

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МСХА
ИМЕНИ К. А. ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи

АБДУЛМАЖИДОВ ХАМЗАТ АРСЛАНБЕКОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ЭКСПЛУАТАЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ
МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ**

Специальность: 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор
Тойгамбаев Серик Кокибаевич

Москва – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	12
1.1. Природно-эксплуатационные условия системы мелиоративного осушения	12
1.2. Геометрические размеры, технологические характеристики мелиоративных каналов и их состояние	19
1.3. Причины выхода из строя осушительных каналов и их основные виды	24
1.4. Специфика ремонта и восстановления осушительных систем и способы очистки дна каналов	27
1.5. Определение объемов наносов и заилений в каналах и периодичности очистки каналов	29
1.6. Условия обеспечения эксплуатационных характеристик каналов	33
1.7. Основные характеристики мелиоративных каналоочистителей, учитываемые при их включении в состав восстановительных комплексов	40
1.8. Технические средства для эксплуатационно-восстановительных операций в осушительной зоне	44
1.9. Классификация каналоочистительных машин	54
1.10. Особенности конструкций рабочего оборудования каналоочистительных машин	55
Выводы по первой главе	58
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И ПРОЦЕССА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ	60
2.1. Технологические особенности мелиоративных каналов и их структурная классификация	60
2.2. Каналы трапецидального сечения как наиболее распространенные на мелиоративных системах	62
2.3. Профили сечения каналов с наилучшей пропускной способностью	63
2.4. Устойчивость откосов трапецидальных каналов мелиоративной сети	65
2.5. Общие положения по выбору концепции очистки каналов от наносов	78
2.6. Моделирование процесса очистки каналов осушительной системы	91
2.7. Обоснование технологических параметров и режимов работы каналоочистительных машин	99
2.8. Особенности выбора машин для оптимальных комплексов по очистке осушительных каналов	112
2.9. Процесс разработки наносов и заилений в осушительных каналах ковшевыми каналоочистителями	118

2.10. Теоретические исследования разработки наносных грунтов ковшевыми рабочими органами	131
2.11. Зависимость усилий копания от схемы взаимодействия рабочего органа с грунтом	134
2.12. Эксплуатационные, экономические, качественные показатели каналоочистителей и обоснование направленности исследований	137
Выводы по второй главе	146
ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	148
3.1. Программа и методика проведения экспериментальных исследований по определению устойчивости откосов мелиоративных каналов	148
3.2. Лабораторные исследования устойчивости откосов мелиоративных осушительных каналов	149
3.3. Программа экспериментальных исследований моделей рабочих органов каналоочистителей	159
3.4. Методика проведения экспериментальных исследований рабочих органов каналоочистителей	161
3.5. Определение эксплуатационных характеристик модельных и натуральных образцов ковшей каналоочистителя на жестких направляющих	166
3.6. Экспериментальные исследования процесса копания	169
3.7. Полевые испытания каналоочистителя ОКН-0,5 с уширенным ковшом	181
3.8. Исследования работы ковшей в натуральную величину по удалению наносов и заилений из канала	190
3.9. Анализ выполненных исследований и планирование работ по модернизации существующих и созданию новых конструкций рабочих органов каналоочистителей	198
Выводы по третьей главе	201
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	203
4.1. Результаты экспериментальных исследований устойчивости откосов каналов	203
4.2. Методика обработки результатов экспериментальных исследований	205
4.3. Обоснование выбора рабочих органов каналоочистителей	210
4.4. Удаление наносов, заилений и растительности со дна и прилежащих к нему частей откосов каналов	214
4.5. Отличительные характеристики рабочих органов мелиоративных каналоочистителей	216
4.6. Проектирование и прочностные расчеты конструкций рабочих органов каналоочистительных машин	226
4.7. Расчет технико-эксплуатационных и качественных параметров каналоочистителя с прямолинейным движением ковша на роликах	233

4.8. Обоснование применения и технологические характеристики ковша с трапецеидальным профилем	237
4.9. Конструирование ковшей для очистки дна и откосов каналов в зависимости от наличия элементов их крепления	239
Выводы по четвертой главе	255
ГЛАВА 5. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И СОСТАВА ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ МАШИН ДЛЯ ОЧИСТКИ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ	257
5.1. Формирование технологии очистительных работ и обоснование оптимального состава комплекса машин по очистке и восстановлению мелиоративных каналов	257
5.1.1. Анализ существующих технологий очистительных работ на мелиоративных системах	257
5.1.2. Состояние дел по выпуску каналоочистителей, представленных в Системе машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства в части мелиорации	260
5.1.3. Формирование новой технологии очистительных работ на мелиоративных системах	262
5.1.3.1. Применение технологий работы с БПЛА при выполнении каналоочистительных работ	264
5.1.3.2. Дальнейшие перспективы использования БПЛА при очистке мелиоративных каналов	270
5.2. Формирование оптимальных комплексов машин для очистки и восстановления мелиоративных каналов	276
Выводы по пятой главе	281
ГЛАВА 6. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СФОРМИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ КАНАЛООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ЗОНЫ ОСУШЕНИЯ АПК	283
6.1. Экономическая оценка предложенных комплексов машин	283
6.2. Выбор оптимального варианта комплекса машин для очистки и восстановления мелиоративного канала	290
Выводы по шестой главе	294
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ОБЩИЕ ВЫВОДЫ)	295
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	299
ПРИЛОЖЕНИЯ	332

ВВЕДЕНИЕ

Качественное функционирование мелиоративных систем осушительных и оросительных зон является результатом постоянного ухода, своевременного проведения текущих, капитальных и аварийных ремонтов.

Осушительная система – это комплекс инженерных сооружений и устройств для регулирования водного режима переувлажненных земель в согласовании с потребностями сельскохозяйственного производства. Основной задачей осушительных мелиораций является удаление лишней воды с болот и заболоченных земель. Важным фактором здесь является то, что нет необходимости в окончательном осушении заболоченных земель, ибо такое решение задачи приводит к частым пожарам в период засухи (например, лесные пожары и тлеющие торфяники в Подмосковье в 2000, 2002, 2006, 2010 годов) [248, 267]. В такие периоды возникают вопросы о целесообразности строительства, эксплуатации и очистке осушительных каналов, и, даже возможности их обратной засыпки. Это, конечно, не выход из сложившейся ситуации. Изучив причины и факторы, способствующие возникновению и распространению пожаров, можно констатировать, что осушительные каналы не нужно закапывать. Их необходимо очищать и настроить, чтобы создать систему двойного регулирования: т. е., в весенне-паводковый [182] период открывать осушительные каналы, для того чтобы удалить влагу из мелиоративной системы, а в летний сезон засухи каналы перекрывать, чтобы они удерживали воду и давали влагозарядку для торфяных массивов.

С точки зрения мелиорации земель нашу страну условно можно разделить на две зоны: осушение и орошение. Осушение приходится на условно северные территории, на европейскую часть, на такие области как Московская, Тверская, Брянская, Смоленская и т. д. Орошение проводится на южных территориях, включающих в себя Краснодарский край, Ставропольский край, Ростовская область и Республики Северного Кавказа. Существуют также и зоны рискованного земледелия,

преимущественно северные территории. С этой точки зрения при большой площади территории Российской Федерации, пригодных для выращивания сельскохозяйственных культур земель сравнительно не много.

Наиболее развитая мелиорация в настоящее время наблюдается в Нидерландах, по выращиванию некоторых видов сельхозпродукции, имея небольшие площади, эта страна занимает второе место в мире. Это можно объяснить качественно функционирующими мелиоративными системами, обеспечение постоянного ухода за каналами, своевременного проведение текущих и капитальных ремонтов. Кроме того, для выполнения каждой технологической операции по очистке и ремонту каналов используется отдельная специализированная техника.

Конечно, в нашей стране также производились каналоочистительные машины, так и мелиоративные машины в целом [192]. Однако выпуск их к настоящему времени значительно сокращен. Золотой век советской мелиорации приходится на период с 1965 по 1986 годы. Все же некоторые заводы РФ и Республики Беларусь продолжают выпускать определенные марки мелиоративных машин.

Исходя из изложенного, очевидно, сколь актуальна задача разработки средств механизации и их комплексного применения [156], которые способствовали бы повышению эффективности осушительных систем.

Основными причинами неудовлетворительного состояния осушительных каналов являются:

- прекращение проведения ухода, технического обслуживания и проведения текущих, капитальных и аварийных ремонтов;
- прекращение выпуска специализированной мелиоративной техники;
- неспособность мелиоративных предприятий и организаций приобретать новую мелиоративную технику;
- отсутствие финансирования по внедрению новых конструкторских разработок каналоочистительных машин;
- недостаточное финансирование мелиоративных предприятий и хозяйств.

Целью диссертационной работы является научно-методическое обеспечение совершенствования технологий и технических средств эксплуатации и восстановления мелиоративных каналов для качественной очистки и поддержания устойчивости откосов.

Объектом исследований являются технологии и технические средства для очистки осушительных каналов сельскохозяйственных земель.

Предметом исследования является комплекс графо-математических методов, инструментальных средств и технических способов обеспечения устойчивости откосов мелиоративных каналов и их очистки с восстановлением проектного профиля для качественного функционирования технических систем.

Настоящая работа включает в себя следующие этапы: выявление проблемы в мелиоративной отрасли, касающейся качественного функционирования каналов и всей системы в целом; определение цели работы, достижением которой решается проблема в мелиоративной отрасли; постановка задач, решением которых достигается цель работы; решение задач выполняется теоретическими, экспериментальными или комбинированными методами. Кроме этого, выдвигается гипотеза о возможности решения выявленной проблемы в мелиоративной отрасли, которая может быть подтверждена или опровергнута результатами исследований.

Диссертационная работа выполнена как одна из составных частей программы повышения эффективности мелиоративных систем для зоны осушения.

Работа посвящена исследованию процесса возникновения дефектов осушительных каналов и нарушения пропускной способности, использованию полученных результатов для разработки инженерно-мелиоративных мероприятий по очистке каналов и совершенствованию существующих каналоочистительных средств механизации в условиях зоны осушения.

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в:

– разработке экспериментального метода определения предельных значений устойчивости откоса канала при распределенных нагрузках вдоль его бермы на

длину опорной части гусеничного ходового устройства каналоочистительной машины;

– разработке коэффициента эксплуатации для определения устойчивости откоса канала с учетом физических характеристик грунтов;

– разработке математической модели по определению тяговых усилий в работе каналоочистительного ковша, перемещающегося при очистке дна и откосов канала от наносов и заилений по жестким направляющим конструкциям;

– методике выбора оптимального состава каналоочистительного комплекса по удалению из каналов наносов, заилений и кустарниковой растительности на основе энергетических затрат каждой машины;

– разработке новых технологий работ и конструкций рабочих органов каналоочистителей.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке (обосновании):

расчетных аналитических зависимостей по определению устойчивости откосов каналов с учетом разработанного в диссертационной работе эксплуатационного коэффициента;

расчетных аналитических зависимостей по определению геометрических размеров рабочих органов каналоочистителей;

конструкций рабочих органов каналоочистителей (патенты на изобретения №2500858, №2578244; патенты на полезные модели №149228, №218348, №219569);

оптимальных комплексов каналоочистительных машин на основании их энергетических составляющих, использования технологических приемов, способов и технических средств эксплуатации, реконструкции, восстановления и функционирования каналов инженерно-мелиоративных систем за счет качественной очистки и поддержания устойчивости откосов каналов;

зарегистрированных баз данных (№ 2024621209 «Мелиоративные каналоочистительные машины»; № 2024621207 «Формирование комплексов машин для очистки и восстановления мелиоративных каналов»);

технологических карт по очистке и восстановлению мелиоративных каналов.

Методология и методы исследования. В работе применен комплексный метод исследований, основанный на использовании принципов общей теории планирования экспериментов, методов физического, математического моделирования и программирования с использованием компьютерных программ (Компас, nanoCAD, GeoStab, T-FLEX CAD) и математической статистики. Информационной базой исследований явились экспериментальные, теоретические и методические разработки, выполненные автором в течение 2013–2024 гг. Обработка результатов однофакторного, многофакторного и системного анализов исследований осуществлялась с использованием расчетного пакета Mathcad и разработанных автором в данной среде модулей программного обеспечения.

Вклад автора в проведенное исследование. Все главы диссертации выполнены исключительно автором. Конструкции новых рабочих органов – ковшей каналоочистителя на жестких направляющих, их расчеты выполнены автором.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Результаты анализа естественно-производственных условий эксплуатации, восстановления и реконструкции каналов инженерно-осушительных систем АПК.

2. Результаты теоретических исследований:

а) по определению физических свойств и конструкционных особенностей откосов мелиоративных каналов и обеспечению их устойчивости;

б) процесса очистки и восстановления осушительных каналов очистительными машинами с ковшовыми рабочими органами.

3. Результаты проведенных экспериментальных исследований:

а) по обеспечению устойчивости откосов каналов инженерно-осушительных систем;

б) работы рабочих органов мелиоративных каналоочистителей по определению тяговых усилий при работе и эффективности их применения для очистки и восстановления осушительных каналов сельскохозяйственных земель.

4. Сформированные эффективные технологии производства восстановительных и очистных работ каналов инженерно-мелиоративных систем на основе экспериментальных исследований.

5. Разработанные и исследованные новые конструкции рабочих органов каналоочистительных машин на основе проектных требований к каналам.

6. Обоснованные и предложенные оптимальные по технико-эксплуатационным и технико-экономическим показателям комплексы каналоочистительных машин для зоны осушения АПК.

7. Обоснованные и предложенные технологии использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для исследования, оценки и контроля состояния осушительных каналов сельскохозяйственного производства.

8. Результаты диссертационных исследований, получившие внедрение.

9. Результаты оценки экономической эффективности предложенных по технико-эксплуатационным и технико-экономическим показателям комплексов каналоочистительных машин для зоны осушения АПК.

Степень достоверности и апробация результатов, научных положений, рекомендаций, эффективности новых конструкционных решений, результатов экспериментальных, теоретических исследований и выводов подтверждается применением апробированных методов обработки и оценки научных исследований, высокой сходимостью положений теоретических и экспериментальных исследований, производственным аудитом технических решений исследований на предприятиях сельскохозяйственной и мелиоративной направленности. Главные составляющие диссертационной работы представлены, доложены, обсуждены и одобрены: на заседаниях кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ с 2001 по 2024 год, а также рассмотрены и одобрены на международных научных конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов ФГБОУ ВПО МГУ Природообустройства (г. Москва, 2000-2014 гг.), на МНПК Логистика, транспорт, природообустройство (г. Ереван, 2013-2015 гг.), на МНПК ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова (г. Москва 2014 г., 2017 г.), на МНПК Белгород-

ского ГАУ (п. Майский, 2018 г.), на Всероссийской (национальной) НК Новосибирского ГАУ (г. Новосибирск, 2018 г.), на региональной НПК Казанского ГАУ (г. Казань, 2018 г.), на ВНПК Башкирского ГАУ (г. Уфа, 2018 г.), на МНТК Тюменского ИУ (г. Тюмень, 2015, 2017-2019 гг.), на МНПК Кабардино-Балкарского ГАУ (г. Нальчик, 2021 г.), на МНПК Тверской ГСА (г. Тверь, 2023 г.), на НПК Саратовского ГАУ (г. Саратов, 2017-2019 гг., 2023 г.), на Международных Летних и Зимних школах ЮКУ им. Ауэзова, (г. Шымкент, Республика Казахстан, 2022-2024 гг.), на МНПК Белорусской ГСА (г. Горки, Республика Беларусь, 2024 г.). на научных конференциях РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, 2015-2024 гг.)

Реализация результатов исследований. Основные результаты исследований внедрены в Ассоциации дилеров сельскохозяйственной техники «АСХОД», г. Москва; ООО «Научно-производственное объединение «Экар», г. Москва; на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. Результаты исследований отражены в 2 учебно-методических пособиях по конструкции, расчету и потребительским свойствам технологических машин. Конструкторско-технологические решения по новым рабочим органам каналоочистителей для очистки каналов с учетом физических процессов обеспечения устойчивости откосов, внедрены в учебный процесс и используются при курсовом проектировании, выполнении ВКР студентами профилей подготовки «Механизация и автоматизация гидромелиоративных работ» и «Техника и технологии гидромелиоративных работ».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 170 печатных работ, в том числе 20 в ведущих рецензируемых научных журналах из перечня, рекомендованного ВАК Минобрнауки РФ, 4 статьи в МБД Scopus, 2 свидетельства о государственной регистрации базы данных, 1 коллективная монография. Конструкторские решения реализованы в 5 патентах на изобретения и полезные модели.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, списка литературы и приложений. Работа изложена на 376 страницах машинописного текста, включает 98 рисунков, 42 таблицы, библиографию из 370 наименований, из них 16 в иностранной литературе, и приложений на 46 страницах.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Природно-эксплуатационные условия системы мелиоративного осушения

Природно-эксплуатационные условия зоны мелиоративного осушения в настоящей работе определялись на основе мелиоративной осушительной сети Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. Активная часть данной мелиоративной системы, которая относится к открытым сетям, обслуживает около 10 га площади под сельскохозяйственные культуры. В системе имеются и элементы зарытой сети, включающие в себя небольшую дренажную систему со смотровыми колодцами. В основной открытой системе имеются осушители и магистральный канал.

К природно-эксплуатационным условиям данной мелиоративной осушительной системы относятся препятствующее нормальному функционированию каналов появление наносов, заилений, травяной и кустарниковой растительности. Работы по их удалению наносов со дна каналов и по окашиванию растительности на откосах необходимо проводить ежегодно. Проектный профиль всех каналов системы – трапециевидальный, однако в процессе эксплуатации форма его теряет первоначальные размеры: глубина с появлением наносов, заилений и растительности уменьшается, устойчивость откосов также нарушается под действием нагрузок от технологических машин, перемещающихся по берме, от природных условий, под действием атмосферных осадков. Все это ведет к нарушению нормального функционирования системы: во-первых, происходит уменьшение площади поперечного сечения канала, что уменьшает пропускную способность; во-вторых, уменьшение проектной глубины канала, рассчитанного для данного поля под конкретную сельскохозяйственную культуру означает повышение кривой депрессии, соответственно на поле остаются излишки влаги, негативно влияющие на урожайность

сельскохозяйственной культуры; в-третьих, допущение накапливания наносов и заилений без осуществления требуемого ухода и технического обслуживания приводит к уменьшению сроков до дорогостоящих текущего, капитального и аварийного ремонтов.

На мелиоративной системе имеются трубчатые переезды, лесополосы со стороны автомобильной трассы. Осушители на некоторых участках имеют глубину до 1 метра, магистральный канал глубиной до 2-2,5 имеет ширину по дну, в зависимости от участков, от 0,4, до 0,8 м, ширина поверху от 5 до 6 м, заложение откосов 1:1 или 1:1,5. Все каналы мелиоративной системы, за исключением небольшого участка, не имеют крепления дна и откосов. Участок канала расположенный параллельно магистральному каналу имеет дощатое крепление дна. При очистке данного участка нет необходимости задействования специальной очистительной техники виду небольшой длины крепления. Этот участок при наличии наносов восстанавливается силами русловых ремонтеров.

Принятие решения о проведении очистных, восстановительных или ремонтных работ осуществляется комиссией, в которую входят руководитель Полевой опытной станции, заведующие профильных кафедр и руководители хозяйственной части университета.

Особенности очистных, ремонтных и восстановительных работ осушительной системы связаны с тем, что их реализация проходит на действующих каналах – в таких случаях необходимо обеспечить согласование всех заинтересованных служб и подразделений [298, 300, 303, 355, 356, 357, 358, 359, 360]; работы выполняют в основном в межвегетационный период [361, 362, 363, 364].

Объемы наносов, накапливающихся за вегетационный период в каналах оросительных систем значительно выше, чем в осушительных.

При эксплуатации оросительных каналов ежегодно в южных регионах РФ наблюдается отложение до 0,4...0,5 м, иногда и до 1...1,5 м наносов, а площадь живого сечения осушительных каналов уменьшается на 4...8%. В таких случаях очистку проводят ежегодно, в некоторых случаях 2...3 раза в год, а осушительных

каналах это значение может достигать один раз в 2...5 лет. Опыт ведения очистительных работ показывает, что для осушительных каналов при наличии наносов в профиле каналов, закрывающих до 10% от их проектной площади, проводится текущий ремонт, а при заилении до 25% - средний, и, более 25% - капитальный. Капитальный ремонт проводится для полного восстановления продольного и поперечного профилей каналов с учетом требуемого уклона. Капитальный ремонт проводится в тех случаях, когда полностью нарушена работоспособность канала. При качественном выполнении операций по уходу и техническому обслуживанию каналов повторное проведение капитальных ремонтов потребуется в зависимости от грунтовых условий через 8...10 лет [12, 16, 25, 30, 123].

Целью работ на мелиоративной системе является поддержание качественного функционирования каналов, что требует в срок проводить все регламентные работы, соблюдая при этом качество выполняемых очистных работ. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

1. Выполнить анализ естественно-производственных условий эксплуатации, восстановления и реконструкции каналов инженерно-осушительных систем АПК.

2. Провести теоретические исследования: а) по определению физических свойств и конструкционных особенностей откосов мелиоративных каналов и обеспечению их устойчивости; б) процесса очистки и восстановления осушительных каналов очистительными машинами с ковшовыми рабочими органами.

3. Провести экспериментальные исследования: а) по обеспечению устойчивости откосов каналов инженерно-осушительных систем; б) работы рабочих органов мелиоративных каналоочистителей по определению тяговых усилий при работе и эффективности их применения для очистки и восстановления осушительных каналов сельскохозяйственных земель.

4. Сформировать эффективные технологии производства восстановительных и очистных работ каналов инженерно-мелиоративных систем на основе экспериментальных исследований.

5. Разработать и исследовать новые конструкции рабочих органов каналоочистительных машин на основе проектных требований к каналам.

6. Обосновать и предложить оптимальные по технико-эксплуатационным и технико-экономическим показателям комплексы каналоочистительных машин для зоны осушения АПК.

7. Обосновать и предложить технологии использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для исследования, оценки и контроля состояния осушительных каналов сельскохозяйственного производства.

8. Внедрить результаты диссертационных исследований и оценить их экономическую эффективность.

9. Оценить экономическую эффективность предложенных по технико-эксплуатационным и технико-экономическим показателям комплексов каналоочистительных машин для зоны осушения АПК.

Решением поставленных задач достигается цель по поддержанию качественного функционирования каналом мелиоративных систем.

Характеристики мелиоративных зон, экологическая составляющая мелиоративных систем, сезонность проведения эксплуатационных работ, геометрические размеры и виды профилей каналов, наличие в них наносов, заилений, травянистой и кустарниковой растительности, в некоторых случаях и древесной растительности, присутствие в руслах мусора и посторонних предметов обуславливают формирование каналоочистительных комплексов с машинами, рабочие органы которых по технико-эксплуатационным и технико-экономическим показателям наиболее оптимальны по перечисленным условиям [206, 207, 208].

С учетом перечисленных факторов, для достижения нормального функционирования мелиоративных систем можно перечислить требования к мелиоративным машинам [196, 197, 203, 204, 205]:

1. Экологические требования, заключающиеся в исключении ущерба окружающей среде от использования той или иной мелиоративной техники.

2. Эксплуатационные требования, заключающиеся в полном удовлетворении проводимых эксплуатационных и технологических операций специальными с соответствующими технико-эксплуатационными показателями, главным образом производительностью машин всего комплекса [90, 91].

3. Экономические требования, заключающиеся в возможности применения минимального состава комплексов машин для очистки и восстановления работоспособности мелиоративной системы.

В настоящее время мелиорация в РФ переживает упадок. С чем это связано? Ведь в советское время было отдельное Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР, просуществовавшее с 1965 по 1989 годы, в течение которых наблюдались невиданными темпами строительства. В настоящее время существует лишь департамент мелиорации в министерстве сельского хозяйства, к которому относятся бюджетные организации – мелиоводхозы в различных субъектах РФ, а это говорит о совершенно иных формах хозяйствования и финансирования. Причинами упадка являются некоторая недалёковидность и незнание мелиорации. Действительно, на первый взгляд, с точки зрения бизнеса, к примеру, очистка мелиоративных каналов не приносит сиюминутной выгоды по сравнению с выращиванием и продажей пшеницы, риса и другой сельскохозяйственной продукции, т. е. очистка каналов не даёт готовой продукции для продажи. Но это только на первый взгляд, во-первых, очистка каналов и поддержание их расчетной требуемой глубины обеспечивает столь необходимую норму осушения для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур; во-вторых, необходимость очистки и обеспечения качественного функционирования каналов становится очевидным, когда происходят такие катаклизмы как наводнения в паводковый период, когда каналы необходимы для отвода излишков воды или пожары на торфяниках в засушливые сезоны, когда каналы необходимо закрывать шлюзами регуляторами для сохранения влаги. Отсюда становятся ясны причины обеспечения ухода, за каналами, проведения технического обслуживания, текущих, капитальных и аварийных ремонтов каналов, а некоторых случаях и строительства новых каналов.

Понятие «уход» возникло и использовалось в те годы, когда значительная часть очистных работ выполнялась вручную, силами работников – русловых ремонтников. Работа русловых ремонтников обеспечивала качественное и тщательное проведение операций по окашиванию откосов, удалению наносов и заилений со

дна канала, в некоторых случаях и с восстановлением дернового покрова по периметру участков канала.

В очистительных работах на каналах регулирующей и проводящей сетей, ручное обслуживание и другие ремонты при текущем и капитальном ремонтах составляли минимум от общего количества операций – т. е. в течение сезона 1,5...3,0% от всех объемов. Здесь также нужно отметить, что данные объемы складывались преимущественно из операций, проводимых на участках с аварийным состоянием, сформировавшихся на фоне погодных и сезонных условий таких как, оползни, завалы после интенсивных паводков, ливневых дождей и т. п. В связи с вышеуказанным можно утверждать, что, несмотря на высокое качество работ русловых ремонтников, при значительных протяженностях каналов и соответственно при больших объемах работ возникает необходимость использования специальных очистительных машин. В то же время существует деятельность русловых ремонтников восстанавливающих различных сооружений на мелиоративных системах и подъездных дорог на них. Разнообразие видов работ, выполняемых вручную работниками - русловыми ремонтниками, создает определенные сложности попыткам механизации данных работ. В целом все операции, выполняемые русловыми ремонтниками в последующем, будут реализовываться с помощью машин. Все же определенная и незначительная часть работ по очистке каналов останется за русловыми ремонтниками, к примеру очистка канала в труднодоступных для машин участках (под мостами, рядом со шлюзами и т. д.).

С учетом больших протяженностей каналов на территории РФ можно утверждать, что основные и наиболее энергоемкие операции ремонта и технического ухода за каналами мелиоративных систем необходимо полностью механизировать. Качественное решение этой проблемы с использованием комплексов каналоочистительных машин с оптимальным количественным и эксплуатационным составом и призвано в значительной степени уменьшить расходы на эксплуатацию оросительных и осушительных мелиоративных систем [43, 46, 58, 63, 64, 144].

Однако, в настоящее время проблему механизации очистных работ на мелиоративных каналах нельзя считать полностью решенной. Несмотря на большие существующие группы и различные типоразмеры каналоочистительных машин, выпускаемых по заказу тех или иных производственных хозяйств, хотя и в последние годы наблюдается некоторое снижение выпуска мелиоративных машин в целом. Представители эксплуатационных организаций рекомендуют создание новых конструкций рабочих органов и типоразмеров рабочего оборудования каналоочистительных машин, с учетом производственных и экономических причин.

Для решения существующей задачи по механизации восстановительных работ на гидромелиоративных системах с использованием оптимальных комплексов машин необходимо выяснить ее главные особенности:

1. В выпускаемых на заводах Российской Федерации и Республики Беларусь каналоочистительных машинах основным параметром, на основе которого определяется размерная группа и типоразмер машины является глубина очищаемого канала. Однако, такое утверждение больше подходит для машин, которые изначально формируют каналы в земляном теле определенной площади сечения – т. е., каналокопателями. Увеличение глубины при работе каналокопателя означает увеличение объемов работ и технико-эксплуатационных показателей машин.

2. При очистке существующих каналов от наносов, заилений, травяной и кустарниковой растительности в рамках операций по уходу такой проблемы не существует, поскольку нет необходимости разрабатывать такие объемы грунтов как при строительстве каналов, здесь необходимо только производить очистку русла канал, при которой глубина канала перестает быть основополагающей при выборе каналоочистительных машин той или иной производительности.

3. Мощности двигателей базовых машин для очистки каналов регулирующей сети осушительной системы при незначительных объемах работ находится в пределах - 10...14 кВт, что соответствует мощности трактора Русич Т-25 и его аналогов, а для каналов проводящей сети и магистральных каналов, где наблюдается наибольшее количество наносов, могут быть использованы в качестве базовых ма-

шин тракторы с мощностью в пределах от 18 до 100 кВт. К примеру, на осушительной системе Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в рамках проведенных эксплуатационных и испытательных работ по настоящей диссертационной работе с использованием каналоочистителя ОКН-0,5, мощность его базового трактора составляет 130 л.с. или 95 кВт.

4. Состав формируемых каналоочистительных комплексов зависит от состояния каналов, наличия в них превышающих по требованиям к мелиоративным системам объемов наносов и заиления, количества травяной и кустарниковой растительности, появившихся за время межремонтного обслуживания деформаций и размывов русла. С экономической точки зрения состав с большим количеством неэффективен, и одной лишь универсальной машиной выполнить все технологические операции невозможно. Кроме этого, важно понимать, что стандартные общестроительные машины, используемые на очистке каналов не всегда эффективны, это связано с тем, что рабочее оборудование у них установлено в задней части, к примеру, у неполноповоротных экскаваторов с обратной лопатой, тогда как применение полноповоротных каналоочистителей позиционного действия исключают лишнее маневрирование свойственное машинам с задней навеской рабочего оборудования при переезде на новую позицию. Наиболее эффективной при очистке каналов является боковая навеска рабочего оборудования.

1.2. Геометрические размеры, технологические характеристики мелиоративных каналов и их состояние

Основные элементы мелиоративных систем – каналы (осушительные или оросительные) с течением времени в процессе эксплуатации теряют свою первоначальную проектную форму, деформируются, заиляются, засоряются, подвергаются коррозии и не могут обеспечить качественное функционирование всей системы в целом (рис. 1.1).

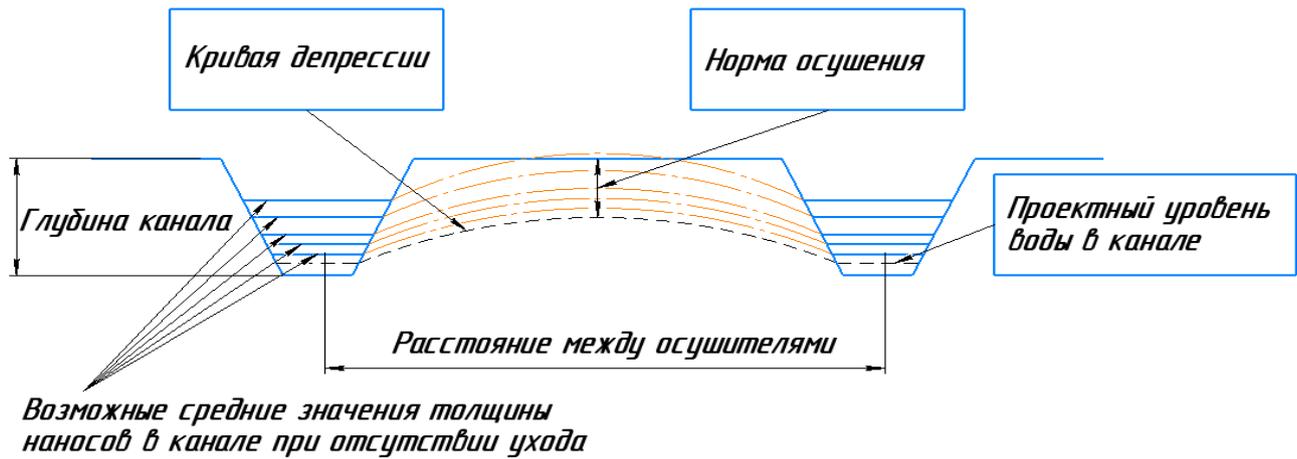


Рисунок 1.1 – Схема расположения осушительных каналов, кривой депрессии, нормы осушения, глубины канала и проектного уровня воды в канале

Мелиоративные осушительные системы [341] содержат различные типы каналов, среди них можно выделить следующие: осушители, проводящие и ограждающие каналы. В состав рассматриваемой в настоящей работе мелиоративной системы Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева входят осушители и проводящие каналы. Ширина каналов по дну для различных зон представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Ширина по дну открытых осушителей

Ширина по дну, м	Россия (Смоленская область)	Белоруссия
0,2...0,25	Нет	26,0%
0,4	87,0%	49,0%
0,6	10,0%	19,0%
св.0,6	3,0%	6,0%

Очистка и восстановление осушителей обычно сопровождается относительно небольшим объемами земляных работ, это связано с их небольшой глубиной, находящейся в пределах от 0,8 до 1,7 м. Ширина по дну варьируется в пределах от 0,2 до 0,8 м. Наиболее часто встречается ширина 0,4.

При формировании каналоочистительных комплексов необходимо учитывать такой параметр как заложение откосов каналов, которое оценивается коэффициентом. Осушительные каналы преимущественно имеют коэффициент заложения

откосов в пределах 1: 1 и 1: 1,5. Незначительная часть от общего количества каналов, а именно в пределах 5% более пологие откосы. Ширина по верху для осушительных каналов с трапецидальным профилем равная 5–6 метров соответствует средним значениям глубины равной 1,5 м. Существует возможность проводить очистку каналов с такими характеристиками с помощью каналоочистителей работающих по седлающей схеме. Такая схема часто используется на некоторых моделях каналоочистителей фирмы Verkenheger. Существуют также каналы с параболическим сечением, которые наиболее близки по данному параметру к естественным осушителям – т. е., рекам. Однако, с точки зрения очистки к ним сложно подобрать рабочее оборудование, которое будет обеспечивать проектное сечение.

2. Проводящие и оградительные каналы

Характерной особенностью данных каналов является наличие более пологих откосов при большой глубине. В представленной таблице 1.2 дано процентное распределение этих каналов по глубине.

Таблица 1.2 – Средние значения глубины проводящих и оградительных каналов

Назначение и глубина каналов	Россия (Смоленская обл.)	Белоруссия
Коллекторы до 1,5 м	нет	34%
от 1,5 до 2,0 м	68,5%	48%
св. 2,0-х м	30,7%	18%
Магистральные каналы до 2,0-х м	23,6%	66%
от 2,0 до 3,0 м	63,7%	24%
св. 3,0-х м	12,7%	10%
Оградительные каналы до 1,0 м	14,3%	нет данных
от 1,1 до 1,5 м	59,1%	
от 1,6 до 2,0 м	23,0%	
от 2,0 до 3,0 м	3,6%	

Ширина по дну также для большинства каналов этой группы относительно большая и варьируется в пределах от 0,6 до 1,0 м.

По таблицам 1.1 и 1.2 видно, что такой параметр как глубина проводящих каналов в большинстве случаев не превышает 2-х метров. Около 85...90% коллекторов имеют глубину меньше, чем 2 метра, а для магистральных каналов эта величина составляет 66...82%. Здесь также нужно отметить, что некоторые магистраль-

ные каналы имеют глубину от 2,0 до 3,0 метров. На мелиоративных системах Белоруссии, например, этот показатель равен приблизительно четверти от всей проводящей сети. Существуют также каналы глубиной свыше 3-х метров, но их количество и протяженности невелики и встречаются они очень редко.

Второй важный параметр каналов, после его глубины, от которого во многом зависит конструкция рабочих органов, системы навески и в целом тип очистительной машины является ширина по дну. Коллекторы и магистральные каналы осушительных систем преимущественно имеют ширину в пределах 0,6...1,0 м. Отмеченный выше параметр – коэффициент заложения откосов – третий по счету важный параметр. От этой величины зависит ширина откоса соответственно при проектировании навесного рабочего оборудования необходимо учитывать величину вылета.

Обследование каналов, выполненное в рамках настоящей работы в разные периоды, показало, что изначальное – проектное трапецеидальное сечение каналов нарушено, многие из них имеют в значительной степени искаженный, а иногда и деформированный геометрический профиль, отличающийся от проектного.

Преимущественно нарушение профиля проявляется в непрямолинейном состоянии откосов, берм, дна и величины уклона. Периодически возникают обвалы откосов и размывы их нижних частей. Непрямолинейность откосов особенно проявляется по глубине канала. Более крутые участки сосредоточены у бровки канала, а пологие участки - у дна. Такая особенность характерна для каналов, строительство которых проводилось одноковшовыми экскаваторами, в связи с чем возможны естественные деформации грунта. Возможно, что такое нарушение геометрических размеров не повлияет на функционирование канала, однако, площадь поперечного сечения не будет проектным и не будет обеспечена расчетная пропускная способность.

В то же время такие дефекты повлияют на параметры рабочего органа в процессе его проектирования. Для общего понимания мелиоративной системы в целом, а также основных ее элементов можно рассмотреть общую характеристику.

В таблице 1.3 она представлена характеристика составных элементов осушительной системы в виде функциональной классификации, состоящей из четырех групп.

Таблица 1.3 – Функциональная классификация объектов осушительных систем

1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Водоприемники	Проводящая, ограждающая и регулирующая сети открытых каналов	Закрытая осушительная сеть	Сооружения двухстороннего регулирования водного режима
А. Реки, Б. Озера. В. Балки.	А. Самотечные осушительные системы: <ul style="list-style-type: none"> • каналы ограждающие, проводящие, регулирующие; • сооружения на каналах. Б. Осушительные системы с механическим водоподъемом: <ul style="list-style-type: none"> • дамбы, • ограждения; • проводящая сеть каналов; • регулирующая сеть каналов. 	<ul style="list-style-type: none"> • Дрены. • Закрытые коллекторы. • Дрены-осушители. • Сооружения на закрытой сети. 	А. Дамбы и плотины на водохранилищах. Б. Водопроводящие каналы. В. Насосные станции, трубопроводы различных порядков. Г. Каналы для подвода воды к местам полива. Д. Сооружения на сети.

В настоящей работе преимущественно рассматриваются каналоочистительные машины, соответствующие по параметрам 2 представленной группе. Каналы этой группы наиболее многочисленны и протяженность на много выше, чем по остальным группам на мелиоративных системах зоны осушения. Согласно ГОСТ Р 58801–2020 типоразмеры поперечных сечений каналов осушительных систем на расходы до 10 м³/с соответствуют данным, приведенным в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Типоразмеры поперечных сечений каналов в земляном русле осушительных систем

Наименование каналов	Строительная глубина, м	Ширина канала по дну, м	Коэффициент заложения откосов
1. Каналы, выполненные общестроительными машинами			
Проводящие	св. 0,8 до 1,5	0,4; 0,6; 0,8	1,0; 1,5; 2,0
Регулирующие	св. 1,5 до 2,5	0,6; 0,8; 1,0	1,5; 2,0; 2,5
Нагорные	св. 1,5 до 3,0	0,6; 0,8; 1,0; 1,5	1,5; 2,0; 2,5
2. Каналы, выполненные специализированными машинами			
Проводящие	св. 0,8 до 1,0	0,25	1,0
Регулирующие	св. 1,0 до 1,2	0,25; 0,4; 0,6	1,0; 1,5
Нагорные	св. 1,2 до 1,7	0,25; 0,4; 0,6	-

Существующие на территории Российской Федерации осушительные каналы осушительных мелиоративных систем мелиоративных хозяйств в определенной степени соответствуют указанному ГОСТу, однако, на системах разных зон наблюдается большой разброс параметров, типоразмеров и их соотношений.

По представленной таблице 1.5 можно оценить среднюю величину удельных протяженностей осушительных каналов на единицу осушенной площади.

Таблица 1.5 - Распределение удельной протяженности каналов осушительных систем в зависимости от их назначения, на 1000 га осушенной площади

Типы каналов	Системы, осушаемые закрытым дренажом (Смоленская обл.)	Системы, осушаемые открытыми каналами (Белоруссия)
Водоприемники	-	3,2 км
Магистральные каналы	2,5 км	10,1 км
Коллекторы	14,2 км	10,7 км
Осушители	1,2 км	31,0 км

Представленные в таблице 1.5 значения определенно показывают особенности распределения определенных зон осушения, а именно существенное различие в соотношении протяженности каналов. К примеру, открытых осушителей по удельной протяженности в Белоруссии средним в 25 раз больше, чем в одной Смоленской области.

Имеющиеся значительные различия объясняются тем, что сформированная в 60-е годы мелиоративная сеть Белоруссии практически полностью осушалась открытыми каналами. В России, не считая Калининградскую область, начало массового строительства мелиоративных объектов приходится на 70...80-е г. г., когда в основном сооружались осушительные системы закрытого типа.

1.3. Причины выхода из строя осушительных каналов и их основные виды

При проектировании рабочих органов каналоочистителей и формировании состава комплексов для очистки каналов необходимо знать основные виды дефектов осушительных каналов и причины их возникновения (табл. 1.6).

Таблица 1.6 – Виды и причины дефектов осушительных каналов

Дефект	Причина
Уменьшение глубины, искажение поперечного сечения и продольного профиля канала.	Уплотнение торфяной залежи. Выпучивание дна. Вытекание из откосов и дна разжиженного грунта при осадке торфа. Обнажение на дне и откосах погребенных пней и древесины при осадке грунта.
Разрушение неукрепленных откосов канала.	Растрескивание грунта при резкой смене температуры воздуха. Сползание верхних осушительных грунтов вследствие вытекания нижних разжиженных грунтов откоса. Размыв поверхностными водами неукрепленных неустойчивых грунтов. Давление грунта близко расположенных кавальеров. Несоответствие параметров поперечного сечения канала физическим свойствам грунтов.
Размыв дна и откосов.	Неправильное назначение параметров канала, несоответствие скорости течения физическим свойствам грунтов. Малый радиус закругления поворота канала. Отсутствие или низкое качество крепления на легкоразмываемых грунтах. Высоко расположенные выпуски и большие расходы воды устьевых частей водосборных воронок.
Заиление и засорение канала.	Наличие в воде влекомых по дну или взвешенных частиц грунта. Изменение скорости течения воды по длине канала. Подпор водоприемником устьевых частей каналов. Снос ветром и смыв водой грунтов кавальеров и смыв их с территории водосбора. Неправильное сопряжение дна младшего и старшего каналов или воронки с дном канала. Наличие запруд, переездов и других искусственных сооружений, замедляющих скорость воды и уменьшающих транспортирующую способность потока.
Заращение дна, берм и откосов канала.	Несвоевременное удаление травяной и древесной растительности, наличие благоприятных условий для их произрастания.
Разрушение берм и обрушение кавальеров.	Сползание откосов. Использование водотока в целях лесосплава или судоходства. Устройство дорог и пешеходных троп без закрепления грунтов.
Разрушение откосов канала, укрепленных дерном мощением.	Несвоевременное скалывание льда, примерзшего к креплениям откосов. При снижении уровня воды в канале лед вместе с креплением откоса может обрушиться в канал.
Прочие дефекты каналов как следствие неправильной эксплуатации: размывы и заиления русла, разрушение откосов.	Захламление русла хворостом, сеном, камнями мочка льна или конопля изменяющие скорость движения воды. Наличие не обустроенных переездов, пешеходных переходов в не установленных местах, пастьба скота на откосах и бермах, близкая к бровке (менее 0,5 м) вспашка земли.

Следует также отметить, что наиболее часто встречающимися случаями нарушения площади поперечного сечения, функционирования каналов в земляном русле является: отложение в русле наносов, разрушение берм канала, наличие травянистой и кустарниковой растительности в русле и на берме каналов (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Наличие в мелиоративных осушительных каналах наносов, заилений и растительности

Очевидно такое состояние каналов не может удовлетворят требованиям по нормальному функционированию не только каналов, но и всей мелиоративной системы. Очистка и восстановление каналов необходимо проводить с использование

комплексов, содержащих машины различного назначения, т. е. каналоочистители, откосопланировщики, косилки, бульдозеры и т. д.

