A0:=A;

Start:=true;
END;

{Процедура рисования картинки}
Procedure DrawSoil;
begin
BMP:=TBitmap.Create;
BMP.Width:=1850{1400}{820};
BMP.Height:=1000{1000}{630};

With BMP.Canvas do
begin
Brush.Color:=ClWhite; Pen.Color:=ClBlack;
Rectangle(0,0,1850{1100},1000{930});

//Rectangle(20,20,20+round(Ly*zm),20+round(Lz*zm));
Rectangle(20,20,20+round(Lx*zm),20+round(Lz*zm));

//Rectangle(20,40+round(Lz*zm),20+round(Ly*zm),40+round(Lz*zm)+r
ound(Lx*zm));

TextOut(20,400,'t = '+FloatToStr(t));
TextOut(20,415,'nA = '+FloatToStr(nA));
TextOut(20,430,'o = '+FloatToStr(o));

del:=round(D/2*zm);

for i:=1 to nA do
begin
if A[i].t=-1 then Brush.Color:=RGB(130,130,130);
if A[i].t=0 then Brush.Color:=RGB(30,30,255);
if A[i].t=1 then Brush.Color:=RGB(100,0,0);
if A[i].t=2 then Brush.Color:=RGB(180,180,250);
Pen.Color:=Brush.Color;

```

```

    xel:=20+round(A[i].x*zm);
    yel:=20+round(Lz*zm)-round(A[i].z*zm);
    Ellipse(xel+del,yel+del,xel-del,yel-del);
end;

end;

Form1.PaintBox1.Canvas.Draw(0,0,BMP);
NFrame:=NFrame+1;
BMP.SaveToFile('d:\FR'+IntToStr(NFrame)+'.bmp');

BMP.Free;
end;

{ОСНОВНОЙ ЦИКЛ}
procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
if start=true then for e:=1 to 100 do begin

dt:=0.001{0.0007};

o:=o+1;
t:=t+dt;

gz:=10;
if ExpIsGoing then kv:=1{0.99};

kzh:=10000{60000}{20000};
kzz:=kzh;

// Сыпучий материал
Dr:=0.000;
Damp:=8{20}{30}{10};

Lx:=10{/10};
Ly:=0.5;
Lz:=2;

vtransp:=0.5;

if o=1 then
begin
// Начальное размещение полосы
xP:=0.1; zP:=1.5; vzP:=0;
mp:=5;

// Генерируем параметры гауссовых функций
for i:=1 to 200 do

```

```

begin
xG[i]:=-Lx*0.3+(Lx*1.6)*random;
hG[i]:=-0.01*random;
sG[i]:=0.05+0.05*random;
end;

// Начальное размещение элементов
(*nA:=1000;
for i:=1 to 150 do A[i].t:=0;
for i:=151 to nA do A[i].t:=1;
for i:=1 to nA do
begin
A[i].x:=0.05+(Lx-0.05*2)*random;
A[i].y:=Ly/2{0.05+(Ly-0.05*2)*random};
A[i].z:=0.05+Lz*0.5*random;
A[i].vx:=0; A[i].vy:=0; A[i].vz:=0;
end;*)

// Начальное размещение элементов неровной поверхности
nA:=650{1000};
for i:=1 to 150 do A[i].t:=0;
for i:=151 to nA do A[i].t:=1;
for i:=151 to nA do
begin
A[i].x:=0.02+(i-151)*0.02;
A[i].y:=Ly/2{0.05+(Ly-0.05*2)*random};
A[i].z:=0.2;
for j:=1 to 200 do A[i].z:=A[i].z+hG[j]*exp(-sqr((A[i].x-
xG[j])/sG[j]));
A[i].t:=-1;
A[i].vx:=0; A[i].vy:=0; A[i].vz:=0;
end;
end;

// Перемещение элементов перекладины
for i:= 1 to 60 do begin A[i].x:=xP+(i-1)*0.02/59*60;
A[i].z:=zP; end;
for i:= 61 to 75 do begin A[i].x:=xP+60*0.02;
A[i].z:=zP+(i-60)*0.02; end;
for i:=76 to 135 do begin A[i].x:=xP+(i-75)*0.02;
A[i].z:=zP+15*0.02; end;
for i:=136 to 150 do begin A[i].x:=xP;
A[i].z:=zP+(i-135)*0.02; end;

// Поступление новых элементов
if o mod 100 = 0 then
begin
nA:=nA+1;
A[nA].t:=2;
A[nA].x:=Lx-3;
A[nA].y:=Ly/2;
A[nA].z:=1.6;

```

```

A[nA].vx:=-2+random*0.2;
A[nA].vz:=-2+random*0.2;
end;

{Шаг сетки}
Dgr:=(D+Dr)*1.05;