1.4. Специфика ремонта и восстановления осушительных систем и способы очистки дна каналов

Поддержание мелиоративных каналов – это прежде всего своевременное проведение текущих и капитальных ремонтов на них.

Текущий ремонт предполагает очистку русла от наносов, заилений и растительности, устраняют последствия оползневых явлений на каналах, восстановление дефектных участков, замену вышедших из строя креплений откосов. В некоторых случаях дно углубляют с соблюдением проектных уклонов, не нарушая при этом профиль откосов. Планировку откосов выполняют при возникновении значительных деформаций профиля канала. Наносы, извлекаемые со дна и откосов канала размещаются на берме и после подсушки разравнивают слоем не более 0,1 м вдоль канала и не ближе 1 м от бровки канала. Капитальный ремонт проводится с целью углубления и уширения каналов, планировки откосов с учетом проектных размеров; разравнивания грунта и наносов, вынутых из русла, вдоль канала; крепления откосов и всего русла каналов в неустойчивых грунтах. В некоторых случаях возможно изменение трассы каналов, однако при таком решении необходимо выполнить такие же технологические операции, как и при строительстве. Это ведет за собой ликвидацию старого русла, соответственно, трудоемкость таких операций увеличивается. Наиболее трудоемкими при очистке элементов осушительной системы являются следующие операции – ремонт и очистка каналов, основание откосов которых закреплено бетонными плитами, фашинами, плетнем, дощатой стенкой и др. Ремонт таких каналов обычными общестроительными одноковшовыми экскаваторами усложнен конструкциями рабочих органов. Для ремонта каналов с удалением заилений, наносов, растительности со дна и откосов применяются три основных способа: механический (с помощью рабочих органов машин и механизмов), гидромеханический и ручной. Для механизации работ по очистке каналов часто используют универсальные общестроительные экскаваторы периодического

действия (с механическим или гидравлическим приводом ходового и рабочего оборудования, экскаваторы со специальным оборудованием для планировочных работ); специальные машины постоянного действия, отличающиеся высокой производительностью (многоковшовые экскаваторы, фрезерно-роторные, шнекороторные каналочистители, скребковые каналочистители, косилки для скашивания растительности); средства гидромеханизации (плавучие земснаряды, береговые установки, водоструйные установки); машины с пассивными ковшовыми рабочими органами (прицепные и навесные) [162, 163, 164].

При капитальном ремонте крупных каналов и водоприемников глубиной более 2 м, при наличии в русле камней и древесины, а также при больших объемах земляных работ целесообразно применять одноковшовые экскаваторы, а для открытой регулирующей сети и коллекторов глубиной до 1,7...2,0 м – специальные каналочистительные машины с рабочими органами непрерывного действия. При осуществлении ухода за элементами системы, текущем ремонте и техническом обслуживании открытых каналов осушительной сети с учетом высокой производительности и качества проводимых работ более эффективны каналочистители с активными рабочими органами непрерывного действия, устанавливаемые на базовые гусеничные и пневмоколесные тракторы.

Состав комплексов каналочистительных машин для очистки каналов формируют с учетом типа и параметров канала, грунтовых и гидрологических условий, удельных объёмов наносов и заилений, вида ремонтных операций, выбора наиболее эффективного вида навески и др. Основными наиболее трудоёмкими операциями являются – разработка наносов, заилений и грунта, срезка растительности из русла, перемещение и укладка их в отвал. В процессе капитального ремонта, сопровождающегося уширением и углублением существующих каналов до проектных размеров, эти технологические операции часто выполняют с помощью общестроительных одноковшовых экскаваторов с рабочим оборудованием драглайн, обратная лопата, с использованием специальных уширенных профильных ковшей. И это оправдано в определенных экономических условиях, однако заменить в полной

мере специальные каналоочистительные машины одноковшовыми экскаваторами с точки зрения качества выполняемых работ не всегда удается.

1.5. Определение объемов наносов и заилений в каналах и периодичности очистки каналов

Средний удельный объем годового роста наносов на эффективно эксплуатируемых фермах незначителен и колеблется от 0,02 до 0,10 м³ на 1 метр длины для большинства каналов. Эти значения соответствуют толщине стружки от 5 до 15 см. Из-за такой толстой стружки некоторые машины для очистки каналов, такие как многоковшовые ковшовые экскаваторы с поперечным ковшом, или такие как роторные экскаваторы ЭМ-152, ЭМ-202 или МР-16, будут неэффективными и дорогостоящими при выполнении этих работ. Поддержание сети каналов в рабочем состоянии ежегодно на 1 гектар площади поверхности требует земляных работ в среднем в следующих объемах: для оросительных систем 20... 40 м³; для дренажных систем 5... 15 м³.

Во многом масштабы работ по очистке каналов зависят от зональных условий и качества проводимых эксплуатационных работ. Процесс очистки русловой части каналов состоит из следующих операций: разработка аллювиальных отложений грунта с его выбросом из канала; выравнивание вынутаго грунта на полосе вдоль трассы канала.

Эффективное использование мелиоративных земель возможно благодаря современному и качественному выполнению большого количества ремонтных и профилактических работ с использованием современных комплексов механизации различного состава.

Комплексная механизация – это процесс, при котором все основные и вспомогательные операции (работы) выполняются с использованием сложных машин и механизмов [276]. Количество и типоразмеры машин подобраны и соединены между собой таким образом, чтобы при полной загрузке обеспечивались наименьшие трудозатраты и наибольшая производительность рабочих. В комплексной механизации используются машинные комплексы, взаимозависимые по технологическим операциям и производительности. Для выполнения того или иного объема и

вида работ организациям (или ремонтным подразделениям) необходимо иметь механовооруженность, которая представляет собой отношение балансовой стоимости парка машин и механизмов B_M к стоимости ремонтно-эксплуатационных или ремонтно-строительных работ, выполненных C_T в течение года:

$$M_o = \frac{B_M}{C_T} \quad (1.1)$$

К технико-экономическим показателям отдельных машин или комплексов машин относятся: себестоимость продукции или единиц объема работ, трудоемкость, энергоемкость, удельный расход топлива, расход металлов. Каждый из представленных показателей можно определить отношением количества потребляемых разных видов ресурсов к объему работ, выполняемых каналоочистительной машиной или комплексом машин.

При наличии больших объемов работ, сосредоточенных в одном месте, целесообразно использовать тяжелые и мощные машины. Небольшие, рассредоточенные объемы работы могут быть эффективно выполнены с помощью менее мощных очистителей каналов.

При интенсивности земляных работ в течение месяца, которая составляет менее 20, 20...50, 60...100 и более 100 тыс. м³, вместимость ковша экскаваторов должна быть соответственно 0,40...0,65; 1,0...1,25; 1,5...2,0; 2,5 м³.

Формирование машинных комплексов требует определения необходимого количества основных машин на этапе предварительного расчета. Такую задачу можно решить, определив заранее запланированную интенсивность рассматриваемого вида работ:

$$I_i = \frac{V_i K_{\text{нер}}}{T_i} \quad (1.2)$$

где V_i – объем работ рассматриваемого типа; $K_{\text{нер}}$ – коэффициент неравномерности выполнения работ в рассматриваемый период (обычно 1,15...1,20); T_i – срок производства работ (по плану – графику).

Необходимое число машин:

$$N_i = \frac{I_i}{\Pi_i} \quad (1.3)$$

где Π_i – расчетная производительность машин в конкретных условиях работы.

Важной составляющей в технологии очистки каналов является периодичность очистки, которая зависит от интенсивности появления в русле каналов наносов, заилений и растительности. В мелиоративных операциях принято следующее деление периодичности: межремонтный период, капитальный цикл, структура ремонтного цикла.

Межремонтный период – это период эксплуатации каналов и гидротехнических сооружений между двумя плановыми регулярными ремонтами.

Цикл капитального ремонта – это время работы гидротехнических сооружений сетей, элементов систем орошения и рекультивации между двумя очередными капитальными ремонтами, а для реконструируемых каналов и гидротехнических сооружений цикл капитального ремонта определяется от начала эксплуатации до первого капитального ремонта.

Под структурой межремонтного цикла понимается чередование различных видов ремонтов за весь период эксплуатации мелиоративной системы или отдельного вида канала.

В период межремонтного цикла обычно в каналах накапливаются хоть и небольшого объема наносы, заиления и растительности, возможны также некоторые деформации профиля канала. В связи с этим, несмотря на то что период капитального ремонта еще не наступил и объемы работ невелики, все же требуется проведение технических работ. В этом случае выполняют требуемый надзор, техническое обслуживание и ежегодный уход.

Межремонтные циклы проведения капитальных ремонтов мелиоративных каналов для различных гидромелиоративных хозяйств представлены в нормативной и справочной литературе, и, их следует оценивать, как ориентировочные.

Совершенно другая ситуация будет складываться при подходе календарных сроков капитального ремонта элементов гидромелиоративной системы, и самое важное – состояние основных характеристик системы. Одновременный подход сроков капитального ремонта и ухудшение состояния системы – основные критерии, на основании которых проводится капитальный ремонт.

В первом случае учитывается продолжительность эксплуатации или межремонтный цикл.

Во втором случае – проведение ремонта связано с тем, что основные эксплуатационные параметры элементов гидромелиоративной системы выходят за пределы допустимых значений, например, предельно допустимая степень заиления или слишком большая толщина слоя наносов, значительное количество растительности, которые изменяют проектные размеры сечения канала. Ремонт назначается и проводится в определенные календарные сроки.

Третий случай направлен на то, чтобы совместить ремонт каналов по их состоянию с календарными сроками ремонта. Например, в случае, когда на дренажной системе достигнуто максимально допустимое значение характеристики (уменьшение глубины русла, увеличение объема осадка, уменьшение расхода), ремонт сначала проводится по параметру (очистка русла), а затем ремонт назначается согласно календарному периоду.

Как следует из названия, машины для очистки каналов предназначены для очистки дна и откосов канала от отложений, ила и растительности, что значительно снижает расход канала.

Восстановительные и очистительные работы на каналах проводятся ежегодно в рамках обслуживания восстановительной сети и периодически каждые 2–4 года. В первом случае удельные объемы осадка и ила, как правило, незначительны и колеблются от 0,015 до 0,025 м³. Ремонтные работы проводятся при необходимости ремонта канала, на их стыках, а также в местах расположения гидротехнических сооружений (мостов, шлюзов и т. д.).

Однако со временем ситуация меняется, процесс образования осадка идет более интенсивно, и если учесть тот факт, что в последнее время ремонтные работы не проводились, то через несколько лет удельные объемы могут достигать 0,1... 0,3 м³ и выше, что приведет к нарушению нормальной работы канала и, как следствие, всей системы осушения и дренажа. В этом случае работы по очистке и реабилитации каналов сводятся к текущему ремонту канализационной сети и проводятся специальными машинами для очистки каналов.

1.6. Условия обеспечения эксплуатационных характеристик каналов

Процесс эксплуатации осушительных каналов сопровождается изменением их конструктивных и конструктивных размеров. Причинами такого негатива являются приток различных отложений, песка, грунтов, древесных и каменистых включений, а также появление растительности на дне и склонах каналов. Кроме того, на конструктивно-технические характеристики каналов влияют изменения уровня воды в течение сезона – от паводкового периода до периода засухи, засорение дна и склонов камнями и древесными включениями. Все это требует применения различных типов машинных комплексов для очистки русел каналов. Зачастую механизированная очистка каналов от отложений, ила и растительности затрудняется наличием на каналах многочисленных сооружений: мостов, переездов, запруд, водостоков и т. д. Такая ситуация может носить постоянный характер, например из-за наличия лесного массива, строений, сельскохозяйственных сооружений и т. д.; и временный. Во втором случае трудности при расчистке обычно связаны с наличием посевов, которые располагаются по краям, бермам и обочинам каналов. Все это негативно влияет на пропускной способности открытого канала и нормальной работе мелиоративного канала в целом.

Вполне очевидно, что при формировании комплексов каналоочистительных машин необходимо учитывать все производственные и природные условия и оценивать влияние основных факторов на технологические параметры очистных машин. Важно различать зоны орошения и дренажа. Несмотря на то, что все каналоочистительные машины в целом подходят для очистки мелиоративных каналов, но различия в зонах, с точки зрения механизации очистных работ, достаточно большие. Все вышеперечисленное указывает на то, что в осушительной зоне должны быть свои комплексы по очистке каналов, а в зоне орошения – свои очистные комплексы, другие, отличающиеся глубиной очистки, производительностью и т. д. Отдельные машины или рабочие части каждой из систем могут быть совершенно идентичны, но в целом можно ожидать появления совершенно независимых комплексов. К примеру, каналы оросительной сети отличаются большой глубиной высокой водопропускной способностью, кроме того, оросительные каналы могут иметь

антифильтрационные конструкции [338]. Каналы являются самыми разнообразными с точки зрения строительства [280, 283, 285, 344], обслуживания ирригационных и дренажных систем в процессе их эксплуатации. Размеры наиболее распространенных дренажных каналов приведены в таблице 1.7. Отдельно классифицируются оросительные и дренажные каналы (табл. 1.8 и 1.9).

Различают следующие виды технической эксплуатации оросительно-дренажных систем: технический надзор; содержание; ремонт: текущий, капитальный и аварийный.

Таблица 1.7 – Классификация осушительных каналов по типоразмерам и их техническая характеристика

Каналы	Типоразмер каналов	Параметры каналов			
		глубина, м	ширина по дну, м	крутизна откосов	ширина откосов, м
Мелкая регулирующая сеть, придорожные, нагорные каналы	I	До 1,0	0,2...0,4	1:1; 1:1,5	1,8
Проводящая сеть каналов, ловчие каналы, глубокие осушители на торфяниках	II	1,0...2,0	0,4...1,2	1:1; 1:1,75	4,0
	III	2,0...3,0	1,2...2,0	1:1; 1:2	6,7
Водоприемники и крупные магистральные каналы	IV	Более 3	Более 2	1:1	Более 7

Таблица 1.8 – Классификация оросительных каналов

Типоразмер каналов	Параметры каналов		
	ширина по дну, м	глубина, м	коэффициент заложения откосов
I	До 0,6	0,5...1,0	1
II	0,6...1,2	0,8...1,5	1,0...1,5
III	1,2...3,0	1,0...2,5	1,5...2,0
IV	3,0...5,0	2,0...4,0	1,5...2,5
V	Более 5,0	Более 4,0	2...4

Таблица 1.9 – Классификация каналов коллекторно-дренажной сети

Каналы	Типоразмер каналов	Параметры каналов		
		ширина по дну, м	глубина, м	Коэффициент заложения откосов
Дрена	I	0,6...1,2	2,5...3,5	1,5
Коллектор I	II	1,2...3,0	3,5...5,0	1,5...2,0
Коллектор II	III	Более 3,0	Более 5,0	2,0 и более

Четкого разделения размеров каналов на малые и большие нет. Однако по техническим характеристикам, выделяемым в технологии земляных работ при

очистке элементов осушительной системы, проведено условное разграничение, согласно которому каналы глубиной и шириной по дну менее 3 м считаются малыми типоразмерами (I–III). При очистке таких каналов заиления удаляются рабочим органом (рабочим инструментом) простых землеройных машин (экскаваторов, канализационных очистителей) при их перемещении по берме вдоль канала. Способы рабочих движений каналоочистительных машин подбираются в зависимости от толщины слоя заилений и наносов, ширины и глубины канала, канализационной среды и параметров рабочих органов. При однопроходном рабочем движении (подаче) каналоочистительной машины канал очищается, когда рабочее оборудование способно разрабатывать слой наносов, ила и растительности по всему поперечному сечению с одного из своих позиций. В тех случаях, когда рабочий орган каналоочистителя может воздействовать только на часть поперечного сечения слоя наносов в канале (например, дно и откос) из одного положения, очистка проводится в два и более проходов машины. Наличие воды в каналах в определенной степени снижает эффективность очистки отложений и заиливания. Поэтому глубина над отложениями должна быть в определенных пределах, превышение которых приводит к снижению эффективности очистки осушителя.

Существующие в настоящее время мелиоративные системы Российской Федерации можно разделить на разные категории от эффективно работающих осушительных систем с частыми очистками дна и откосов каналов до тех каналов, на которых очистка не проводится совсем. Практика поддержания восстановительных каналов в дренажных зонных системах показывает, что работы по техническому обслуживанию и ремонту следует разделять на ежегодные работы, называемые «обслуживанием» или «уходом», и ремонты, необходимость проведения которых возникает периодически раз в два-три года. Такой ремонт называется «текущим». Опыт специалистов по ремонту каналов показал, что тщательное содержание каналов, как это имело место в ряде регионов России, поддерживает канал в рабочем состоянии и необходимость капитального ремонта каналов практически отпадает. Ожидается, что оптимальное решение проблемы очистки каналов различными комплексами позволит существенно снизить эксплуатационные расходы дренажных

систем и обеспечить их качественную эксплуатацию. Тем не менее, на сегодняшний день проблема формирования оптимальных комплексов каналоочистительных машин не может считаться окончательно решенной.

Несмотря на широкий ассортимент машин для очистки каналов, разработанных еще в советское время, сегодня они редко используются на осушительных системах. Это связано с тем, что сократилось производство и выпуск основной техники, часто в уборочных работах используются общестроительные экскаваторы. И в такой ситуации осушительные и оросительные системы [365] требуют новых конструкций и типоразмеров машин, что обусловлено производственными и экономическими соображениями.

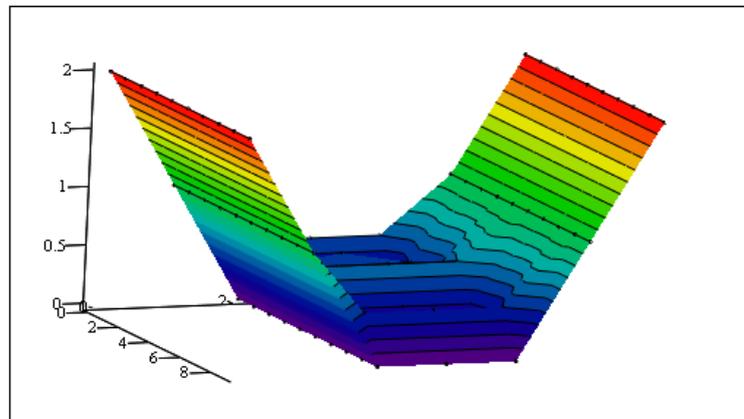
Главные особенности существующей проблемы заключаются в принятых основных параметрах осушительных каналов и объемах наносов и заилений. В табл. 1.10 в качестве примера приведена матрица f , элементами которой являются относительные высотные проектные отметки поверхности дна конструктивного осушительного канала и откосов с заложением 1 : 1. В таблице 1.11 представлена матрица модели распределения наносов в канале. Характер распределения наносов на участке канала представлен на рисунке 1.3 в виде модели поверхности, выполненной в системе Mathcad с учетом высотных точек заилений. Исходя из данных матриц можно определить объемы наносов на данном участке и делать прогноз на смежные участки канала.

Таблица 1.10 – Матрица, представляющая поверхность дна канала и откосов с заложением 1 : 1 в виде совокупностей относительных высотных отметок

$f =$		0	1	2	3	4	5	6
	0	2	1	0	0	0	1	2
	1	2	1	0	0	0	1	2
	2	2	1	0	0	0	1	2
	3	2	1	0	0	0	1	2
	4	2	1	0	0	0	1	2
	5	2	1	0	0	0	1	2
	6	2	1	0	0	0	1	2
	7	2	1	0	0	0	1	2
	8	2	1	0	0	0	1	2
9	2	1	0	0	0	1	2	

Таблица 1.11 – Матрица, представляющая модель поверхности наносов на дне и нижних частях откосов осушительного канала в виде высотных отметок

k =		0	1	2	3	4	5	6
	0	2	1	0,5	0,5	0,5	1	2
	1	2	1	0,3	0,3	0,3	1	2
	2	2	1	0,4	0,5	0,4	1	2
	3	2	1	0,3	0,3	0,3	1	2
	4	2	1	0,5	0,5	0,5	1	2
	5	2	1	0,6	0,6	0,6	1	2
	6	2	1	0,3	0,3	0,3	1	2
	7	2	1	0,2	0,2	0,2	1	2
	8	2	1	0,4	0,4	0,4	1	2
9	2	1	0,1	0,2	0,1	1	2	



f, k

Рисунок 1.3 – Распределение наносов и заилений по дну и откосам на участке осушительного канала

При наличии высотных точек конструктивных сечений *каналов f* и уровней отложений *k* система Mathcad позволяет определить объем работ, необходимых для очистки и восстановления осушительных каналов.

В машинах для очистки каналов, используемых в системах рекуперации, глубина очищаемого воздуховода выбирается в качестве основного параметра, определяющего стандартный размер машины. Это актуально для машин, применяемых в строительстве, реконструкции и капитальном ремонте [298]. В этих случаях увеличение глубины русла напрямую связано с объемом земляных работ, что требует применения машин с высокой производительностью, мощностью, эксплуатационной массой и стоимостью. Например, использование существующих конструкций машин, предназначенных для выполнения очистки каналов глубиной 1,5 м, для 3-

метровых каналов сопровождаются 3...5 кратным возрастанием их эксплуатационного веса и стоимости в 5 раз. При этом достичь приемлемых эксплуатационных затрат можно только при полной реализации энергетических возможностей более мощной и тяжелой машины и ее достаточной нагрузке.

Совсем иная картина сложится в случаях, требующих механизации операций, входящих в номенклатуру работ по уходу. Например, при очистке дна канала и прилегающих к нему откосов каналов от наносов и заиливания. Очевидно, что глубина не может служить здесь главной особенностью осушителя, так как прямой зависимости между этим показателем и удельными объемами отложений и ила нет. При одинаковой ширине каналов по дну или незначительной разнице в этих размерах, характерной для дренажной сети, удельные объемы заиливания каналов глубиной 1 или 3 м могут быть примерно одинаковыми.

Средние удельные объемы отложений и илов, ежегодно удаляемых из каналов на нормально функционирующих мелиоративных системах, в большинстве каналов невелики и колеблются от 0,02 до 0,10 м³ на 1 м длины. Это количество наносов на дне траншеи соответствует толщине стружки 5...15 см. Из этого следует, что модификации машин для очистки каналов, такие как многоковшовые поперечного копания экскаваторы ЭМ-152, ЭМ-202 или МР-16, будут малоэффективными и дорогостоящими в этих работах.

При формировании комплексов каналоочистительных машин также важно иметь в виду, что ил и отложения крайне неравномерно распределяются по длине каналов. Например, для проводящей сети максимальные объемы обычно сосредоточены в местах, близких к устью стоков или открытым осушителям, а также на пересечениях каналов. В то же время на других участках каналов объем осадков и ила может быть в несколько раз меньше, а в некоторых случаях совсем незначителен. Такая же картина наблюдается и в каналах сети управления, где потребность в очистке возникает особенно на более низких высотах. Использование мощных, высокопроизводительных уборочных машин в таких условиях обязательно приведет к большим потерям не только из-за недогрузки машин, но и из-за увеличения количества поездок транспорта.

Состояние каналов характеризуется не только количеством и объемами наносов и заилений. На дне и откосах каналов появляется травяная растительность, более того при длительном промежутке времени без проведения очистных работ в русле каналов появляются кустарниковая растительность и мелкие деревья. В связи с этим одним из важнейших мероприятий по уходу можно считать скашивание растительности со склонов, дна и насыпей в каналах. Считается, что такие операции можно выполнить, разгрузив очистители каналов, которые используются в качестве опорной рамы, путем присоединения сменных окашивающих рабочих органов. Разработка таких рабочих органов велась на каналоочистителе ЭМ-202. Также были попытки совместить косилку с экскаваторным с ковшом. Это было сделано, в частности, на машине КМ-82. Расчеты показывают, что этот способ не самый эффективный.

Элементы мелиоративных систем, такие как осушители, входят в номенклатуру каналов рециркуляции и относятся к каналам мелкой сети. Их глубина варьируется от 0,8 до 1,7 м. Такой размер канала, как ширина по дну, имеет большое значение для разработки конструктивных систем каналоочистительных машин и формирования комплексов. Для подавляющего большинства осушительных каналов этот размер находится в пределах 0,2...0,6 м. Величина ширины дна канала в 0,2 м характерна для каналов, проложенных плугами. Такие машины практически не использовались при строительстве дренажных систем в России. Процентное соотношение ширины каналов по дну для разных участков на примере Смоленской области: каналы шириной 0,4 м по дну – 87%, с шириной 0,6 м по дну – 10%, свыше 0,6 м – 3%. Конечно, ширина дна канала 0,4 м является наиболее распространенной.

Фиксированное значение ширины канала по дну является очень важным параметром поскольку исходя из него определяется ширина рабочего органа – ковша, разрабатывающего наносы и заиления при своем продольном по оси движении. Большинство одноковшовых каналоочистителей, в том числе и общестроительные одноковшовые экскаваторы разрабатывают грунт и наносы при поперечном к оси канала движении рабочего органа. В случае магистральных каналов и коллекторов

осушительных систем ширина дна канала достаточно стабильна и составляет от 0,6 до 1,0 м.

Различные методы механизации операций по очистке напрямую связаны с таким важным параметром канала, как коэффициент заложения откосов. Для большинства осушителей эта величина находится в пределах от 1:1 до 1:1,5. Количество каналов с более пологими уклонами составляет 1,4%. Если предположить, что средняя глубина осушителей составляет 1,5 м, то ширина канала поверху составляет от 5 до 6 м и более. В этом случае можно использовать каналочистители, которые работают по седлающей схеме. Каналочистители, выполненные по седловому шаблону, отличаются высоким качеством выполняемых ими работ по очистке, но имеют громоздкую конструкцию.

Природные и производственные условия осушительных систем настолько разнообразны, особенно по геометрическим размерам каналов, количеству и объему осадка и растительности, что проблемы очистки могут быть решены только комплексом машин разных типоразмеров. Поэтому в первую очередь должны быть определены основные районы и особенности их естественных условий производства [128, 129, 132, 133].

1.7. Основные характеристики мелиоративных каналочистителей, учитываемые при их включении в состав восстановительных комплексов

Сложность механической очистки каналочистителей заключается в широком спектре технологических операций, разнообразии типоразмеров осушителей, которые, как правило, имеют неправильную геометрическую форму после длительной эксплуатации. Канализационные очистные машины должны обеспечивать качественное удаление осадка из каналов, проложенных в выемке, полувыемке, насыпи, а ограничения на конструкцию техники накладываются шириной дамбы, шириной полосы отвода.

Некоторые трудности при проведении работ по очистке каналов различными типами каналоочистительных машин возникают из-за того, что вдоль трассы на каналах расположены мосты, переправы, водовыпуски, шлюзы и другие гидротехнические сооружения, а также древесные насаждения. Проблемы механизации работ по очистке каналов настолько велики, что, несмотря на усилия научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро, проблема применения машин для удаления из каналов осадка, ила, растительности окончательно не решена.

В настоящее время определенные завод РФ и Республики Беларусь выпускают некоторые модели каналоочистительных машин в большей степени по заказу эксплуатационных предприятий, о серийном производстве не приходится говорить. Часто применяются общестроительные одноковшовые экскаваторы со сменными мелиоративными ковшами. Здесь важно определить соотношение и соответствие наиболее выгодного использования того или иного комплекса машин (группы машин). Важно подобрать конкретную машину комплекса для выполнения данного вида работ в рамках ремонтных работ в данных специфических условиях, учитывая экологическую обстановку местности, увязывая технологические аспекты механизированной очистки с условиями труда, объемами, свойствами грунта, размерами каналов и т. д.

Понятно, что комплекс каналоочистительных машин не может содержать большое количество типоразмеров машин и машин определенного типоразмера, это с экономической точки зрения будет нецелесообразно. В то же время комплекс машин не может содержать минимальное количество (одну или две машины), поскольку не существует одной универсальной машины, которая производит все операции процесса очистки канала. Однако, в процессе производства работ вполне допустимо применение одной ведущей машины, которая производит основные виды работ в составе комплекса.

Принципы действия машин. На очистных работах мелиоративных систем применяются каналоочистители периодического и непрерывного действия. Машины непрерывного действия определенно обладают высокой производительностью.

стью. В то же время их применение ограничивается наличием в русле каналов камней и погребенной древесины. Машины периодического действия имеют рабочее оборудование пассивного действия и требуют больших тяговых усилий по базовой машине, но являются более универсальными машинами, т. е. имеется возможность применения нескольких эффективных видов сменного рабочего оборудования. По технико-эксплуатационным показателям машины циклического действия уступают каналочистителям постоянного действия, однако с их помощью можно проводить операции, которые невозможно проводить другими типами каналочистителей.

Ходовое оборудование машин. Наибольшее применение в качестве ходового оборудования каналочистительных машин находят колесные и гусеничные конструкции, однако существуют и в определенных условиях применяются плавучие и шагающие виды ходового оборудования. Гусеничные машины обладают меньшим удельным давлением на грунт, а также обладают большей устойчивостью, что имеет важное значение при выборе базы на слабонесущих грунтах. Колесные [348] базовые машины каналочистителей более мобильны и могут быть использованы для разных видов сменного оборудования.

Процесс очистки мелиоративных осушительных каналов от наносов, заиленных, травянистой и кустарниковой растительности сопряжен с движением каналочистителей по берме с рабочей скоростью, а также частыми переездами на новую позицию. Работа на каналах мелкой сети особенно связана с перегонами. Такие особенности работы при очистке каналов требуют высокой маневренности и мобильности машин.

Эксплуатация на болотистых грунтах требует специального подхода к решению проблемы слабонесущих грунтов, здесь могут быть применены базовые машины с уширенным гусеничным ходовым устройством.

Для каналочистительных машин, работающих в болотистых условиях, удельное давление должно быть в пределах от 0,18 до 0,25 кг/см², на осушенных торфяниках этот диапазон повышается до 0,35...0,55 кг/см². В первом случае устойчивую работу машины обеспечивает применение уширенного и удлиненного гусеничного ходового оборудования, а во втором диапазоне используется гусеничных

двигатели обычного исполнения. Кроме того, гусеничное ходовое устройство обеспечивает работу каналоочистительной машины с большим запасом устойчивости и тяговыми характеристиками по сцеплению элементов ходового оборудования с грунтом.

Способ агрегатирования. Способ агрегатирования рабочего оборудования к базовой машине для каналоочистительных машин имеет особенно важное значение поскольку очистка каналов сопровождается движением машины преимущественно по берме канала. По принципу навески рабочее оборудование каналоочистительных машин различаются прицепные, на самоходном шасси и устанавливаемые на базовую машину.

Навесное рабочее оборудование, устанавливаемое на серийный трактор или тягач, имеет определенное преимущество перед машиной, спроектированной на специальном базовом шасси. Это объясняется тем, что мелиоративные хозяйства имеют разные виды базовых машин, на которые можно устанавливать различные виды сменного рабочего оборудования. Это исключает приобретение специальных видов базовых машин. Чем больше будут использованы такие возможности базовой машины как мощность, скорость, устойчивость, маневренность и тяговое усилие, тем выше будет экономическая эффективность от применения имеющихся в хозяйстве тракторов и тягачей.

Определенная несогласованность технических характеристик навесного оборудования и базового трактора, в особенности точек и плоскостей соединения, обеспечивающие устойчивость машины при работе, приводит к снижению эффективности и рентабельности машины, однако не всегда может быть основанием для создания специального шасси. Рабочее оборудование, устанавливаемое на прицеп в связи с большими размерами, незначительной маневренностью, большой эксплуатационной массой и дороговизной уступает в удобстве применения навесным видам исполнительного оборудования.

Технологический процесс очистки. Определение вида технологического процесса очистки зависит от категории ремонта и восстановления работоспособности канала. К примеру, выполнение текущих (ежегодных) ремонтов или проведение

операций по уходу требуют от очистных машин технологических возможностей, которые позволяют проводить очистку только дна канала от наносов, заилений и растительности. В отличие от операций по уходу и техническому обслуживанию проведение капитального ремонта требует выполнения очистки и восстановления всего сечения канала, включая дно, откосы и берму канала. Наибольший эффект был бы достигнут, если все перечисленные операции выполнялись бы одной машиной за один проход. Однако такие конструкции машин, удовлетворяющие всем требованиям, имеют большую эксплуатационную массу, сложную конструкцию, громоздкость, неудобны в эксплуатации и транспортировке. Такие конструкции каналоочистительных машин близки к конструкциям высокопроизводительных и энергопотребляющих каналокопателей. Здесь очевидным становится то, что за один проход могут быть выполнены операции по очистке каналов только самых малых сечений.

Наибольшее распространение при очистке каналов получают каналоочистители с боковой навеской сменного рабочего оборудования, которые отличаются большой эксплуатационной массой.

1.8. Технические средства для эксплуатационно-восстановительных операций в осушительной зоне

Опыт работы мелиоративных хозяйств и предприятий на осушительных системах показывает, что для полноценной и качественной реализации водопропускной способности каналов существующие в настоящее время технологии не всегда могут быть использованы [98, 99, 100, 101, 102, 104].

Такое состояние дел связано с одной стороны отсутствием специальных машин для очистки каналов, с другой стороны – в настоящее время очистка производится использованием общестроительных машин преимущественно одноковшовых экскаваторов общего назначения. Оптимальным решением проблемы очистки каналов является использование комплексов, которые включают в себя те или иные

ведущие специальные машины. В то же время не исключается применение в комплексах машин и вспомогательных общестроительных и землеройно-транспортных машин [188, 189, 190].

Ведущая специальная машина комплекса не является универсальной машиной и может выполнять одну основную операцию по очистке дна канала, к примеру, каналоочиститель с ковшом на жестких прямолинейных направляющих, а для выполнения вспомогательных операций используются другие виды машин. В такой ситуации становится очевидным тот факт, который показывает, что не существует одной универсальной машины способной выполнять все операции по очистке канала, и в то же время, чрезмерное расширение количества типоразмеров специальных очистительных машин в рамках одного комплекса также становится неэффективным.

Нахождение оптимальных комплексов с минимальным содержанием машин различного назначения и типоразмеров является основной задачей при выборе и формировании содержательной части самих комплексов.

Для эффективной очистки и ремонта дренажных каналов необходимо владеть информацией об их различных состояниях, технических и технологических параметрах, таких как: наличие отложений, ила и растительности; водопропускная способность. Эти параметры случайны, и большее распределение наносов и ила наблюдается на стыках каналов и на стыках русла низшего порядка с руслом более высокого порядка, но в целом распределение отложений, их количество и наличие растительности случайны, и состояние русла становится достаточно разнообразным после длительного периода эксплуатации без ремонта [260, 261, 262].

Механизация работ, связанных с эксплуатацией и очисткой дренажных каналов [247], представляет собой сложную техническую задачу, решение которой требует углубленного изучения многообразия природных производственных условий [96]. Машинные комплексы с широким диапазоном параметров рабочих органов и конструктивных схем во многом определяются свойствами географических зон, геометрическими размерами каналов, их расположением на местности, удельными

объемами заиливания и отложений, густотой кустарников с травянистыми растениями и кустарниками [139, 140, 249, 250, 251, 252, 255, 256].

После длительного периода эксплуатации без ремонта водоотводные каналы имеют деформированные профили, русла которых забиты камнями, мусором и погробенной древесиной. Механизированной очистке канализации также препятствуют многочисленные технические сооружения в канализации: мосты, ворота, водостоки и т. д. Это может быть как постоянным из-за близости лесных угодий или построек, так и временным из-за посевов, когда обработка земли подходит практически вплотную к набережной канала. Хотя заиливание и отложения распределены по всей длине каналов неравномерно, максимальные объемы, как правило, сосредоточены в местах соединения каналов, а в других частях каналов объемы наносов могут быть в несколько раз меньше. Такое же положение дел наблюдается и в каналах регуляторной сети [142, 143].

Создание комплексов каналоочистительных машин [235, 236, 237, 238, 241, 242, 244, 245] осуществляется после определения объема годовых и периодических работ по техническому обслуживанию и ремонту, который включает:

- Очистка дна шламовых и осадочных каналов;
- Очистка части откосов каналов, прилегающих ко дну склонов, от отложений и заиления;
- Вырубка растительности со склонов, насыпей и дна каналов;
- Обрезка кустарника;
- Удаление срезанной растительности со русла канала;
- Разравнивание кавальеров, профилирование дорог вдоль каналов;
- Резка, транспортировка и укладка торфа для крепления откосов;
- Подъем и транспортировка при ремонте конструкций;
- Ремонт крепления откосов;
- Ремонт крепления дна канала.

Понятно, что при формировании комплексов машин для очистки каналов дренажных систем наиболее трудоемкой и технически сложной является очистка дна и откосов каналов от ила и осадка, а также скашивание откосов. От этих двух

видов ремонтных работ во многом зависит количество, состав и конструкция машинных комплексов. Исходя из многообразия природных условий производства, определен оптимальный комплект машин, позволяющий с минимальными затратами проводить качественную и своевременную эксплуатацию и ремонтные работы на различных системах [175, 176, 177, 178, 181, 230, 231].

В работе В.Б. Гантмана «Обоснование системы машин для эксплуатационно-ремонтных работ на осушительных системах» группа рециклинговых машин, предназначенных для очистки дна канала от осадка и заиливания, рассматриваются комплексы очистки каналов, с помощью которых операции по очистке проводятся ежегодно в рамках обслуживания сети и регулярно каждые 2...4 года. В первом случае удельные объемы осадка незначительны, составляя 0,015...0,025 м³. Если есть необходимость в ремонте каналов, он должен быть на небольшой длине, в основном возле устьев воздухопроводов и их сопряжений. Такое состояние наблюдается при очистке только осушительных каналов со сплошным дном, количество которых значительно меньше по сравнению с каналами с незакрепленным дном, и в основном дно каналов было закреплено на осушительных системах Республики Беларусь. Однако со временем ситуация меняется, процесс осадкообразования становится более интенсивным с учетом полного или частичного отсутствия ремонта каналов, и через несколько лет удельные объемы могут достигать 0,1... 0,3 м³ и более, грозящие нарушением пропускной способности канала.

В такой ситуации работы по очистке проводятся не в виде технического обслуживания, а в качестве текущего ремонта сети с помощью специальных машин. Текущий ремонт каналов – ответственная операция, от качества которой существенно зависит не только работа осушительной сети, но и срока службы самих каналов. При правильном обслуживании дренажной сети капитальный ремонт можно свести к минимуму всего 1,5%...3,0% от длины каналов. В основном это чрезвычайные ситуации, вызванные обвалами, оползнями, завалами и наводнениями, проливными дождями и т. д.

В состав комплексов канализационных очистных машин могут входить фрезерные очистители каналов Д-490, Д-910, КОБ-1,5, МР-7 и МР-14, которые созданы

на базе трактора тягового класса 3,0 (ДТ-75Б), обладающего самой совершенной конструкцией и способностью очищать дно каналов глубиной до 2 м. Для более глубоких каналов были созданы каналоочистители МР-10 на базе гусеничного трактора тягового класса 6,0 и МР-16 на базе болотоходного трактора Т-170Б тягового класса 10,0. Долгое время эти каналоочистительные машины были единственными машинами, предназначенными для очистки дна каналов. Однако они не получили четкой оценки землевладельцев. Высокая производительность была очевидна, но были сомнения в целесообразности их использования, вызванные низким качеством работы. Были выявлены и другие недостатки: быстрый износ режущих элементов, разбрасывание земли и отложения не только на склонах, но и на полях рядом с каналом. Однако основными требованиями, предъявляемыми к любой очистительной машине, было качество проводимых работ по очистке. При движении по берме водителю было сложно обеспечить прямолинейность и заданную глубину, что приводило к нежелательному подрыву нижних частей насыпей, что затем нередко заканчивалось их эрозией и обрушением.

Прямолинейность очищаемого пола и глубина канализации обеспечиваются каналоочистителем РР-303. Данная машина циклическая с продольным перемещением ковша по жестким направляющим. Его главным преимуществом является высокое качество выполняемых работ по очистке и выравниванию дна каналов и высокая надежность в целом. Производительность очистителя каналов составила 200... 250 м очищенного дна русла в час. Однако в 1990 году производство канального очистителя РР-303, как и многих других специальных машин, было приостановлено по известным причинам и не возобновлялось.

Сложившаяся ситуация требует безотлагательных решений как по возобновлению производства столь необходимого оборудования для утилизации, которое уже было проверено временем, так и по проведению научно-исследовательских и конструкторских работ по поиску новых, более совершенных видов техники.

Важность использования машин для очистки каналов и поддержания каналов в рабочем состоянии была подтверждена во время пожаров на торфяниках в Московской области в 2010 году и во время паводков в разных регионах Российской

Федерации. Ряд естественных условий производства предполагает применение машин с различными технологическими характеристиками, производительностью и качеством выполняемых работ при эксплуатации и ремонтных работах.

Понятно, что универсальной машины, которая обеспечивала бы очистку дна от отложений и заиливания, очистку склонов от донных отложений и растительности, не существует, поэтому применение комплексов русловых машин для обеспечения работоспособности каналов неизбежно. Проведенные исследования показывают, что очистители каналов непрерывного действия МР-14 и МР-16 обладают достаточно высокой производительностью, однако эти машины с активным рабочим органом уступают машинам с ковшовыми рабочими органами по качеству операций очистки. В частности, они не способны обеспечить требуемые геометрические параметры сечения канала, более того использование их на каналах с закрепленным дном может привести к разрушению элементов крепления дна.

Применение каналоочистителя РР-303 для очистки каналов с закрепленным дном и откосами становится оптимальным решением, поскольку ковш данного экскаватора в процессе работы движется прямолинейно по жестким направляющим, что обеспечивает сохранность элементов крепления. Кроме того, и по экономическим показателям данный каналоочиститель наиболее эффективен, это связано с тем в качестве базовой машины используется распространенный и широко используемый на мелиоративных предприятиях гусеничный трактор ДТ-75 или его новая модификация ВТ-100. В связи с этим предлагается использовать трапециевидное устройство - ковш в каналах в земельном теле без фиксации дна и откосов, что позволит очистить не только дно, но и прилегающие ко дну части откосов. Первоначальное применение ковша прямоугольного профиля в качестве рабочего органа очистителя каналов РР-303 объясняется тем, что определенная доля дренажных каналов имеет закрепленное дно (рис. 1.4.) и применение на них трапециевидного ковша недопустимо.

Следует иметь в виду, что количество и длина каналов с незакрепленным дном (рис. 1.5) составляют значительную часть от числа всех открытых дренажных каналов.



Рисунок 1.4 – Очищенный канал с закрепленным дном



Рисунок 1.5 – Очистка канала с незакрепленным дном одноковшовыми экскаваторами

Однако, при точечном проведении очистных работ по определенному мелиоративному каналу универсальный ремонтный агрегат КМ-82 с набором рабочих органов, который способен проводить и очистку канала от наносов, и производить окашивание откосов в определенных условиях может стать ведущей машиной комплекса при очистке канала.

Однако качество проведенных работ по очистке позволяет считать канализационную ремонтную машину РР-303 одной из ведущих машин комплекса. По результатам лабораторных исследований, проведенных автором работы, установлено, что продольное движение рабочего органа прямоугольного профиля очищает незакрепленное дно канала, что приводит к подрезанию откоса. В этом случае наносы и заиления сползают со склонов на дно и необходимо повторить процесс для прочистки каналов.

Новая конструкция ковша, предложенная на основе экспериментальных исследований, отличается от первоначальной конструкции формой поперечного сечения. Трапециевидную конструкцию рекомендуется использовать в рабочем оснащении каналоочистителя РР-303 при очистке каналов без крепления дна и откоса. Такое техническое решение дает возможность очищать не только дно, но и прилегающие ко дну элементы насыпи.

Использование трапециевидной конструкции повышает эффективность очистки, но все же не способно очистить всю поверхность откосов. Это также подтверждает, что невозможность проведения всей операций очистки одной машиной, включая очистку дна канала, очистку и скашивание откосов канала, транспортировку отложений, удаленных со дна и откосов канала.

Эффективным решением для формирования оптимального машинного комплекса для очистки осушителей является, конечно, комбинированное использование канализационных очистителей с пассивным и активным рабочими органами.

Такие комплексы могут формироваться на базе модификаций таких машин, как РР-303, МР-16, МР-7А, ЭМ-202, ПО-2. Их сравнительные характеристики, которые приведены в таблице 1.12, дают представление о пределах применения и технологических возможностях канализационных очистителей.

Таблица 1.12 – Сравнительные характеристики каналоочистителей с различными рабочими органами

Показатели	Марка машины				
	РР-303	МР-16	МР-7А	ЭМ-202	ПО-2
Максимальная глубина канала, м	3,8	3,0	1,9	2,0	3,8
Максимальная ширина канала по верху, м	8,0	7,0	4,8	5,0	8,0
Максимальная ширина канала по дну при очистке за один проход, м	0,8	0,8	0,7	1,0	-
Максимальная толщина удаляемых наносов при очистке за один проход, см	25	40	40	20	25
Возможность очистки канала без воды	есть	нет	нет	нет	есть
Максимально допустимый уровень воды в канале, см	не ограничен	20	15	20	20
Возможность очистки каналов с донной растительностью	не ограничена	ограничена	ограничена	ограничена	не ограничена
Возможность очистки каналов с донным креплением	не ограничена	нет	нет	нет	не ограничена
Размещение удаленного грунта	на берме	на берме и прилегающей площади			
Пересыпка грунта на откосы канала, %	нет	до 30	до 15	до 5	нет
Подрезание откосов	нет	есть	есть	есть	есть
Необходимость предварительной очистки дна каналов от посторонних предметов	не требуется	требует предварительной очистки русла			не требует
Максимальные габариты удаляемых из канала предметов, м	5,5	0,15	0,15	0,18	0,2
Наличие устройства для обеспечения необходимого уклона дна	есть	нет	нет	нет	нет

Отсутствие современных специализированных машин для очистки каналов вынуждает многие мелиоративные компании использовать общестроительные экскаваторы. Универсальные одноковшовые строительные экскаваторы, которые в настоящее время используются для очистки и восстановления каналов, обладают высокой производительностью, но высокие технические и эксплуатационные характеристики необходимы для проведения земляных работ большого объема, кроме того, навесное оборудование одноковшовых экскаваторов необходимо адаптировать для использования при очистке каналов.

К примеру, применять основной рабочий орган – ковш одноковшового экскаватора для очистки откосов неэффективно, поэтому приходится использовать уширенный ковш.

Образование и распределение осадка и ила в руслах происходит крайне неравномерно. Большее количество заиления обычно наблюдается в устьях русел, а также на переходах каналов различных категорий. Использование высокопроизво-

дительных одноковшовых экскаваторов также становится экономически невыгодным в таких ситуациях. Конечно, необходимо использовать комплексы специальных канализационных очистительных машин.

В то же время использование специальных канализационных очистительных машин требует определенных условий эксплуатации. Например, для прочистки дна канализационного коллектора наиболее эффективна конструкция драглайна, его боковая навеска (тяговая линия) работает наиболее эффективно при толщине осадка не менее 0,15 м, причем для канализационных очистителей с активными рабочими органами МП-16 и МП-7А оптимальная толщина близка к отметке 0,4 м, а для каналоочистителя ЭМ-202 этот параметр не должен превышать 0,2 м.

Фрезерные очистители каналов также имеют свои требования к условиям эксплуатации, такие как равенство ширины очищаемого канализационного пола и диаметра фрезы, кроме того, они более эффективно работают при наличии воды в канализации, но не более 15 см, и отсутствии растительности на грунте. Вряд ли подойдут каналоочистители со специфическими характеристиками для длинных канализационных коллекторов и соединений с другими типами канализационных коллекторов, где наносы распределяются неравномерно.

Каналоочиститель ЭМ-202 раскрывает свою максимальную производительность, когда его многоковшовый цепной рабочий орган имеет возможность очистки каналов с более узкой шириной до 2,0 ... 2,5 м. При очистке дренажных каналов с шириной дна 0,4; 0,6 или 0,8 м, его производительность сильно снижается. Отложения и растительность в руслах образуются не только на дне, значительная ее часть сосредоточена на склонах.

Например, устройство для очистки откоса канала ПО-2 с пассивным рабочим органом, прикрепленным к раме гусеничного трактора в виде бокового отвала, не прижилось из-за больших боковых смещающих сопротивлений, возникающих в процессе работы. Несмотря на наличие специальных ножей и лыж для поддержания курса движения, использование бокового ножа значительной длины приводит к тому, что невозможно обеспечить прямолинейное движение базовой машины.

1.9. Классификация каналоочистительных машин

Аварийно-спасательные машины, используемые для технического обслуживания и ремонтных работ в осушительной. Классификация машин для технического обслуживания и ремонта

Начиная с 1960-х годов, конструкторские бюро и институты начали интенсивно создавать различные рекуператоры, в том числе канализационные очистительные машины.

Ведущими организациями в этой области являются СКБ-2 в Минске (Мелиормаш), ленинградские институты ВНИИЗемМаш и СевНИИГиМ, Литовский институт ЛитНИИГиМ, московские институты ВНИИГиМ и ВНИИСтройдормаш. Научно-исследовательский лабораторный филиал Московского государственного медицинского института также внес свой вклад в создание машин для этой цели.

Основными заводами, выпускающими канализационные очистительные машины, были завод «Мелиормаш» в Мозыре (Беларусь), завод «Ирпенторфмаш» в Украине, заводы в Нелидове, Брянске и Люберцах (Россия).

Следует отметить, что до создания специальных канализационных очистительных машин все работы по ремонту канализации выполнялись роторными колесными экскаваторами с разными взаимозаменяемыми рабочими органами. Операторы считали драглайн основным рабочим оборудованием, используемым для уборки. При правильном размере экскаватора это оборудование было достаточно эффективным при капитальном ремонте. Однако текущий ремонт, т. е. очистка дна русла от осадка, не мог быть качественно выполнен одним ковшовым экскаватором.

В период с 1967 по 1969 год системы стали оснащаться средствами механизации. Появились специальные канализационные очистные машины ЭМ-152Б, ЭМ-202, Д-490, КОБ-1,5, затем МР-7, МР-12, МР-14, МР-16, МР-19, КМ-82, РР-303. Вплоть до конца 80-х годов продолжался выпуск новых каналоочистительных машин. Однако с начала 90-х годов их выпуск значительно сократился.

Эксплуатация этих машин и многочисленные проведенные испытания выявили их положительные и отрицательные стороны, как с точки зрения конструкции, так и технологии; выбрать и набросать средства их дальнейшего совершенствования [281, 282, 286, 287, 289, 290].

На основе ранее и выпускавшихся в настоящее время отечественных и зарубежных машин стало возможным классифицировать эксплуатационные и ремонтные машины по различным характеристикам. В зависимости от непрерывности процесса обработки: (а) циклический режим работы, (б) непрерывный режим; в случае базового шасси: а) на специальном самоходном шасси, б) на колесных тракторах, в) на гусеничных машинах, в том числе болотоходных тракторах; В связи с положением опорной рамы и рабочего органа по отношению к швеллеру: (а) схема консольного крепления рабочего органа при движении опорной рамы по насыпи, (б) седловидная схема движения опорной рамы при нахождении рабочего органа вдоль оси швеллера, (в) установка машины в канал на дне швеллера или откосов; По конструкции рабочего органа: а) ковшовый, б) многоковшовый, в) скребковый, г) фрезерный, д) шнековый, е) роторный, ж) комбинированный.

1.10. Особенности конструкций рабочего оборудования каналоочистительных машин

Объем работ по техническому обслуживанию и ремонту очень высок, поэтому технологические машины должны обладать высокой производительностью, быть мобильными и не вызывать трудностей в транспортных операциях, связанных с перемещением с одного канала на другой или с одной площадки на другую. В этом отношении машины непрерывного действия будут иметь значительное преимущество с точки зрения производительности и, следовательно, затрат на рабочую силу, по сравнению с циклическими машинами, такими как, например, экскаваторы с одним ковшом.

Машины для очистки каналов, совмещенные с тракторами общего назначения в виде навесного оборудования, также будут иметь некоторое преимущество.

В этом случае стоимость канальных очистительных машин будет значительно ниже, чем машин, которым еще необходимо производить базовые рамы. Конечно, не все тракторы можно использовать в качестве базы без существенных доработок и даже переделок, тем не менее, на сегодняшний день преобладают навесные на трактор очистители каналов.

Также преобладают машины с консольным креплением рабочего органа. Преимущества такой навески весьма существенны. При такой подвеске рабочего органа наибольшая универсальность рабочего органа достигается при относительно простых конструктивных решениях. Можно легко обойти рукотворные сооружения, расположенные в зоне канала; проводить работы по очистке при деформациях любого типа. Однако при такой компоновке возникают трудности с балансировкой базовой машины.

Седельная модель имеет свои преимущества.

Во-первых, устойчивость базового шасси обеспечивается независимо от развесовки, так как центр тяжести автомобиля всегда будет находиться в пределах опорного контура (рис. 1.6). Это положение является главным. Во-вторых, очиститель каналов может перемещаться по бермам и вершинам дамб.



Рисунок 1.6 – Каналоочиститель внутриканальный (седлающая схема)

Однако такие канализационные очистители имеют более громоздкую конструкцию и менее мобильны. Их использование, по сути, ограничено плоскими сетевыми каналами. Это связано с тем, что ширина между рельсами или колесами

должна быть больше в верхней части, чем ширина швеллера. Если невозможно проехать по бермам или насыпям (древесные насаждения, пастбищные ограждения, сооружения и т. д.), то при очистке канализационных коллекторов с большим сечением канализационные очистители могут конкурировать с основными типами машин. Эти машины могут быть наземными и плавучими. Этот тип канализационных очистителей не прижился, потому что эти машины могут передвигаться только по пологим склонам или по грунту с достаточной шириной и несущей способностью несущего слоя грунта внутри канализации. Последний крайне редко встречается в дренажной зоне. Из этого можно сделать вывод, что консольная схема крепления рабочих органов к базовой машине является выгодной, что подтверждается практикой.

На основании литературно-патентного анализа сформирована цель работы и определены следующие задачи.

Задачи исследований:

1. Выполнить анализ естественно-производственных условий эксплуатации, восстановления и реконструкции каналов инженерно-осушительных систем АПК.

2. Провести теоретические исследования: а) по определению физических свойств и конструкционных особенностей откосов мелиоративных каналов и обеспечению их устойчивости; б) процесса очистки и восстановления осушительных каналов очистительными машинами с ковшовыми рабочими органами.

3. Провести экспериментальные исследования: а) по обеспечению устойчивости откосов каналов инженерно-осушительных систем; б) работы рабочих органов мелиоративных каналочистителей по определению тяговых усилий при работе и эффективности их применения для очистки и восстановления осушительных каналов сельскохозяйственных земель.

4. Сформировать эффективные технологии производства восстановительных и очистных работ каналов инженерно-мелиоративных систем на основе экспериментальных исследований.

5. Разработать и исследовать новые конструкции рабочих органов каналочистительных машин на основе проектных требований к каналам.

6. Обосновать и предложить оптимальные по технико-эксплуатационным и технико-экономическим показателям комплексы каналоочистительных машин для зоны осушения АПК.

7. Обосновать и предложить технологии использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для исследования, оценки и контроля состояния осушительных каналов сельскохозяйственного производства.

8. Внедрить результаты диссертационных исследований и оценить их экономическую эффективность.

9. Оценить экономическую эффективность предложенных по технико-эксплуатационным и технико-экономическим показателям комплексов каналоочистительных машин для зоны осушения АПК.

Выводы по первой главе:

1. Дана характеристика природно-эксплуатационных условий систем мелиоративного осушения. Природно-эксплуатационные условия зоны мелиоративного осушения в настоящей работе определялись на основе мелиоративной осушительной сети Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. Активная часть данной мелиоративной системы, которая относится к открытым сетям, обслуживает около 10 га площади под сельскохозяйственные культуры. К природно-эксплуатационным условиям данной мелиоративной осушительной системы относятся препятствующее нормальному функционированию каналов появление наносов, заилений, травяной и кустарниковой растительности.

2. Даны технологические характеристики мелиоративных каналов, представлены их геометрические параметры, рабочее состояние. Основные элементы осушительных мелиоративных систем – каналы с течением времени в процессе эксплуатации теряют свою первоначальную проектную форму, деформируются, заиляются, засоряются и не могут обеспечить качественное функционирование всей системы в целом

3. Пояснены причины дефектов осушительных каналов и их основные виды.

4. Пояснены специфика ремонта и восстановления каналов осушительных систем и проблемы, связанные с очисткой дна мелиоративных каналов. Определены виды ремонтов, включающие в себя уход, текущие ремонты и капитальный ремонт.

5. Определены ежегодные объемы работ и периодичность по очистке каналов от наносов и заилений. Восстановительные и очистительные работы на каналах проводятся ежегодно в рамках обслуживания восстановительной сети и периодически каждые 2–4 года. В первом случае удельные объемы осадка и ила незначительны и колеблются от 0,015 до 0,025 м³.

6. Определены условия обеспечения эксплуатационных характеристик каналов. Природные и производственные условия осушительных систем настолько разнообразны, особенно по геометрическим размерам каналов, количеству и объему наносов и растительности, что проблемы очистки могут быть решены только комплексом машин разных типоразмеров.

7. Выявлены основные характеристики мелиоративных каналоочистителей, учитываемые при их включении в состав восстановительных комплексов. К ним относятся типы рабочих органов, виды ходового устройства базовых машин, способы и места навески рабочего оборудования на базовую машину.

8. Определены технические средства для эксплуатационно-восстановительных операций в зоне осушения. Оптимальным решением проблемы очистки каналов является использование комплексов, которые включают в себя те или иные ведущие специальные машины.

9. Дана классификация каналоочистительных машин по видам рабочего оборудования, типам ходового устройства, по схеме производства очистных работ.

10. Определены особенности конструкций рабочего оборудования каналоочистительных машин, заключающиеся по степени универсальности, по форме соответствующей размерам дна канала, по режиму работы.

11. На основании литературно-патентного анализа сформирована цель работы и определены задачи.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И ПРОЦЕССА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ

После определения глобальной проблемы в народном хозяйстве выявлена цель, достигнув которую можно решить проблему. Цель достигается решением определенных задач. Задачи могут быть решены теоретическими, экспериментальными или комбинированными способами (методами). Наиболее точные результаты могут быть получены при использовании теоретических и эмпирических методов. Под глобальной проблемой в народном хозяйстве в настоящей работе является неудовлетворительное состояние мелиоративных систем на сельскохозяйственных землях зоны осушения.

2.1. Технологические особенности мелиоративных каналов и их структурная классификация

Формирование осушительной системы сельскохозяйственным полям включает в себя строительство [339] каналов различных типоразмеров, протяженностей, расположений по рельефу местности, назначений, согласованностей, соединений разноименных элементов осушительной системы. Каналы на сельскохозяйственных землях необходимы для удаления излишков воды, поскольку сельскохозяйственная культура может погибнуть от большого количества воды, но и от отсутствия влаги также культура может погибнуть, все это регулируется режимами осушения, т. е. контролированием уровня грунтовых вод согласно кривой депрессии.

При пропуске минимальных расходов воды величина командования должна быть не менее 0,1 м.

На участках каналов, где не требуется обеспечить командование над поверхностью земли канала предпочтительнее строить в выемке. Наиболее распространенная конструкция оросительных каналов – выемка-насыпь, лучшим вариантом

которой является сечение в полувыемке-полунасыпи. Эта конструкция обеспечивает командование канала над орошаемой площадью и ее применяют рабочей части канала. Когда трасса канала проходит по пониженным местам рельефа и требуется обеспечить командование канала, применяют сечение в насыпи [302]. Продольные профили каналов должны обеспечивать самотечное движение воды по руслу канала. Допустимые уклоны каналов определяют из условия соблюдения допустимых значений скоростей течения воды. Ширину дамб по верху принимают 0,5 ... 3 м и более в зависимости от размеров канала. Если по гребню канала проходит дорога, то ее ширина зависит от класса дороги. Отметку верха дамбы отсчитывают от уровня воды при пропуске форсированного расхода, и она составляет 0,2...0,75 м и более в зависимости от нормального расхода. Для каналов, проходящих в выемке, через m_5 v по высоте устраивают бермы шириной 1...2 м с кюветом для отвода воды. Заложение откосов между бермами принимают в зависимости от грунтовых условий. Устройство берм уменьшает заложение откосов, предохраняет грунт от оползания. Наличие берм обеспечивает эксплуатацию каналов.

При строительстве каналов в насыпи необходимо обеспечивать высокое качество выполнения работ. Надежность конструкции таких каналов может быть обеспечена при соблюдении условия $B = (5...10) h$, где B ширина по верху, а h – глубина канала. В случае расположения канала около косогора важно учитывать условия предотвращающие оползневые явления, которые чаще всего возникают при наличии влаги слоями грунтов разной плотности. Для лучшего сопряжения дамбы с грунтом делают врезку основания дамбы в откос в виде уступов. Оросительные каналы [308, 309, 310, 311], особенно в начальный период эксплуатации, деформируются в результате размыва, заиления и зарастания, влияния низких температур, дополнительных нагрузок кавальеров, а также просадки грунтов. Кроме того, на дне каналов формируется кольматаж в определенной степени, препятствующий дальнейшей фильтрации. Осушительные системы имеют следующие основные элементы: осушаемую территорию; регулирующую осушительную сеть; оградительную сеть; проводящую сеть; водоприемник; гидротехнические сооружения на осушительной сети; дороги и сооружения на них [304, 305, 306, 307].

2.2. Каналы трапецидального сечения как наиболее распространенные на мелиоративных системах

Процесс проектирования осушительных каналов требует учета требований к каналам не только с точки зрения устойчивости и размываемости, но и обеспечения технологической их очистки [215, 216, 217, 218]. Если осушительный канал проектируется в грунте – то необходимо обеспечить размываемость русла, устойчивости откосов, незаиленность или возможность легкого механизированного удаления растительности, заилений и наносов. От определения устойчивого ко внешним воздействиям поперечного сечения канала и отвечающих ему гидравлических характеристик во многом зависит надежность работы канала без заиления и размыва. На рисунке 2.1 конструкции типовых сечений каналов.

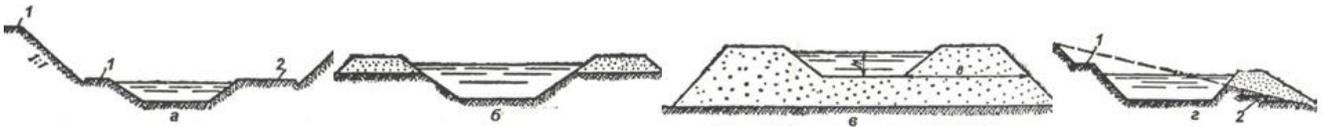


Рисунок 2.1 – Конструкции типовых сечений оросительных каналов: *а)* в глубокой выемке; 1 – бермы; 2 – эксплуатационные дороги; *б)* в полувыемке-полунасыпи; *в)* – насыпи с подсыпным дном; *г)* – на косогоре; 1 – берма; 2 – уступы для врезки дамбы в грунт

Наибольшее распространение на осушительных системах сельскохозяйственных полей получила трапецидальная форма поперечного сечения. Однако, она не всегда неустойчива: откосы таких русел деформируются, угловые пространства заиляются и, в конце концов, первоначальная форма совершенно изменяется – она принимает неправильное произвольное очертание в верхней части и криволинейное в нижней [135, 136, 137, 212, 213, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 233, 234].

На протяженных линейных участках каналов, выполненных в слабосвязных грунтах водный поток формирует параболическое или гиперболическое сечение русла, а каналы в более плотных и связных грунтах часто имеют эллиптическую форму профиля русла. Поперечное сечение русла канала в процессе эксплуатации под воздействием физико-механических свойств грунта, размывающих сил водного потока, местных оползневых явлений принимает более устойчивую криволинейную форму близкую к параболе или полуэллипсу.

2.3. Профили сечения каналов с наилучшей пропускной способностью

Важной характеристикой каналов, которая влияет на гидравлические характеристики живого сечения канала, пропускную способность, размываемость и заиляемость сечения, его устойчивость, потери на фильтрацию, возможности эффективной очистки и восстановления, а также на экономичность сечения является форма поперечного сечения канала [97, 253]. В работе Кизяева Б. М. (Мелиоративные каналы параболического сечения. Технология строительства. 1998) [200] отмечается, что гидравлически наивыгоднейшим профилем канала следует считать такой, который при одинаковой площади живого сечения и заданном уклоне обеспечивает наибольшую пропускную способность, т. е. при заданном расходе пропускает его при наименьшей площади живого сечения. Наивыгоднейший профиль канала можно обосновать, используя формулу для определения расхода воды в открытом русле, которая в общем виде представляет собой произведение площади живого сечения на коэффициент, зависящий от условий движения воды в том числе и скоростью:

$$Q = \omega c \sqrt{R \cdot i}, \quad (2.1)$$

где Q – расход воды, м³/с, ω – живое сечение, м², c – коэффициент, зависящий от условий движения воды $c=f(R,n)$; R – гидравлический радиус, м; i – уклон; n – коэффициент шероховатости. Очевидно, что при одном и том же значении ω , n и i наибольший расход будет при наибольшем значении гидравлического радиуса, то есть при R_{\max} . Однако, $R = \omega/\chi$, то наибольший гидравлический радиус будет при наименьшем смоченном периметре (χ_{\min}), χ – смоченный периметр, м. И.И. Агроскин и А.В. Троицкий [97, 200, 253] для гидравлического обоснования наивыгоднейшего сечения канала принимают безразмерную величину удельного смоченного периметра (χ_0), равную длине смоченного периметра (χ), приходящегося на единицу радиуса (R)

$$\chi_0 = \frac{\chi}{R} = \frac{\omega}{R^2} \quad \text{или} \quad \chi_0 = \frac{\chi^2}{\omega} \quad (2.2)$$

Приведем значения удельного смоченного периметра для некоторых сечений каналов [97, 200, 253]:

$$\text{Полукруглое сечение } \chi_0 = 2\pi. \quad (2.3)$$

$$\text{Трапецеидальное сечение } \chi_0 = \frac{(\beta+2m')^2}{\beta+m} \quad (2.4)$$

где $\beta = \frac{b}{h}$ - относительная ширина канала; b - ширина канала по дну, м; h - глубина наполнения канала, м; $m' = \sqrt{1+m^2}$, m - заложение откоса.

Параболическое сечение (квадратичная парабола)

$$\chi_0 = \frac{3}{2a^3} [a\sqrt{1+a^2} + \ln(a + \sqrt{1+a^2})]^2 \quad (2.5)$$

где $a = \frac{4}{\beta^x}$, $\beta^x = \frac{B}{h}$; B - ширина канала по зеркалу воды.

Гидравлически наивыгоднейшему сечению будет соответствовать как уже указывалось, такое сечение, у которого удельный смоченный периметр будет минимальным ($\chi_{0\min}$) [97, 200, 253].

Если для наглядности рассмотреть численные примеры, то будет очевидно:

- полукруглое сечение $\chi_0 = 2\pi=6,28$

- трапецеидальное сечение различного заложения откосов

m	2,0	1,5	1,0	0,75	0,5	0,25	0
(χ_0)	8,96	8,4	7,28	7,0	6,96	7,16	8,0

- параболическое сечение (квадратичная парабола) $\chi_0 = 6,56$.

Анализируя приведенные варианты, можно сделать вывод, что наименьший удельный смоченный периметр соответствует полукруглому сечению, где $\chi_0 = 6,28$. Такие каналы имеют слабую устойчивость откосов, и механизированная очистка их сопряжена с технологическими сложностями, что ограничивает их строительство на практике.

Наиболее близкими к гидравлически наивыгоднейшим полукруглым сечениям являются параболические, где исследуемый параметр - удельный смоченный периметр для квадратичной параболы $\chi_0 = 6,56$. Минимальный удельный смоченный периметр у трапецеидального профиля $\chi_0 = 6,96$ соответствует каналу с $m = 0,5$ м, но такие каналы в практике на мелиоративных системах не строятся из-за большой крутизны откоса [97, 200, 253]. При строительстве мелиоративных каналов чаще всего заложение откосов задается в пределах $m = 1,0 \dots 2,0$, для которых удельный смоченный периметр $\chi_0 = 7,28 \dots 8,96$ существенно отличается по трапецеидальным и параболическим сечениям [349, 350].

Несмотря на то, что каналы параболического сечения являются наивыгоднейшими по удельному смоченному периметру, все же они не находят широкого применения, это связано и с тем, что при очистке от наносов различными видами рабочего оборудования не всегда удается обеспечить проектные профили.

2.4. Устойчивость откосов трапецидальных каналов мелиоративной сети

Сформированная в результате естественных или производственных условий поверхность между двумя соседними плоскостями называется откосом. Откосы выполняются при сооружении различного рода насыпей (земляных плотин, дорожного полотна, дамб и т. д.), выемок (каналов, котлованов, траншей, карьеров и т. д.) или при перепрофилировании территории. Склон также является откосом сформированный естественным путем. Основной задачей при эксплуатации каналов является обеспечение устойчивости откосов, которая может быть нарушена при неблагоприятном сочетании разнообразных факторов.

Главными факторами потери устойчивости откосов каналов являются:

- формирование недопустимо крутого откоса или подрезка склона, находящегося в состоянии, близком к предельному (доказано в экспериментальной части настоящей работы);
- увеличение внешней нагрузки (возведение сооружений, складирование материалов на откосе или вблизи его бровки, движение по берме канала каналоочистительных машин большой эксплуатационной массы);
- изменение внутренних сил и характеристик (увеличение удельного веса грунта при возрастании его влажности или, напротив, влияние взвешивающего давления воды на грунты);
- неправильная оценка расчетных характеристик прочности грунта или снижение его сопротивления сдвигу за счет, например повышения влажности;
- проявление гидродинамического давления, сейсмических сил, различного рода динамических воздействий (движение транспорта, забивка свай, работа промышленных машин и оборудования вблизи откоса и т. п.) [97, 200, 253].

Обеспечение устойчивости откоса канала во многом зависит от корректного расчета угла его заложения, т. е., угла между наклонной плоскостью откоса и плоскость дна канала. В инженерных расчетах устойчивость откосов каналов часто определяется «шведским методом» - методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС). Этот метод основан на использовании опытных данных об объемной форме поверхности скольжения при оползневых вращениях слоев грунта отдельных отсеков.

Основной задачей при рассмотрении мелиоративных систем является определение коэффициента запаса устойчивости откоса канала, насыпи (выемки) или откоса земляной дамбы для наиболее опасной поверхности скольжения.

Изучение вопросов определения устойчивости откосов каналов показал, что в настоящее время существует множество методов расчета коэффициента устойчивости, которые в целом можно разделить на три основные группы:

- методы расчета по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения;
- методы, основанные на теории предельного равновесия грунтовой среды;
- методы, основанные на аналогии между кривыми сдвига и откоса [253].

Методы расчета устойчивости откосов земляных сооружений по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения

Нарушение устойчивости откосов каналов в определенном смысле можно сравнить с оползневыми явлениями. Часто в таких случаях призма обрушения скользит по влажной твердой поверхности «подпризменного слоя грунта». Многочисленные исследования и наблюдения оползневых ситуаций, особенно в горных и предгорных районах подтвердили, что внутренняя поверхность оползневой призмы чаще всего криволинейна. Изучением устойчивости откосов в начале XX века занимались шведские ученые Т. Гультен, К. Петерсон и В. Филлениус. Они впервые представили метод расчета устойчивости откосов по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения (шведский метод), который в настоящее время используется в качестве основного метода оценки общей устойчивости откосов. Достоинствами этого метода являются простые решения, позволяющие учитывать разнообразные геологические и конструктивные особенности откосов каналов.

и рассматривается предельное равновесие этих столбиков, стоящих на круглоцилиндрической поверхности обрушения. Наличие такой массы в виде столбика, стоящего на наклонной круглоцилиндрической поверхности, ведет его смещению в сторону наклона дуги. Здесь устойчивость будет зависеть также от коэффициента трения круглоцилиндрической поверхности отсека по наклонной поверхности грунта. Допущения метода касаются напряжений по поверхности скольжения.

Расчетные формулы устойчивости откосов по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения различных авторов приведены в таблице 2.1 [97, 200, 253].

Таблица 2.1 – Методы расчета устойчивости по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения

<p>Терцаги-Крея (способ ВОД-ГЕО)</p>	<p>Коэффициент устойчивости откоса</p> $\eta = \frac{tg\varphi \sum d \cos \alpha + \frac{C}{\gamma_r} L}{\sum d \frac{m}{n}}$ <p>где α – угол заложения откоса; m – порядковый номер секций; n – количество секций; d – высота секции; L – длина дуги скольжения; C – сила сцепления; φ – угол внутреннего трения грунта; h – высота откоса</p>
<p>Гольдштейна М.К.</p>	<p>Коэффициент устойчивости откоса</p> $\eta = fA + \frac{C}{\gamma_r h} B$ <p>где A и B – коэффициенты, зависящие от геометрических размеров клина и выраженные в долях от высоты h, $f = tg\varphi$ – коэффициент внутреннего трения грунта; C – сила сцепления; γ_r – плотность грунта; h – высота откоса</p>
<p>Чугаева Р.Р.</p>	<p>Коэффициент запаса устойчивости</p> <p>1. Откос образован однородным сухим грунтом</p> $\eta = \left[r \frac{\sum L}{\sum Lx} \right] tg\varphi_d + \left[\frac{r}{b\gamma_{сух}} \frac{\sum(\delta S)}{\sum(H_2x)} \right] C_d$ <p>2. Откос образован однородным связным грунтом, насыщенным в некоторой части отсека обрушения водой</p> $\eta = \left[r \frac{\sum H_1}{\sum H_2x} \right] tg\varphi_d + \left[\frac{r}{b\gamma_B} \frac{\sum(\delta S)}{\sum(H_2x)} \right] C_d$ <p>где r – радиус дуги обрушения</p>

При расчете устойчивости откосов данным методом сложность всей задачи заключается в отыскании расположения наиболее опасной поверхности скольжения. Кроме того, центральная точка опасной поверхности скольжения, во многом зависящая от силы сцепления C и угла внутреннего трения φ , определяется только путем выбора из нескольких возможных.

Методы, основанные на теории предельного равновесия

Авторы этих методов расчета Винкер, Резаль-Фронтар, В. В. Соколовский, Н.Г. Самсонов, И.С. Мухин, И.А. Срагович и др. полагают, что исследуемая часть грунтового массива откоса уже содержит участки с предельным состоянием грунта, т.е. это означает что в грунтовом массиве появляется несколько поверхностей предельного равновесия, по которым может возникнуть сдвиг, и, в этом случае необходимо определить наиболее опасную поверхность предельного равновесия.

Этот метод, получивший наибольшее развитие в работах В. В. Соколовского с решением задачи для откосов сформированных из неоднородных грунтов с учетом фильтрации и наличия влаги. Им также выяснено, что равноустойчивый откос в предельном равновесии может поддерживать равномерно распределенную нагрузку на горизонтальной поверхности грунтового массива величиной интенсивности

$$\rho_0 = \frac{2C \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (2.7)$$

Более сложной составляющей при этом методе решения является выявление формы равноустойчивых откосов для общего случая, когда грунт и трением, и сцеплением может обеспечить определенную устойчивость отсека. В этом случае для построения контуров наиболее крутых равноустойчивых откосов по методу В.В. Соколовского, путем численного интегрирования дифференциальных уравнений с использованием компьютерных технологий И.С. Мухин и А.И. Срагович представили графические решения. Координаты на графиках даны ими в безразмерных величинах $x^1 = \frac{\gamma_r}{C} x$; $y^1 = \frac{\gamma_r}{C} y$. По вычисленным координатам x и y по заданным значениям φ , C и γ_r строят, пользуясь графиками, равноустойчивый откос предельной крутизны, начиная с верхней кромки откоса [97, 200, 253].

Представленные решения, конечно, описывают процесс определения устойчивости откосов с принятыми допущениями, но очевидно, что при использовании каждого из них могут получаться разные значения, что не позволяет принимать все рассматриваемые методы за основу. Более того грунтовый массив, и отсеки в нем приняты условно поскольку определить четкие границы отсеков в разнородных грунтах невозможно.

Расчетные формулы этих методов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Методы расчета устойчивости откосов, основанные на теории предельного равновесия грунтовой среды

Винклера	<p>Максимально допустимая величина откоса</p> $h = \frac{2C \sin \theta \cos \varphi}{\gamma_{\Gamma} \sin^2 \frac{\theta - \varphi}{2}}$ <p>где h – предельная высота откоса; C – сила сцепления грунта; γ_{Γ} – плотность грунта; θ – угол наклона откоса; φ – угол внутреннего трения грунта</p>
Резаля-Фронтара	<p>Максимально допустимая высота откоса</p> $h = \frac{2C \sin \theta \cos \varphi}{\gamma_{\Gamma} \sin^2 \frac{\theta - \varphi}{2}} \times \left[\frac{\cos \varphi}{\sin \theta (1 - \sin \varphi)} + \frac{\arccos \frac{\sin^2 \theta - \sin \varphi}{\sin \theta (1 - \sin \varphi)}}{\sqrt{\sin(\theta - \varphi) \sin(\theta + \varphi)}} \right]$
Соколовского В. В.	<p>Форма равноустойчивого откоса среды с идеальным сцеплением ($\varphi = 0$)</p> $y = \frac{2C}{\gamma_{\Gamma}} \ln \frac{\cos \left(\frac{P_0}{2C} - 1 \right)}{\cos \left(\frac{P_0}{2C} - 1 - \frac{\gamma_{\Gamma}}{2C} x \right)}$ <p>где P_0 – интенсивность равномерно распределенной нагрузки</p> $P_0 = \frac{2C \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}$
Самсонова М. Г.	<p>Устойчивый профиль откоса</p> $\bar{l} = ctg \varphi (\bar{h} - 1 + ctg \varphi \times \ln \frac{\bar{h} \cos \varphi + \sqrt{\bar{h}^2 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi + \bar{h} \sin \varphi} - \frac{1}{\sin \varphi} \ln \frac{\bar{h} + \sqrt{\bar{h}^2 - \cos^2 \varphi}}{1 - \sin \varphi})$ <p>где $\bar{l} = \frac{l}{h}$, $\bar{h} = \frac{h}{h_0}$, $h_0 = \frac{c}{\gamma_{\Gamma}}$, h – высота откоса.</p>

Методы, основанные на аналогии между кривыми сдвига и откосов

Метод Н. Н. Маслова. Этот метод основан на двух следующих базовых предпосылках [200, 235, 243].

1. Угол устойчивого (естественного) откоса для любой горной породы есть угол сопротивления ее сдвигу (ψ), т. е. отношение сдвигающего напряжения к нормальному в стадии предельного равновесия.

2. Критичное напряжение в толще откоса, находящегося в стадии предельного равновесия, определяется равенством двух главных напряжений (коэффициентов) бокового давления $\xi=1$, равных весу столба грунта высотой, в свою очередь, равной глубине погружения точки от горизонтальной поверхности грунта. Согласно методу Маслова « F_p » наклон кривой устойчивого откоса под углом α к горизонту в каждой точке на откосе с координатами z и x определяется условием $\alpha' = \psi_p$.

Коэффициент сопротивления сдвигу F_p определяется численно [243] отношением сопротивляемости грунта сдвигу S_p к отвечающей ей нагрузке P , т. е.:

$$F_p = \frac{S_p}{P} = tg\varphi + \frac{c}{P}, \quad (2.8)$$

При этом уравнение поверхности предельного свободного откоса имеет вид:

$$x = \frac{1}{\gamma_r tg\varphi} [tg\varphi Z \gamma_r + C \ln C - C \ln(tg\varphi \gamma_r Z + C)], \quad (2.9)$$

а при наличии на откосе равномерно распределенной нагрузки

$$x = \frac{1}{\gamma_r tg^2\varphi} \{tg\varphi Z \gamma_r + C \ln(tg\varphi P_0 + C) - C \ln[(\gamma_r Z + P_0)tg + C]tg\varphi + C\} \quad (2.10)$$

где x и z – координаты рассматриваемой точки откоса. Важно отметить, что формулы Н. Н. Маслова и Н. Г. Самсонова применимы для сухой части откоса, для влажных грунтов и при наличии влаги между слоями грунтов также не используются. Анализ исследований показывает, что оценку степени устойчивости откоса необходимо давать с учетом фильтрационного давления в «самом опасном случае», когда депрессионная кривая занимает наивысшее положение [200]. Однако влияние фильтрационного давления при расчете устойчивости откосов учитывается различными авторами по-разному. К. Терцаги, Н.М. Герсеванов, В. М. Шестаков и др. определяют величину и направление фильтрационного давления путем форми-

рования гидродинамической сетки, М. М. Гришин рассматривал предельное равновесие единичного объема грунта в верхней точке участка высачивания депрессионной кривой на поверхности откоса и получил

$$tg\varphi \leq \frac{1}{2}tg\varphi \quad (2.11)$$

Таким образом по М. М. Гришину [153] крутизна устойчивого откоса на участке высачивания уменьшается в 2 раза.

Н. Н. Маслов для определения очертания равнопрочного профиля откоса с учетом фильтрационного давления вводит новый условный угол трения

$$tg\varphi_{\beta_0} = \beta_0 tg\varphi_b \quad (2.12)$$

$$\beta_0 = \frac{a+b/2}{a+b} \quad (2.13)$$

где a и b – высоты сухой зоны и фильтрационного давления

$$F_{p\beta_0} = tg\varphi_{\beta_0} + \frac{c}{p} \quad (2.14)$$

Эта формула применима по мнению Маслова, для связных грунтов.

Метод Ю. А. Соболевского. Отличительной особенностью данного метода [307] является замена объемных фильтрационных сил внешней равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью $\gamma_0 H$, приложенной на горизонтальной поверхности откоса. Уравнение контура криволинейного равноустойчивого откоса, фильтрующего по всей высоте, сложенного идеально связным грунтом имеет вид:

$$y = \frac{2K}{\gamma_{\text{нас}}} \ln \frac{\cos\left(\frac{x\gamma_{\text{нас}} + \gamma_0 H + P - 2K}{2K}\right)}{\cos\left(\frac{\gamma_0 H + P - 2K}{2K}\right)} \quad (2.15)$$

При отсутствии нагрузки на горизонтальной поверхности откоса $\gamma_0 H = 2K - P$ получена кривая равноустойчивого откоса, выраженная уравнением:

$$y = \frac{2K}{\gamma_{\text{нас}}} \ln \left(\cos \frac{x\gamma_{\text{нас}}}{2K} \right) \quad (2.16)$$

где K – удельная сила сцепления грунта; $\gamma_{\text{нас}}$ – плотность насыщенного грунта; γ – плотность воды; H – высота откоса; P – интенсивность равномерно распределенной нагрузки; x и y – координаты точки. При фильтрующем в нижней части откосе задача рассматривается аналогично построению контуров равноустойчивых откосов в двухслойной среде. Грунт ниже кривой депрессии рассматривается как другой слой, обладающий иными характеристиками [147, 148]. При этом считается, что

угол внутреннего трения в нефилтрующих и филтрующих частях остается неизменным, удельная сила сцепления K уменьшается в области фильтрации вследствие увеличения влажности.

Расчет устойчивости откоса ниже кривой депрессии сводится к определению равноустойчивого контура от действия нагрузки по поверхности кривой от вышележащего слоя грунта.

Из условия неразрывности напряжений на контакте слоев – по линии депрессии $\sigma_{пнф} = \sigma_{нф}$ и $\tau_{пнф} = \tau_{nt}$ определяются функции $\varphi_{ф}$ и $\sigma_{ф}$, выраженные через характеристики филтрующего слоя

$$\sigma_{пнф} [1 + \sin \rho_{нф} \cos 2(\varphi_{нф} - \alpha_1) - Kctg\rho_{нф}] = \sigma_{нф} [1 + \sin \rho_{ф} \cos 2(\varphi_{ф} - \alpha_1) - Kctg\rho_{ф}], \quad (2.17)$$

$$\sigma_{нф} \sin \rho_{нф} \sin(\varphi_{нф} - \alpha_1) = \sigma_{нф} \sin 2(\varphi_{нф} - \alpha_1) \quad (2.18)$$

где α_1 - угол наклона кривой депрессии к горизонту; индексы $нф$ и $ф$ означают соответственно нефилтрующую и филтрующую части откоса; φ - угол внутреннего трения грунта.

Анализ исследований показывает, что для расчета устойчивости земляных откосов мелиоративных каналов наиболее простыми и приемлемыми являются методы, основанные на аналогии между кривыми сдвига и откоса.

Методы расчета коэффициента устойчивости откосов земляных сооружений и откосов каналов основанные на теории определенного состояния среды, являются наиболее точными, однако эти методы не находят широкого практического применения, главным образом, из-за сложности расчетов и условности оценки степени устойчивости заданного откоса по величине, равномерно распределенной на бровке нагрузки, критической для данного откоса.

Учитывая, что «Указания по расчету устойчивости земляных откосов» ВСН04-71 рекомендуют рассчитывать устойчивость откосов с высотой более 5 м, все можно провести сравнительную оценку устойчивости откосов рекомендуемых каналов рационального профиля межхозяйственной и внутривозвездной мелиоративной сети, т.е. глубиной до 3 м в устойчивых грунтах I...III категорий по

ГОСТ 17343-71 по методу основанному на аналогии между кривыми сдвига и откоса, и уточнить коэффициент запаса устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

Расчет устойчивости откосов каналов подразумевает предварительное определение назначения откоса, значение «обеспечение устойчивости откоса», выявление последствия нарушения устойчивости откоса, использование расчетных методов проверки устойчивости откоса и изучение истории их развития, соблюдение мер по обеспечению устойчивости откоса и т. п.

Расчетная часть исследования устойчивости откоса выполняется в следующей последовательности:

1. Формируется разрез откоса канала с привязкой его к геологической составляющей и размещением каналоочистительной машины на берме вблизи бровки откоса. Определяется угол заложения откоса канала.

2. Согласно методу расчета круглоцилиндрическими поверхностями задается центр вращения O откоса и определяется образующая круглоцилиндрической поверхности радиусом R через точку пересечения образующей нижней горизонтальной площадки и наклонной плоскости (точка A). Через указанную точку можно провести бесконечное множество круглоцилиндрических поверхностей, поэтому для оценки устойчивости откоса выбирается наиболее неблагоприятную случай, т. е. из всех возможных центров вращения находится в пределах поля действия такая точка, относительно которой коэффициент запаса устойчивости будет минимален. Существует много различных способов определения такой точки. По наиболее распространенному способу искомая точка находится в следующей последовательности:

- из верхней части откоса (точка B) проводится наклонная линия под углом 36° к горизонтальной оси (см. рисунок в приложениях);

- на этой линии располагаются точки O_i на расстояниях, рекомендованных в приложении 4;

- выбранные точки принимаются за центры вращения;

- из каждой точки радиусом R_i последовательно проводятся образующие

КЦПС (на начальном этапе рекомендуется применить четыре таких построения);

- для каждого такого построения вычисляют значение коэффициента запаса устойчивости (k_{ycmi});

- в предварительно выбранном масштабе откладываются значения $k'_{ycmi} = k_{ycmi} - 1$ в виде отрезков, перпендикулярных линии OA_4 в соответствующих точках O_i ;

- через концы этих отрезков строится огибающая кривая, к которой проводится касательная, параллельная линии OA_4 , а точка касания проецируется на линию OA_4 (точка O).

Для получения минимального значения коэффициента запаса устойчивости выполняется еще одно построение (пятое) из точки O вычисляется $k_{ycm \min}$.