{Распределение элементов по ячейкам решетки}
NgrX:=round(Lx/Dgr)+1;
NgrY:=round(Ly/Dgr)+1;
NgrZ:=round(Lz/Dgr)+1;
for i:=-1 to NgrX do
  for j:=-1 to NgrY do
    for k:=-1 to NgrZ do
      gr[i,j,k,0]:=0;
for i:=1 to nA do
  begin
  A[i].i:=round(A[i].x/Dgr);
  A[i].j:=round(A[i].y/Dgr);
  A[i].k:=round(A[i].z/Dgr);
  gr[A[i].i, A[i].j, A[i].k, 0]:=gr[A[i].i, A[i].j, A[i].k,
0]+1;
  gr[A[i].i, A[i].j, A[i].k, gr[A[i].i, A[i].j, A[i].k, 0]]:=i
  end;

{Расчет сил на каждый элемент}
For p:=1 to nA do
  begin
  A[p].Fx:=0; A[p].Fy:=0; A[p].Fz:=-m*gz*1.5;
  end;

for p:=1 to nA do
  begin
  {Выбор всех элементов, которые в соседних ячейках}
  Nbr[0]:=0;
  for i:=(A[p].i)-1 to (A[p].i)+1 do
    for j:=(A[p].j)-1 to (A[p].j)+1 do
      for k:=(A[p].k)-1 to (A[p].k)+1 do
        for g:=1 to gr[i, j, k, 0] do
          begin
            Nbr[0]:=Nbr[0]+1;
            Nbr[Nbr[0]]:=gr[i, j, k, g];
          end;
  {Расчет взаимодействия с соседними элементами}
  for g:=1 to Nbr[0] do
    begin
      h:=Nbr[g];
      if h<=p then continue;
      if abs(A[p].y-A[h].y)>(D+Dr) then continue;
      if abs(A[p].x-A[h].x)>(D+Dr) then continue;
      if abs(A[p].z-A[h].z)>(D+Dr) then continue;
      r:=sqrt(sqr(A[p].x-A[h].x)+sqr(A[p].y-A[h].y)+sqr(A[p].z-

```

```

A[h].z));
  if r>(D+Dr) then continue;
  {if kle[p,h] then kz:=kzh else kz:=kzz;}
  {if r<(D+DR) then}
  begin
    Fx:=- (r-D)*kzh*(A[p].x-A[h].x)/(r+1e-20);
    Fy:=- (r-D)*kzh*(A[p].y-A[h].y)/(r+1e-20);
    Fz:=- (r-D)*kzh*(A[p].z-A[h].z)/(r+1e-20);
  end;
  {Учет демпфирования}
  Fx:=Fx-Damp*(A[p].vx-A[h].vx);
  Fy:=Fy-Damp*(A[p].vy-A[h].vy);
  Fz:=Fz-Damp*(A[p].vz-A[h].vz);

  A[p].Fx:=A[p].Fx+Fx;
  A[p].Fy:=A[p].Fy+Fy;
  A[p].Fz:=A[p].Fz+Fz;
  A[h].Fx:=A[h].Fx-Fx;
  A[h].Fy:=A[h].Fy-Fy;
  A[h].Fz:=A[h].Fz-Fz;
  end;
end;

// Действие со стороны стенок
for p:=1 to nA do
  begin
    r:=kzh{*10};
    q:=Damp*2;
    if A[p].x<D/2 then A[p].Fx:=A[p].Fx-(A[p].x- D/2)*r-
q*A[p].vx;
    if A[p].x>Lx-D/2 then A[p].Fx:=A[p].Fx-(A[p].x-Lx+D/2)*r-
q*A[p].vx;
    {if A[p].y<D/2 then A[p].Fy:=A[p].Fy-(A[p].y- D/2)*r-
Damp*A[p].vy;
    if A[p].y>Ly-D/2 then A[p].Fy:=A[p].Fy-(A[p].y-Ly+D/2)*r-
q*A[p].vy;}

    // Взаимодействие с транспортером
    if A[p].z<D/2 then
      begin
        A[p].Fz:=A[p].Fz-(A[p].z- D/2)*r-q*A[p].vz;
        A[p].Fx:=A[p].Fx+(0-A[p].vx)*Damp;
      end;

    if A[p].z>Lz-D/2 then A[p].Fz:=A[p].Fz-(A[p].z-Lz+D/2)*r-
q*A[p].vz;
  end;

Pow1[o]:=0;
Pow2[o]:=0;

```

```

DL:=D/2;

// Расчет сил на полосу
xP:=xP+1*dt;
Fzp:=-mp*gz*1.5;
for i:=1 to 150 do Fzp:=Fzp+A[i].Fz;

// Интегрирование уравнений движения
for p:=1 to nA do if A[p].t>0 then
begin
A[p].x:=A[p].x+A[p].vx*dt+A[p].Fx/m*dt*dt/2;
//A[p].y:=A[p].y+A[p].vy*dt+A[p].Fy/m*dt*dt/2;
A[p].z:=A[p].z+A[p].vz*dt+A[p].Fz/m*dt*dt/2;
A[p].vx:=A[p].vx+A[p].Fx/m*dt;
//A[p].vy:=A[p].vy+A[p].Fy/m*dt;
A[p].vz:=A[p].vz+A[p].Fz/m*dt;
end;

zP:=zP+vzP*dt+Fzp/mp*dt*dt/2;
vzP:=vzP+Fzp/mp*dt;