3. Из сформированного в результате построения массива грунта, ограниченного КЦПС, наклонной гранью и бровкой откоса, вырезается полоса шириной 1 м (размер перпендикулярно плоскости чертежа), проекция которой на листе разбивается вертикальными линиями на элементарные участки (отсеки, сегменты), руководствуясь следующими указаниями:

- размер отсека по горизонтальной оси (Δb_i) назначать с учетом величины откоса и глубины канала;

- вертикальные разбивочные линии при возможности совмещать с местом изменения профиля откоса, гранями ходового устройства каналоочистительной машины и точками пересечения границ слоев с наклонной плоскостью;

- минимальное количество отсеков принять равным 5.

4. Для каждого из отсеков - сегментов вычисляется вес G_i , вектор которого через центр тяжести (ц.т.) отсека сносится на поверхность скольжения откоса в точку D . Сила веса раскладывается на касательную и нормаль (соответственно составляющие T_i и N_i) с использованием известных и определенных расчетом геометрических размеров и простых тригонометрических функций. Вычисляется длина части окружности (Δl_i), принадлежащая отсеку (без существенной погрешности может быть заменена хордой).

5. Вычисляется коэффициент запаса устойчивости как отношение момента удерживающих сил к моменту сдвигающих сил ($k_{ycm} = M_{уд} / M_{сд}$). С учетом

того, что плечо действующих усилий (радиус R) входит в числитель и знаменатель приведенного выражения для определения $k_{уст}$ и может быть сокращено, коэффициент запаса устойчивости определится зависимостью

$$k_{уст} = \frac{M_{уд}}{M_{сд}} = (\sum_{i=1}^n Q_i + \sum_{i=1}^n c_i \cdot \Delta l_i) / \sum_{i=1}^n T_i \quad (2.19)$$

где Q_i – сила трения на поверхности сдвига i -го отсека, кН,

$$Q_i = N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (2.20)$$

$$N_i = \sum G_i \cos \alpha_i, \quad (2.21)$$

где N_i – нормальная составляющая силы веса, кН, α_i – угол наклона радиуса поверхности скольжения (линия OD) к вертикальной оси со своим знаком (знак «плюс» при отклонении в сторону откоса));

Δl_i – длина дуги следа поверхности сдвига i -го отсека, м; c_i – удельная сила сцепления на поверхности сдвига i -го отсека, кПа; T_i – сдвигающая сила (касательная составляющая силы веса), кН, $T_i = \sum G_i \sin \alpha_i$.

6. Полученный в результате расчетов минимальный коэффициент запаса устойчивости $k_{уст \min}$ сравнивается с нормативным значением (для II класса капитальности сооружения принимается равным 1,2) с целью проверки выполнения условия $k_{уст \min} \geq 1,2$.

7. При выполнении указанного условия делается вывод об обеспеченности необходимого запаса устойчивости откоса и возможности его возведения с предлагаемым углом заложения β .

8. При невыполнении условия (если $k_{уст \min} < 1,2$) необходимо изменить (уменьшить) угол заложения откоса β и выполнить расчет заново, добиваясь безусловного выполнения указанного условия.

В числитель формулы для определения устойчивости откосов целесообразно вводить полученный по результатам исследований в настоящей работе поправочный коэффициент $k_{п}$, в итоге формула (1) примет вид:

$$k_{уст} = \frac{M_{уд}}{M_{сд}} = (\sum_{i=1}^n Q_i + \sum_{i=1}^n c_i \cdot \Delta l_i) \cdot k_{п} / \sum_{i=1}^n T_i \quad (2.22)$$

где k_{Π} – поправочный коэффициент, учитывающий реальные условия состояния откоса с учетом влажности:

$$k_{\Pi} = W \cdot k_{\text{пр}} \cdot k_{\text{э}} \cdot f_{\Gamma}, \quad (2.23)$$

где W – влажность грунта; $k_{\text{пр}}$ – коэффициент, зависящий от характеристики грунта, для связных грунтов $k_{\text{пр}} = 0,8 \dots 0,9$, для несвязных – $k_{\text{пр}} = 1,2 \dots 1,3$; f_{Γ} – коэффициент трения грунта о грунт, $f_{\Gamma} = 0,5 \dots 1,0$; $k_{\text{э}}$ – коэффициент эксплуатации. Значения коэффициента эксплуатации определяются по эмпирической формуле:

$$k_{\text{э}} = k_{\text{вл}} \cdot k_{\text{пл}} \cdot k_{\text{кат}}. \quad (2.24)$$

где $k_{\text{вл}}$ – коэффициент, учитывающий наличие влаги между слоями грунта, $k_{\text{вл}} = 0,7 \dots 1,0$; $k_{\text{пл}}$ – коэффициент, учитывающий плотность грунта $k_{\text{пл}} = 0,7 \dots 1,0$; $k_{\text{кат}}$ – коэффициент, учитывающий категорию грунта, $k_{\text{кат}} = 0,7$ для I категории; $0,8$ – II; $0,9$ – III; $1,0$ – IV.

Распределение слоев грунтов и почвогрунтов крайне неравномерное и не строго горизонтальное (рис. 2.3).

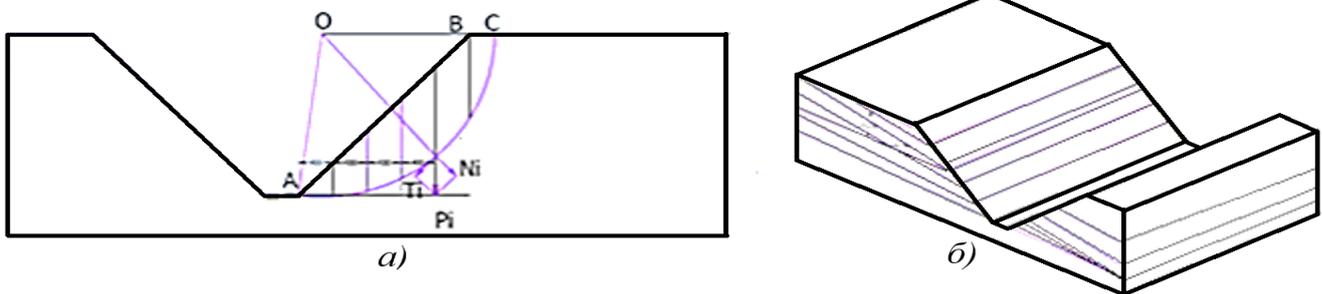


Рисунок 2.3 – Расчет устойчивости откосов: а) по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения; б) расположение слоев грунта в районе строительства канала

Это подтверждается расположением слоев в различных районах, такое расположение слоев также подтверждается естественными срезами грунтов вследствие эрозии почв. По рисунку очевидно оползневым условиям в большей степени подвержен правый откос канала. По трудности разработки, кроме рыхлых почвогрунтов, обычно встречаются грунты II и III категорий в основном тяжелые глинистые [124, 154, 155].

На основании вышеотмеченного можно сделать следующие выводы:

1. Структуры грунтов представляют собой слои разной плотности;

2. Анализ грунтов показывает, что плотность нижних слоев значительно выше;
3. Рельеф расположения слоев почвогрунтов весьма разнообразен;
4. Оползневые и деформационные явления на откосах каналов возникают в тех случаях, когда слои несвязных грунтов располагаются под определенным углом и между слоями возникают условия для скольжения, т. е. при наличии воды;
5. При строительстве канала в плоскости поперечной наклону слоев грунта возможны случаи, когда сползание наблюдается только на одном откосе канала при достаточной устойчивости другого.
6. Обеспечение устойчивости откосов каналов заключается в соблюдении условия, при котором угол внутреннего трения грунта о грунт (граничных слоев грунта) будет больше угла наклона слоя грунта: $\beta < \varphi$.

Данное условие определяет устойчивость откоса, а именно для самоторможения слоя грунта необходимо, чтобы угол наклона рассматриваемого слоя грунта определенной массы был меньше приведенного угла трения грунта о грунт двух слоев. Приведенный угол трения грунта о грунт определяется в зависимости от типа грунта и его физико-механических свойств: $\varphi = \arctg f$, где f – коэффициент трения грунта о грунт.

Коэффициент трения f для разных почв колеблется от 0,25 до 0,90, угол трения φ колеблется от 14° до 42° . Для ориентировочных расчетов принимается $f = 0,5$, что соответствует углу трения $\varphi = 26^\circ 30'$. Для обеспечения оптимальных углов откосов каналов и их устойчивости в таких случаях целесообразно применять для очистки и восстановления, предлагаемые в настоящей работе конструкции ковшей трапецеидального профиля.

2.5. Общие положения по выбору концепции очистки каналов от наносов

Наиболее ответственной составляющей частью в механизации мелиоративных работ является обеспечение качественного функционирования оросительных и осушительных каналов [145, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172].

Эксплуатация мелиоративных каналов в земляном русле сопряжена с неизбежной потерей первоначальных проектных размеров сечения. В основном наблюдается уменьшение площади поперечного сечения канала, вызванное отложением наносов и заилений, деформацией откосов и русел, зарастанием кустарниковой и травянистой растительностью, вследствие чего снижается его пропускная способность. Возможны также случаи, когда площадь поперечного сечения русла канала увеличивается вследствие размыва, вызванного большим скоростным потоком воды или неустойчивостью откосов.

В каналах оросительных систем при нормальных условиях эксплуатации количество наносов, накапливающихся в течение года, составляет обычно 0,4...0,5 м, в определенных случаях это значение может в 2...3 раза больше. Площадь поперечного сечения осушительных каналов обычно меньше, чем у оросительных, более того она ежегодно уменьшается на 5...8%. Такое состояние дел для мелиоративных оросительных систем требуют ежегодной очистки каналов, тогда как для каналов осушительных систем проводить очистные работы необходимо один раз в 3–5 лет. Для осушительных каналов при заилении и отложении наносов, покрывающих 10% от проектного живого сечения, необходимо проводить текущий ремонт, а при количестве наносов, покрывающих до 25% и более 25%, соответственно требуется проводить средний и капитальный ремонт.

Проведение капитального ремонта каналов подразумевает полное восстановление их продольного и поперечного профилей с соблюдением требуемого уклона дна. Разнообразие типов и типоразмеров каналов и их категорий, сооружений на каналах (рис. 2.4), а также грунтовые условия земляного русла определяют повторность проведения капитальных ремонтов, которая может быть в пределах от 8–10 до 20–25 лет.

В среднем на 1 га обслуживаемой площади на оросительных системах необходимо выполнять земляные работы объемом 20...40 м³, а на осушительных системах – 5...15 м³.



Рисунок 2.4 – Сооружение, растительность и наносы на осушительном канале

Движение каналоочистительных машин в процессе выполнения рабочих операций осуществляется преимущественно по берме канала параллельно его оси. Наибольшее применение получают каналоочистители с боковой навеской. По режиму работы каналоочистители делятся на машины циклического или постоянного действия. Конструкции большинства каналоочистительных машин, применяемых на мелиоративных системах, могут производить очистку профиля канала за один проход по одной стороне, реже за один проход очистка по обеим откосам канала. Высокая производительность по очистке каналов будет достигнута при минимальных холостых перегонах. В случаях наличия больших объемов работ по очистке каналов, а также отсутствие специальных каналоочистительных машин приводит к необходимости использования одноковшовых общестроительных экскаваторов. Такие машины во многих мелиоративных организациях имеются. При очистке ка-

налов от наносов одноковшовыми общестроительными экскаваторами рекомендуется использовать сменные уширенные ковши большей вместимости. Такие ковши изготавливаются с сепарационными отверстиями для отвода воды. С учетом того, что плотность наносов невелика и сопротивление их копанию также незначительно по сравнению с разработкой грунтов в плотном теле, то устойчивость экскаваторов в процессе проведения рабочей операции не нарушается. Высокое качество очистки дна каналов достигается использованием ковшей, перемещающихся строго прямолинейно по оси канала на жестких направляющих. При очистке каналов в продольном направлении в рабочем оборудовании одноковшового экскаватора с обратной лопатой могут быть применены профильные ковши с шириной в основании соответствующей ширине дна канала. При поперечном копании наносов в каналах рекомендуется применять короткие уширенные ковши. Процесс очистки канала часто выполняется с разработкой грунта и наносов рабочим органом под водой, для таких условий работ желательно применять ковши решетчатые или ковши с сепарацией. Значительную часть от общей протяженности каналов мелиоративной сети составляют межхозяйственные и внутрихозяйственные каналы 98,5%, а каналы в земляном русле – 85%. Также велика стоимость строительства данных каналов, которая составляет 65% от стоимости всей гидромелиоративной системы. В связи с этим планируемое восстановление мелиоративного сектора сельскохозяйственного производства определенно связано с необходимостью полной реконструкции осушительных и оросительных каналов как основных элементов мелиоративных систем. Широкое разнообразие типоразмеров мелиоративных каналов, их геометрические параметры, различные типы машин и механизмов для обеспечения качественного функционирования всей мелиоративной системы, требует разработки и внедрения усовершенствованных технологий, конструкций рабочего оборудования и методов по очистке и восстановлению каналов. Такой подход решения проблемы очистки каналов не в полной мере учитывался при проектировании и строительстве различных видов каналов. Опыт эксплуатации, очистки и восстановления каналов мелиоративных систем, строительство которых прово-

дилось в период крупномасштабного развития мелиорации, показывает, что нерациональное применение техники и технологий приводит к удорожанию проводимых очистных и восстановительных работ, снижению качества функционирования, а в некоторых случаях к проведению повторной очистки. Одним из наиболее актуальных направлений развития строительства мелиоративных каналов является использование каналов параболического профиля. Такие каналы отличаются наивыгоднейшим поперечным сечением по сравнению с каналами трапецеидального профиля и по форме близки к поперечному сечению естественных осушителей, т.е. рек. Использование специальной техники при строительстве каналов параболического профиля также становится экономически наивыгоднейшим. Однако, не всегда очистка каналов параболического профиля от наносов и заилений эффективно может быть произведена с помощью обычных каналоочистительных машин. В настоящее время важной хозяйственной задачей на мелиоративных системах является создание оптимальных технологических комплексов машин для очистки от наносов, заилений и растительности существующих осушительных и оросительных каналов. Определение закономерностей и теоретическое обоснование формируемых рациональных комплексов мелиоративных каналоочистителей обеспечивают качественную работу всей мелиоративной системы [159, 160, 161]. По существующей классификации в зависимости от зон мелиоративные системы сельскохозяйственных полей делятся на оросительные и осушительные.

Осушительные системы классифицируются по сельскохозяйственному назначению, техническому состоянию, работой, совершаемой за единицу времени отвода воды от мелиорируемого сельскохозяйственного поля и количеству обслуживаемых хозяйств. Они также отличаются сравнительно небольшой глубиной и небольшими объемами земляных работ.

Оросительные системы преимущественно предназначены для подвода воды на орошаемые сельскохозяйственные площади. Конструкции оросительных каналов формируют так чтобы уменьшить потери воды в каналах, т. е. возводят противофильтрационные элементы. В состав оросительной системы входят следующие

элементы: земельный массив (орошаемые земельные площади), источник орошения, водозаборное сооружение, магистральный канал или трубопровод, распределительная сеть каналов или трубопроводы водосборно-сбросной сети, гидротехнические сооружения и дороги.

Формирование структуры оросительной системы, их распределение, конструктивные элементы в целом зависят от естественно-природных и эксплуатационных условий орошаемой площади, к примеру, от уклона и рельефа поверхности, климатических, гидрогеологических условий, от типа почвогрунтов, от взаиморасположения источника орошения и площади орошения, а также от вида деятельности сельскохозяйственного предприятия. Кроме того, состав оросительной системы зависит вида выращиваемых сельскохозяйственных культур, размеров орошаемого полей, их конфигурации, от площади хозяйства, от используемых способов и технологий полива, количества и размеров севооборотных участков и т. д.

В зависимости от площадей орошаемых земель, направления деятельности мелиоративных предприятий, природных и других условий состав элементов оросительной может изменяться. Основным элементом доставки воды от источника до площади орошаемой культуры на оросительной системе является оросительная сеть, включающая в себя каналы различных категорий. Проектируются различные оросительные системы начиная от систем с открытой сетью, состоящей из каналов в земляном русле с противифльтрационными покрытиями или без них; систем из лотковых каналов; систем из трубчатой сети, состоящей из подземных трубопроводов или перемещаемых по поверхности поля, заканчивая комбинированной сетью, сочетающей в себе различных открытых и трубчатых водоводов.

Оросительная сеть содержит систему оросительных каналов, которые транспортируют воду от источника к орошаемой площади, распределяют воду между отдельными хозяйствами и направляют ее на поливные участки. Проектирование оросительной сети направлено на то, чтобы своевременно подавать требуемое количество воды на поля с теми или иными сельскохозяйственными культурами. Важной составляющей оросительной сети является обеспечение высоких коэффициентов земельного использования, полезного действия оросительной системы, а

также использование высокопроизводительных сельскохозяйственных машин и механизмов. Для повышения эффективности работы оросительной сети необходимо согласовывать расположение, размеры и работу всех ее элементов с организацией орошаемых территорий, естественно-производственными и хозяйственными условиями, организацией производства в хозяйствах.

Принципы проектирования оросительной сети основаны на формировании ее элементов в плане севооборотного участка поля; на севооборотном участке или хозяйстве и на оросительной площади в целом. В основу проектирования оросительной сети, включающей в себя конструкции, методики расчета элементов оросительной конструкции положен принцип, предложенный А. Н. Костяковым, который гласит – от определения потребности растений в воде на полях к установлению величины водозабора из источника орошения.

Проектирование каналов оросительной сети требует четкого понимания их назначения, рельефа местности и типов грунтов, в которых будут проходить каналы. Предварительно определяются расчетные расходы воды, которые требуется пропустить по каждому из каналов сети. Для этого формируется план водопользования на оросительной системе. На основе сочетания во времени потребности в воде отдельных хозяйств определяется расчет расходов каналов.

Основным расчетным расходом канала является расход канала, подаваемый на севооборотный участок Q . Он определяется по формуле:

$$Q = qF \quad (2.25)$$

где q – расчетная ордината графика гидромодуля, л/с га; F – площадь севооборотного участка нетто, га.

Расходы нетто всех остальных каналов оросительной сети определяют исходя из величины Q с учетом общесистемного плана водопользования. Все каналы старшего порядка для большинства оросительных систем при высокой водообеспеченности подают воду постоянно в течение всего периода роста растений, в соответствии с режимом орошения. Остальные внутривладельческие элементы работают при этом по очереди. Расход отдельных звеньев мелиоративной сети определяют составлением схемы каналов, работающих в хозяйстве одновременно. Также

необходимо согласовать расчетные расходы каналов с суточной площадью полива поля, с точной производительностью сельскохозяйственных машин и механизмов на послеполивной обработке поля. В таком случае важно учитывать, что

$$Q = \sum Q_H^{bx} \quad (2.26)$$

где $\sum Q_H^{bx}$ – сумма расходов временных оросителей, работающих на поле одновременно.

В процессе проектирование оросительной сети также необходимо учитывать возможные потери воды в оросительных каналах и забирать воду из них с учетом этих потерь:

$$Q_{бр} = Q_H + Q_{п} \quad (2.27)$$

где $Q_{п}$ – потери воды из канала, л/с или м³/с.

Из этого следует, что наиболее эффективной схемой работы сети будет такая, при которой число каналов, работающих одновременно, и общая протяженность их будут минимальными. Потери воды из каналов преимущественно приходятся на испарение с поверхности воды и фильтрацию. В основном в расчетах учитывают потери воды на фильтрацию и в редких случаях - на испарение. На различных стадиях проектирования потери на фильтрацию могут быть определены разными способами с учетом грунтовых условий. На первой стадии проектирования А.Н. Костяков предложил метод определения потерь воды на фильтрацию в % на 1 км на основе водопроницаемости грунтов

$$s = \frac{A}{Q^m} \quad (2.28)$$

где s – потери на фильтрацию на 1 км канала, процентах от Q ; Q – расход в конце канала, м³/с; A и m – коэффициенты, зависящие от водопроницаемости грунта.

Для последующих стадий проектирования технической документации определять потери на фильтрацию для двух основных условий залегания уровней грунтовых вод: глубокого при свободной фильтрации и близкого при подпертой фильтрации, также учитываются режимы работы канала – постоянный или кратковременный.

Многие исследователи приходят к мнению, что величина относительных потерь воды из каналов обратна пропорциональна расходу воды в канале. Из этого следует, что для снижения потерь воды рекомендуется пропускать по каналам сосредоточенные токи воды. Величина абсолютных потерь воды $Q_{\text{П}}$ возрастает при увеличении глубины воды в канале и снижении средней скорости, при зарастании каналов потери на фильтрацию увеличиваются; абсолютные потери воды прямо пропорциональны температуре воды, длине канала, и зависит от коэффициента фильтрации грунта в основании канала, от режима работы канала.

Конструкция каналов в земляном русле определяется расходом канала; требуемой величиной главенства канала; типом грунта, в котором он проложен; назначением канала и его расположением в системе; профилем сечения; габаритами рабочего органа механизмов, применяемых для их строительства и очистки. Каналы средней и малой пропускной способности, как правило, имеют трапецеидальное сечение, а большой – параболическое.

При проектировании каналов системы в вертикальной плоскости необходимо соблюдать главенствие (командование), при котором уровень воды в канале старшего порядка при пропуске нормального расхода выше уровня воды в канале младшего порядка на величину потерь напора при прохождении потока воды через водовыпускное сооружение (0,05...0,1 м). Нормальный уровень воды в канале старшего порядка должен быть выше форсированного уровня воды в канале младшего порядка. При пропуске минимальных расходов воды величина командования должна быть не менее 0,1 м. Для обеспечения самотечной подачи воды из каналов в поливную сеть необходимо командование каналов над орошаемой площадью. Общее командование канала над орошаемой площадью определяется количеством порядков младших каналов, получающих воду из рассматриваемого канала и от техники полива.

На участках каналов, где не требуется обеспечить командование над поверхностью земли, каналы предпочтительнее строить в выемке. Наиболее распространенная конструкция оросительных каналов – выемка-насыпь, лучшим вариантом

которой является сечение в полувыемке-полунасыпи. Эта конструкция обеспечивает командование канала над орошаемой площадью и ее применяют для рабочей части канала. Когда трасса канала проходит по пониженным местам рельефа и требуется обеспечить командование канала, применяют сечение в насыпи. Асимметричное сечение придает каналу, проходящему по косогору.

Для гидравлического расчета каналов применяют формулы равномерного движения воды, по которым определяют глубину воды в канале, его ширину по дну и среднюю скорость течения воды. Расчеты проводят на пропуск нормального расхода после чего проверяют сечение на пропуск минимального и форсированного расходов. При этом средняя скорость V_2 течения воды в канале должна удовлетворять условию: $V_1 \geq V_2 \geq V_3$, где V_1 и V_3 – соответственно допустимые скорости на размыв и заиление, м/с.

Оросительные каналы [346], в зависимости от величины поливного участка, рельефа местности, грунтовых условий и средств механизации для их строительства, сгруппированы в соответствии с ОСТ 33-22-76 в 5 групп (табл. 2.3) и от положения дна канала по отношению к поверхности земли различаются: в выемке, в полувыемке, в полунасыпи, в насыпи.

Таблица 2.3 – Параметры оросительных каналов

Строительная глубина, h, м	Ширина по дну, b, м	Заложение откосов, m
Свыше 0,5 до 1,0	0,4; 0,6; 0,8	1,00; 1,25; 1,50
1,0 до 1,5	0,8; 1,0	1,00; 1,25; 1,50
1,5 до 2,0	1,0; 1,5	1,25; 1,50; 1,75; 2,00
2,0 до 2,5	1,5; 2,5	1,50; 1,75; 2,00
2,5 до 3,0	1,5; 2,5	1,50; 1,75; 2,00

Осушительные системы необходимы для удаления излишков воды с сельскохозяйственных полей и включают в себя следующие основные элементы: осушаемую территорию; регулирующую осушительную сеть; оградительную сеть; проводящую сеть; водоприемник; гидротехнические сооружения на осушительной сети; дороги и сооружения на них.

Регулирующая сеть в зависимости от использования осушаемой территории может быть открытой или закрытой в виде систематической сети открытых каналов

или трубчатого дренажа, кротового дренажа, выборочных каналов или дрен, глубоких каналов и дрен. Открытую систематическую осушительную сеть применяют для осушения сельскохозяйственных полей, лугов, лесов, болот для добычи торфа, предварительного осушения болот с последующей заменой ее закрытым дренажем при сельскохозяйственном их использовании.

Оградительная сеть состоит из нагорных, ловчих и береговых каналов или дрен. К проводящей сети относятся магистральные каналы и коллекторы. Магистральные каналы обычно открытые, коллекторы – открытые и закрытые.

Схемы осушительной сети зависят от сельскохозяйственного использования земель, типа водного питания, размеров полей севооборота, рельефа поверхности, условий эффективной работы сельскохозяйственных машин, границ землепользования. Осушаемые площади, содержащие закрытую регулируемую сеть и проводящую сеть (закрытую или открытую), будут эффективно работать при их логическом сочетании. Открытая проводящая сеть способна быстро отводить поверхностные воды весеннего снеготаяния по поверхности замерзшего почвогрунта без вынесения питательных веществ. По сравнению с регулирующей сетью открытая оградительная и закрытая проводящая сеть в большей степени осушает систему, это связано с большой глубиной элементов (каналов) сети. Это свойство – оказание большего осушающего действия, необходимо учитывать при проектировании регулирующей сети. При проведении осушительных работ нет необходимости окончательного осушения территорий и площадей. Возникает вопрос, что подразумевается под окончательным осушением? Здесь имеется в виду то, что необходимо осушать сельскохозяйственные площади с учетом водного режима, осушение с превышающими значениями водного режима могут привести к экологическим проблемам. Для осушительных систем свойственны следующие типы водного питания: атмосферное питание, грунтовое водное питание, грунтово-напорное питание и намывное водное питание. Осушение площадей при атмосферном водном питании сопровождается ускорением поверхностного стока воды. Регулирующая сеть обычно формируется в виде закрытой системы, обустраиваемой поперек течения поверхностного стока под требуемым углом к горизонталям местности.

В процессе эксплуатации осушительных каналов на их дне и откосах появляются наносы, заиления, травянистая и кустарниковая растительность, соответственно расчетная проектная глубина канала уменьшается, и это ведет к уменьшению площади поперечного сечения канала, что в свою очередь уменьшает пропускную способность канала. Это всего лишь видимая часть проблемы. Основная негативная сторона вопроса заключается в том, что с ежегодным ростом количества наносов и заилений увеличивается уровень грунтовых вод, нарушается норма осушения для данного конкретного сельскохозяйственного поля, предназначенного для выращивания определенной сельскохозяйственной культуры с учетом севооборота. Если нарушается норма осушения, то на поверхности поля будут излишки воды. Растение может погибнуть от избытка влаги. Соответственно осушительные каналы сельскохозяйственных полей необходимо каждый год чистить поддерживая проектный оптимальный уровень грунтовых вод согласно кривой депрессии. Плачевное состояние каналов осушительных систем можно объяснить непониманием необходимости очистки каналов. С точки зрения некоторых представителей агробизнеса очистка осушительных каналов никакой продукции для продажи не создает, в отличие от, к примеру выращивания пшеницы. Такое состояние дел приводит к упадку осушительной мелиорации. Если рассмотреть проблему поглубже, то становится очевидным, что поддержание оптимальной нормы осушения повышает урожайность. В таком случае на сельскохозяйственных полях будут исключены участки с избытком влаги [173, 174].

Для обеспечения высоких урожаев необходимо обеспечивать оптимальные водный, воздушный, питательный и тепловой режим. Обеспечение таких условий на практике довольно сложная задача.

Для качественного функционирования оросительных или осушительных систем [366, 367, 368, 369] сельскохозяйственных полей необходимо соблюдение следующих условий: наличие водных ресурсов; проектирование осушительных или оросительных систем; строительство и эксплуатация осушительных или оросительных систем с использованием технических средств и специализированных машин; повышение урожайности; лесная мелиорация [347]; природообустройство.

В некоторых случаях возможно поступление фильтрационных вод на осушаемые площади со стороны водохранилищ и рек, в этом случае объекты ограждаются береговым дренажом и при необходимости формируется ловчий канал или систематический закрытый дренаж.

Характерными способами понижения уровня напорных вод, поступающих с водосбора при осушении площадей грунтово-напорного водного питания, являются использование ловчего канала (дрены), который формируется на уровне максимальных пьезометрических напоров на гребне объекта.

Осушение земель при намывном водном питании характеризующим поступлением избыточных вод с водосбора сопровождается применением схемы перехвата их нагорными каналами или дренами с фильтрующей засыпкой.

В зависимости от рельефа осушаемой площади регулирующая сеть может быть систематической или выборочной. Для выборочной сети характерно формирование структуры только в тех местах, где уровни грунтовых вод не соответствуют условиям выращивания конкретной сельскохозяйственной культуры. Систематическая сеть характеризуется наличием сети каналов или дренажных систем по осушаемому полю на нормативном расстоянии друг от друга.

Наличие сети открытых каналов на сельскохозяйственном поле в определенной степени уменьшает полезную площадь сельскохозяйственного поля, в некоторых случаях мешает движению сельскохозяйственной техники, что можно отнести к недостаткам открытых осушителей при всех их достоинствах. Данная проблема в определенной степени решается строительством закрытых осушительных систем на части осушаемой территории, где глубина укладки дренажных труб должна превышать глубину обработки почвы [198, 199, 330] рабочими органами сельскохозяйственных машин.

На территориях расположенных на границе зон осушения и орошения возможно применение систем двойного регулирования назначение которой заключается в открытии осушительных каналов в паводковый период для сброса излишков воды, и их закрытия шлюзовыми конструкциями в период засухи для сохранения требуемого количества влаги в осушительной системе согласно нормам осушения.

Оградительная сеть состоит из нагорных и ловчих каналов. Они отличаются крайне неравномерным режимом работы: они интенсивно работают в период снеготаяния, в летне-осенний период ливневых дождей. Данные каналы наиболее всего подвержены размыву и заилению. Поэтому продольные профили нагорных каналов формируются плавными, а уклоны должны обеспечивать перемещение наносов во взвешенном виде.

Нагорные каналы имеют трапецеидальный поперечный профиль в некоторых случаях с несимметричным сечением. Основные параметры каналов открытой осушительной сети формируются в соответствии с ОСТ 33-23-79.

Все виды оросительной и осушительной сетей каналов с сооружениями на них делятся на межхозяйственные, обслуживающие площади двух или более хозяйств, и на внутривозделные, расположенные на территории одного хозяйства.

Межхозяйственными оросительными системами обслуживается около 85% всей площади орошаемых территорий, а межхозяйственными осушительными системами – 70% осушаемых площадей.

Удельная протяженность каналов открытой осушительной и оросительной сети, в отношении к 1 га мелиорируемой площади, изменяется в среднем от 40 до 114 м с объемом земляных работ от 280 до 1000 м³ грунта.

2.6. Моделирование процесса очистки каналов осушительной системы

Одним из способов очистки дна осушительных каналов от наносов и заиленный является применение каналоочистителя с продольным по оси канала движением ковша.

Такой способ имеет свои достоинства касающиеся качества очистки дна канала, обеспечения строгой прямолинейности движения рабочего органа, возможности очистки закрепленного дна (когда другие виды рабочего оборудования, к примеру, рабочий орган поперечного копания), не применимы. Кроме того, в дан-

ном рабочем оборудовании могут быть применены сменные рабочие органы трапецеидального профиля для очистки дна и прилежащих к нему частей откосов канала. Рабочее оборудование устанавливается в качестве боковой навески к гусеничному трактору третьего тягового класса, существует также проект установки данного рабочего оборудования в качестве сменной оснастки к одноковшовому экскаватору. По принципу работы указанное рабочее оборудование соответствует сменному рабочему оборудованию – струг.

Обеспечение эффективной работы каналочистителей возможно только за счет автоматизации технологических процессов. При этом существуют следующие основные проблемы: отсутствие автоматизации управления при разгрузке ковша, плавности перехода с одной полосы на другую при большей ширине дна канала по сравнению с шириной ковша [165].

Каналоочиститель представляет собой самоходную машину циклического действия, в состав которой входят: базовый гусеничный трактор с силовой энергетической установкой, привод рабочего оборудования.

Рабочим оборудованием каналочистителя является ковш прямоугольного или трапецеидального сечения с гидравлическим приводом, перемещающийся по жестким направляющим. Общий вид каналочистителя с индексацией РР-303 представлен на рисунке 2.5. Индексация РР-303 означает русловой ремонтер с глубиной очистки канала до 3-х м третьей модификации. Передвижение ковша на четырех роликах осуществляется по жестким направляющим, выполненным из двух швеллеров, посредством гидроцилиндров двухстороннего действия и четырехкратного скоростного полиспада. В свою очередь жесткие направляющие установлены на две концевые опоры. Гидропривод передвижения ковша как управляемую систему можно представить в виде гидравлической и гидромеханической подсистем.

Переменной состояния, характеризующей гидравлическую подсистему, является давление $p(t)$ потока рабочей жидкости, создаваемое насосом относительно давления в гидробаке. Переменной состояния, характеризующей гидромеханическую подсистему, является поступательная скорость штока гидроцилиндра $v(t)$, м/с.



Рисунок 2.5 – Общий вид каналоочистителя PP-303

В результате преобразований получена математическая модель в понятиях пространства переменных состояния, описывающая рабочий процесс системы автоматического регулирования скорости ковша при движении его продольно оси канала.

Уравнения состояния гидропривода рабочего органа – ковша как управляемой системы представлены в виде системы уравнений, состоящей из двух совместно решаемых уравнений относительно гидравлического давления $x_1(t)$ и поступательной скорости ковша $x_2(t)$:

$$\begin{cases} \frac{dx_1(t)}{dt} = a_{11}x_1(t) + a_{12}x_2(t) + b_{11}u(t) \\ \frac{dx_2(t)}{dt} = a_{21}x_1(t) + a_{22}x_2(t) + b_{22}M_n(t) \end{cases} \quad (2.29)$$

Приняты следующие обозначения:

$$a_{11} = -\frac{K_{loss}}{K_{el}}; \quad a_{12} = -\frac{q_m}{K_{el}}; \quad b_{11} = -\frac{q_p}{K_{el}}v(t); \quad x_1(t) = p(t); \quad x_2(t) = v(t);$$

$$a_{21} = \frac{q_m - b_p}{J_b}; \quad a_{22} = \frac{b_v}{J_b}; \quad b_{22} = -\frac{1}{J_b},$$

где K_{loss} – коэффициент, учитывающий потери давления в гидрролинии при передаче, $\text{с} \cdot \text{м}^4 / \text{кг}$; K_{el} – коэффициент упругости трубопровода с рабочей жидкостью передающей гидрролинии, $\text{м}^5 / \text{Н}$; $p(t)$ – гидравлическое давление потока рабочей жидкости, Па; q_m и q_p – максимальный рабочий объем гидроцилиндра ковша и насоса, м^3 ; $v(t)$ – поступательная скорость штока гидродвигателя, $\text{м} / \text{с}$; $u(t)$ – управляющее воздействие; J_b – приведенный к валу насоса момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; b_v и b_p – коэффициент гидромеханических потерь, зависящих соответственно от поступательной скорости и давления на входе гидроцилиндра.

Возмущающее воздействие, момент нагрузки $M_n(t)$, определяется влиянием указанного момента на поступательное ускорение частиц срезаемой стружки наносов при движении ковша и зависит от режима его работы.

Уравнение состояния, характеризующие насос и гидроцилиндр описывают в динамике системы регулирования скорости при движении ковша по каналу управляющего воздействия с учетом его ограничений и влияния среды в пространстве переменных величин рабочего состояния.

Полученные уравнения состояния являются основой для перехода к представлению математической модели с использованием передаточных функций (матриц) [284].

Передаточная матрица, связывающая давление в гидравлической системе с вектором входных воздействий на ковш, имеет следующий вид:

$$A_m = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}; \quad I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad B_3 = \begin{pmatrix} b_{11} & 0 \\ 0 & b_{22} \end{pmatrix};$$

$$C_{1m} = (1 \quad 0); \quad C_{2m} = (1 \quad 0);$$

$$\frac{C_{1m}}{sI - A_m} B_3 = -\frac{b_{11}(a_{22} - s)}{a_{12}a_{21} - a_{11}a_{22} - s^2 + a_{11}s + a_{22}s} - \frac{a_{12}b_{22}}{a_{12}a_{21} - a_{11}a_{22} - s^2 + a_{11}s + a_{22}s} \quad (2.30)$$

Передаточная матрица, связывающая поступательную скорость ковша с вектором входных воздействий со стороны грунта (наносов), имеет следующий вид:

$$\frac{C_{2m}}{sI - A_m} B_3 = -\frac{a_{21}b_{11}}{a_{12}a_{21} - a_{11}a_{22} - s^2 + a_{11}s + a_{22}s} - \frac{b_{22}(a_{11} - s)}{a_{12}a_{21} - a_{11}a_{22} - s^2 + a_{11}s + a_{22}s} \quad (2.31)$$

Применяя полученные передаточные матрицы, можно рассматривать передаточные функции, определяющие в динамике изменение давления в гидравлической подсистеме [284] и изменение скорости штока гидродвигателя поступательного действия (гидроцилиндра) в гидромеханической подсистеме.

Передаточная функция, определяющая изменение давления относительно изменения управляющего воздействия:

$$W_{pu}(s) = \frac{P(s)}{U(s)}; \quad (2.32)$$

$$W_{pu}(s) = \frac{b_{11}(s-a_{22})}{s^2-(a_{11}+a_{22})s-a_{12}a_{21}+a_{11}a_{22}} \quad (2.33)$$

Передаточная функция, определяющая изменение давления относительно изменения возмущающего воздействия:

$$W_{pm}(s) = \frac{P(s)}{M(s)}; \quad (2.34)$$

$$W_{pm}(s) = \frac{a_{12}b_{22}}{s^2-(a_{11}+a_{22})s-a_{12}a_{21}+a_{11}a_{22}} \quad (2.35)$$

Передаточная функция, определяющая изменение поступательной скорости ковша относительно изменения управляющего воздействия:

$$W_{vu}(s) = \frac{V(s)}{U(s)}; \quad (2.36)$$

$$W_{vu}(s) = \frac{a_{21}b_{11}}{s^2-(a_{11}+a_{22})s-a_{12}a_{21}+a_{11}a_{22}} \quad (2.37)$$

Передаточная функция, определяющая изменение поступательной скорости ковша относительно изменения возмущающего воздействия со стороны среды:

$$W_{vm}(s) = \frac{V(s)}{M(s)}; \quad (2.38)$$

$$W_{vm}(s) = \frac{b_{22}(s-a_{11})}{s^2-(a_{11}+a_{22})s-a_{12}a_{21}+a_{11}a_{22}} \quad (2.39)$$

В выражениях (2.34) – (2.39) $P(s)$, $V(s)$, $U(s)$ и $M(s)$ являются изображениями по Лапласу соответствующих временных функций $p(t)$, $v(t)$, $u(t)$ и $M(t)$.

С целью приведения полученных моделей (2.34) и (2.39) передаточных функций к форме, наиболее соответствующей условиям компьютерного моделирования процессов в гидроприводе ковша каналоочистителя, выполнены следующие аналитические преобразования.

Передаточные функции (2.34) – (2.39) могут быть представлены двумя видами передаточных функций $W_1(s)$ или $W_2(s)$:

$$W_1(s) = \frac{K_1}{s^2 + 2\alpha s + \alpha^2 + \beta^2}; \quad (2.40)$$

$$W_2(s) = \frac{K_2(s + \gamma)}{s^2 + 2\alpha s + \alpha^2 + \beta^2}, \quad (2.41)$$

где K_1, K_2 – коэффициенты; α, β, γ – действительные положительные числа. Числа α и β определяют действительную и мнимую части полюсов, а γ – значение нуля соответствующей передаточной функции.

Импульсная переходная $k_1(t)$ и переходная $h_1(t)$ характеристики для $W_1(s)$ определены методом обратного преобразования Лапласа L^{-1} переход от изображений к оригиналам):

$$K_1(t) = \frac{K_1}{\beta} e^{-\alpha t} \sin(\beta t); \quad (2.42)$$

$$h_1(t) = \frac{K_1}{\beta(\beta^2 + \alpha^2)} \left[e^{-\alpha t} \sqrt{(\beta^2 + \alpha^2)} \sin\left(\beta t + \arctg \frac{\beta}{\alpha}\right) - \beta \right]. \quad (2.43)$$

Импульсная переходная $k_2(t)$ и переходная $h_2(t)$ характеристика для $W_2(s)$ получены тем же методом:

$$k_2(t) = \frac{K_2}{\beta} e^{-\alpha t} [(\gamma - \alpha) \sin(\beta t) + \beta \cos(\beta t)]; \quad (2.44)$$

$$h_2(t) = \frac{K_2}{\beta(\beta^2 + \alpha^2)} \langle \gamma\beta + e^{-\alpha t} \{(\alpha^2 + \beta^2) \sin(\beta t) - \gamma[\alpha \sin(\beta t) + \beta \cos(\beta t)]\} \rangle. \quad (2.45)$$

Из выражений для временных характеристик следует, что значение α определяет затухание, а значение β – частоту динамических процессов [284].

Действительные положительные числа $\alpha, \beta, \gamma_{pu}, \gamma_{vm}$ и коэффициенты $K_{pu}, K_{pm}, K_{vu},$ и K_{vm} выражаются через коэффициенты уравнений следующим образом:

$$\alpha = \frac{-(a_{11} + a_{22})}{2}; \quad \beta = \sqrt{-(\alpha^2 + a_{12}a_{21} - a_{11}a_{22})}; \quad \gamma_{pu} = -a_{22}; \quad \gamma_{vm} = -a_{11};$$

$$K_{pu} = b_{11}; \quad K_{pm} = a_{11}b_{22}; \quad K_{vu} = a_{21}b_{11}; \quad K_{vm} = b_{22};$$

Числа γ_{pu}, γ_{vm} определяют значение нуля соответствующей передаточной функции.

Передаточные функции объекта управления, определенные на основе передаточных функций $W_1(s)$ или $W_2(s)$, полученных аналитическим методом, имеют следующий вид:

$$W_{pu}(s) = \frac{K_{pu}(s+\gamma_{pu})}{s^2+2\alpha s+\alpha^2+\beta^2}; \quad (2.46)$$

$$W_{pm}(s) = \frac{K_{pm}}{s^2+2\alpha s+\alpha^2+\beta^2}; \quad (2.47)$$

$$W_{vu}(s) = \frac{K_{vu}}{s^2+2\alpha s+\alpha^2+\beta^2}; \quad (2.48)$$

$$W_{vm}(s) = \frac{K_{vm}(s+\gamma_{vm})}{s^2+2\alpha s+\alpha^2+\beta^2}; \quad (2.49)$$

Импульсная переходная $k_{pu}(t)$ и переходная $h_{pu}(t)$ характеристики для $W_{pu}(s)$:

$$k_{pu}(t) = \frac{K_{pu}}{\beta} e^{-\alpha t} [(\gamma_{pu} - \alpha) \sin(\beta t) + \beta \cos(\beta t)]; \quad (2.50)$$

$$h_{pu}(t) = \frac{K_{pu}}{\beta(\beta^2+\alpha^2)} \langle \gamma_{pu}\beta + e^{-\alpha t} \{(\alpha^2 + \beta^2) \sin(\beta t) - \gamma_{pu}[\alpha \sin(\beta t) + \beta \cos(\beta t)]\} \rangle. \quad (2.51)$$

Импульсная переходная $k_{pm}(t)$ и переходная $h_{pm}(t)$ характеристики для $W_{pm}(s)$:

$$k_{pm}(t) = \frac{K_{pm}}{\beta} e^{-\alpha t} \sin(\beta t); \quad (2.52)$$

$$h_{pm}(t) = \frac{K_{pm}}{\beta(\beta^2+\alpha^2)} \left[e^{-\alpha t} \sqrt{(\beta^2 + \alpha^2)} \sin\left(\beta t + \arctg \frac{\beta}{\alpha}\right) - \beta \right]. \quad (2.53)$$

Импульсная переходная $k_{vu}(t)$ и переходная $h_{vu}(t)$ характеристики для $W_{vu}(s)$:

$$k_{vu}(t) = \frac{K_{vu}}{\beta} e^{-\alpha t} \sin(\beta t); \quad (2.54)$$

$$h_{vu}(t) = \frac{K_{vu}}{\beta(\beta^2+\alpha^2)} \left[e^{-\alpha t} \sqrt{(\beta^2 + \alpha^2)} \sin\left(\beta t + \arctg \frac{\beta}{\alpha}\right) - \beta \right]. \quad (2.55)$$

Импульсная переходная $k_{vm}(t)$ и переходная $h_{vm}(t)$ характеристики для $W_{vm}(s)$:

$$k_{vm}(t) = \frac{K_{vm}}{\beta} e^{-\alpha t} [(\gamma_{vm} - \alpha) \sin(\beta t) + \beta \cos(\beta t)]; \quad (2.56)$$

$$h_{vm}(t) = \frac{K_{vm}}{\beta(\beta^2+\alpha^2)} \langle \gamma_{vm}\beta + e^{-\alpha t} \{(\alpha^2 + \beta^2) \sin(\beta t) - \gamma_{vm}[\alpha \sin(\beta t) + \beta \cos(\beta t)]\} \rangle. \quad (2.57)$$

Вычислительный эксперимент

Для проверки работоспособности полученных моделей был выполнен вычислительный эксперимент по исходным данным каналоочистителя РР-303, в ходе которого выяснено изменение динамических показателей соответствующих передаточных функций во времени.

Тип каналоочистителя РР-303 – ковшовый с жесткой направляющей. Масса каналоочистителя $m_{k1} = 11500$ кг, конструкционная масса (масса рабочего оборудования) $m_{k2} = 2500$ кг. Ширина ковша $L_b = 0,4$ м, высота ковша $H_b = 0,7$ м. Нагрузка переднего и заднего опор соответственно $P_{1b} = 7000$ Н и $P_{2b} = 7500$ Н. Коэффициенты для уравнения состояния гидравлической подсистемы (гидронасоса, привода ковша и передающей гидролинии):

$$K_{el} = 3 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{Па}^{-1}; K_{loss} = 9,843 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{Па}^{-1}; v = 0,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1};$$

$$q_p = 35,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3; q_m = 287,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3; J_b = 2058 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Коэффициенты математической модели для уравнений состояния (2.5) были рассчитаны на основе технических данных [284] каналоочистителя РР-303:

$$a_{11} = -K_{loss}K_{el}^{-1}; a_{12} = -2q_mK_{el}^{-1}; b_{11} = q_p v_e K_{el}^{-1}; a_{21} = 2q_m J_b^{-1}; a_{22} = -1 \text{ с}^{-1};$$

$$b_{22} = -J_b^{-1}; M_{nmax} = 15 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Коэффициенты и действительные числа, полученные в ходе эксперимента, имели следующие значения:

$$\alpha = -\frac{a_{11}+a_{22}}{2}; \beta = [-(a_{12}a_{21} - a_{11}a_{22} + \alpha^2)]^{\frac{1}{2}}; \gamma_{pu} = -a_{22}; K_{pu} = b_{11};$$

$$K_{pm} = a_{12}b_{22}; \gamma_{vu} = -a_{11}; K_{vu} = a_{21}b_{11}; K_{vm} = b_{22}.$$

Исходными данными вычислительного эксперимента являлись:

$$\text{диапазон времени процесса } t = 0 \dots \frac{6}{\alpha} \text{ (шаг итерации } 0,01 \text{ с); } \alpha = 2,14 \text{ с}^{-1};$$

$$\beta = 2,009 \text{ с}^{-1}; \gamma_{pu} = 1,0 \text{ с}^{-1}; \gamma_{vm} = 3,2810 \text{ с}^{-1}; K_{pu} = 3,499 \cdot 10^8 \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2);$$

$$K_{pm} = 9,297 \cdot 10^3 \text{ м}^{-3} \cdot \text{с}^{-2}; K_{vu} = 97,592 \text{ с}^{-3}; K_{vm} = -4,859 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

Расчеты выполнены с применением математической программы Mathcad. Полученные динамические характеристики модели системы управления скоростью движения ковша каналоочистителя свидетельствуют об устойчивости системы.

Приведена математическая модель процесса управления скоростью движения ковша каналоочистителя с учетом основных элементов гидротрансмиссии и внешних возмущающих воздействий в виде сопротивлений перемещению ковша.

Выполнен анализ структуры полученных передаточных функций объекта исследования. Использование аналитических преобразований передаточных функ-

ций позволило получить их форму, наиболее соответствующую условиям компьютерного моделирования процессов в гидроприводе при перемещении ковша каналоочистителя.

2.7. Обоснование технологических параметров и режимов работы каналоочистительных машин

Каналоочистительные машины имеют пассивные и активные рабочие органы [331]. В качестве пассивных преимущественно используются ковшовые конструкции, активные в основном представлены роторными и фрезерными рабочими органами, привод которых может быть механическим или гидромеханическим. В некоторых случаях специальные уширенные рабочие органы ковшового типа мелиоративных каналоочистителей применяются на общестроительных экскаваторах вместо стандартных ковшей.

Геометрические параметры рабочих органов каналоочистителей ковшового типа напрямую связаны с геометрическими параметрами очищаемых каналов. Мелиоративные каналы в основном имеют трапецеидальное сечение. Хотя существуют и каналы с параболическим сечением, которые наиболее полно обеспечивают транспортировку воды с максимальной пропускной способностью. Также по исследованиям Б. М. Кизяева откосы каналов с параболическим сечением более устойчивы в процессе эксплуатации [200, 201, 202].

Так, на некоторых мелиоративных системах Калининградской области и Белоруссии осушительные каналы имеют закрепленное дощатыми, фашинными или каменными конструкциями дно. Производить очистку такого дна от наносов возможно только пассивным рабочим органом – ковшом с продольным по оси канала движением. Здесь применяется ковш прямоугольного профиля. Применение в таких случаях активных рабочих органов приведет к разрушению креплений дна и самой конструкции рабочего органа. Ширина по дну в таких случаях имеет величину 0,4 м, соответственно ширина ковша будет также задана. Существуют каналы с шириной по дну 0,6 и 0,8 м. В первом случае используется прямоугольный ковш шириной 0,6 м, а во втором случае допустимо применение ковша шириной 0,4 м с

двойной срезкой наносов. Далее необходимо определиться с длиной и высотой ковша. Определение длины и высоты ковша, движущегося по жестким направляющим по оси канала при известной ширине, во многом связано с толщиной снимаемой стружки и величиной хода ковша.

Могут быть ситуации, когда при максимальной толщине стружки ковш может быть уже полным на середине пути, или наоборот другая ситуация – при незначительной толщине стружки ковш даже в конце хода не наполнен полностью. Также бывают ситуации, когда ковш перемещается почти до конца при достаточно большой стружке, но не заполняется грунтом или наносами, грунт просто накапливается перед ковшом в виде призмы волочения. Во избежание таких моментов перед ковшом в конце хода устанавливается отбойная плита, которая способствует полному заполнению ковша.

Следует отметить, что осушительные каналы на мелиоративных системах в зоне осушения на территории Российской Федерации составляют незначительную часть (около 10–15%), в основном мелиоративные осушительные каналы построены в земляном массиве [345], имеют трапецидальный профиль без крепления дна и откосов. В процессе эксплуатации каналов, как известно, с течением времени профиль канала теряет первоначальные конструктивные размеры, на дне появляются наносы и заиления, также откосы могут менять форму. В таких случаях применение ковша прямоугольного профиля может только усугубить ситуацию по очистке, поскольку первоначально происходит срезание нижней части откосов, а в последующем верхняя часть сползает на дно канала и очистную операцию необходимо повторить. Здесь также становится необходимым использование дополнительного общестроительного экскаватора со сменным уширенным мелиоративным ковшом для очистки откосов канала от наносов.

В таких случаях наиболее эффективным решением является применение ковша трапецидальной формы, который будет очищать не только дно, но и прилежащие к нему части откосов. Это позволит также исключить применение дополнительного экскаватора с уширенным ковшом. Такой ковш будет иметь большую

массу и вместимость, соответственно необходимо проверить прочностные характеристики конструкции, устойчивость машины в момент подъема ковша с грунтом и наносами. Также необходимо проверить возможности привода рабочего оборудования.

Применение активных рабочих органов для очистки дна каналов допустимо, к примеру, каналоочистители МР-14 и МР-16, однако возникают сложности обеспечения первоначальных геометрических размеров канала и его уклона. В этом смысле рабочее оборудование с движением ковша по оси канала на жестких направляющих наиболее качественно обеспечивает требуемый уклон дна.

Каналоочиститель с продольным, по оси канала движением ковша в жестких направляющих был разработан в отраслевой научно-исследовательской лаборатории МГМИ. Каналоочиститель, получивший индекс РР-303, предназначался для проведения текущих ремонтов мелиоративных каналов при очистке от наносов и заиления дна каналов глубиной до 3,0 м, шириной по дну 0,4 м, как с укрепленными, так и с неукрепленными откосами. Данный каналоочиститель, представленный на рисунке 2.6, имеет рабочий орган типа «струг» [24, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 35, 41, 42, 44, 45], выполненный в виде ковша, перемещающегося по балке. Наличие воды в канале, а также донной растительности и посторонних предметов не оказывает существенного влияния на работоспособность этого оборудования. Каналоочиститель РР-303 одновременно с очисткой может производить также планировку дна канала в соответствии с заданным продольным уклоном. Показатели работы каналоочистителя определены по данным эксплуатационных испытаний, проведенных сотрудниками кафедры мелиоративных и строительных машин МГМИ (МГУП) в Московской и Ярославской областях России. В приведенных ниже таблицах 2.4 и 2.5 представлены техническая характеристика каналоочистителя РР-303 и некоторые эксплуатационные показатели, полученные в процессе испытаний. Лабораторно-полевые испытания проводились на действующих системах путем очистки дна каналов проводящей сети. Общим хронометражем фиксировалось эксплуатационное время, время основной работы, время, затраченное на техническое обслуживание, простои, холостые пробеги.



Рисунок 2.6 – Каналоочиститель РР-303 на базе трактора ДТ-75 в момент опускания рабочего оборудования в канал

Кроме того, сплошной хронометраж с учетом конкретных условий работы проводился в течение 3-х контрольных смен. Агротехническая оценка в этом случае проводилась на контрольных участках длиной по 50 м. Замерялась с помощью рейки, рулетки и угломера глубина канала, ширина дна и крутизна откосов.

Таблица 2.4 – Техническая характеристика каналоочистителя РР-303

Наименование	Единица измерения	Данные параметров
1.Базовая машина		Трактор ДТ-75
2.Параметры очищаемых каналов:		
наибольшая глубина	м	3,0
ширина по дну	м	0,4...1,8
3.Ход ковша	м	5,5
4.Ширина ковша	м	0,4; 0,6
5.Вместимость сменных ковшей:	м ³	
при ширине ковша 0,4 м		0,18
при ширине ковша 0,6 м		0,25
6.Продолжительность цикла	с	50
7.Конструктивная масса	т	11,2
8.Габаритные размеры:	мм	
высота		3125
ширина		3400
длина		7300

Измерение амплитуды и высоты микронеровностей проводилось в плоскости, перпендикулярной направлению движения трактора на мерных участках через каждые 2 метра. Измерения проводились через каждые 10 м. Структура наносов определялась визуально. Толщина наносов определялась с помощью линейки через каждые 10 м длины канала.

Фактическая длина рабочего хода ковша находилась путем деления длины мерного участка на число передвижек каналоочистителя. Техническая производительность определялась при установившейся работе каналоочистителя после очистки 50 м канала и на один час чистого времени работы. В итоге техническая производительность определена как среднее арифметическое значений производительностей, полученных в течение трех контрольных смен.

Таблица 2.5 – Результаты агротехнической оценки условий работы каналоочистителя РР-303 при проведении лабораторно-полевых испытаний

Условия работы	Единица измерения	Показатели
1.Глубина каналов	м	1, 8...2,8
2.Коэффициент заложения откосов		1,30...1,75
3.Максимальная амплитуда микронеровностей	мм	175
4.Уровень воды в каналах	мм	100...620
5.Толщина наносов	мм	160...320
6.Засоренность камнями	%	0,3
7.Засоренность погребенной древесиной	%	0,63
8.Средняя густота травостоя на дне	стеб. /м ²	270
9.Средняя высота растений	м	0,74
10.Средний диаметр стеблей	мм	11,0
11.Максимальный диаметр стебля кустарника	мм	38

В период испытаний было отмечено высокое качество работы каналоочистителя, не требующее никаких доделочных или дополнительных операций по очистке дна канала. В то же время были выявлены и некоторые недостатки, видимо свойственные конструкциям такого типа. Так на сухих песчаных грунтах отмечалось неполное наполнение ковша по высоте. Отмечена также тенденция к образованию призмы волочения большого объема. При подъеме горизонтально расположенного ковша в некоторых случаях фиксировалось просыпание части грунта.

Для устранения данной проблемы, которая наблюдалась также и при проведении лабораторных испытаний ковша, принято решение об установке на конечной опорной стойке отбойную вертикальную плиту. Такая конструкция плиты, во-первых, способствует перемещению грунта призмы волочения в ковш, т. е., полному наполнению ковша; во-вторых, исключается просыпание грунта из ковша через его переднюю часть в процессе подъема. При работе ковша прямоугольного профиля на каналах без крепления откосов наблюдалось определенное подрезание грунтов или наносов нижней части откоса. После этого влажные грунты или наносы в нижней части в отсутствии опорной части могут сползать на дно канала. Операцию по очистке дна при этом необходимо повторить. Все это отражается на технико-эксплуатационных характеристиках машины в целом. С учетом того, что машина РР-303 относится к каналоочистителям с продольным движением ковша по жестким направляющим, выявлены ограничения по ширине ковша. Это связано с малой шириной по дну большинства осушительных каналов.

С другой стороны, процесс очистки дна каналов напрямую связан с реальными объемами наносов, что предопределяет работу ковша со стружками различной толщины. В связи с этим возникает весьма важный вопрос о выборе длины хода ковша, обеспечивающего его заполнение.

Если ориентироваться на большие вылеты рабочего органа, что для проведения очистных работ в мелиорации крайне важно, то выбор параметров ковша по вместимости окажется достаточно ограниченным. Для каналоочистителя РР-303 возможны три типоразмера ковша, вместимость которых соответственно равна 0,25; 0,30 и 0,40 м³. Расчетная величина хода ковша в этих случаях имеет довольно большой разброс от 1,6 до 10,0 м. Однако можно отметить, что при толщине стружки 0,15 м и более длина хода ковшей с различными параметрами не превышает 5...6 м.

Сопоставив эти цифры с габаритными размерами базовой машины - трактора ДТ-75Б (длина трактора 4600 мм) видно, что в конструктивном отношении ход ковша равный 5,0...5,5 м может быть легко реализован.

В зависимости от ширины канала по дну каналочиститель может очищать дно каналов несколькими способами. Известно, что при работе данного каналочистителя толщина стружки не меняется кроме тех случаев, когда по всей длине хода ковша толщина наносов различная, или, когда ковш движется под уклон.

Более сложно обстоит вопрос выбора и обоснования таких геометрических параметров ковша как длина ковша и высота его стенок. Соотношения, принятые в практике экскаваторного оборудования, в том числе ковшей драглайна здесь мало подходят из-за ограничений размеров по ширине. Попытка реализовать требуемый объем ковша за счет увеличения высоты его стенок может оказаться неудачной, так как на определенной стадии процесс заполнения ковша грунтом может быть нарушен образованием чрезмерно увеличенной призмы волочения. Причем в различных грунтовых условиях это может по-разному проявляться. По результатам исследований, выполненных сотрудниками кафедры мелиоративных и строительных машин, выбран экспериментальный метод определения критических точек по высоте заполнения ковшей различной вместимости и размеров по ширине. Эксперименты проводились в лабораторных условиях в грунтовом канале, как на моделях, так и с ковшами в натуральную величину. В ходе экспериментов, исходя из наполняемости, установлено оптимальное соотношение длины ковша и высоты равное 2,5: 1,0.

Вместимость ковшей можно определить по приближенным корреляционным зависимостям, полученным на основании исследований и испытаний этих рабочих органов. Эти зависимости связывают между собой рабочие усилия, действующие в процессе копания, и вместимость ковша.

Определение устойчивости каналочистителя с ковшом на жестких направляющих РР-303 в зависимости от изменения основных факторов. Особенности работы и конструкции каналочистителя РР-303 являются то, что русловой ремонт относится к машинам периодического действия, работающий позиционно, кроме того, конструкция рабочего оборудования проводит очистку дна и прилежащих ко дну откосов канала при движении ковша по оси канала. Рабочее оборудо-

вание руслового ремонтера в качестве боковой навески устанавливается на гусеничный трактор ДТ-75 или на модификацию ВТ-100. Основными элементами рабочего оборудования каналоочистителя являются телескопическая составная стрела; жесткие направляющие с ковшом, устанавливаемые на стрелу; противовес с изменяющимся вылетом. Наличие трех перечисленных элементов конструкции дают основание полагать, что изменение их характеристик влияет на устойчивость машины в процессе работы. Исходя из количества элементов можно предположить, что три соответствующих фактора: изменение величины вылета стрелы; длина хода ковша при наборе грунта; изменение величины плеча противовеса наиболее всего влияют на целевую функцию, в данном случае на устойчивость. Определение устойчивости каналоочистителя проводилось по методу трехфакторного исследования, который позволяет оценить величину наиболее значимого фактора. Обработка результатов экспериментальных исследований проведена с использованием методов статистического анализа. Для нормального функционирования мелиоративных каналов необходимо периодически проводить и очистку от наносов, заилений и растительности. Для очистки дна и прилежащих ко дну частей откосов от каналов может быть применен каналоочиститель РР-303. Достоинствами данной машины являются высокое качество проводимых очистных работ и обеспечение прямолинейности дна с требуемым уклоном, а также возможность изменения положения противовеса [47, 48, 49]. Однако, значительное по массе боковое рабочее оборудование предъявляет высокие требования к устойчивости машины в процессе производства работ. Показатель устойчивости – коэффициент устойчивости определяется отношением суммы всех восстанавливающих моментов к сумме всех опрокидывающих моментов [35]. Это отношение должно быть не менее 1,4. Для обеспечения данного условия необходимо соблюдать требуемые значения факторов, влияющих на коэффициент устойчивости [52, 53, 54, 55, 56].

Определение минимально допустимого значения коэффициента устойчивости каналоочистителя и выявление наиболее значимого фактора, влияющего целевую функцию; получение математической модели в виде полинома первого порядка. Исследования проводились по схеме многофакторного эксперимента [35],

где параметром оптимизации является коэффициент устойчивости машины. Предполагаемая математическая модель будет иметь вид полинома:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$$

Анализ технологического процесса очистки дна осушительных каналов русловым ремонтром РР-303 (рис. 2.7) и результаты предварительных расчетов по определению коэффициента устойчивости позволяют рассматривать следующие факторы, наиболее влияющие на параметр оптимизации: величина вылета составной стрелы (X_1); длина хода ковша по жестким направляющим (X_2); величина вылета противовеса (X_3). Предварительные исследования позволяют обозначить центр плана-матрицы $X_{10} = 4$ м, $X_{20} = 3$ м, $X_{30} = 3$ м. Данные значения получены с учетом кинематики элементов машины (рис. 2.4). Шаг изменения значений по всем трем факторам можно принять $\Delta X_1 = \Delta X_2 = \Delta X_3 = 1$ м. Величины абсолютных значений уровней факторов в этом случае будут следующие (табл.2.6):

Таблица 2.6 – Величины абсолютных значений уровней факторов ПФЭ

Характеристика фактора	X_1	X_2	X_3
Верхний уровень (+1)	5	4	4
Нижний уровень (-1)	3	2	2

Количество опытов в исследуемом процессе с учетом двух уровней варьирования и трех факторов, влияющих на функцию отклика, будет равно $N = 2^3 = 8$.

С учетом того, что наносы и заиления в мелиоративных каналах распределены крайне неравномерно и в каждом опыте наблюдается различное наполнение ковша [59, 60, 61, 62], а также в данных исследованиях используются расчетные данные, принимается решение о проведении трех параллельных опытов для каждого случая, т.е. $n = 3$.

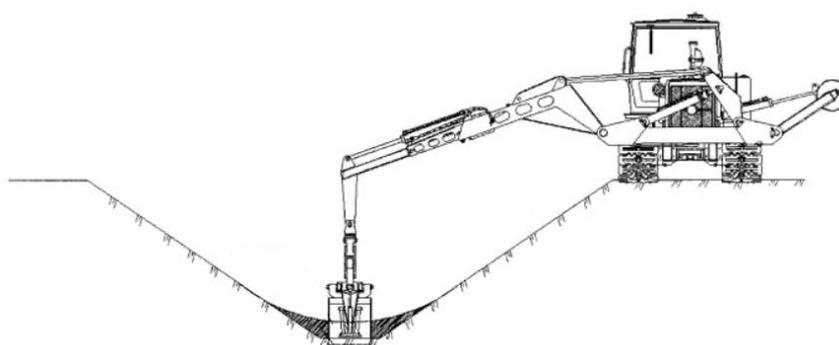


Рисунок 2.7 – Схема работы каналоочистителя РР-303

План исследований в виде матрицы полного факторного эксперимента и результаты расчетов представлены в табл. 2.7

Таблица 2.7 – План-матрица проведения экспериментальных исследований

Номер опыта	Порядок проведения опыта	X_{06}	X_{16}	X_{26}	X_{36}	$X_{16} X_{26}$	$X_{16} X_{36}$	$X_{26} X_{36}$	$X_{16} X_{26} X_{36}$	$Y_{\xi 1}$	$Y_{\xi 2}$	$Y_{\xi 3}$	$\langle Y_{\xi} \rangle$	σ_{ξ}^2	$Y_{\xi t}$
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
1	3 6 2	+	-	-	-	+	+	+	-	2,1	2,0	2,2	2,1	0	2,1725
2	4 8 7	+	+	-	-	-	-	+	+	2,3	2,2	2,1	2,1	0,02	2,2475
3	1 7 4	+	-	+	-	-	+	-	+	2,4	2,3	2,2	2,3	0,005	2,2475
4	8 2 3	+	+	+	-	+	-	-	-	2,0	2,4	2,2	2,2	0,02	2,1725
5	7 4 5	+	-	-	+	+	-	-	+	2,2	2,1	2,6	2,3	0,005	2,2475
6	6 5 8	+	+	-	+	-	+	-	-	2,3	2,3	2,0	2,2	0,005	2,1725
7	2 8 9	+	-	+	+	-	-	+	-	2,2	2,3	2,1	2,2	0	2,1725
8	5 1 6	+	+	+	+	+	+	+	+	2,3	2,2	2,4	2,3	0	2,1725

В первом столбце указаны номера опытов, во втором столбце – порядок проведения опытов, т. е. все возможные случаи и комбинации проведения опытов, полученные с помощью таблицы случайных чисел.

В третьем столбце представлены значения, которым будут равны уравнения регрессии, в случае если все коэффициенты будут равны нулю. В IV, V, VI столбцах представлены соответствующие уровни значений факторов, а в столбцах VII, VIII, IX и X – соответствующие значения уровней последующих коэффициентов полинома.

В столбцах $Y_{\xi 1}$, $Y_{\xi 2}$ и $Y_{\xi 3}$ даны значения искомого коэффициента устойчивости для каждого из трех параллельных опытов. Эти значения определены с помощью мини программы, сформированной в системе Mathcad (рис. 2.8) [191, 195, 315].

Данная мини программа позволяет определять значения коэффициента устойчивости при различных значениях нагрузок и величин плеч действия сил [112, 113, 130, 149, 150, 259, 296].

Кроме того, возможность изменения вылета противовеса способствует обеспечению устойчивой работы машины.



Рисунок 2.8 – Расчетная схема и мини программа в системе Mathcad для определения коэффициента устойчивости каналоочистителя РР-303

Значения коэффициента устойчивости для по всем опытам рассчитанные с учетом наполнения ковша на разных участках для трех параллельных опытов представлены в столбцах XI, XII и XIII. В столбце XIV даны средние значения параметра оптимизации по параллельным опытам.

В столбце XV даны значения дисперсий экспериментальных значений, подсчитанных по формуле:

$$\sigma_{\xi}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{\xi i} - \langle Y_{\xi} \rangle)^2}{n-1} \tag{2.58}$$

где n – количество значений $Y_{\xi i}$ полученных при проведении n опытов. Последний столбец содержит теоретические значения параметра оптимизации, подсчитанные для полученной математической модели.

Среди дисперсий опытных значений функции отклика коэффициента устойчивости около их средних значений наибольшим является 0,02 что соответствует параметрам проведения в параллельных опытах №2 и 4.

По правилам обработки опытных данных трехфакторного эксперимента необходимо проверить воспроизводимость эксперимента по критерию Кохрена,

определить коэффициенты уравнения регрессии, определить значимость полученных коэффициентов критерием Стьюдента и проверка адекватности полученной математической модели критерием Фишера.

В случае количество дисперсий исследуемого процесса больше двух и одна из них значительно больше других, то проводится проверка по критерию Кохрена. Проверка воспроизводимости опыта осуществляется определением параметра G с учетом равного количества параллельных опытов:

$$G = \frac{\sigma_{\xi max}^2}{\sum_{\xi}^N \sigma_{\xi}^2} = \frac{0,02}{0,055} = 0,036$$

Критическое значение данного параметра определяется по табличным данным для $\beta = 0,05$ при $n = 3$ (определяет $G_{кр}$ по столбцу) и $N = 8$ (по строке), $G_{кр} = 0,52$. Исходя из того, что по критерию Кохрена $G_{кр} > G$ можно сделать вывод о воспроизводимости эксперимента.

Далее подсчитываются коэффициенты предполагаемой имитационной модели по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{\xi=1}^N X_{\xi i} \bar{Y}_{\xi}}{N} \quad (2.59)$$

Значения коэффициентов соответственно равны: $b_0=2,2125$; $b_1= - 0,0125$; $b_2= 0,025$; $b_3=0,0375$; $b_{12}=0,0125$; $b_{13}=0,0125$; $b_{23}= - 0,0375$; $b_{123}=0,0375$.

Значимость коэффициентов математической модели оцениваются с помощью критерия Стьюдента. Показатель критерия t -параметр рассчитывается по формуле:

$$t_i = \frac{b_i}{\sqrt{\sigma^2\{b_i\}}} \quad (2.60)$$

Для вычисления дисперсий ошибки необходимо определить дисперсию воспроизводимости эксперимента по формуле

$$\sigma^2\{Y\} = \sum_{\xi=1}^8 \sigma_{\xi}^2 / 8 = 0,055/8=0,0068.$$

Таким образом дисперсия ошибок определения коэффициентов полинома будет равна

$$\sigma^2\{b\} = \frac{\sigma^2\{Y\}}{Nn} = \frac{0,0068}{24} = 0,00028.$$

Далее для каждого коэффициента подсчитываются значения t -параметра

$$b_0 \rightarrow t_0 = \frac{|b_0|}{\sqrt{\sigma^2\{b_0\}}} = \frac{2,2125}{\sqrt{0,00028}} = 132;$$

Аналогично определены значения t -параметра для остальных коэффициентов: $t_1=0,748$; $t_2=1,497$; $t_3=2,245$; $t_{12}=0,748$; $t_{13}=0,748$; $t_{23}=2,245$; $t_{123}=2,245$. Критическое значение $t_{кр}$ определяется по справочной литературе для надежности $\alpha = 0,95$ и $N \cdot n = 8 \cdot 3 = 24$; $t_{кр} = 2,1$. Существуют также более точные значения коэффициентов Стьюдента, которые основываются на коэффициентах риска $\beta = 1 - \alpha$ и число степеней свободы ν . Для рассматриваемого случая $\beta = 0,05$ и $\nu = N(n - 1) = 8(3 - 1) = 16$, $t_{кр} = 2,12$.

Исходя из полученных значений t и $t_{кр}$ можно с надежностью 0,95 утверждать, что коэффициенты b_1 , b_2 , b_{12} и b_{13} являются незначимыми, однако эффект взаимодействия факторов b_{23} и b_{123} имеют достаточные значения, математическая модель в этом случае будет иметь вид:

$$y = 2,21 - 0,0375x_3 - 0,0375x_2x_3 + 0,0375x_1x_2x_3 \quad (2.61)$$

Из полученной математической модели видно, что наибольшее влияние на целевую функцию оказывает третий фактор x_3 (величина противовеса), а также совместное действие второго и третьего факторов, такое же значение имеет совместное действие всех трех факторов.

После уточнения математической модели необходимо проверить ее на адекватность исследуемому процессу. В полученном полиноме имеются четыре члена соответственно дисперсия адекватности будет иметь вид:

$$\sigma_{ад}^2 = \frac{1}{4} \sum_{\xi=1}^8 (\bar{Y}_{\xi} - Y_{\xi t})^2 \quad (2.62)$$

Теоретические значения целевой функции определяются подстановкой значений соответствующих факторов для каждого номера опыта. Для условий исследования, соответствующих опыту №1 значения факторов, будут: $x_1 = -1$; $x_2 = -1$; $x_3 = -1$. Теоретическое значение y для данных условий будет равно

$$y_{1t} = 2,21 - 0,0375 = 2,1725.$$

Аналогично полученные для других опытов значения вносятся в столбец XVI. Сравнивая теоретические значения с экспериментальными, можно получить дисперсию адекватности:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{ад}}^2 &= \frac{1}{4} [(2,1 - 2,1725)^2 + (2,1 - 2,2475)^2 + (2,3 - 2,2475)^2 + (2,2 - 2,1725)^2 \\ &\quad + (2,3 - 2,2475)^2 + (2,2 - 2,1725)^2 + (2,2 - 2,1725)^2 + (2,3 - 2,1725)^2] \\ &= 0,0127\end{aligned}$$

Дисперсия воспроизводимости эксперимента определяется:

$$\sigma^2\{y\} = \frac{1}{8} (0 + 0,02 + 0,005 + 0,02 + 0,005 + 0,005 + 0 + 0) = 0,0068.$$

Дисперсия адекватности больше дисперсии воспроизводимости, в этом случае необходимо воспользоваться F -критерием, который признает модель адекватной если $F < F_{\text{кр}}$. Данный критерий определяется по формуле $F = \frac{\sigma_{\text{ад}}^2}{\sigma_y^2} = \frac{0,0127}{0,0068} = 1,86$. В этом случае расчетное значение F меньше табличного $F_{\text{кр}}$ условие соблюдается.

Результаты исследований наглядно свидетельствуют о том, что наибольшее влияние на параметр оптимизации – коэффициент устойчивости при работе каналаочистителя РР-303 оказывает изменение вылета противовеса. Значительное влияние вылета стрелы и положения рабочего органа на жестких направляющих наблюдается при их совместном рассмотрении. Математическая модель достаточно верно качественно и количественно описывает значения коэффициента устойчивости каналаочистителя в зависимости от совместного изменения основных факторов: вылета стрелы, длины хода ковша и положения противовеса. В связи с этим при модернизации рабочего оборудования рассмотренной машины следует делать основной упор на величину противовеса и его расположения.

2.8. Особенности выбора машин для оптимальных комплексов по очистке осушительных каналов

Некоторыми причинами возникновения лесных пожаров в Подмосковье в 2010 году являются значительное осушение болот в данных районах, неправильная эксплуатация осушительных систем, отсутствие ухода за каналами и некачественное их состояние. Полное отсутствие влаги на торфяниках способствует их легкому

возгоранию. В связи с этим недопустимо полное осушение. И в то же время недопустимо переувлажнение. С учетом вышеотмеченного напрашивается следующий вывод о необходимости применения двойного регулирования осушительных систем, т. е. в периоды засухи влагу в системе нужно сохранять, (закрывая каналы, а не закапывая их), а в паводковые периоды излишки воды нужно сбрасывать осушительными каналами.

Очевидно, что осушительные системы требуют постоянного ухода, а не единичного решения возникающих проблем. Уход за осушительными каналами невозможен без применения каналоочистителей - как с пассивными, так и с активными рабочими органами.

В настоящее время в Российской Федерации отрасль по выпуску каналоочистительных машин функционирует слабо, если не сказать о полном ее отсутствии. Зачастую очистка тех немногих осушительных каналов, где очистка все еще проводится, да и оросительных, сводится лишь к применению для очистных работ стандартных одноковшовых экскаваторов общестроительного назначения [125].

Понятно, что одноковшовые экскаваторы не являются машинами специального назначения, и качество очистки ими каналов не отвечает требованиям. При таком состоянии дел встает вопрос о создании новых каналоочистителей с пассивными и активными рабочими органами или применении модернизированных каналоочистительных машин, прототипы которых были созданы еще в советское время.

Виды эксплуатационных работ на осушительных системах предусматривают выполнение большого количества мероприятий, целью которых является поддержание сети в состоянии высокой эксплуатационной надежности. К примеру, в зоне повышенного увлажнения эффективность работы мелиоративной системы в большей степени связана с состоянием открытой сети, ее способностью сбрасывать грунтовые и паводковые воды. При этом основное влияние на пропускную способность канала оказывает не только состояние его донной, как считалось ранее, но и состояние придонной части, т. е. прилежащих ко дну откосов. В действительности наносы, заиления и растительность распределены не только по дну. На пропускную способность каналов также влияет соответствие уровня и уклонов дна проектным

значениям, извилистость русла, наличие размывов и обрушений, состояние креплений.

Различные отрицательные факторы, влияющие на пропускную способность каналов, большое разнообразие размерных групп каналов, а также их значительная протяженность являются сдерживающими факторами возможности применения используемых в других областях производства стандартных одноковшовых экскаваторов и технологий производства работ по очистке каналов от наносов, заиления и растительности.

Применяемые, в настоящее время на тех незначительных осушительных системах одноковшовые экскаваторы являются машинами общестроительного назначения. При этом ни одна из этих машин не выполняет при очистке основное требование необходимое для нормального функционирования мелиоративной системы – соблюдение проектных уклонов дна и размеров поперечного сечения канала. Результаты работы стандартных одноковшовых экскаваторов оцениваются объемом вынутого грунта, в то время как для системы в целом важен показатель качества очистки. Казалось бы, очищенный от заиления и наносов одноковшовыми экскаваторами канал обеспечивает сброс воды до требуемого уровня и очевидно соблюдение общего уклона между концевыми участками, сам канал по длине приобретает участки с различными уклонами, в том числе и обратными.

Такое состояние канала, когда возможны участки с различными уклонами и глубиной ведет к появлению размывов, повышенному заилению и густому зарастанию донной и прилегающим ко дну частям откосов канала. Причем эти процессы могут быть скоротечны и потребуют преждевременного проведения очередной очистки. На многих мелиоративных системах сложилась ситуация, когда очистные работы осушительной системы либо не проводятся из-за отсутствия машин в целом, либо для этих целей применяются стандартные одноковшовые экскаваторы общестроительного назначения [291]. Общая плановая выработка этих машин вполне достаточна для ежегодной очистки обслуживаемой открытой сети, и в то

же время часть осушительных систем не справляется со сбросом воды. Здесь необходимо строго соблюдать «границы» сброса воды, сохраняя требуемое ее количество в системе, чтобы не приводить ее к окончательному осушению.

Регулирование водоподачи и уровней воды при плановом распределении в осушительной системе осуществляется водовыпусками, водоотделителями, водомерными и перегораживающими сооружениями, регуляторами и шлюзами. Принципиально отличающийся подход к решению проблемы механизированной очистки дна каналов был предпринят Отраслевой лабораторией Московского гидромелиоративного института еще в начале 90-х годов прошлого века. Здесь был создан ранее упоминавшийся каналоочиститель РР-303 на базе трактора ДТ-75, рабочий орган, которого представляет собой жесткую направляющую балку с размещающимся вдоль нее прямоугольным ковшом.

Эта машина может быть использована в качестве ведущей машины комплекса машин [331, 332, 333] по очистке каналов.

В рабочем оборудовании каналоочистителя основная балка могла снабжаться дополнительно двумя сменными ковшами различной ширины. Причиной применения ковшей шириной 0,4; 0,6 и 0,8 м явилось то, что большинство осушительных каналов имеют соответствующую ширину по дну. Очистку более широких каналов по дну планировалось проводить за несколько проходов. Для придания очищаемому дну канала требуемого уклона балка была снабжена двумя концевыми опорами с возможностью регулирования высоты.

Также предусмотрена возможность изменения толщины снимаемых наносов. Сепарированный ковш позволяет производить очистку дна канала, наполненного водой без снижения производительности. Ковш также снабжен подвижной стенкой для его принудительной разгрузки. Для соблюдения прямолинейности русла составная стрела каналоочистителя снабжена механизмом выноса концевой опоры направляющей балки. Разгружаемые из ковша наносы и заиления падают на наклонный желоб, который в свою очередь отводит их от канала. Каналоочиститель способен, очищать сильно заросшее дно каналов, разрушая и удаляя корневую

систему растений [70, 71, 72, 73]. Заложенные при создании данной машины принципы позволили получить при очистке прямолинейную, спланированную поверхность дна, по которому беспрепятственно осуществляется движение потока воды. Следовательно, до минимума сведена вероятность возникновения таких негативных образований на дне канала как размывы, отложения наносов, намывы гребней и растительные образования.

Экспериментальные исследования, проведенные авторами статьи с уменьшенной в 2,5 раза моделью ковша каналоочистителя РР-303 прямоугольного сечения на грунтовом лотке лаборатории мелиоративных машин МГУП, а также исследования работы ковша в натуральную величину шириной 0,4 м прямоугольного сечения на грунтовом канале кафедры «Мелиоративные и строительные машины» все же выявили некоторые недостатки в эксплуатации ковша. Было замечено, что при движении ковша прямолинейно срезается стружка определенной толщины и в то же время происходит подрезание прилежащих ко дну частей откосов канала, которые в свою очередь в зависимости от их состояния быстро сползают на дно. В таком случае, работу по очистке нужно будет повторить, соответственно производительность падает. Здесь следует уточнить, что предварительно разработанный ковш прямоугольного сечения предназначен для очистки закрепленного дна осушительных каналов, когда другие виды рабочих органов не в состоянии производить очистки. С таким замечанием можно согласиться, но с некоторыми пояснениями, следует учитывать, что количество и протяженность каналов с закрепленным дном во много раз меньше, чем каналы с незакрепленным дном.

На основе проведенных экспериментальных исследований предлагается конструкция нового ковша, конструкция которого отличается от прототипа формой поперечного сечения. Рекомендуется применить ковш трапецеидального сечения, который будет очищать не только дно от наносов и заилений, но и прилежащие ко дну части откосов, предотвращая сползание подрезанной части. Здесь также следует учитывать, что ковш трапецеидального сечения тоже в свою очередь не может очищать всю поверхность откосов осушительных каналов.

Эта особенность в очередной раз показывает, что не существует универсальной машины, которая производила бы очистку и дна, и откосов различных осушительных каналов.

Очевидно, что наибольший эффект будет получен при комплексном использовании каналоочистителей с пассивными и активными рабочими органами [297, 299]. В такие комплексы могут входить следующие экскаваторы с пассивными и активными рабочими органами или их модификации: РР-303, МР-16, МР-7А, ЭМ-202, ОП. Их сравнительные характеристики, данные в таблице 1 дают представление о границах применения и о технологических возможностях каналоочистителей при обслуживании каналов с характерными естественно-производственными условиями. Вся используемая на сегодняшний день каналоочистительная техника, а именно стандартные одноковшовые [336] экскаваторы имеют высокие данные по производительности. Эта характеристика актуальна при производстве земляных работ, где важны объемы разрабатываемых грунтов, а при очистке каналов от наносов выясняется их крайне неравномерное распределение.

В основном значительное количество наносов распределяются в устьях каналов, на соединениях одних типов осушительных каналов с другими. Наибольшие значения производительности некоторых каналоочистительных машин достигается при работе машины в условиях наиболее благоприятных для них. Так, для бокового драглайна необходимо, чтобы толщина наносов была не менее 0,15 м, для каналоочистителей МР-16 и МР-7А с активными рабочими органами толщина наносов должна быть равной 0,4 м, а для ЭМ-202, наоборот, не превышать 0,2 м.

Кроме выполнения условия по толщине наносов, фрезерные каналоочистители при этом требуют обязательного выполнения условия по равенству ширины очищаемого дна и диаметра фрезы, а также наличия воды в канале, но не более 15 см, и отсутствия донной растительности. Соответствие состояния и количества наносов техническим требованиям для той или иной машины практически маловероятно. Каналоочиститель ЭМ-202 достигает максимальной производительности, когда его многоковшовый цепной рабочий орган очищает поверхность шириной до 2,0...2,5 м. При очистке дна канала шириной 0,4; 0,6 или 0,8 м производительность

резко снижается. Очиститель откосов каналов с пассивным рабочим органом в виде отвала ПО-2 не получил широкого распространения из-за больших боковых тяговых сопротивлений, возникающих при работе. Использование бокового отвала приводит к уходу машины в сторону канала, в связи с этим применялись специальные ножи и лыжи для удержания курсового направления.

2.9. Процесс разработки наносов и заилений в осушительных каналах ковшовыми каналочистителями

Быстрому развитию техники для производства земляных работ способствовали труды советских и российских ученых и инженеров в области теории, конструкции и рабочих процессов машин для земляных работ. Особенно велики заслуги в этой отрасли акад. В.П. Горячкина, профессоров Н.Г. Домбровского, А.Н. Зеленина, А.Д. Далина, Д.П. Волкова, С.А. Панкратова, Д.И. Федорова, В.И. Баловнева и многих других исследователей [180, 246]

Грунты как объект воздействия машин для земляных работ могут иметь различные свойства [214]. Под грунтами подразумеваются горные породы, образующие поверхностные слои земли и составляющие так называемую кору выветривания [127].

В.А. Приклонский предложил делить грунты по происхождению, состоянию и механической прочности на пять классов: скальные, полускальные, крупнообломочные, песчаные и глинистые.

К скальным грунтам относятся сцементированные, водостойчивые и практически несжимаемые горные породы с пределом прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии не менее 5 МПа, например граниты, песчаники, известняки и другие породы, залегающие обычно в виде сплошного массива.

К полускальным грунтам относятся сцементированные горные породы с пределом прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии до 5 МПа, способные к уплотнению (окаменевшие глины [316] и др.) и неводостойкие (гипс, гипсоносные конгломераты).

Крупнообломочные грунты состоят из несцементированных кусков пород, образующих грунты первых двух классов.

Песчаные грунты состоят из несцементированных частиц (зерен, песчинок) горных пород размером 0,05...2,00 мм, представляющих собой, как правило, естественно разрушившиеся и преобразованные в большей или меньшей степени скальные грунты или минерализовавшиеся, но не окаменевшие осадки [13, 14, 15, 301].

Глинистые грунты также являются продуктом естественного разрушения и преобразования первичных горных пород, образующих скальные грунты, но при преобладающем размере частиц менее 0,005 мм.

Грунты, разрабатываемые машинами, разделяют на восемь категорий в зависимости от трудности их разработки. Категории грунтов различают в первую очередь по их наименованию и плотности. Распространенной классификацией является классификация грунтов по трудности их разработки, предложенная А. Н. Зелениным, основанная на использовании динамического плотномера ДорНИИ. Этот прибор представляет собой цилиндрический стержень сечением 1 см², на который надета гиря массой 2,5 кг. Падая с высоты 0,4 м, гиря ударяет об опорную шайбу на стержне, заставляя его внедряться в грунт. Числом n ударов гири (или соответственно равнозначной работой), необходимым для погружения стержня на глубину 10 см, оценивается крепость грунта и его категория по трудности разработки [257, 258]. Следует, однако, отметить, что более верную оценку сопротивления резанию плотномер ДорНИИ дает для грунтов, при разрушении которых преобладает пластическое деформирование. Точность такого определения снижается по мере увеличения степени хрупкого разрушения грунтов в процессе резания.