// Интегрируем уравнения движения полосы

(*)
{возвращение элементов в объем}
for p:=1 to nA do
begin
r:=0.00;
if A[p].x<0 then begin A[p].x:=0; {A[p].vx:=-A[p].vx*r;
A[p].vy:=A[p].vy*r; A[p].vz:=A[p].vz*r;} end;
if A[p].x>Lx then begin A[p].x:=Lx; {A[p].vx:=-A[p].vx*r;
A[p].vy:=A[p].vy*r; A[p].vz:=A[p].vz*r;} end;

if A[p].y<0 then begin A[p].y:=0; {A[p].vy:=-A[p].vy*r;
A[p].vx:=A[p].vx*r; A[p].vz:=A[p].vz*r;} end;
if A[p].y>Ly then begin A[p].y:=Ly; {A[p].vy:=-A[p].vy*r;
A[p].vx:=A[p].vx*r; A[p].vz:=A[p].vz*r;} end;

if A[p].z<0 then begin A[p].z:=0; {A[p].vz:=-A[p].vz*r;
A[p].vy:=A[p].vy*r; A[p].vx:=A[p].vx*r;} end;
if A[p].z>Lz then begin A[p].z:=Lz; {A[p].vz:=-A[p].vz*r;
A[p].vy:=A[p].vy*r; A[p].vx:=A[p].vx*r;} end;
end;
*)

{Рисование картинки}
if o mod 50{30} = 0 then
DrawSoil;

```

```
end; {Конец основного цикла}
```

```
END; {Конец процедуры таймера}
```

```
{При нажатии на Пейнтбокс рисуется картинка}  
procedure TForm1.PaintBox1Click(Sender: TObject);  
begin  
  //DrawSoil;  
end;
```

```
end.
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Построение картограмм оптимизации в программе Mathcad 14

$$X := \begin{pmatrix} 50 & 10 \\ 50 & 25 \\ 50 & 40 \\ 100 & 10 \\ 100 & 25 \\ 100 & 40 \\ 150 & 10 \\ 150 & 25 \\ 150 & 40 \end{pmatrix} \quad F := \begin{pmatrix} 610 \\ 430 \\ 280 \\ 315 \\ 160 \\ 93 \\ 205 \\ 100 \\ 70 \end{pmatrix}$$

$$z := \text{regress}(X, F, 2)$$

$$z_8 = 0.037$$

$$z_7 = -12.228$$

$$z_4 = 0.143$$

$$z_5 = -21.281$$

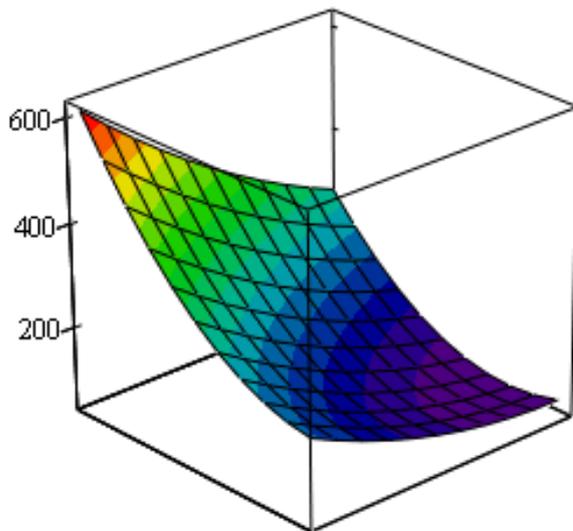
$$z_3 = 0.065$$

$$z_6 = 1.298 \times 10^3$$

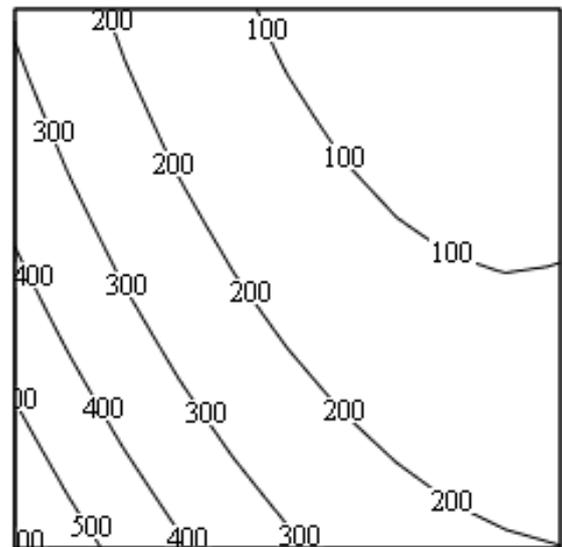
$$f(x, y) := z_8 \cdot x^2 + z_4 \cdot y^2 + z_3 \cdot x \cdot y + z_7 \cdot x + z_5 \cdot y + z_6$$

$$i := 0..10 \quad j := 0..10$$

$$x_i := 50 + 100 \cdot \frac{i}{10} \quad y_j := 10 + 30 \cdot \frac{j}{10} \quad A_{i,j} := f(x_i, y_j)$$



A



A