Резание и копание грунтов ковшовыми рабочими органами. Машины для земляных работ, использующие механический способ разрушения грунтов, работают по принципу их резания. Для большинства машин сопротивление грунтов резанию составляют основную долю сопротивлений, действующих на рабочих органах. Кроме сопротивлений резанию, связанных с отделением режущими элементами стружки грунта от массива, на рабочих органах большинства землеройных машин возникают дополнительные сопротивления от трения рабочего органа по

грунту, от призмы волочения, образующейся перед ковшом или отвалом, и сопротивления, связанные с процессом продвижения грунта при заполнении ковша грунтом.

Сумму сопротивлений, возникающих на рабочих органах землеройных машин, называют сопротивлением копания, а силы, преодолевающие их - силами копания. В целом процесс отделения стружки от массива, движения ее перед рабочим органом и в рабочем органе называют копанием.

Большинство землеройных рабочих органов имеют режущие части (кромки, зубья), выполнены в виде заостренного клина, ограниченного передней и задней гранями. Линию пересечения этих граней называют режущей кромкой.

Основными параметрами режущего клина служит угол ν заострения, угол δ резания и задний угол θ . Углы δ и θ образуются наклоном клина к направлению его движения, а угол заострения $\nu = \delta - \theta$. Внедряясь в грунт и двигаясь вперед, режущий клин отделяет его часть, называемую стружкой, и оставляет после себя прорезь, идеальная форма и параметры которой показаны на рисунке 2.9.

В процессе резания грунтов, вследствие большого разнообразия свойств и состояния грунтов и сложной природы связей между частицами стружка (рис. 2.9) может быть следующих видов: сливная (*a*), ступенчатая (*б*), элементная (*в*) и отрыва (*г*).

На влажных пластичных глинистых грунтах чаще всего образуется сливная стружка, на супесчаных и глинистых грунтах нормальной влажности – ступенчатая стружка, на достаточно сухих и прочных – элементная и на прочных, хрупких скальных и мерзлых грунтах – стружка отрыва.

В процессе блокированного резания грунт разрушается в пределах прорези (см. рис.2.9; *б*), ширина которой на поверхности существенно больше ширины b ножа на некоторой глубине C_1 (C_1 меньше полной глубины C). Прорезь расширяется, и её боковые поверхности образуют с поверхностью массива определенный

угол γ , зависящий от вида грунта и его состояния. Расширение грунтовой прорези в ее верхней части уменьшается по мере увеличения их пластичности.

В зависимости от положения режущего инструмента в грунтовой массе различают следующие разновидности резания: блокированное (рис. 2.10; *д*), с одной и двумя (рис. 2.10; *е, ж*) поверхностями бокового среза, полублокированное (рис. 2.10; *з*) и свободное (рис. 2.9; *и*).

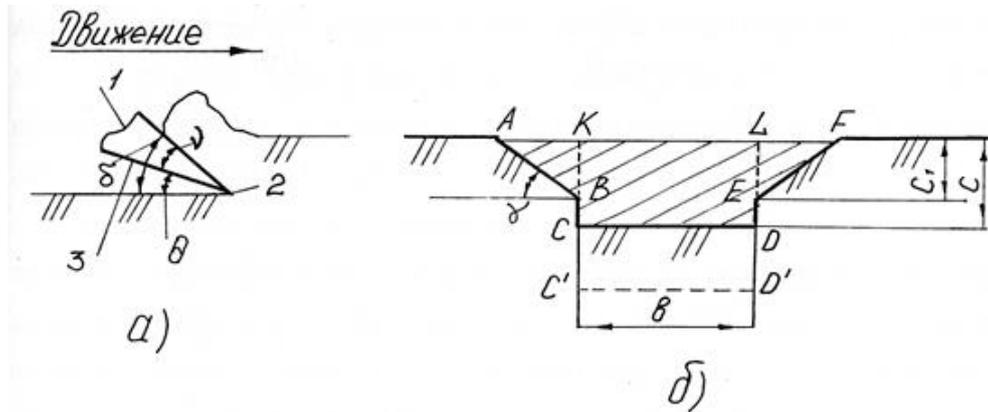


Рисунок 2.9 – Параметры режущего клина (*а*) и формы поперечного сечения прорези в грунте при его проходке (*б*)

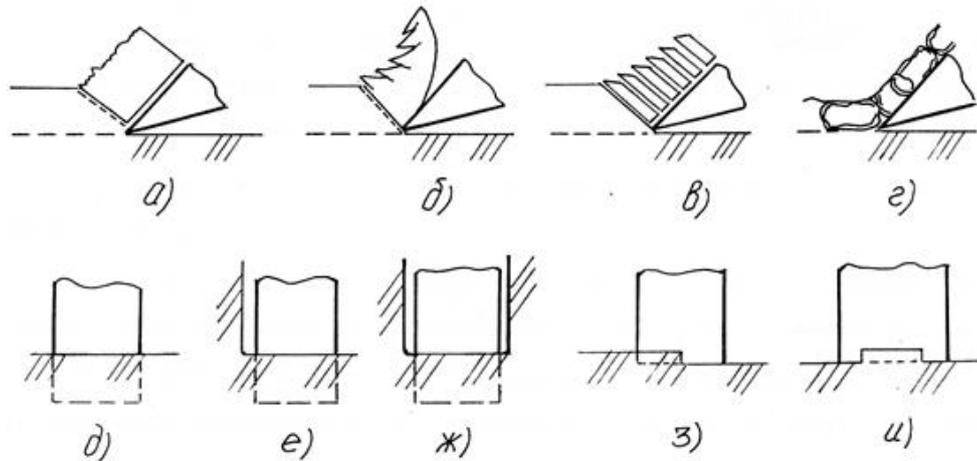


Рисунок 2.10 – Виды стружки (*а-г*) и виды резания грунта (*д-и*)

При резании грунт разрушается в результате развития в нем сложного напряженного состояния, и этот процесс перед лобовой гранью ножа и по боковым расширениям прорези протекает по-разному. Сопротивление грунта разрушению в боковых расширениях прорези (здесь преобладают деформации отрыва и сдвига), отнесенное к единице площади их сечений, в 2...4 раза меньше, чем соответствующее удельное лобовое сопротивление по ширине b ножа, где преобладают деформации сжатия и сдвига грунта.

Такие закономерности, как показывает практика, сохраняются лишь до определенного соотношения между шириной и толщиной среза, соответствующего критической глубине $C_{кр}$ резания. При $C > C_{кр}$ (например, форма прорези ABC'D'EF) изменяется в основном только глубина центральной части прорези, а АВ и EF по верхней части практически не изменяются. Критической глубине резания, как правило, соответствует наименьшая энергоёмкость резания, что должно учитываться при создании и эксплуатации машин.

Практика показывает, что большинству грунтов при обычно применяемых углах резания соответствуют определенные критические отношения глубины к ширине среза: $C/b = 2 \dots 4$. Рассмотренные особенности взаимодействия ножа с грунтом указывают на необходимость создания у рабочих органов машин таких форм режущих элементов, разрушение грунтов которыми было бы аналогично их разрушению в боковых гранях прорези. Соответственно часть прорези перед лобовой гранью режущих элементов должна иметь, возможно, меньшие удельные значения.

Опыты по определению видов резания грунтов с отделением стружки, например, в заблокированных, полублокированных и свободных условиях показывают, что сопротивление резанию в заблокированных условиях всегда выше, чем в полублокированных, и тем более в свободных. Эта разница возрастает по мере увеличения глубины стружки и уменьшения ширины среза. Например, при переходе от резания в заблокированных условиях узким режущим инструментом (например, зубьями ковшей) к резанию в свободных условиях сопротивления резанию в зависимости от глубины среза могут уменьшаться в 1,5...2,5 раза, а при резании натурными ковшами в 1,2...1,8 раза. Наиболее тяжелые условия резания грунтов наблюдается при взаимодействии режущего инструмента или всего рабочего органа с грунтом, что имеет место, например, при работе траншейных экскаваторов, бурении грунтов и т.п. [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

Общая схема сил, действующих на рабочий орган, и сил сопротивлений со стороны грунта, приведенных к его режущей кромке, представлены на рисунке 2.11. На этой схеме через P и P_0 обозначены соответственно суммарные силы со стороны рабочего органа и силы сопротивления грунта копанию. Через P_1 , P_2 и P_{01} ,

P_{02} обозначены соответственно их касательные и нормальные к направлению движения силы. Одним из наиболее ранних и известных у нас методов определения сопротивлений грунта копанию землеройными машинами является метод Н. Г. Домбровского, по которому основная – касательная составляющая сопротивления грунта копанию

$$P_{01} = P_p + P_T + P_{пр} + P_{зап}, \quad (2.63)$$

где P_p , P_T , $P_{пр}$, $P_{зап}$ - сопротивления грунта соответственно резанию, трению рабочего органа о грунт, передвижению призмы волочения грунта, образующейся перед рабочим органом, заполнению рабочего органа грунтом.

Этот способ, предложенный в начале для экскаваторов, был распространен затем и на землеройно-транспортные машины. Суть этого метода в части определения сопротивлений резанию P_p и трению P_T базируется на предложенных в двадцатых годах XX в. акад. В.П. Горячкиным зависимостях применительно к взаимодействию с грунтом сельскохозяйственного плуга. При этом сопротивления (кН) резанию в формуле (2.64):

$$P_p = k_1 C b, \quad (2.64)$$

где k_1 - удельное сопротивление грунта резанию, кПа; C и b - толщина и ширина срезаемой стружки, м.

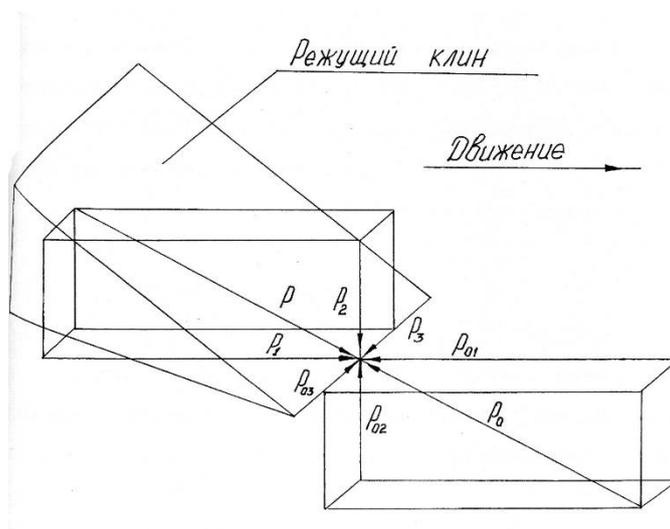


Рисунок 2.11 – Схема силового взаимодействия землеройного рабочего органа с грунтом

Сопротивление трению рабочего органа о грунт:

$$P_T = N \mu, \quad (2.65)$$

где N – нормальное давление со стороны рабочего органа на грунт;
 μ – коэффициент трения при движении рабочего органа по грунту.

Сопротивления от перемещения призмы волочения $P_{пр}$ при заполнении $P_{зап}$ для ковшей экскаваторов Н. Г. Домбровский рекомендовал как

$$P_{пр} + P_{зап} = (V_{пр} + q K_n) \varepsilon, \quad (2.66)$$

где $V_{пр}$ – объем призмы волочения; q – вместимость ковша; ε – удельное сопротивление от перемещения призмы грунта и при заполнении, зависящее от вида рабочего органа; K_n – коэффициент наполнения ковша, $K_n = V_{гр}/q$, ($V_{гр}$ – действительный объем грунта в ковше).

Обозначив $V_{пр}/q = q_{пр}$, формулу (2.66) можно выразить как

$$P_{пр} + P_{зап} = q(K_n + q_{пр}) \varepsilon. \quad (2.67)$$

Максимальные сопротивления P_{01max} копанию бывают обычно к концу копания, когда K_n и $V_{пр}$ имеют максимальные значения. Если отношение $P_{01max}/(c b)$ обозначить через k_1 – удельное сопротивление грунта копанию, то получим

$$P_{01max} = k_1 c b. \quad (2.68)$$

Для различных видов рабочих органов и их конструктивных исполнений значения k_1 для одинаковых грунтов различны. Они существенно больше значений, например, для ковшей драглайнов и скреперов, где больше сопротивления от перемещения призмы волочения и при заполнении ковша. Для траншейных экскаваторов значения k_1 существенно возрастают вследствие ухудшения условий заблокированного резания за счет стенок траншей. Для более точного определения P_{01} для скреперов и отвальных машин сопротивления $P_{пр}$ и $P_{зап}$ учитываются обычно отдельно.

По этому методу нормальную составляющую P_{02} сопротивления копанию определяют в долях от P_{01} :

$$P_{02} = \psi P_{01}, \quad (2.69)$$

где ψ – коэффициент, зависящий от однородности и прочности грунта, заднего угла θ резания, степени затупления размера и формы износа задних граней режущих элементов.

При θ не менее 5...8 градусов для однородных грунтов III...IV категории и режущих периметрах средней затупленности $\psi \cong (0,15...0,3)$. Для более прочных неоднородных полускальных и мерзлых грунтов $\psi \cong 0,3...0,6$.

Вследствие значительного колебания величин k_1 , ψ в зависимости от формы и конструктивного исполнения режущего периметра, всего рабочего органа и его назначения расчет сопротивлений копания по формулам (2.68) и (2.69) является приближенным. Однако вследствие простоты этого способа он находит широкое применение, особенно при проектировании экскаваторов.

Большой вклад в исследования и совершенствование методов расчета сопротивления грунтов копания внесли также советские ученые Ю.А. Ветров, А. Н. Зеленин, Д. И. Федоров, К. А. Артемьев, И.Я. Айзенштейн, А.Д. Далин и др., а также зарубежные – Е. Динглинтер, И. Ратье, Г. Кюн, Ф. Кинаст и др.

Ю.А. Ветров предложил метод расчета сопротивлений P_p грунта резанию сложными режущими кромками как сумму сопротивлений P_{po} резанию каждым из простых острых режущих ножей и дополнительных сопротивлений $P_{зат}$ от резания площадками затупления на ножах при их изнашивании:

$$P_p = \sum_{i=1}^n P_{poi} + \sum_{i=1}^n P_{зати} \quad (2.70)$$

При этом:

$$P_{po} = P_{cb} + P_{бок} + P_{бок.ср}, \quad (2.71)$$

где P_{cb} – сопротивление грунта срезу передней гранью (по ширине b , см. рис. 2.9, δ); $P_{бок}$ – сопротивление грунта от разрушения по боковым разрушениям прорези АКВ и ELF (см. рис. 2.9, δ); $P_{бок.ср}$ – сопротивление грунта срезу боковыми ребрами ножа у дна прорези по линиям ВС и ED (рис. 2.9, δ).

Сопротивления резанию от затупления ножей определяется, в основном, исходя из их площадки затупления, толщины стружки и сопротивления грунтов смятию и трению.

Нормальная составляющая сопротивлений резанию для каждого ножа:

$$P_{pN} = P_{po} \operatorname{ctg} (\delta + \varphi) - P_{зат} \operatorname{ctg} (\theta_1 + \mu), \quad (2.72)$$

где δ , θ_1 и φ - углы резания, наклона задней грани ножа при износе и трения ножа о грунт.

Из выражения (2.70) для P_p видно, что в зависимости от степени затупления изношенных ножей нормальная сила резания может иметь различные значения и направления. Суммарная нормальная составляющая для сложных режущих кромок определяется так же, как сумма P_{poNi} .

Эта методика, развитая в работах многих учеников Ю. А. Ветрова и более точно учитывающая влияние основных факторов на сопротивление грунтов резанию и копанию, во многом способствовала созданию рациональных конструкций рабочих органов и правильному определению сопротивлений копанию.

А. Н. Зеленин предложил определять касательную составляющую (Н) сопротивления резанию для режущих кромок, оснащенных зубьями, в виде:

$$P_p = 10 n c^{1,35} (1+2,6 b) (1+0,007 \delta) Z_1, \quad (2.73)$$

где n – число ударов плотномера ДорНИИ; c - толщина стружки, см; b - ширина стружки, м; δ - угол резания, градус; Z_1 – коэффициент, учитывающий влияние зубьев на сопротивление резанию.

Д. И. Федоров в результате больших исследований, а также обобщений работ других авторов предложил определять касательную сопротивление резанию в виде

$$P_p = P_{сж} + P'_{сж} \mu + P_{сдв} + P_{отр} + P_{изг} + G_r + (\mu \cos\delta + \sin\delta) \cos\delta, \quad (2.74)$$

где $P_{сж}$ – сопротивление грунта сжатию по площадке изнашивания лобовой кромки (режущих элементов); $P'_{сж}$ - сопротивление грунта сжатию на площадке изнашивания нижней грани режущих элементов; μ - коэффициент трения рабочего органа о грунт; δ - угол резания; $P_{сдв}$, $P_{отр}$, $P_{изг}$ – сопротивления сдвигу, отрыву и изгибу стружки грунта; G_r – вес грунта, находящегося на режущей кромке.

Основные сопротивления в формуле (2.70) определяются через параметры рабочего органа и механические характеристики грунта – сопротивление грунта одноосному сжатию, разрыву и сдвигу с учетом степени блокирования, резания и

формы режущей кромки. Показано, что наибольшее влияние на удельное сопротивление грунта резанию k'_1 оказывает сопротивление грунта одноосному сжатию σ_0 .

На основе анализа сопротивления грунта резанию и копанию Д. И. Федоровым были предложены ковши совкового типа с выступающей вперед полукруглой режущей кромкой, снижающие сопротивление копанию в связных грунтах до 20...35%.

Во ВНИИстройдормаше на базе проведенных исследований А. С. Ребровым для одноковшовых экскаваторов предложено касательную составляющую (кН) сопротивления грунта резанию определять как

$$P_p = k'_1 b c (0,7 + 0,015 \delta) + k (Z n_1 a + \mu y n_1 a), \quad (2.75)$$

где k'_1 - удельное сопротивление грунта резанию острыми зубьями при оптимальной их расстановке и оптимальных углах δ и θ , кПа, определяется через число n ударов плотномера ДорНИИ, $k'_1 = 7n$; b - ширина ковша, м; δ - угол резания, градус; c - толщина стружки, м; $k = 70n$ - предельная несущая способность грунта, кПа; Z и y - размеры притупления зубьев, м; n_1 - число зубьев; a - ширина зубьев, м; μ - коэффициент трения ковша о грунт.

При блокированном резании криволинейным рабочим органом землеройного струга срезанный грунт перемещается по рабочей поверхности. Усилия копания в этом случае зависят от сопротивления грунта:

- б) сжатию лобовой поверхностью режущей кромки;
- в) сжатию в направлении движения рабочей поверхности, продольное сечение которой расположено под углом 35° к горизонту;
- г) перемещению по наклонной поверхности;
- д) перемещению призмы волочения (при работе в несвязных грунтах).

Влияние схемы взаимодействия на процесс копания рассмотрен рядом исследователей. При блокированном резании криволинейным рабочим органом земле-

ройного струга, к которому в определенной степени относится исследуемый рабочий орган – ковш, срезанный грунт перемещается по рабочей поверхности. Усилие копания в этом случае зависит от сопротивления грунта:

- а) сжатие лобовой поверхностью режущей кромки;
- б) сжатие в направлении движения рабочей поверхностью, продольное сечение которой расположено под углом 35° к горизонту;
- в) перемещению по наклонной поверхности;
- г) перемещению призмы волочения (при работе в несвязных грунтах).

При одинаковых значениях коэффициента формы и прочих равных условиях удельное усилие копания имеет примерно одинаковую величину.

Для одноковшовых экскаваторов главным параметром является вместимость ковша. К основным параметрам относятся длина L , ширина B и высота H ковша, а для ковшей полукруглой формы – радиус R закругления передней стенки (режущего профиля). Длина, ширина и высота ковша и их соотношения определяются исходя из конструктивных и кинематических особенностей рабочего оборудования экскаваторов. Значения параметров ковшей прямоугольной формы и их соотношения установились в результате многолетних теоретических и экспериментальных исследований, проведенных отечественными учеными, научными коллективами и конструкторскими бюро экскаваторных заводов.

При определении основных параметров и соотношений ковшей полукруглой формы необходимо, как и для ковшей прямоугольной формы, учитывать конструктивные и кинематические особенности рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов. Так, длина ковша прямой лопаты лимитируется условиями заброса на угол гусениц, а ширина его – условиями прочности, исходя из вероятности приложения максимальной нагрузки на крайний зуб ковша. Длина ковша обратной лопаты и продольный профиль определяются исходя из того условия, чтобы днище ковша у задней стенки не касалось забоя в конце копания, так как это приведет к выглублению ковша. Увеличение длины ковша драглайна приводит к уменьшению высоты отсыпаемых отвалов (насыпей) и необходимости подъема ковша на большую высоту при разгрузке в транспортное средство.

Вместимость ковшей драглайна и прямой лопаты можно определить по приближенным корреляционным зависимостям, полученным на основании исследований и испытаний этих рабочих органов. Эти зависимости связывают между собой рабочие усилия, действующие в процессе копания, и емкость (вместимость) ковша. Для ковшей драглайна полукруглой формы такие зависимости получены при работе в тяжелых суглинках и глине, а для ковшей прямой лопаты – при работе во взорванной скальной породе, т. е. при условиях, принимаемых для расчета рабочего оборудования экскаватора.

Зависимость между наибольшим тяговым усилием $P_{т.маx}$ и вместимостью q (m^3) ковша драглайна полукруглой формы имеет вид:

$$P_{т.маx} \approx 5,59q - 0,061q^2, \quad (2.76)$$

А между средней величиной тягового усилия $P_{т.ср}$ и вместимостью ковша:

$$P_{т.ср} \approx 3,21q - 0,014q^2 \quad (2.77)$$

Данные приближенные формулы можно использовать для определения вместимости ковшей драглайна и стругов полукруглой формы в диапазоне от 0,4 до 18 m^3 .

Среднее значение тягового усилия $P_{т.ср}$ характеризует энергоемкость процесса копания и наполнения ковша на всем участке пути копания и средний режим работы двигателя. Зная для данного экскаватора расчетную величину наибольшего тягового усилия, можно определить требуемую вместимость ковша как полукруглой, так и прямоугольной формы.

В окончательном виде после решения относительно q (m^3) формула для определения вместимости ковша драглайна и ковша каналоочистителя, исходя из наибольшей расчетной величины тягового усилия $P_{т.маx}$ (кН), будет иметь вид:

$$q \approx 45,8 - \sqrt{2090 - 16,5P_{т.маx}} \quad (2.78)$$

Для ковшей прямой лопаты получены зависимости между наибольшим усилием подъема $P_{н.маx}$ (кН) и вместимостью ковша:

$$P_{н.маx} \approx 20q - 1,92q^2, \quad (2.79)$$

и между средним усилием подъема $P_{н.ср}$ и вместимостью ковша:

$$P_{н.ср} = 9,29q - 0,65q^2 \quad (2.80)$$

Решая уравнение (2.80) относительно q , получим формулу для определения вместимости ковша прямой лопаты (m^3):

$$q = 5,2 - \sqrt{27 - 0,52P_{n\max}} \quad (2.81)$$

Эта формула пригодна для ковшей вместимостью от 0,4 до 5 m^3 .

Зная вместимость ковша, который должен быть установлен на данном типоразмере экскаватора, определяют основные параметры ковша. Для ковшей полукруглой формы со сплошной режущей кромкой при работе их в средних и легких грунтовых условиях на основе статистической обработки данных получены следующие значения основных параметров: для ковшей драглайна $L \approx 1,5B$; $H \approx 0,69B$ и $R \approx 0,6B$; для ковшей прямых лопат $L \approx 0,74$; $H \approx 0,8B$ и $R \approx 0,5B$.

В соответствии с изложенным ВНИИЗеммашем и ВНИИСтройдормашем при участии Д. И. Федорова разработаны нормали на шесть типов ковшей с полукруглой режущей кромкой, в том числе для ковшей прямых лопат, предназначенных для работы в тяжелых грунтах и скальных породах, для ковшей обратных лопат открытого типа и для ковшей драглайнов. Формулы для определения параметров и размеров указанных типов ковшей приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8 – Формулы для определения параметров ковшей

Параметр	Прямая лопата	Обратная лопата	Драглайн
Вместимость q , m^3	$0,87L B H 10^{-9}$	$0,76L B H 10^{-9}$	$0,76L B H 10^{-9}$
Длина ковша L , мм	$960 \sqrt[3]{q}$	$1130 \sqrt[3]{q}$	$1650 \sqrt[3]{q}$
Ширина ковша B , мм	$1200 \sqrt[3]{q}$	$1200 \sqrt[3]{q}$	$1050 \sqrt[3]{q}$
Высота ковша в средней части H , мм	$1000 \sqrt[3]{q}$	$875 \sqrt[3]{q}$	$750 \sqrt[3]{q}$

Работа ковша, движущегося по жестким направляющим наиболее близка к работе драглайна, хотя и есть различия, в процессе копания толщина стружки у драглайна меняется, у каналоочистителя нет.

Рабочие органы землеройных стругов и должны обеспечивать кроме среза грунта стружки ее перемещения по поверхности подъема и подачу на ленту транспортера, метателя или слипа. Минимально необходимую высоту подъема

грунта, как указывалось, устанавливаются исходя из условия размещения под режущим органом приемной части транспортера. Выбор наиболее выгодного угла резания α и соответственно длины рабочей поверхности режущего органа L при заданном основном параметре – высоте подъема грунта H должен быть обоснован исходя из физико-механических характеристик разрабатываемого грунта. При заданной H уменьшение угла α с целью снижения сопротивления копанью приведет к увеличению L и сопротивления перемещению по ней грунта. Поверхность подъема рабочего органа может быть плоской и криволинейной.

2.10. Теоретические исследования разработки наносных грунтов ковшовыми рабочими органами

Теоретическое исследование динамики каналочистителя РР-303 связано с составлением и решением уравнений движения его ковша, вид которых зависит от числа степеней свободы системы, конструкции рабочего оборудования и характера зависимостей, связывающих между собой переменные величины. Принципы динамики землеройных машин предполагают рассмотрение рабочего оборудования каналочистителя как систему твердых тел, соединенных упругими и фрикционными связями и находящуюся под действием сил движущих и сил сопротивления копанью. Крутящий момент двигателя, передаваемый через элементы гидропривода, в результате взаимодействия ковша с грунтом реализуется в виде касательной силы. В гидроприводе передача крутящего момента двигателя M_d осуществляется через гидронасос, трубопровод и гидроцилиндры, а также через полиспаг. Пределом касательной силы, которая может быть реализована гидроприводом, является толкающая сила [194].

Еще одним направлением передачи энергии двигателя является ее реализация через трансмиссию и движители. В определенных условиях в таких как передвижение каналочистителя с транспортной скоростью, поток мощности, передаваемый по этому направлению, может составлять значительную часть мощности двигателя. Однако, с учетом того, что каналочиститель РР-303 является машиной

циклического и позиционного действия, в данной статье рассматривается случай, когда энергия двигателя реализуется только на привод рабочего оборудования.

Рабочий орган каналоочистителя (ковш) в процессе копания грунта, наносов и заилений преодолевает сопротивление копанию, горизонтальная составляющая которого P_k в общем случае является переменной.

Силовую цепь привода рабочего органа и двигатель машины можно рассматривать как ряд сосредоточенных масс, обладающих моментами инерции: J_1 – вала двигателя и всех его частей (включая маховик и главную муфту сцепления) приведенный к валу; J_2 и J_3 - вращающихся деталей привода управления.

Масса поступательно движущихся частей рабочего оборудования обозначена m , масса рабочего оборудования - $m_{p.o.}$

Указанные массы соединены между собой упругими связями в виде валов, муфт, зубчатых зацеплений, деталей металлических конструкций и элементов гидропривода и скоростного полиспаста. Качество этих связей характеризуется коэффициентами жесткости C , выражающими соответствующие угловые или линейные перемещения под действием единичных моментов или сил.

На схеме обозначены C_1, C_2, C_3 крутильные жесткости соответствующих элементов привода рабочего оборудования, передающих поступательное движение рабочему органу.

На схеме обозначены также следующие жесткости элементов конструкции: \bar{C}_p – жесткость (линейная) элементов рабочего оборудования; \bar{C}_n - жесткость опорных стоек; $\bar{C}_{p.o.}$ – жесткость рабочего оборудования (жестких направляющих); $\bar{C}_{n,y}$ – жесткость привода управления в той ее части, которая воспринимает пассивные нагрузки, возникающие при копании грунта.

Изменение сопротивлений грунта или наносов, возникающих на рабочем органе каналоочистителя, описывается некоторой функцией перемещения его рабочего органа в горизонтальном направлении s .

При анализе динамики данной системы ее движение описывается системой уравнений, количество которых равно количеству сосредоточенных масс. Такой системой уравнений для каналоочистителя будет:

$$\begin{aligned}
J_1 \ddot{\alpha}_1 &= M_d(\dot{\alpha}) - C_1(\alpha_1 + \alpha_2); \\
J_2 \ddot{\alpha}_2 &= C_1(\alpha_1 - \alpha_2) - C_2(\alpha_2 + \alpha_3); \\
J_3 \ddot{\alpha}_3 &= C_2(\alpha_2 - \alpha_3) - C_3(\alpha_3 + \alpha_4); \\
m_{p.o} \ddot{s} &= \overline{C_{p.o}}(s_{p.o} - s) - P_k(s).
\end{aligned} \tag{2.82}$$

В составленной системе уравнений буквами α обозначены угловые, а буквами s – линейные перемещения масс.

Система уравнений действительна при соблюдении следующих дополнительных условий:

Сопротивление грунта и наносов копанью не является величиной постоянной. Основными причинами изменения сопротивлений являются естественная неоднородность наносов, случайные и закономерные изменения положения направляющей рамы, передаваемые на рабочий орган – ковш, неровности и неравномерности распределения заилений и песка.

Неоднородность грунта может приводить к весьма существенным изменениям сопротивления копанью. Например, в неоднородных грунтах встреча рабочего органа машины с таким препятствием, как крупный камень, который является по существу непреодолимым препятствием, приводит к весьма быстрому или мгновенному возрастанию нагрузки.

Динамической характеристикой нагрузки, действующей на ковш каналочиститель во время проведения рабочей операции, является возможное возрастание интенсивности сопротивлений вследствие совместного влияния множества факторов. Соответствующий показатель процесса должен характеризовать увеличение нагрузки относительно одного из параметров движения рабочего органа (времени, пути, скорости). Принимая главным фактором, определяющим величину сопротивлений, которые возникают в данных условиях эксплуатации, положение рабочего органа в грунте, можно принять путь, пройденный ковшом в качестве важного параметра. Интенсивности возрастания сопротивлений копанью A определяется как приращение сопротивления копанью dP_k на бесконечно малом участке пути ds , пройденного рабочим органом по дну канала, что соответствует выражению

$$A = \frac{dP_k}{ds} \tag{2.83}$$

Или, если на данной ранней стадии процесса, определяющей является интенсивность возрастания сопротивления резанию A_p , то этой стадии соответствует

$$A_p = \frac{dP_p}{ds} \quad (2.84)$$

Выражение интенсивности возрастания сопротивлений позволяет определить текущее значение сопротивления копания в виде интеграла

$$P_k = \int_{s_0}^{s_1} A ds, \quad (2.85)$$

и если величина A не зависит от пути копания, являясь для данного процесса постоянной,

$$P_k = A(s_1 - s_0). \quad (2.86)$$

Кривые, характеризующие изменения сопротивления, записывались на горизонтальном участке пути на грунтовом лотке лаборатории мелиоративных машин Московского государственного университета природообустройства.

Процесс сопротивления копания может быть описан линейной зависимостью вида

$$P_{c1} = P_0 + A(s_1 - s_0), \quad (2.87)$$

Откуда интенсивность возрастания сопротивления копания определить как величину постоянную и равную

$$A = \frac{P_{c1} - P_0}{s_1 - s_0}. \quad (2.88)$$

Такое выражение интенсивности позволяет получить для некоторых основных случаев решения дифференциальных уравнений движения ковша каналочистителя в алгебраическом виде.

2.11. Зависимость усилий копания от схемы взаимодействия рабочего органа с грунтом

В процессе очистки дна и откосов каналов от наносов и заилений наиболее эффективной и качественной схемой взаимодействия рабочего органа со средой (грунтом, наносами и заилением) является работа ковша, перемещающегося на роликах по швеллерам (работа по схеме рабочего оборудования струг). Такое поло-

жение подтверждается многочисленными исследованиями в лабораторных условиях института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А. Н. Костякова. Рабочий орган относится к устройствам для копания грунта, срезания наносов и заилений в осушительных каналах. Ковш каналочистителя включает днище с режущей кромкой, боковые и заднюю стенки.

Боковые стенки ковша соединены с днищем под углом 45° . Так же, боковые стенки и днище изготовлены из профилей с меняющейся по длине ковша толщиной. В передней части режущие кромки всех перечисленных деталей (боковые стенки, днище) заострены. Кроме того, те же детали имеют заострение в обратном направлении, что позволяет утверждать о непостоянстве толщины этих элементов, соответственно трение боковых стенок о грунт по всей длине во внешней и внутренней части ковша уменьшается. Таким образом, трение боковых стенок и днища о грунт снижается, соответственно уменьшается энергоемкость процесса резания.

Известен ковш экскаватора-драглайна, включающий корпус ковша, связанного с дополнительным рабочим органом (Авторское свидетельство СССР №676693). Недостатком данной конструкции является невозможность достижения свободного резания в процессе работы, что приводит к увеличению тяговых сопротивлений. Известно также техническое решение – ковш каналочистителя, включающий днище с режущей кромкой, заднюю и боковые стенки. Ковш каналочистителя, включающий днище с режущей кромкой, боковые и заднюю стенки, отличающийся тем, что он снабжен установленными с возможностью вращения вокруг своей оси дисками для прорезания щелей, расположенными перед ковшом в плоскости боковых стенок ковша и жестко связанными с ними.

К недостаткам данных ковшовых конструкций относится то, что копание грунта, наносов и заилений в осушительных каналах базовым ковшом прямоугольного сечения будет производиться только по дну, а наносы с прилегающих ко дну частей откосов подрезаются, что, в свою очередь, приводит к сползанию наносов на дно канала. Боковые стенки и днище ковша имеют постоянную толщину по длине – соответственно трение о грунт происходит также по всей длине, что вызывает увеличение сопротивления резанию и копанию. При такой очистке каналов

возникают большие тяговые сопротивления. Одним из способов уменьшения тяговых сопротивлений, может быть, применение ковшей с сужающимися боковыми стенками.

Повышение производительности и качества очистки достигается за счет снижения тяговых сопротивлений и применения ковша трапецеидального сечения. Указанная цель достигается тем, что боковые стенки соединены с днищем под углом 45° , образуя трапецеидальное сечение, копирующее дно и прилегающие к нему части откосов канала, боковые стенки и днище имеют заострение режущей кромки, начиная с конца режущей кромки, толщина боковых стенок и днища уменьшается по длине ковша.

Предлагаемое изобретение можно использовать в рабочем оборудовании экскаваторов различных типов. Ковш каналочистителя включает днище с режущей кромкой 1, боковые стенки 2, заднюю стенку 3, причем боковые стенки соединены с днищем под углом 45° , образуя тем самым трапецеидальное сечение. Известно, что наибольшее количество осушительных каналов имеет трапецеидальное сечение с заложением откосов 1:1, такое соотношение для ковша достигается установкой боковых стенок под углом 45° .

Ковш каналочистителя работает следующим образом. Жесткие направляющие, по которым перемещается ковш продольно оси канала, с помощью стрелы, шарнирно соединенной с базовым трактором, опускаются на дно канала. С помощью опорных стоек направляющие фиксируются должным образом для обеспечения прямолинейного движения ковша с учетом требуемого уклона. Перед началом движения ковша задают определенную толщину стружки. Ковш движется по жестким направляющим, прорезая слой грунта, наносов и заилений со дна и с прилегающих к нему откосов. По ходу движения ковш наполняется грунтом наносами и растительностью. Далее, наполненный ковш поднимается с помощью стрелы и разгружается к месту отсыпки. Известно, что процесс разработки грунта ковшом состоит из резания грунта днищем и боковыми стенками и наполнения самого ковша. Значительная часть усилий тратится на резание. При использовании предлагаемого технического решения, внешнее трение боковых стенок и днища ковша о грунт при

резании - минимальное. Такое конструктивное решение, включающее в себя две основные идеи – применение трапецидального сечения и сужение боковых стенок и днища, позволяет повысить производительность за счет снижения тяговых сопротивлений и обхвата наносов и заилений ковшем трапецидального сечения не только со дна, но и с прилегающих ко дну частей откосов. Снижение тяговых сопротивлений объясняется минимальным значением внешнего и внутреннего трения сужающихся боковых стенок и днища о грунт или наносы.

2.12. Эксплуатационные, экономические, качественные показатели каналоочистителей и обоснование направленности исследований

Фрезерные, роторные, а также многоковшовые рабочие органы существующих каналоочистителей не обеспечивают при очистке необходимый уклон дна канала, подрезают откосы, а выброшенными наносами портят культурные посевы. Значительные технологические возможности имеют тракторные и экскаваторные каналоочистители с рабочим органом, выполненным в виде ковша, перемещающегося по жестким направляющим.

Каналоочиститель РР-303 монтируется на болотном тракторе ДТ-75Б с помощью переднего и заднего поперечных брусьев (рис. 2.12 и 2.13). Рабочий орган подвешен к стреле мощного коробчатого сечения.

Для обеспечения максимальной прочности узла навески и оптимального нагружения несущих элементов базового трактора поперечные брусья каналоочистителя крепятся непосредственно к продольным силовым брусьям тракторной рамы.

Поперечные брусья являются основным несущим элементом навесного оборудования каналоочистителя; с правой стороны к ним прифланцовывается рама контргруза, способная нести груз массой до 3-х т, с левой стороны подвешивается стрела, связанная с помощью тяг с рычагами подъемного механизма, также установленного на поперечных брусьях.

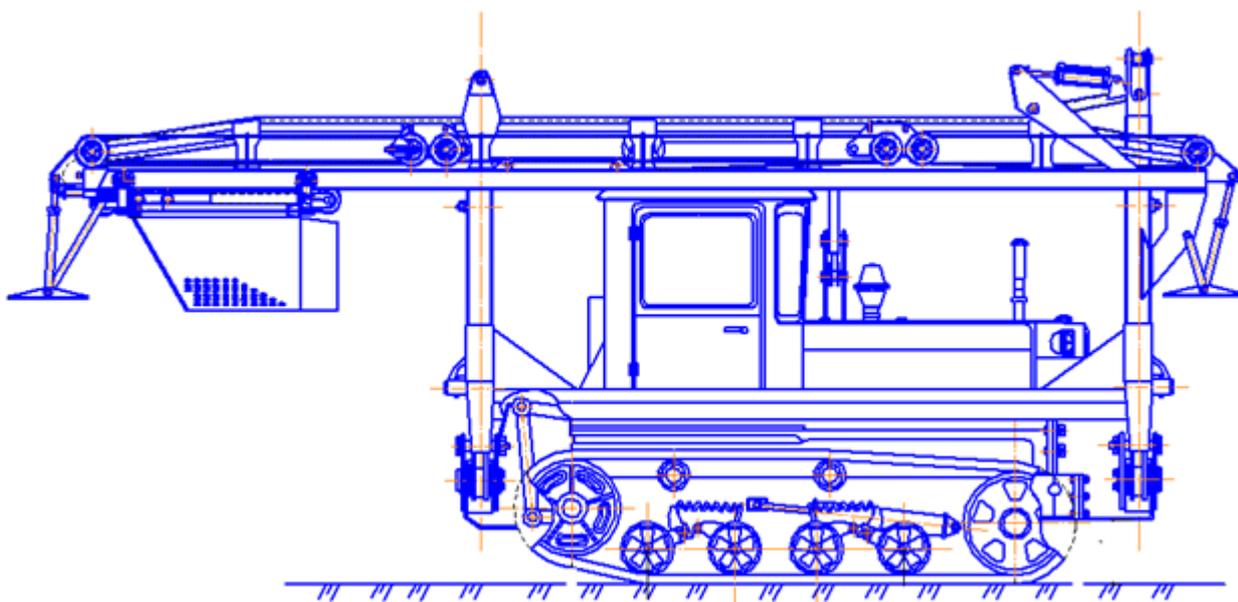


Рисунок 2.12 – Каналоочиститель PP-303

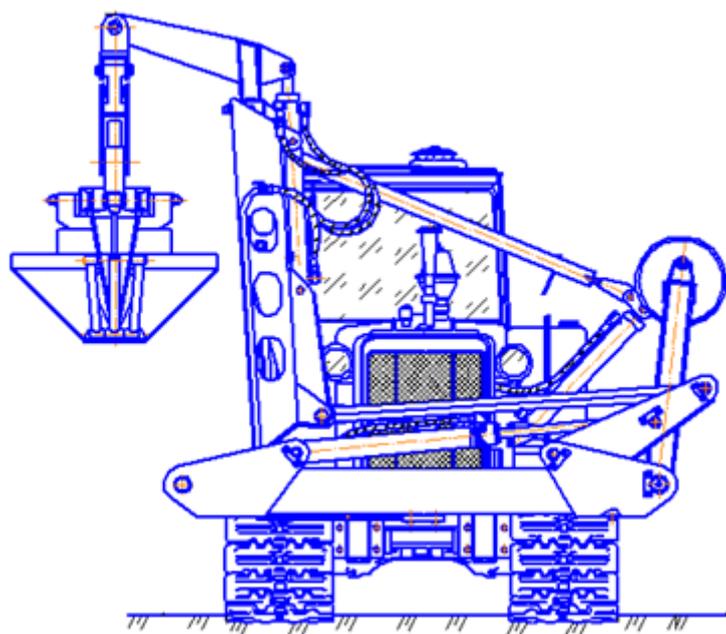


Рисунок 2.13 – Каналоочиститель PP-303 с ковшем трапецидального профиля

Жесткая пространственная конструкция стрелы каналоочистителя рассчитана не только на работу от несимметрично приложенных весовых нагрузок рабочего органа, но и на восприятие усилий, возникающих при технологических нарушениях процесса очистки и выемки наносов из русла канала. Стрела состоит из монолитной нижней секции, выполненной из двух боковых стрел традиционной ломанной формы коробчатого сечения, связанных между собой двумя поперечными балками. Во внутреннем пространстве боковых стрел размещены две верхние секции, обеспечивающие вынос рабочего органа на необходимое расстояние от

трактора при наборе и его смещение от плоскости стрелы при разгрузке грунта. Верхние и нижние секции стрелы соединяются между собой в требуемом положении посредством двух пар пальцев, позволяющих изменять общий вылет стрелы от 3,22 до 4,95 м.

Рабочий орган пассивного типа создан на базе хорошо зарекомендовавшего себя ковшового оборудования. Отличительной особенностью каналоочистителя РР-303 является то, что в процессе набора грунта ковш движется прямолинейно, вдоль русла канала. Такое движение обеспечивается ему жесткой направляющей балкой, выполненной из двух швеллеров, по которым на роликах катится ковш. Сама направляющая устанавливается на дно канала на двух концевых опорах, одна из которых расположена на уровне режущей кромки ковша, а другая поднята над кромкой на расстояние, равное величине срезаемой стружки. Этот подъем может регулироваться винтовым домкратом в зависимости от степени заиления очищаемого канала и в соответствии с требуемым уклоном дна.

Ковш каналоочистителя облегченной конструкции имеет ряд отличий, обусловленных как спецификой процесса резания стружек ограниченной толщины и разнообразием естественных факторов очищаемых каналов, так и особенностями набора грунта в замкнутом пространстве при наличии воды и принудительной разгрузки липких грунтов. Так, например, боковые стенки ковша имеют перфорацию для свободного стока подпираемого водяного фронта; этой же цели, отчасти, служит щелевая прорезь в нижней части задней стенки. Заборная часть ковша образована нижней кромкой, плоскость которой наклонена на 15° к плоскости днища, и боковыми вертикальными закрылками для формирования и подрезания стружки. Режущие кромки закрылков вынесены перед нижней кромкой, что обеспечивает не только образование ровной, без подрывов, примыкающей поверхности откосов, но и исключает потери грунта из призмы волочения, особенно в конце рабочего хода ковша.

Для надежной выгрузки грунта предусмотрено принудительное опорожнение с помощью подвижной стенки, подвешенной в ковше на собственных направ-

ляющих. Выталкивание грунта осуществляется при возвратном ходе ковша в момент торможения подвижной стенки упорным кронштейном, смонтированным на направляющей балке. Подвижная стенка удерживается на упоре фиксирующим храповым механизмом при рабочем ходе ковша до момента соприкосновения с задней стенкой ковша; далее фиксирующий механизм размыкает храповик, и подвижная стенка движется уже вместе с ковшом.

Апробация рабочего органа каналочистителя в естественных условиях выявила интенсивный процесс образования призмы волочения. В конце рабочего хода ковша до 40% срезанного слоя наносов скапливалось перед режущей кромкой, в то время как объем ковша оставался незаполненным. Для устранения этого явления на направляющую балку в месте окончания рабочего хода была установлена упорная плита, по форме соответствующая заборной части ковша. Призма волочения оказывалась замкнутой в пространство, ограниченное упорной плитой и ковшом с боковыми закрылками, что обеспечило возможность принудительного заталкивания срезанного грунта в ковш в конце его набора. Также решением проблемы заполнения ковша может быть конструктивное увеличение его высоты.

Требованиям максимальной производительности каналочистителя, его надежности и ремонтпригодности в наибольшей степени, соответствует гидравлический привод ковша со скоростным полиспастом. При этом удалось использовать без каких-либо переделок гидросистему базового трактора. Отказ от дефицитной и требовательной к высокой культуре изготовления и эксплуатации аксиально-плунжерной гидроаппаратуры, применение широко распространенных в мелиоративном, сельскохозяйственном и общестроительном машиностроении гидродвигателей возвратно-поступательного типа – гидроцилиндров, позволил обеспечить достаточно высокие технико-экономические показатели машин в целом.

Узел привода размещен на направляющей балке и конструктивно выполнен в виде двух ходовых гидроцилиндров, штоки которых соединены с четырьмя парами подвижных блоков. Две пары неподвижных блоков, а также концевые блоки, установлены над концевыми опорами рабочего органа. Тяговый канат крепится к передней траверсе ковша и запасовывается на подвижные блоки гидроцилиндров.

Возвратный канат закреплен на задней траверсе и запасован на неподвижных концевых и подвижных блоках гидроцилиндров. Образованная таким образом система из четырех полиспастов при общем ходе цилиндров 1,2 м позволяет получить полезный ход ковша 4,8 м. Полиспасты оборудованы натяжными винтами, компенсирующими вытяжку тяговой и возвратной ветви в пределах 0,4 м. Все блоки выполнены на радиальных однорядных шарикоподшипниках. Канат трехслойной навивки диаметром от 10 до 13 мм без заделок крепится стандартными клиновыми втулками. Роль предохранительного устройства при встрече ковша с непреодолимым препятствием успешно выполняет предохранительный клапан гидросистемы трактора. Зафиксированная во время испытаний скорость ковша 0,45–0,55 м/с является недостаточной, но может быть увеличена почти вдвое. Это производится за счет значительного резерва мощности гидросистемы трактора (при данной скорости гидроцилиндры развивали усилие на ковше до 1,0–1,2 т). Важное значение для качественного выполнения технологического процесса имеют концевые опоры. Облегченная стойка из тонкостенных труб, связанная с винтовой штангой и опорной плитой, образуют рациональную форму жесткой конструкции. Шарнирное сочленение опорных плит обеспечивает их самоустановку на любой поверхности дна канала, а оснащение их сквозными отверстиями исключает «прилипание» ко дну. Винтовая штанга с однозаходной метрической резьбой позволяет производить быструю регулировку высоты плиты передней опоры в пределах 200 мм и задней – 100 мм. Регулировка задней опоры вызвана необходимостью сохранения одинаковой осадки направляющей балки на донных грунтах с различной несущей способностью. Передняя концевая опора вместе с упорным щитом, расположенным ниже уровня плоскости плиты, надежно устанавливает направляющую балку в русле канала и обеспечивает замыканием нагрузок от усилий резания ковша на рабочем органе, исключая тем самым их воздействие на стрелу и несущие элементы каналочистителя. Конструкция рабочего органа предусматривает возможность быстрой замены ковшей, при этом устанавливается также соответствующая подвижная стенка и упорный щит из инвентарного комплекта.

Многообразно функциональное назначение механизма качания, связывающего рабочий орган со стрелой. Он состоит из тяги открытого П-образного профиля соединенный с рычагом, установленным на несущей балке, и сочлененного с ним короткоходовым гидроцилиндром. В плавающем режиме гидроцилиндр обеспечивает свободное перемещение вверх и вниз переднего конца направляющей балки. Таким образом, рабочий орган может устанавливаться строго параллельно дну очищаемого канала независимо от продольного дифферента базового трактора, вызванного микро- и макронеровностями поверхности бермы, различиями в величине просадки почвы [131] под гусеницами, попаданием под них посторонних предметов и т. п. В режиме «подъема-опускания» гидроцилиндр позволяет производить продольный наклон рабочего органа. Такая необходимость возникает при очистке чрезмерно заиленных участков канала первым проходом ковша. При этом, уменьшая толщину срезаемой стружки, добиваются равномерного заполнения ковша по всей длине его рабочего хода. В экстренных случаях, вызванных перегрузкой и затапливанием ковша, при невозможности подъема рабочего органа из канала стреловыми гидроцилиндрами, механизм качания используется для отрыва рабочего органа от залипшего массива грунта. И, наконец, механизм качания служит для придания необходимого наклона направляющей балки в момент опорожнения ковша и при транспортных переездах каналочистителя.

До начала работ намечается схема движения агрегата. Очистку дна каналов от наносов целесообразно проводить после скашивания и удаления растительности с откосов и берм каналов. Скашивание и удаление растительности со дна канала необязательно. Каналоочиститель может доставляться на объект работ как на трейлере, так и своим ходом (при расстояниях до 8–10 км). При перевозке на трейлере каналочиститель поступает с демонтированным рабочим органом. Для монтажа рабочего оборудования необходимо погрузочное средство грузоподъемностью не менее 1 т. В зависимости от глубины и ширины дна подлежащих очистке каналов устанавливаются необходимый вылет рабочего органа и ковш требуемой ширины. В соответствии с количеством подлежащих удалению наносов, видом грунта и

наличием воды в канале устанавливается необходимое превышение опорных плит над режущей кромкой ковша.

Работа каналоочистителя осуществляется позиционно, при последовательном перемещении базового трактора по берме параллельно оси канала. При этом величина перемещения равна длине рабочего хода ковша. Направляющая балка с ковшом опускается на дно канала с помощью гидроцилиндров механизма подъема. Установка направляющей вдоль оси канала в горизонтальной плоскости производится поворотом трактора с помощью бортовых фрикционов. При опускании направляющей в канал гидроцилиндр механизма качания находится, как правило, в «плавающем» положении, обеспечивая тем самым самоустановку рабочего органа на опоры.

Исходное положение ковша – на конце направляющей балки, сзади по отношению к трактору. Очистка производится при включении ходовых гидроцилиндров путем перемещения ковша вдоль направляющей. При этом пласт наносов разрезается вертикальными закрылками и кромкой ковша. Вырезанная стружка поступает в ковш. Образующееся в конце хода ковша перемещение призмы волочения останавливается упорным щитом, после чего происходит принудительное заталкивание всей срезанной массы наносов в ковш.

После набора ковша производится подъем рабочего органа из русла канала с помощью стреловых гидроцилиндров. Далее ковш возвращается в исходное положение и принудительно разгружается. Процесс разгрузки осуществляется при торможении подвижной стенки о неподвижный упор и дальнейшем перемещении ковша вдоль направляющей.

Вытолкнутый грунт падает на берму канала сзади трактора, образуя компактный массив, размеры которого в зависимости от количества воды в наносах колебались в пределах: длина – 0,8–1,5 м, ширина – 0,6–0,8 м, высота – 0,05–0,3 м.

На этом рабочий цикл заканчивается и каналоочиститель перемещается на новую позицию. Следует заметить, что операцию выгрузки можно совмещать с перемещением машины на новую позицию.

Конструктивную (теоретическую) производительность каналаочистителя Π_k , как максимально возможную производительность машины периодического действия ($\text{м}^3/\text{ч}$ или $\text{т}/\text{ч}$) при условии, что все факторы, связанные с потерей времени или материала в течение рабочего цикла, отсутствуют, можно определить по формуле:

$$\Pi_k = q \cdot n \cdot \rho, \quad (2.89)$$

где q – расчетное количество наносов и заилений, извлекаемых со дна канала за один цикл работы, м^3 или т ;

n – число циклов работы каналаочистителя в час ($n = 3600/t_{\text{ц}}$, где $t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла, с);

ρ – плотность наносов и заилений, $\text{т}/\text{м}^3$.

Производительность цикла, в свою очередь, определяют в зависимости от продолжительности операций цикла:

$$t_{\text{ц}} = t_o + t_k + t_{\text{под}} + t_{\text{в}} + t_{\text{пер}} \quad (2.90)$$

где t_o – продолжительность опускания и установки рабочего органа в канал, с;

t_k – продолжительность копания наносов ковшем при его продольном движении, с;

$t_{\text{под}}$ – продолжительность подъема ковша с наносами, с;

$t_{\text{в}}$ – продолжительность выгрузки ковша, с;

$t_{\text{пер}}$ – продолжительность переезда каналаочистителя на новую позицию, с.

Техническую производительность каналаочистителя Π_T , как максимально возможную производительность, которая может быть достигнута в данных конкретных производственных условиях при непрерывной работе машины, можно определить по формуле:

$$\Pi_T = \Pi_k \cdot K_T, \quad (2.91)$$

где K_T – коэффициент, учитывающий конкретные условия работы каналаочистителя (неполное использование вместимости рабочего органа из-за потерь, наличия воды с наносами и заилениями или их прилипания к стенкам и днищу ковша).

Эксплуатационная производительность каналаочистителя $\Pi_э$ определяется с учетом потерь времени из-за перерывов в работе, связанных с механическим обслуживанием машины, с подготовкой ее к работе, определяется по формуле:

$$\Pi_э = \Pi_т \cdot K_в, \quad (2.92)$$

где $K_в$ – коэффициент использования каналаочистителя по времени ($K_в = (T_c - \sum t_{п})/T_c$, где T_c – полное время работы каналаочистителя за смену, ч; $t_{п}$ – время перерывов в работе машины за смену, ч).

Наличие в канале донной растительности не влияет на процесс набора грунта. В процессе набора разрушается корневая система растений, что позволяет отказаться от дополнительной операции удаления донной растительности специальной каналоокашивающей машиной.

Экономическая оценка показала, что годовой экономический эффект только от применения одного каналаочистителя РР-303 соизмерим с работой на операции очистки дна каналов от наносов около 40 русловых ремонтеров (табл. 2.9).

Таблица 2.9 - Результаты испытаний каналаочистителя

Осредненные показатели	РР-303
Установка в канал, с	8
Набор грунта, с	12
Перемещение в положение выгрузки, с	10
Выгрузка, с	10
Перемещение базы на новую позицию, с	12
Общая продолжительность цикла, с	52
Производительность:	
м/ч	210
м ³ /ч	17

Каналоочистители с ковшом на жесткой направляющей обладают следующими технологическими достоинствами:

- возможна работа на любых грунтах-торфяниках и минеральных, в том числе с каменистыми включениями и погребенной древесиной;
- способность работы при зарастании канала растительностью, а также на каналах как с водой, так и без воды;

- выгрузка грунта производится на берму канала (на полосу движения базовой машины) без попадания его на посевы;
- осуществляется качественная планировка дна канала независимо от состояния бермы и положения на ней базовой машины;
- работа может производиться и в налипающих грунтах, поскольку разгрузка ковша осуществляется принудительно;
- наличие сменных ковшей позволяет с наибольшей эффективностью очищать каналы с различной шириной по дну.

Выводы по второй главе:

1. Определены технологические особенности каналов мелиоративных систем и их структурная классификация. Осушительные системы имеют следующие основные элементы: осушаемую территорию; регулирующую осушительную сеть; оградительную сеть; проводящую сеть; водоприемник; гидротехнические сооружения на осушительной сети; дороги и сооружения на них.
2. Даны характеристики каналов трапецеидального сечения как наиболее распространенных в мелиоративных системах. Рассматриваемые в работе каналоочистительные машины в большей степени используются для очистки трапецеидальных каналов.
3. Определены профили сечения каналов с наилучшей пропускной способностью. Наилучшей пропускной способностью обладают каналы параболического профиля, однако наибольшее распространение получили каналы трапецеидального профиля. Это связано с обеспечением устойчивости откосов канала и возможностью эффективной очистки каналоочистительными машинами с различными рабочими органами.
4. Представлены теоретические исследования устойчивости откосов трапецеидальных каналов мелиоративной сети. Для определения коэффициента устойчивости предложено ввести поправочный и эксплуатационные коэффициенты учитывающие реальные условия эксплуатации, влажность слоев грунтов и наличие влаги между слоями.

5. Обоснованы общие положения по выбору концепции очистки каналов от наносов. Необходимость очистки осушительных каналов связана с исключением затопления сельскохозяйственных полей.

6. Представлено моделирование процесса очистки каналов осушительной системы. Рассмотрено теоретическое исследование динамики ковша каналоочистителя РР-303, который совершает сложное движение в период цикла работы.

7. Дано обоснование технологических параметров и режимов работы каналоочистительных машин. Геометрические размеры ковшовых рабочих органов каналоочистительных машины увязаны с характеристиками очищаемых каналов.

8. Представлены особенности выбора машин для оптимальных комплексов по очистке осушительных каналов. Обоснованием проектирования ковшей шириной 0,4; 0,6 и 0,8 м явилось то, что большинство осушительных каналов имеют соответствующую ширину по дну.

9. Проведено теоретическое исследование процесса разработки наносов и заиления в осушительных каналах ковшовыми каналоочистителями. Определены факторы, влияющие на тяговые сопротивления, в числе которых коэффициенты сопротивления копания и резанию грунта, а также коэффициент бокового трения стенок ковша о грунт.

10. Представлены теоретические исследования разработки наносных грунтов ковшовыми рабочими органами. Для некоторых основных случаев получены решения дифференциальных уравнений движения ковша каналоочистителя в алгебраическом виде.

11. Определены зависимости усилий копания от схемы взаимодействия рабочего органа с грунтом. Снижение тяговых сопротивлений достигается обеспечением минимального значения внешнего и внутреннего трения сужающихся боковых стенок и днища о грунт.

12. Определены эксплуатационные, экономические, качественные показатели каналоочистителей и обоснование направленности исследований. Общая производительность каналоочистителя РР-303М может достигать 210 м/ч или 17 м³/ч.

ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Программа и методика проведения экспериментальных исследований по определению устойчивости откосов мелиоративных каналов

Целью исследований являлось определение предельных нагрузок, при которых нарушается устойчивость откосов канала. Задачи исследования:

- определить устойчивость откосов канала при заложении откосов 1:1 при наличии распределенных нагрузок по *полке* швеллера №14 длиной 2,8 м на кромке бермы;

- определить устойчивость откосов канала при заложении откосов 1:1 при наличии распределенных нагрузок по *ребру* швеллера №14 длиной 2,8 м на кромке бермы;

- определить устойчивость откосов канала при отсутствии откоса (вертикальная стенка) при наличии распределенных нагрузок *по полке* швеллера №14 длиной 2,8 м на кромке бермы;

- определить устойчивость откосов канала при заложении откосов 75 градусов при наличии распределенных нагрузок *по ребру* швеллера №14 длиной 2,8 м на кромке бермы.

Методика исследования: Опыты проводились на грунтовом канале лаборатории гидропривода и дождевальных машин кафедры Организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ. В грунте канала был сформирован трапециевидальный профиль осушительного канала длиной 3,5 м (рис. 3.1). Глубина канала 0,55 м, ширина по дну 0,4 м, ширина бермы 0,4 м. Грунт исследуемого канала – суглинок. Влажность грунта 18%. Категория грунта I – 3–4 удара ударника ДорНИИ.

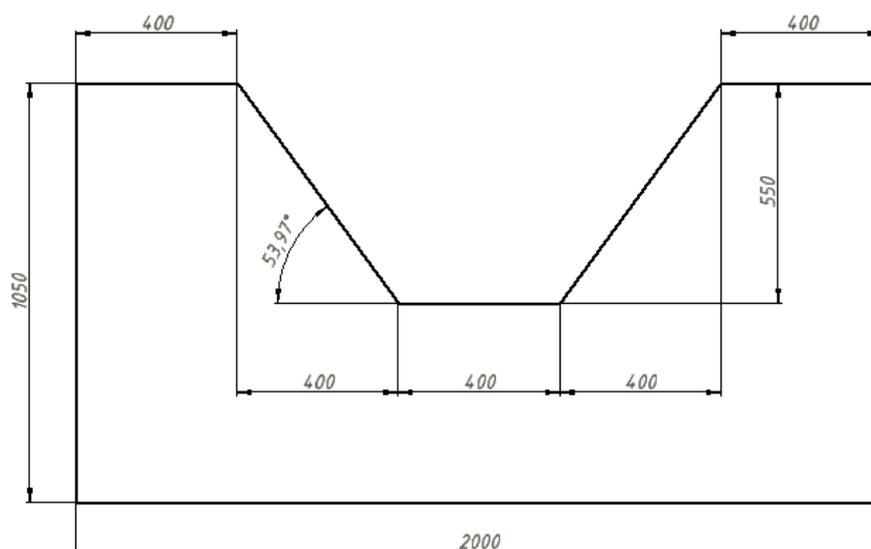
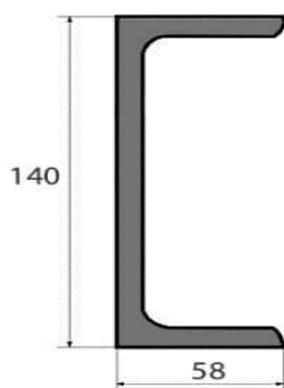


Рисунок 3.1 – Геометрические размеры канала

В работе на кромку бермы канала задавалась распределенная нагрузка посредством швеллера №14 (рис.3.2) длиной 2,8 м. Для изменения площади распределения



швеллер № 14

деления нагрузки швеллер располагался на полку или ребро. В качестве нагрузки использовались грузы по всей длине швеллера. Длина применяемого швеллера $L = 2,8$ м. Опорная площадь на полке составляет $0,392$ м². Опорная площадь на ребре составляет $0,1624$ м².

Рисунок 3.2. Швеллер ГОСТ8240-97, высота стенки 140 мм, ширина полки 58 мм, масса погонного метра 12,73 кг.

3.2. Лабораторные исследования устойчивости откосов мелиоративных осушительных каналов

С учетом того, что рабочее оборудование каналоочистителей чаще всего устанавливается на гусеничные или пневмоколесные ходовые устройства, которые перемещаются по берме вдоль оси канала, в работе на кромку бермы канала задавалась распределенная нагрузка посредством швеллера №14 длиной 2,8 м. Для изменения площади распределения нагрузки швеллер располагался на полку или ребро. В качестве нагрузки использовались грузы по всей длине швеллера. Длина применяемого швеллера $L = 2,8$ м. Опорная площадь на полке составляет $0,392$ м². Опорная площадь на ребре составляет $0,1624$ м². Швеллер ГОСТ8240-97, высота стенки 140 мм, ширина полки 58 мм, масса погонного метра 12,73 кг.

Первая серия опытов. 1. Влажность грунта - 18%; 2. Категория грунта – I (3-4 удара ударника ДорНИИ); 3. Вид грунта – суглинок; 4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг. В целом по опыту нагрузка доведена до 280, 5 кг. 5. Состояние откоса – видимых изменений нет (рис. 3.3). Кроме того, экспериментальные данные сравнивались с расчетными данными, полученными для данных условий в отечественной программе GeoStab 8.1, предназначенной для оценки общей устойчивости откосов, склонов или котлованов в условиях сложного геологического строения грунтового массива.



Рисунок 3.3 – Откос канала с распределенной нагрузкой по полке швеллера

Результаты расчетов по данному опыту в системе GeoStab 8.1 представлены на рисунках 3.8 и 3.9.

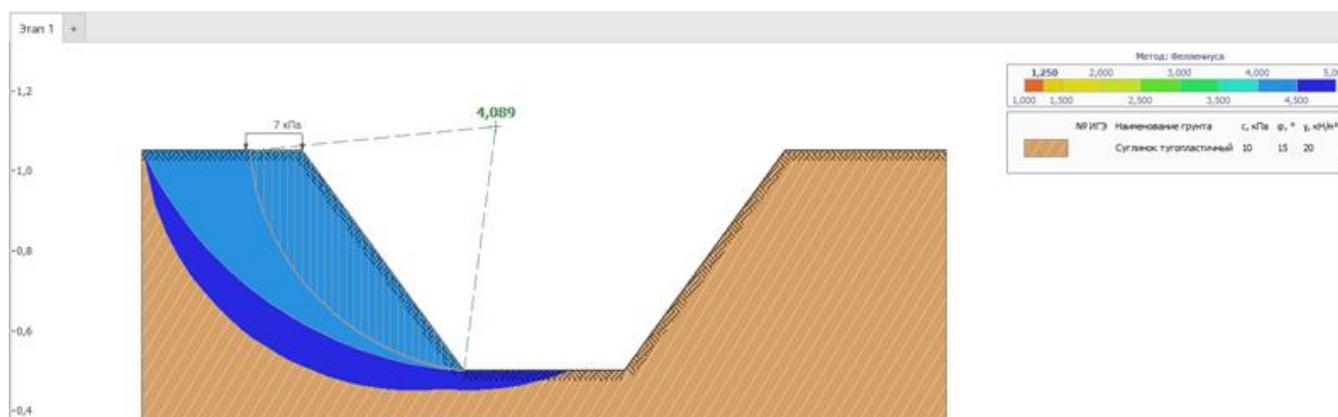


Рисунок 3.8 – Расчет коэффициента устойчивости левого откоса с распределенной нагрузкой $7142,2 \text{ Н/м}^2$ на полке (0,14x2,8 м) швеллера №14 в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса

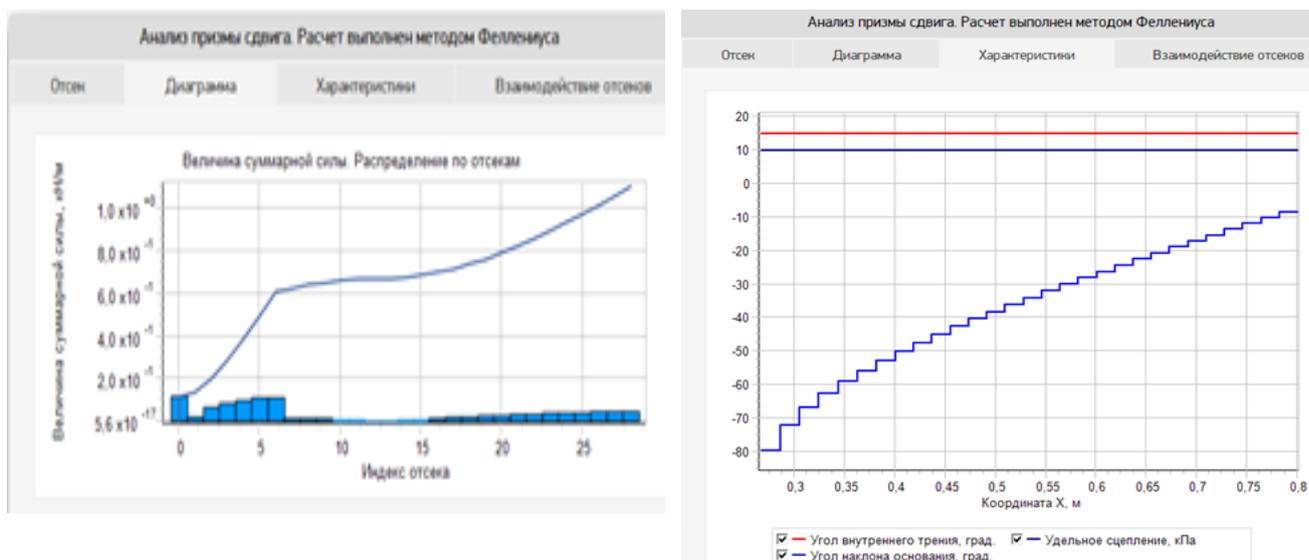


Рисунок 3.9 – Анализ призмы сдвига при расчете откоса методом Филлениуса

Выводы по первой серии опытов: при нагружении откоса с заложением 1:1 по полке швеллера до нагрузки величиной 280,5 кг, что составляет $7142,2 \text{ Н/м}^2$ - видимых деформаций и изменений нет. Коэффициент устойчивости откоса в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса получился равным 4,089, что определяет значительную устойчивость в данных условиях. Подробный расчет приведен в приложении 1 диссертации.

Вторая серия опытов. Во второй серии опытов изменены вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, величина нагрузки доведена до 175,744 кг (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Откос канала с распределенной нагрузкой по ребру швеллера

Результаты расчетов по данному опыту в системе GeoStab 8.1 представлены на рисунках 3.11 и 3.12.

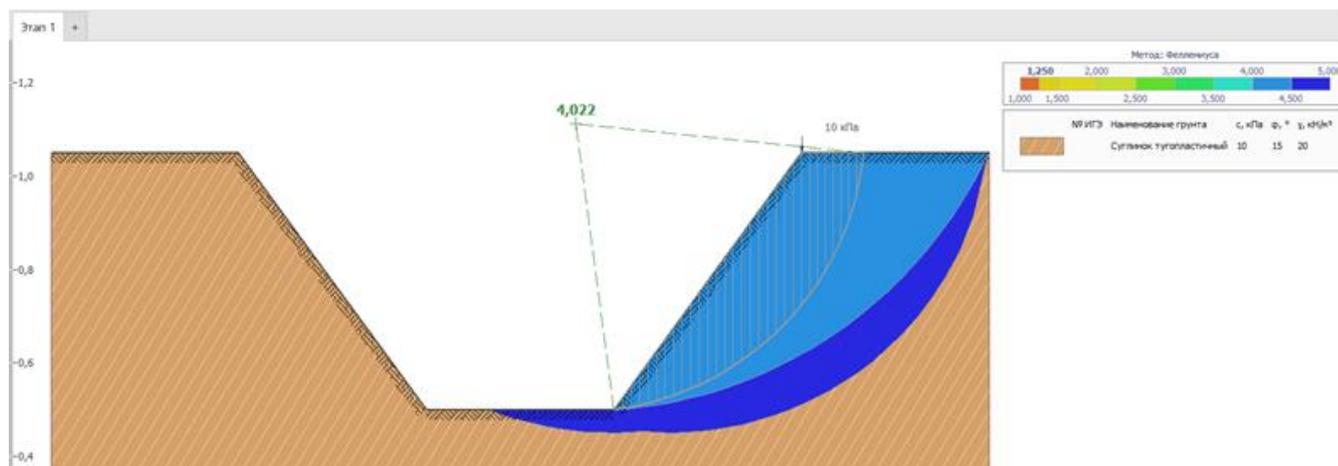


Рисунок 3.11 – Расчет коэффициента устойчивости правого откоса с распределенной нагрузкой $10821,6 \text{ Н/м}^2$ на ребре швеллера №14 ($0,058 \times 2,8 \text{ м}$) в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса

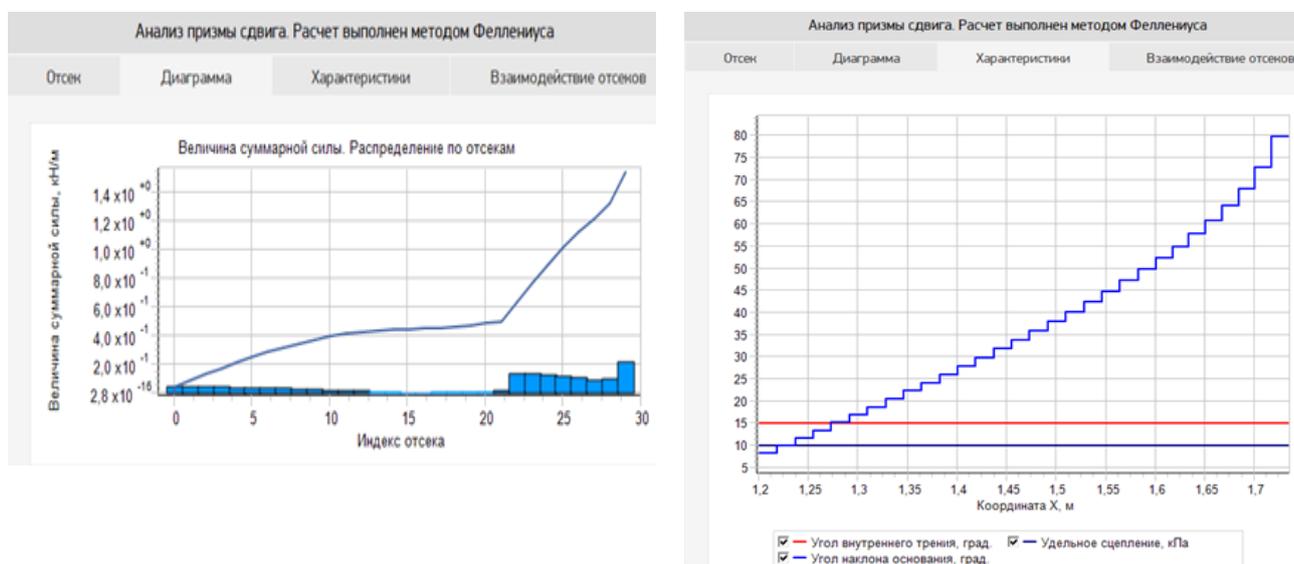


Рисунок 3.12 - Анализ призмы сдвига при расчете откоса методом Филлениуса

Выводы по второй серии опытов: при нагружении откоса с заложением 1:1 по ребру швеллера как показано на фото до нагрузки величиной 175,744 кг, что составляет $10821,6 \text{ Н/м}^2$ - видимых деформаций и изменений нет. Откос устойчив при данных нагрузках. Коэффициент устойчивости откоса в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса получился равным 4,022, что определяет значительную устойчивость в данных условиях. Подробный расчет приведен в приложении 2.

Третья серия опытов 1. Влажность грунта - 18%; 2. Категория грунта – I (3-4 удара ударника ДорНИИ); 3. Вид грунта – суглинок; 4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого

откоса (вертикальной стенки) доведена до 91,144 кг; 5. Состояние вертикального откоса – устойчивость нарушена (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 – Разрушение вертикального откоса канала с распределенной нагрузкой по полке швеллера

Результаты расчетов по данному опыту в системе GeoStab 8.1 представлены на рисунках 3.14 и 3.15.

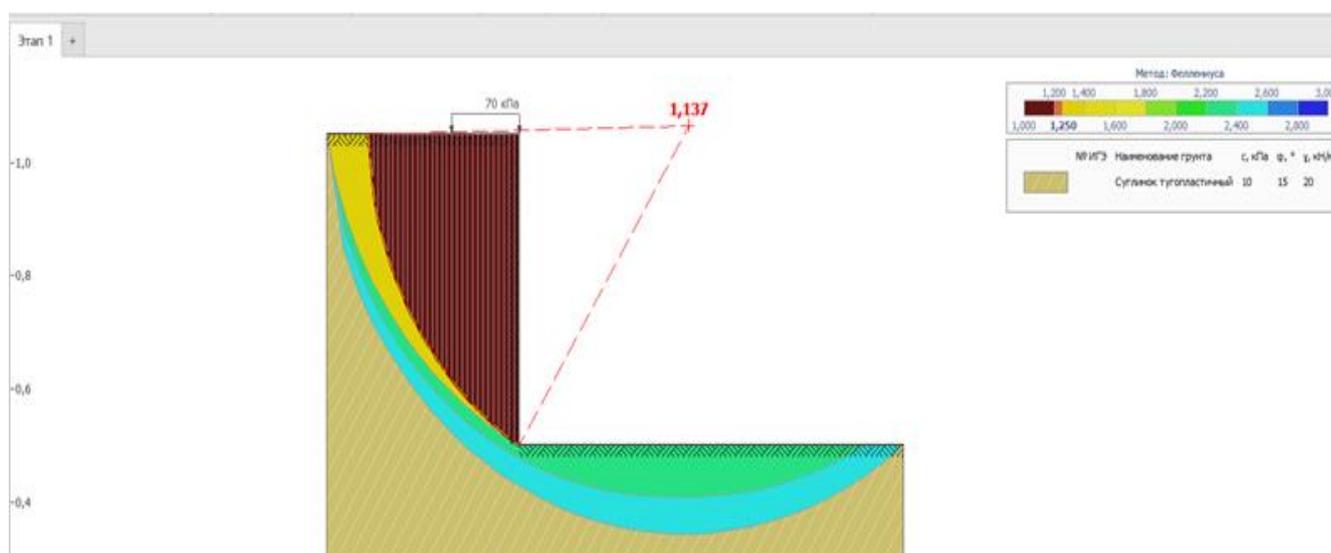


Рисунок 3.14 – Расчет коэффициента устойчивости левого вертикального откоса с распределенной нагрузкой на полке швеллера №14 (0,058x2,8 м) в системе GeoStab 8.1 по методу Феллениуса

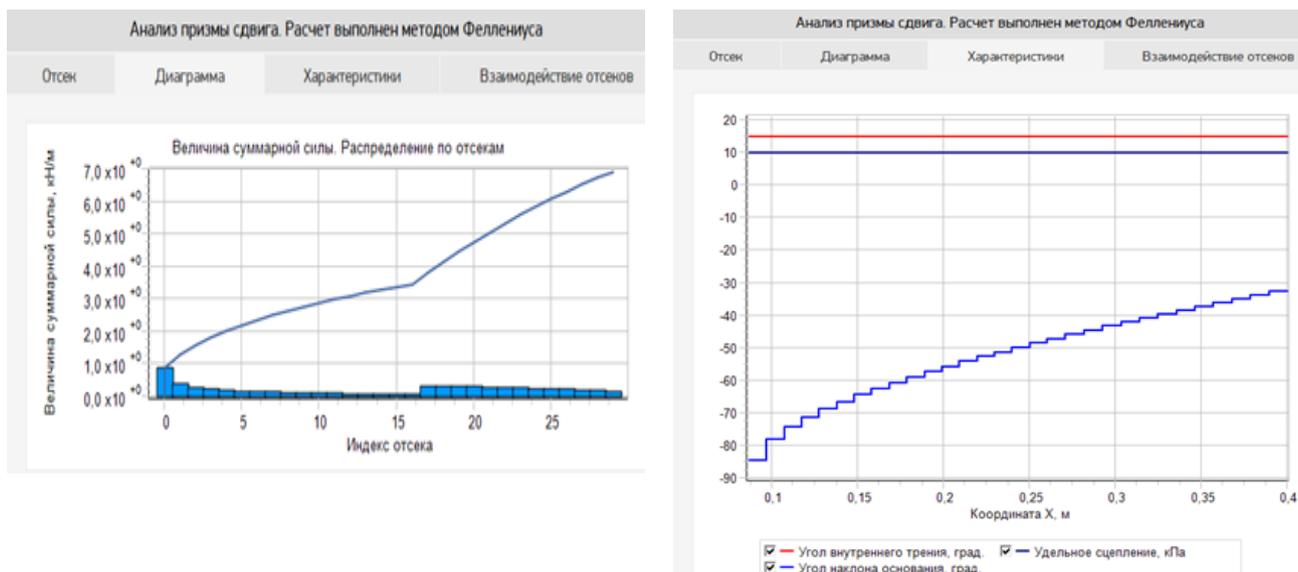


Рисунок 3.15 – Анализ призмы сдвига при расчете откоса методом Феллениуса

Выводы по третьей серии опытов: при нагружении вертикального откоса по полке швеллера, как показано на рисунке 9, до нагрузки величиной 91,144 кг, что составляет $232,5 \text{ Н/м}^2$ – устойчивость вертикального откоса нарушена. Подробный расчет приведен в приложении 3 диссертации.

Четвертая серия опытов. 1. Влажность грунта - 18%; 2. Категория грунта – I (3-4 удара ударника ДорНИИ); 3. Вид грунта – суглинок; 4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, нагрузка доведена до 214,744 кг, заложение откоса 75 градусов; 5. Состояние откоса – потеря устойчивости (разрушение откоса рис. 3.16).



Рисунок 3.16 – Откос канала (75 градусов) с распределенной нагрузкой по ребру швеллера

Результаты расчетов по данному опыту в системе GeoStab 8.1 представлены на рисунках 3.17 и 3.18

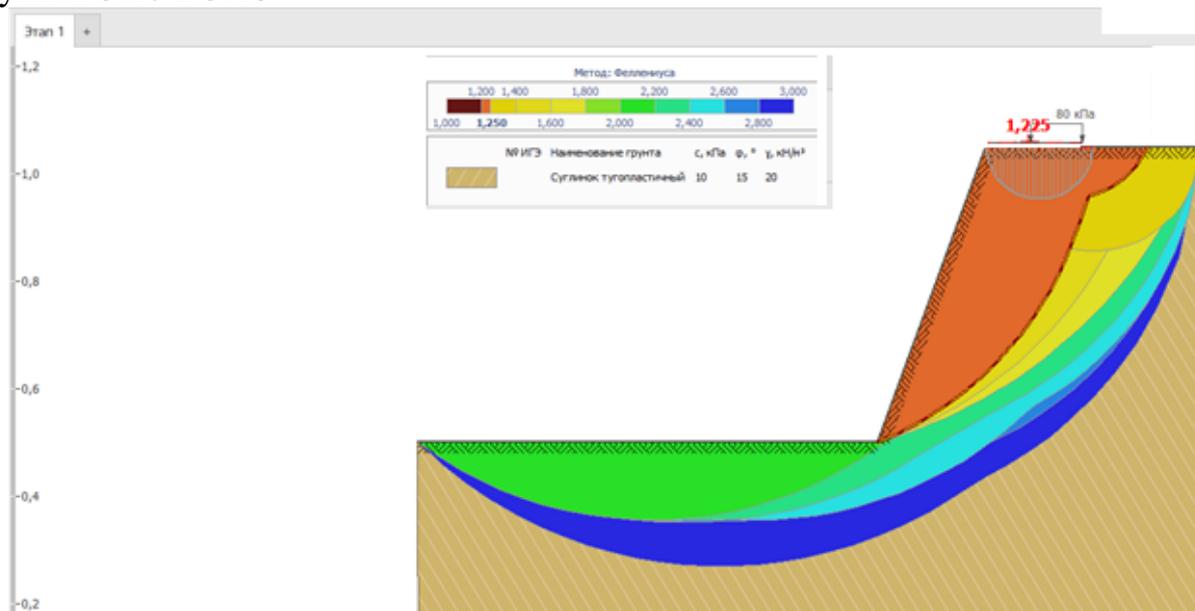


Рисунок 3.17 – Расчет коэффициента устойчивости правого откоса с распределенной нагрузкой на ребре швеллера №14 (0,058x2,8 м) в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса

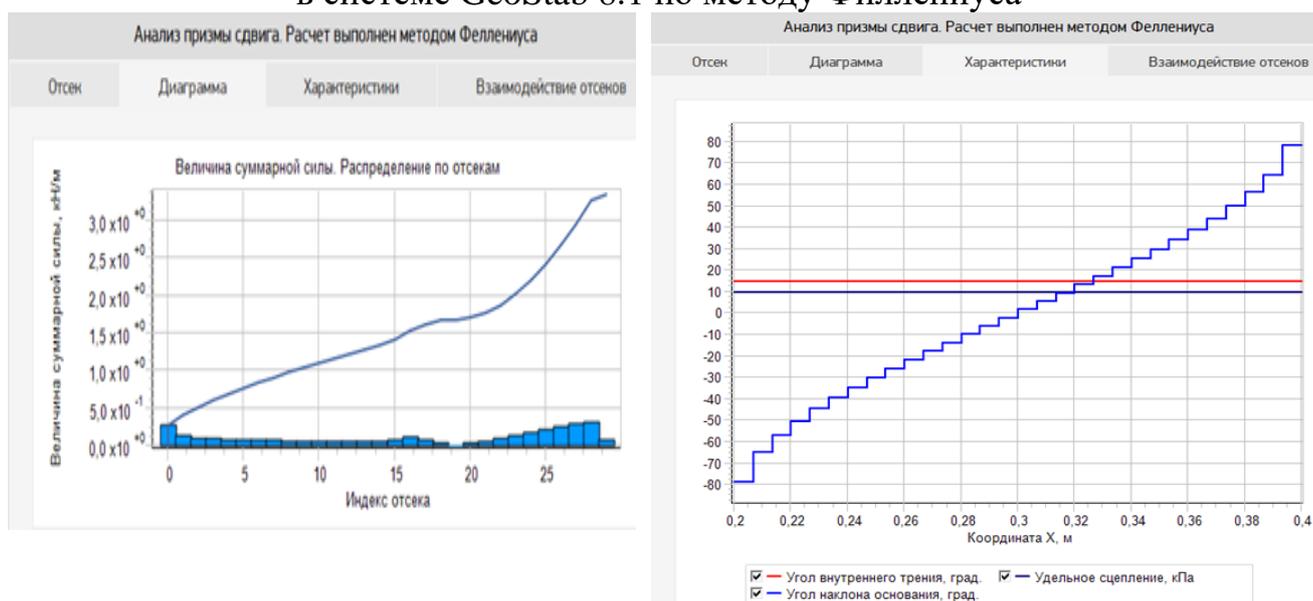


Рисунок 3.18 – Анализ призмы сдвига при расчете откоса методом Филлениуса

Выводы по четвертой серии опытов: при нагружении откоса с заложением 75 градусов по ребру швеллера как показано на фото до нагрузки величиной 214,744 кг, что составляет $1322,3 \text{ Н/м}^2$ – устойчивость откоса нарушена. Откос не устойчив при данных нагрузках. Подробный расчет приведен в приложении 4 диссертации.

Существуют методы расчета устойчивости по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения Терцаги-Крея, Гольдштейна М.К., Чугаева Р.Р., Вин-клера,

Резаля-Фронтара, Соколовского В.В., Самсонова М.Г. Каждый из них используется для различных расчетных случаев. В настоящей работе предлагается использовать методику расчета устойчивости откосов при случаях, учитывающих нагрузки на берму от ходового оборудования базовых машин каналоочистителей.

В соответствии с положениями «Указания по расчету устойчивости земляных откосов» ВСН04-71 рекомендуют рассчитывать устойчивость откосов с высотой более 5 м, все можно провести сравнительную оценку устойчивости откосов рекомендуемых каналов рационального профиля межхозяйственной и внутрихозяйственной мелиоративной сети, т.е. глубиной до 3 м в устойчивых грунтах I...III категорий по ГОСТ 17343-71 по методу, основанному на аналогии между кривыми сдвига и откоса, и уточнить коэффициент запаса устойчивости откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

Расчет устойчивости откосов каналов подразумевает предварительное определение назначения откоса, значение «обеспечение устойчивости откоса», выявление последствия нарушения устойчивости откоса, использование расчетных методов проверки устойчивости откоса и изучение истории их развития, соблюдение мер по обеспечению устойчивости откоса и т. п.

Анализ грунтов и почвогрунтов позволяет делать выводы о том, что первопричиной возникновения оползневых явлений является: а) наличие малосвязных почвогрунтов на поверхности более твердых гладких слоев (мергелей как в случае в Саясане) расположенных под некоторым углом; б) наличие условий для накопления влаги, между слоями почвогрунтов и твердых слоев, способствующей скольжению массивов почвогрунтов. Исследования показывают, что при расчете устойчивости откосов необходимо учитывать не только геометрические размеры, силовые составляющие, но и наличие влаги между слоями грунтов, их категорию и степень влажности.

К проведенному анализу исследований устойчивости откосов каналов разных источников автор настоящей диссертационной работы добавляет результаты собственных исследований на откосах в бассейне реки Аксай на территории селения Саясан Ножай-Юртовского района Чеченской Республики в 2017 году.

Оползневым явлениям в определенной степени способствует, периодически меняющееся в рамках русла, течение реки. Происходит так называемое «подкапывание» и высвобождение береговых грунтов, что влечет за собой беспрепятственное сползание верхних слоев грунта (рис. 3.19) [50, 51].



Рисунок 3.19 – Оползневые явления в Саясане в 2017 году

Одной из множества причин оползневых явлений, по мнению некоторых исследователей этой проблемы, является то, что в целом в регионе поверхностные почвогрунты толщиной 1,5–2 м базируются на разновидностях плотных осадочных мергелей.

В дождливую погоду вода на склонах, просачиваясь сквозь рыхлые грунты, доходит до почти зеркальной поверхности слоев мергеля, создавая тем самым условия скольжения почвогрунтов, в результате чего большие массы грунта с достаточно большой скоростью под действием сил тяжести, значительно превышающих силы трения, сползают вниз (рис. 3.19).

Распределение слоев грунтов и почвогрунтов крайне неравномерное и не строго горизонтальное. Это подтверждается расположением слоев в предгорных

районах, такое расположение слоев подтверждается естественными срезами грунтов вследствие эрозии почв (рис.3.20).

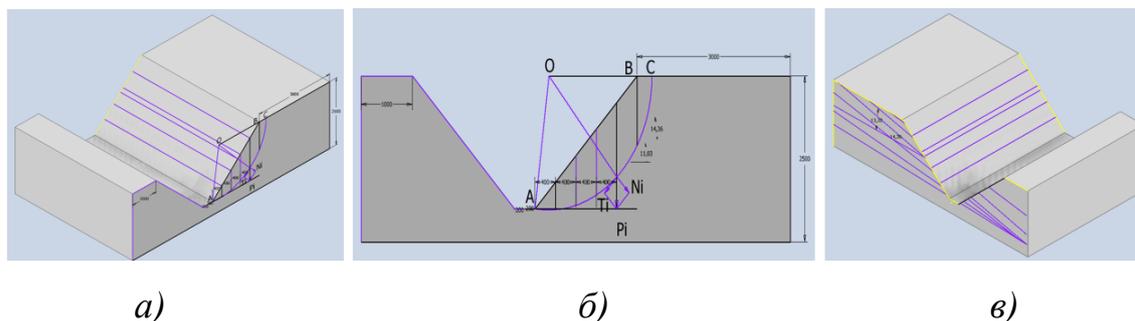


Рисунок 3.20 – Расчет устойчивости откосов: а) и б) по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения; в) расположение слоев грунта в районе строительства канала

По рисунку 3.20 (в), очевидно, оползневым условиям в большей степени подвержен левый откос канала. По трудности разработки, кроме рыхлых почвогрунтов, обычно встречаются грунты II и III категорий в основном тяжелые глинистые.

На основании вышеотмеченного можно сделать следующие заключения:

7. Структуры грунтов преимущественно представляют собой слои разной плотности (чем ниже слои, тем они плотнее; слои располагаются не строго горизонтально; оползневые явления на откосах каналов возникают в тех случаях, когда слои несвязных грунтов располагаются под определенным углом и между слоями возникают условия для скольжения, т.е. при наличии воды;

8. При строительстве канала в поперечной плоскости наклона слоев грунта возможны случаи, когда сползание наблюдается только на одном откосе канала при достаточной устойчивости другого;

9. Обеспечение устойчивости откосов каналов заключается в соблюдении условия, при котором угол внутреннего трения грунта о грунт (граничных слоев грунта) будет больше угла наклона слоя грунта: $\beta < \varphi$ (3.1)

Формула определяет условие устойчивости откоса, а именно для самоторможения слоя грунта необходимо, чтобы угол наклона рассматриваемого слоя грунта определенной массы был меньше приведенного угла трения грунта о грунт двух соседних слоев. Приведенный угол трения грунта о грунт определяется в зависимости от типа грунта и его физико-механических свойств: $\varphi = \arctg f$ (3.2)

где f – коэффициент трения грунта о грунт.

Коэффициент трения f для разных почв колеблется от 0,25 до 0,90, угол трения φ колеблется от 14° до 42° . Для ориентировочных расчетов принимают $f = 0,5$, что соответствует углу трения $\varphi = 26^\circ 30'$. Для обеспечения устойчивости откосов каналов в таких случаях целесообразно их укрепление на дне с помощью фашинных, дощатых и деревянных конструкций.

3.3. Программа экспериментальных исследований моделей рабочих органов каналоочистителей

Мелиоративные каналы осушительной сети так же, как и оросительной, с течением времени претерпевают изменение поперечного профиля. Это связано с тем, что в процессе эксплуатации на дне и откосах появляются наносы, заиления, травянистая и кустарниковая растительность.

В тех хозяйствах, где операции по уходу не осуществляются в течение долгого периода времени в каналах могут быть и древесные элементы. Все это ведет к тому, что уменьшается пропускная способность канала, при которой невозможно обеспечить отвод излишков воды в паводковый период.

Кроме того, возможны случаи увеличения площади поперечного сечения под воздействием размывов прилежащих ко дну частей откосов, оползневых явлений, нарушения устойчивости откосов каналов. В таких ситуациях необходимо восстанавливать первоначальный профиль канала, используя при этом специальные машины и способы [121].

Программа экспериментальных исследований связана с исследованием рабочего органа – ковша каналоочистителя РР-303 (русловой ремонтер) с глубиной очистки до 3-х метров. для очистки дна осушительных каналов с закрепленным дном и без крепления дна.

Машина была создана в 90-х годах в Московском гидромелиоративном институте. Рабочее оборудование каналоочистителя, устанавливающееся на гусенич-

ный трактор ДТ-75 или на его аналог, представляет собой составную телескопическую стрелу, к которой посредством специальных балок крепятся жесткие направляющие. По конструкции жестких направляющих на роликах перемещается ковш прямоугольного или трапецеидального профиля. Основу жестких направляющих составляют два швеллера с ребрами жесткости, опирающиеся на концевые винтовые стойки. По режиму работы каналоочиститель относится к машинам периодического действия. Машина, перемещаясь по берме канала, работает позиционно. Применение жестких направляющих в конструкции рабочего оборудования позволяет достичь строго прямолинейного движения ковша вдоль оси канала. Такая особенность каналоочистителя во многом увеличивает качество очистки дна и прилежащих ко дну частей откосов канала по сравнению с другими типами очистных машин.

Одной из основных задач при проектировании и модернизации каналоочистителя РР-303 являлось определение тяговых сопротивлений при работе ковша с грунтом и сравнение их с силовыми возможностями системы привода.

Тяговые сопротивления определялись при работе уменьшенной модели ковша и пересчете полученных значений для ковша в натуральную величину. Испытания уменьшенной модели в 2,5, сформированной по теории физического моделирования Баловнева В. И., проводились на грунтовом лотке лаборатории мелиоративных машин кафедры «Мелиоративные и строительные машины».

Грунтовый лоток представляет собой металлическую емкость прямоугольного сечения заполненный грунтом. На верхних частях стенок лотка приварены два уголки, представляющие собой жесткие направляющие, по которым перемещается грузовая тележка. К конструкции грузовой тележки крепится модель ковша.

Подъем и опускание модели ковша, тем самым и регулирование толщины стружки производится посредством телескопической стойки.

Испытания проводились по схеме однофакторного эксперимента, т. е. определение целевой функции (в данном случае тяговых сопротивлений) проводилось с изменением только одного лишь фактора (глубины) при постоянстве остальных факторов.

3.4. Методика проведения экспериментальных исследований рабочих органов каналоочистителей

При планировании и проведении исследований мы использовали метод лабораторного эксперимента, который позволяет проводить испытания в любое время года с уменьшенной в несколько раз физической моделью, без моделирования и с моделированием среды; при этом возможен последующий пересчет лабораторных данных применительно к натуре, а также учитывали основные принципы и руководящие идеи, изложенные в работах авторов. Программа экспериментальных исследований включала проведение лабораторных испытаний моделей рабочего органа каналоочистителя с использованием теории моделирования. Программой экспериментальных исследований предусматривалось выполнение следующих работ:

1. Определение реакций грунта на уменьшенную в 2.5 раза модель ковша.
2. Выбор основных параметров ковша на основании полученных результатов испытаний и увязка их с ходом ковша и толщиной стружки.
3. Получение зависимостей наполняемости ковша и объема призмы волочения от длины набора грунта.

Для исследования физической модели рабочего органа каналоочистителя был использован грунтовый лоток со специальной тележкой в лаборатории кафедры мелиоративных и строительных машин РГАУ-МСХА (рис. 3.21).

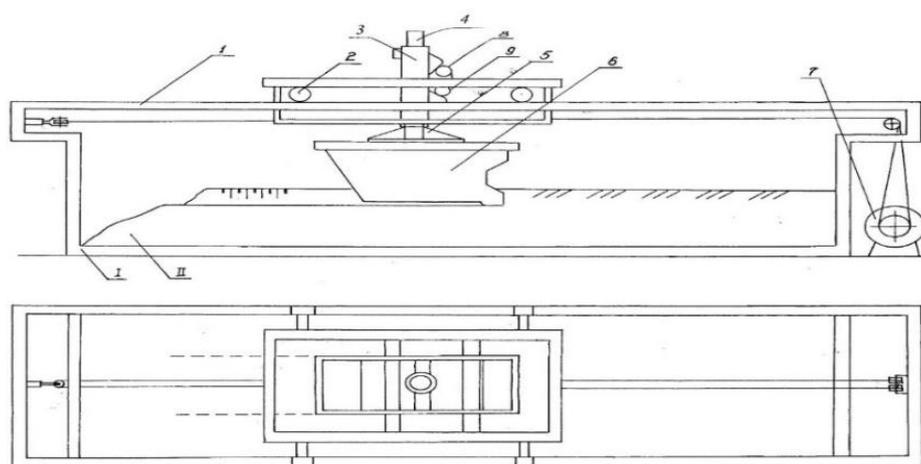


Рисунок 3.21 - Схема лабораторной установки в грунтовом канале
Грунтовый канал представляет собой металлическую емкость I прямоугольного сечения, заполненную грунтом II. В верхней части канала на его стенках уста-

новлена рама из углового прокатного профиля 1, служащая горизонтальной прямой направляющей для тележки 2. На этой тележке смонтирована вертикальная направляющая 3, внутри которой с помощью винтового домкрата может перемещаться стойка 4, оканчивающаяся пластиной 5. К этой пластине может прикрепляться модель рабочего органа 6. Стойка 4 может фиксироваться в направляющей 3. Таким образом, возможно изменения толщины стружки при одном и том же уровне грунта в канале. В передней части тележки предусмотрено устройство для разравнивания грунта с возможностью подъема этого устройства в вертикальном направлении. Предусмотрена возможность поворота направляющей 3 вместе с моделью в вертикальной плоскости и фиксации ее в поднятом состоянии. Это необходимо для подготовки грунта при последующих экспериментах. Передвижение тележки 2 осуществляется с помощью лебедки 7, приводимой в движение электродвигателем с тиристорным управлением. Модель рабочего органа вместе с рамой и датчиками образуют лабораторную установку. Показания датчиков фиксируются с помощью измерительных регистрирующих приборов, в состав которых входят усилитель и самописец. Размеры лотка подбираются из условия получения достоверных экспериментальных данных, которые могут быть искажены при близком расстоянии режущего профиля рабочего органа к твердым стенкам лотка. Ошибка в экспериментальных данных при близком расположении твердых стенок лотка к рабочему органу, может быть вызвана нарушением распределения напряжений и линий скольжений в грунте перед рабочим органом. Ранее проведенные исследования показали, что при приближении нижнего края режущего профиля к твердому дну на близкое расстояние в 10...20 см закон изменения горизонтального усилия от глубины резания иной, чем полученный при экспериментах в естественных полевых условиях. Исходя из этих экспериментальных данных, можно производить расчет минимально допустимой глубины лотка по следующей зависимости:

$$H = (h_{\max} + 50) \text{ см}, \quad (3.3)$$

где H – глубина проектируемого грунтового лотка; h_{\max} – максимальная глубина резания, которая предполагается при проведении экспериментов.

Минимально допустимая ширина лотка выразится уравнением:

$$B = (b_{\max} + 80) \text{ см}, \quad (3.4)$$

где B – ширина проектируемого лотка; b_{\max} – максимальная ширина резания, которая предполагается при проведении экспериментов.

Минимально допустимая ширина лотка получилась из соображений, что от исследуемого рабочего органа на сторону должно быть расстояние по 40 см до жестких боковых стенок лотка. Данные эти получены из экспериментов, при которых был выявлен закон распределения давления и линий скольжения перед рабочим органом и закон влияния расстояния края рабочего органа от открытой стенки забоя на усилия резания. Исходя из выражений (3.3) и (3.4) можно подсчитать максимальную допустимую глубину и ширину резания для грунтового лотка.

Техническая характеристика грунтового лотка

Ширина (в свету), м	1,0
Длина, м	4,6
Глубина, м	0,7
Ширина колеи рельсового пути, м	1,2
Длина хода рабочей тележки, м	4,2
Скорость тележки, м/с 0,9	Максимальное тяговое усилие лебедки, Н 900
Диаметр каната, мм	3,0
Диаметр барабана, мм	130
Мощность двигателя, кВт	0,85
Частота вращения вала двигателя (номинальная), мин ⁻¹	2360
Масса лебедки, кг	21,5

Установку (рис. 3.22) закрепляют на раме тележки грунтового канала, которая передает модели рабочего органа необходимое тяговое усилие и обеспечивает их движение по рельсовому пути.

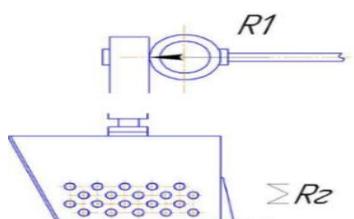


Рисунок 3.22 – Схема лабораторной установки с тензодатчиками и моделью рабочего органа, закрепленная на раме тележки грунтового канала

Модель рабочего органа 6 устанавливается на телескопической стойке, имеющей возможность фиксации, что позволяет изменять толщину стружки. Угол наклона модели рабочего органа в продольной вертикальной плоскости можно было изменять установкой мерных шайб под крепежные болты.

Измерительно-регистрающая аппаратура грунтового лотка и почвенного канала лаборатории цифровой мелиорации кафедры мелиоративных и строительных машин, используемая в настоящее время, представлена на рисунке 3.23.



Рисунок 3.23 – Измерительно-регистрающая аппаратура

Для измерения реакций грунта на ранних стадиях использовали динамографы 8 и 9 с тензометрическими кольцевыми датчиками, дающими показания соответственно R_1 . Эти показания фиксировались на ленте трехканального самописца

марки Н3020-3, после усиления электрического сигнала 8АНЧ. После обработки методом ординат результатов каждого эксперимента, представленного в виде определенной длины аналоговой записи (реализации), строилась кривая зависимость усилия капания от наполняемости ковша и математическое ожидание данной кривой.

Математическое ожидание (среднее значение) принималось в качестве расчетной величины показаний динамографов R_1 . Далее определялось горизонтальные R_r составляющие реакций грунта из условия равновесия рамы рабочего органа под действием сил R_1 , и силы тяжести рабочего органа вместе с его рамой.

Применение физического моделирования при исследовании рабочих процессов землеройных машин приводит к уменьшению трудоемкости экспериментов, снижению материальных затрат, сроков исследования, т. е. связано напрямую с расходами на эти исследования. В ряде случаев приближенно можно считать эти расходы пропорциональными кубу линейных размеров или объему машины. По этим причинам целесообразно делать геометрические размеры модели возможно меньшими. Однако уменьшение геометрических размеров модели имеет границы, определяемые главным образом: во-первых - структурой, неоднородностью грунта и во-вторых - точностью измерительной аппаратуры и методов измерения изучаемых параметров. Каждый из указанных факторов вносит свои ограничения на величину масштаба модели.

Перед началом экспериментальных исследований проводилась подготовка грунта (увлажнение, уплотнение и выравнивание) также обеспечивалась равномерная плотность грунта [82]. Движение тележки с моделью ковша осуществлялось посредством механизма передвижения, включающего в себя электродвигатель, редуктор с барабаном и систему блоков с канатом.

При копании грунта моделью ковша сигнал от сопротивления грунта воспринимается специальными датчиками, фиксирующими вертикальные и горизонтальные составляющие реакций. От датчиков сигнал передается на компьютер и выдается в виде кривой с помощью специальной программы.

Испытания, как уже указывалось, проводились по схеме однофакторного эксперимента, при котором целевой функцией – параметром оптимизации были приняты тяговые сопротивления, в качестве фактора, влияющего на целевую функцию, рассматривалась глубина копания. Каждый опыт проводился с повторностью 3–4 раза, что дает более точное описание процесса исследования. В случае если получались реализации значительной длины – то имелась возможность их разбивки на 3–4 равные части, которые также можно обрабатывать как повторности опытов.

3.5. Определение эксплуатационных характеристик модельных и натуральных образцов ковшей каналоочистителя на жестких направляющих

Экспериментальные исследования проводились на грунтовом лотке с уменьшенной моделью нового рабочего органа каналоочистителя. Тяговые сопротивления определялись в зависимости от глубины копания. Обработка результатов экспериментальных исследований проведена с использованием методов статистического анализа.

Модель ковша каналоочистителя трапецеидального профиля была изготовлена на основе конструкции и технической документации на изготовление рабочего органа выполненной в системе Inventor Pro. Изготовлена физическая модель, уменьшенная в 4 раза модель.

Очевидно, что тяговые сопротивления при очистке дна канала шириной 0,4 м новым ковшом трапецеидальной формы будут в определенной степени больше, чем при копании базовым прямоугольным ковшом. Однако, использование в новой конструкции ковша сужающихся по толщине боковых стенок и основания, в определенной степени также снижает тяговые сопротивления от трения.

В системе Inventor Pro были проведены прочностные расчеты, по результатам которых запас прочности для новых конструкций ковшей конструкции при заданных нагруженных силовых условиях находился в пределах 1,8...2. При уточненных

прочностных расчетах конструкции для наиболее опасных участков и сечений данный показатель имеет значения $1,6 \dots 1,9$, что вполне допустимо для стальных сварных конструкций.

Лабораторные испытания физической модели ковша каналоочистителя проводились на грунтовом лотке лаборатории мелиоративных машин. Отличительной особенностью нового рабочего органа от широко используемого прямоугольного профиля является наличие боковых стенок, установленных под углом, формирующим трапецеидальное сечение (рис. 3.24). Такая форма способствует восстановлению первоначальной формы дна и прилежащих ко дну частей канала.

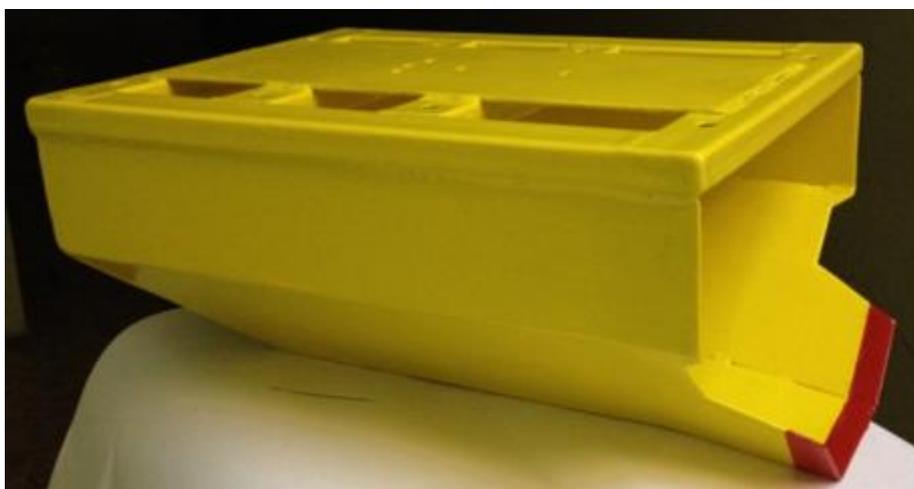


Рисунок 3.24 – Физическая модель ковша каналоочистителя

Грунтовый лоток представляет собой металлическую емкость прямоугольного профиля с грунтом. Вид исследуемого грунта – супесь. На верхних частях стенок лотка установлены уголки, образующие жесткие направляющие – аналог рельсового хода. По жестким направляющим, посредством механизма передвижения с канатным полиспастом, может перемещаться грузовая тележка. Модель каналоочистителя установлена в нижней части тележки на подвижной секции телескопической конструкции, которая позволяет изменять глубину копания. На грузовой тележке имеются также два тензометрических датчика для фиксации и измерения значений горизонтальных и вертикальных усилий рыхления, которые мгновенно передаются на самописец или вычислительную машину. С помощью специальной программы «Тензо-М», установленной на компьютере, выдаются результаты в виде численных значений усилий за определенный промежуток времени в качестве случайной реализации.

Для того чтобы провести лабораторные испытания с моделью рабочего органа каналоочистителя РР-303, уменьшенного в 2.5 раза, необходимо тщательно подготовить грунтовый лоток и измерительно-записывающее оборудование, т. е. необходимо провести тарировку датчиков и приборов и добиться однородности грунта.

В нашем случае тарировка была уже проведена с использованием метода статистической тарировки тензометрических (датчиков) звеньев с применением гирь, воздействующих на тарируемое звено непосредственно через рычажную систему. По записям на бумаге самописца, т. е. по диаграмме нагружения и разгрузки строится график тарировки и определяется масштаб

$$M_T = \frac{F_i}{h_i}, \text{ (Н/мм)}, \quad (3.5)$$

где F_i – истинная нагрузка данной ступени, Н; h_i – средняя ордината нагрузки h_{ni} и разгрузки h_{pi} данной ступени, мм; $h_i = h_{cp} = 0,5 (h_{ni} + h_{pi})$.

Определив среднюю ординату измеряемой силы h_{cp} (мм) по диаграмме, можно вычислить ее значение (Н)

$$F = M_T h_T h_{cp}/h_p, \quad (3.6)$$

где M_T – масштаб, Н/мм; h_T – ордината, соответствующая разбалансу измерительного моста при включении масштабного устройства во время тарировки, мм; h_p – ордината, соответствующая разбалансу измерительного моста при включении масштабного устройства во время измерения, мм.

В нашем случае 1 мм на диаграмме самописца соответствует:

1. на 1 диапазоне 9.61 Н/мм,
2. на 2 диапазоне 22.37 Н/мм.

Испытания проводились с моделью ковша, уменьшенной в 2.5 раза. Для того чтобы иметь возможность наблюдать наполнение ковша, одна его боковая стенка изготовлена из оргстекла.

Объем модели

$$V_m = b h l + \frac{1}{2} b h \Delta l, \quad (3.7)$$

$$\text{Объем ковша (натур.) } V_n = V_m i^3, \quad (3.8)$$

Тогда: $V_m = 0.01 \text{ м}^3$; $V_n = 0.16 \text{ м}^3$, где $i = 2.5$.

Вместимость ковша (натуры) проверяется измерением его внутренних размеров: ширины; высоты и размера от режущей кромки ковша до подвижной стенки, когда она находится в крайнем заднем положении. Вместимость определена перемножением этих величин.

Определение равнодействующей реакции модели определены из условия равновесия рамы рабочего органа при показаниях динамографов R_1 ;

$$\sum R_r \approx R_1(\text{переведенная на натуру}) \quad (3.9)$$

Соблюдение всех критериев подобия осуществить практически невозможно, поэтому использован метод приближенного моделирования.

При физическом моделировании сохранена пропорциональность линейных размеров натуры (индекс «н») и модели (индекс «м»): $K_1 = l_n / l_m$ и равенство соответствующих углов $\alpha_n = \alpha_m$ (K_1 – масштабный коэффициент). Эти условия носят название геометрического подобия.

При кинематическом подобии сохраняются направления и точки приложения скоростей и ускорений:

$I_v = V_n/V_m$; $I_a = a_n/a_m = X_n/X_m$ (i_v и i_a – масштабные коэффициенты скоростей и ускорений; V_n и V_m – скорости; a_n и a_m – ускорения).

Критерии подобия – безразмерные образования физических параметров. Они одинаковы как для модели, так и натуры ($\Pi_i = idem$, где Π_i – критерий подобия; латинское слово *idem* означает одинаковость безразмерных величин в сходственных точках).

Эксперименты с моделями проводились по однофакторной системе с записью (фиксацией) необходимых параметров и обработкой экспериментальных данных.

3.6. Экспериментальные исследования процесса копания

Лабораторные исследования с моделями ковшей проводились по схемам однофакторного и многофакторного (трехфакторного) исследования.

Целями лабораторных исследований были:

a) Определение усилий копания при работе модели ковша каналоочистителя в зависимости от толщины стружки.

b) Определение оптимальных геометрических параметров ковша (ширины, длины и высоты) и их связи с вместимостью и длиной набора грунта.

Перед началом экспериментальных исследований производится подготовка грунтового лотка, т. е. обеспечивается необходимая влажность 8...10%, плотность суглинка (4...5 удара ударника ДорНИИ) и выравнивание поверхности грунта по всей длине лотка.

Первые лабораторные испытания проводились согласно методике однофакторного эксперимента, т. е. исследовалась целевая функция – тяговые сопротивления в зависимости от наиболее весомого фактора – глубины рыхления (при постоянстве других факторов). Проведены 4 опыта с 3-кратной повторностью: первый – с глубиной рыхления 4 см, второй – 6 см, третий – 8 см, четвертый – 10 см.

Реализация одного из опытов, полученная в программе в виде кривой красного цвета по горизонтальным составляющим усилия рыхления (F , Н), представлена на рисунке 3.25. Вертикальная ось в данной программе обычно выделяется зеленым цветом, горизонтальная – синим. Уровень минимального значения параметра выделяется желтым цветом.

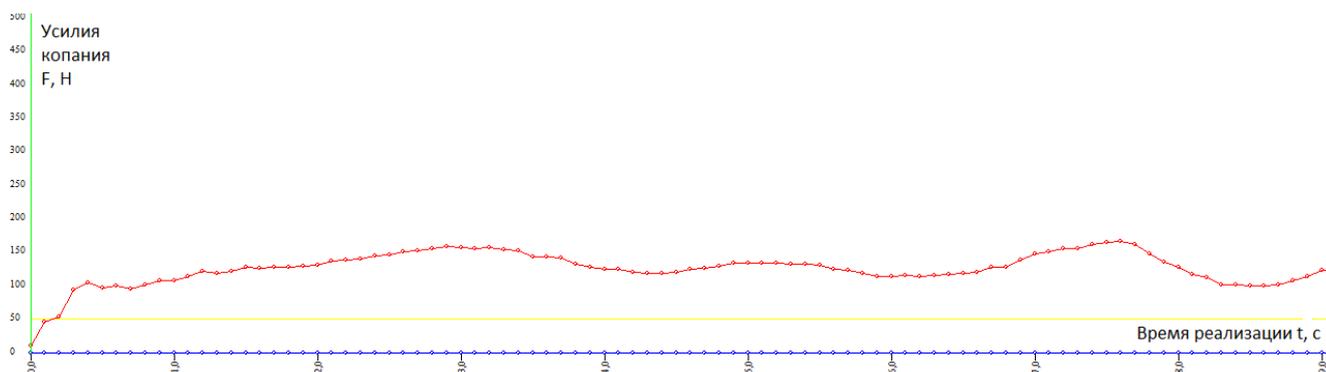


Рисунок 3.25 – Фрагмент реализации изменения тяговых сопротивлений F по времени t при работе модели ковша каналоочистителя

Средние значения усилий для каждого опыта определялись исходя из значений участка реализации с наиболее установившимся режимом. По полученным четырем точкам средних значений усилий в зависимости от глубины получена ап-

проксимация и уравнение регрессии, наиболее адекватно описывающее исследуемый процесс. Далее проводились лабораторные испытания [343] согласно методике многофакторного (трехфакторного) эксперимента. Целью исследований является определение тяговых сопротивлений при работе ковша на жестких направляющих каналоочистителя РР-303 в зависимости от изменения основных факторов [82]. Руслевой ремонтер РР-303 отличается от множества используемых в настоящее время конструкций каналоочистительных машин движением очистного ковша строго прямолинейно по оси канала на жестких направляющих. Кроме того, по режиму работы каналоочиститель относится к машинам периодического действия, который позиционно проводит очистку дна канала и прилежащих ко дну участков откосов. Рабочее оборудование руслового ремонтера, включающее в себя сдвоенную телескопическую стрелу, жесткие направляющие (в основе которых имеются два швеллера) устанавливается в качестве боковой навески на гусеничный трактор ДТ-75. Существуют также проекты конструкции рабочего оборудования, предназначенные для установки на более современный базовый трактор ВТ-100.

Основное внимание при проектировании рабочего оборудования каналоочистителя уделялось возможности обеспечения высокого качества очистных работ с наименьшими тяговыми сопротивлениями. Высокое качество работ главным образом обеспечивается прямолинейным движением ковша по жестким направляющим. На величину тяговых сопротивлений, как целевой функции или параметра оптимизации, наиболее всего влияют толщина стружки грунта, плотность грунта с точки зрения трудности его разработки и влажность грунта.

Наличие трех перечисленных характеристик, которые можно назвать факторами, дают основание полагать, что их изменение влияет на тяговые сопротивления ковша каналоочистителя в процессе его работы значительно больше, чем, к примеру, угол резания или заложение откосов. Исходя из этого в настоящем исследовании в качестве основных факторов, влияющих на целевую функцию приняты следующие три: изменение толщины стружки; изменение плотности грунта с точки зрения трудности разработки; изменение величины влажности грунта. Определе-

ние тяговых сопротивлений при работе модели ковша каналоочистителя проводились по методу трехфакторного исследования, который позволяет оценить величину наиболее значимого фактора, влияющего на целевую функцию, в данном случае на тяговые сопротивления. Обработка результатов лабораторных исследований проведена с использованием методов статистического анализа и компьютерных программ Mathcad и Excel.

Для качественного функционирования мелиоративных каналов осушительных систем необходимо периодически проводить и очистку от наносов, заилений и растительности, т. е., выполнять операции по уходу, текущему и капитальному ремонтам. Для очистки каналов с закрепленным с помощью деревянных, фашинных и каменных конструкций дном от наносов и заилений с высокой эффективностью применен каналоочиститель – русловой ремонтер РР-303. Основными показателями рассматриваемого каналоочистителя, позволяющими применять его в качестве ведущей машины каналоочистительного комплекса являются возможность обеспечения прямолинейности дна канала с требуемым уклоном, высокое качество проводимых очистных работ и возможность установки рабочего оборудования на базу одноковшового экскаватора [52, 53, 54, 55, 56]. Однако, значительные тяговые сопротивления, возникающие при разработке различных по плотности и влажности грунтов ковшем прямоугольного профиля, предъявляют высокие требования к усилиям копания различной толщины стружки в процессе производства работ. Тяговые сопротивления, возникающие при разработке грунта, теоретически определяются по формуле Н. Г. Домбровского, представляющей произведение удельных сопротивлений копания, зависящих от категории грунта, на площадь поперечного сечения снимаемой стружки. Работа каналоочистителя РР-303 преимущественно проводится в среде с меняющейся влажностью грунта и с разными в зависимости от количества наносов толщинами стружки. Зачастую категория грунта, разрабатываемого ковшем каналоочистителя по всей длине жестких направляющих, также может быть разной [41, 42, 44, 45]. Определение тяговых сопротивлений произведено при работе модели ковша каналоочистителя прямоугольного профиля с уче-

том влияния трех основных факторов; перерасчет их на рабочий орган в натуральную величину; выявление наиболее значимого фактора, влияющего целевую функцию; получение математической модели в виде полинома первого порядка.

Исследования по определению тяговых сопротивлений при работе модели ковша каналоочистителя, уменьшенной в 2,5 раза, проводились по схеме многофакторного эксперимента [352], где параметром оптимизации – целевой функцией является величина тяговых усилий. Предполагаемая перед экспериментальными исследованиями математическая модель имеет вид полинома:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (3.10)$$

Анализ технологии работ по очистке дна осушительных каналов от наносов и заиления русловым ремонтром РР-303 и результаты предварительных расчетов по определению тяговых сопротивлений позволяют рассматривать следующие факторы, наиболее влияющие на параметр оптимизации: величина толщины стружки (X_1); плотность грунта с точки зрения трудности ее разработки (X_2); влажность грунта (X_3). Предварительные исследования, направленные на определение диапазона (уровней) изменения факторов [1] позволяют обозначить центр плана-матрицы $X_{10} = 4,5$ см, $X_{20} = 5$ ударов ударника ДорНИИ, $X_{30} = 9\%$. Значения толщины стружки для приняты исходя из средних величин толщины наносов в каналах с учетом масштабного коэффициента; значения плотности грунта заданы с учетом возможностей лабораторной установки; значения влажности грунта приняты максимально близкие к натурным условиям. Схема работы каналоочистителя представлена на рисунке 3.26. Шаг изменения значений: а) толщины стружки принят равным $\Delta X_1 = 1,5$ см; б) по количеству ударов ударника $\Delta X_2 = 1$ удар; в) по величине влажности грунта $\Delta X_3 = 3\%$. Величины абсолютных значений уровней факторов в этом случае будут следующие (табл.3.1):

Таблица 3.1 - Величины абсолютных значений уровней факторов ПФЭ

Характеристика фактора	X_1	X_2	X_3
Верхний уровень (+1)	6	6	12
Центральный уровень	4,5	5	9
Нижний уровень (-1)	3	4	6

С учетом того, что факторы имеют разную размерность и в числовом выражении могут иметь разные на несколько порядков значений, используется операция кодирования факторов.

При планировании эксперимента проводят преобразование размерных независимых факторов X_i в безразмерные Z_i , нормированные: $Z_i = \frac{(X_i - X_{0i})}{\Delta X_i}$

$$Z_h = \frac{H_1 - H_0}{\Delta H} = \frac{6-3}{3} = 1; Z_c = \frac{C_1 - C_0}{\Delta C} = \frac{6-4}{2} = 1; Z_w = \frac{w_1 - w_0}{\Delta w} = \frac{12-6}{6} = 1$$

В этом случае получаем $X_{i\max} = +1$ и $X_{i\min} = -1$.

При составлении матрицы эксперимента безразмерные верхний уровень обозначается «+», нижний уровень «-», опуская 1.

Количество опытов в исследуемой операции по очистке дна канала с учетом двух уровней варьирования и трех факторов, влияющих на целевую функцию отклика, будет равно $N = 2^3 = 8$.

Лабораторные исследования с моделью ковша каналоочистителя проводились на малом грунтовом канале лаборатории «Мелиоративные машины» кафедры мелиоративных и строительных машин института Мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А. Н. Костякова РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

Малый грунтовый канал представляет собой металлическую емкость прямоугольного сечения с грунтом. Тип грунта в лотке – суглинок. На верхней части стенок лотка установлены жесткие направляющие, выполненные из уголка, по которым прямолинейно может перемещаться тележка.

Эта конструкция по принципу работы максимально близка к рабочему оборудованию каналоочистителя РР-303. На тележке установлена телескопическая стойка, к нижней части которой крепится модель рабочего органа – ковша каналоочистителя (рис. 3.27). Телескопическая стойка позволяет задавать необходимую для каждого опыта толщину стружки. Передвижение тележки осуществляется с помощью реверсивной лебедки.

С учетом того, что наносы и заиления в мелиоративных каналах осушительных систем распределены крайне неравномерно, а также принимая во внимание то,

что в каждом опыте наблюдается наполнение ковша при разных длинах его перемещения [10, 11, 12], принято решение о проведении опытов с повторностью не менее трех раз для каждого случая, т.е. $n = 3$.

Однако, при достаточно длинных участках разработки грунта, т. е. при больших реализациях допустимо проведение одного опыта.

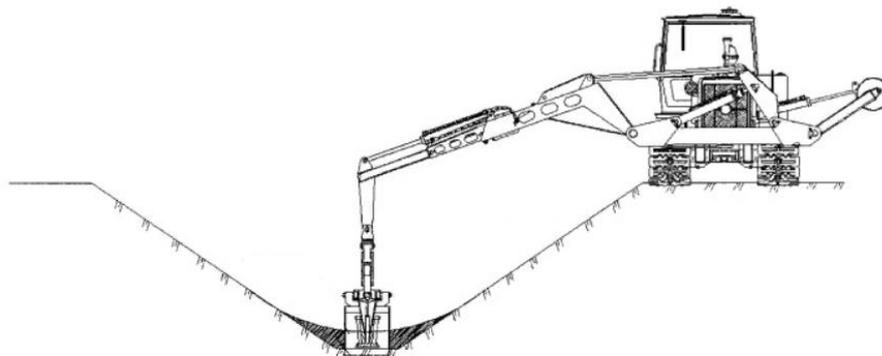


Рисунок 3.26 – Схема работы каналоочистителя PP303



Рисунок 3.27 – Грунтовый канал с тележкой и моделью рабочего органа каналоочистителя PP-303

План исследований в виде матрицы полного факторного эксперимента и результаты расчетов представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2 - План-матрица проведения экспериментальных исследований

Номер опыта	Порядок проведения опыта	X ₀₆	X ₁₆	X ₂₆	X ₃₆	X ₁₆ X ₂₆	X ₁₆ X ₃₆	X ₂₆ X ₃₆	X ₁₆ X ₂₆ X ₃₆	Y _{ξ1}	Y _{ξ2}	Y _{ξ3}	<Y _ξ >	σ ² _ξ	Y _{ξt}
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
1	3 6 2	+	-	-	-	+	+	+	-	2,10	1,82	1,64	1,85	0,053	1,892
2	4 8 7	+	+	-	-	-	-	+	+	6,77	8,93	7,63	7,77	1,179	7,262
3	1 7 4	+	-	+	-	-	+	-	+	3,93	4,60	3,80	4,11	0,184	3,462
4	8 2 3	+	+	+	-	+	-	-	-	6,25	7,73	7,70	7,72	1,080	8,832
5	7 4 5	+	-	-	+	+	-	-	-	6,17	5,84	5,98	5,99	0,0027	7,428
6	6 5 8	+	+	-	+	-	+	-	-	12,4	14,6	14,32	13,77	1,4307	12,793
7	2 8 9	+	-	+	+	-	-	+	-	7,61	10,0	11,89	9,83	4,600	8,998
8	5 1 6	+	+	+	+	+	+	+	+	10,26	15,43	16,32	14,00	7,138	14,368

В первом столбце указаны номера опытов, во втором столбце – последовательность проведения опытов, полученная с помощью таблицы случайных чисел. В третьем столбце представлены значения, которым будут равны уравнения регрессии в случае, если все коэффициенты будут равны нулю. В IV, V, VI столбцах представлены соответствующие уровни значений факторов, а в столбцах VII, VIII, IX и X – соответствующие значения уровней последующих коэффициентов полинома.

В столбцах Y_{ξ1}, Y_{ξ2} и Y_{ξ3} даны значения тяговых сопротивлений для каждого из трех параллельных опытов. Эти значения определены с помощью мини программы, сформированной в системе Mathcad (рис. 3.28).

Экспериментальные исследования с моделью каналаочистителя

1. Задание количества точек исследуемой функции для участка с установившимся режимом.

$$N := 44 \quad i := 0..N - 1$$

2. Задание значений времени изменения целевой функции в виде вектора-строки матрицы.

$$X1 := (1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11 \ 12 \ 13 \ 14 \ 15 \ 16 \ 17 \ 18 \ 19 \ 20 \ 21 \ 22)$$

$$X2 := (23 \ 24 \ 25 \ 26 \ 27 \ 28 \ 29 \ 30 \ 31 \ 32 \ 33 \ 34 \ 35 \ 36 \ 37 \ 38 \ 39 \ 40 \ 41 \ 42 \ 43 \ 44)$$

3. Объединение значений векторов X1 и X2.

$$X := \text{augment}(X1, X2)$$

4. Привязка масштаба и транспонирование вектора-строки матрицы значений времени в вектор-столбец.

$$X := X \cdot 0.1 \quad X := X^T$$

5. Задание значений изменения целевой функции - тяговых сопротивлений при установившемся режиме для модели при толщине стружки h=3 см, количестве ударов ударника ДорНИИ Суд=4, влажности w=6%.

$$Y1 := (73 \ 73 \ 68 \ 62 \ 60 \ 59 \ 57 \ 54 \ 55 \ 58 \ 56 \ 57 \ 62 \ 63 \ 62 \ 63 \ 64 \ 62 \ 58 \ 55 \ 51)$$

$$Y2 := (50 \ 51 \ 51 \ 50 \ 53 \ 54 \ 57 \ 59 \ 61 \ 62 \ 65 \ 66 \ 65 \ 62 \ 60 \ 57 \ 55 \ 53 \ 52 \ 50 \ 49 \ 48)$$

6. Объединение значений векторов Y1 и Y2 и транспонирование вектора-строки матрицы значений целевой функции - тяговых сопротивлений в вектор-столбец.

$$Y := \text{augment}(Y1, Y2) \quad Y := Y^T$$

7. Пересчет значений тяговых усилий модели на рабочий орган в натуральную величину при масштабном коэффициенте i=2,5 и показателе степени n=2.83.

$$Y := Y \cdot 2.5^{2.83} \cdot 10^{-3}$$

8. Определение средних значений тяговых сопротивлений (kH) для рабочего органа в натуральную величину по результатам опыта с моделью при толщине стружки 7,5 см.

$$R := \text{mean}(Y) \quad R = 0.77$$

Рисунок 3.28 – Определение тяговых сопротивлений для модели ковша каналаочистителя PP-303 в системе Mathcad при толщине стружки 3 см и пересчет тяговых усилий на рабочий орган в натуральную величину

Аналогично определены значения тяговых сопротивлений для всех опытов.

Пересчет значений тяговых усилий, полученных при работе модели ковша на рабочий орган в натуральную величину, проведен с учетом масштабного коэффициента и показателя его степени n . Согласно теории моделирования процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин В.И. Баловнева, этот показатель зависит от характера действующих сил, разрушающих грунт; размеров и формы рабочего оборудования; особенностей воздействия рабочего оборудования на грунт; физико-механических свойств и состояния грунта. В общем виде для различных случаев этот показатель может принимать значения в пределах от 0 до 3. Однако, если при работе рабочего органа доминируют объемные и поверхностные силы значения n находятся в пределах от 2 до 3.

Значения тяговых сопротивлений по всем опытам рассчитанные с учетом наполнения ковша на разных участках для трех параллельных опытов представлены в столбцах XI, XII и XIII. В столбце XIV даны средние значения параметра оптимизации по повторным опытам.

В столбце XV даны значения дисперсий экспериментальных значений, подсчитанных по формуле:

$$\sigma_{\xi}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_{\xi i} - \langle Y_{\xi} \rangle)^2}{n-1} \quad (3.11)$$

где n – количество значений $Y_{\xi i}$ полученных при проведении n опытов. Последний столбец содержит теоретические значения параметра оптимизации, подсчитанные для полученной математической модели.

Среди дисперсий опытных значений функции отклика тяговых сопротивлений около их средних значений наибольшим является 7,138, что соответствует параметрам проведения в параллельных опытах №8. Три параллельных опыта в этом случае проведения при максимальных уровнях изменения факторов.

По правилам обработки опытных данных трехфакторного эксперимента необходимо проверить воспроизводимость эксперимента по критерию Кохрена, определить коэффициенты уравнения регрессии, определить значимость полученных коэффициентов критерием Стьюдента, а также выполнить проверку адекватности полученной математической модели критерием Фишера.

В случае если количество дисперсий исследуемого процесса больше двух и одна из них значительно больше других, то проводится проверка по критерию Кохрена. Проверка воспроизводимости опыта осуществляется определением параметра G с учетом равного количества параллельных опытов:

$$G = \frac{\sigma_{\xi max}^2}{\sum_{\xi}^N \sigma_{\xi}^2} = \frac{7,138}{15,666} = 0,456$$

Критическое значение данного параметра определяется по табличным данным для $\beta = 0,05$ при $n = 3$ (определяет $G_{кр}$ по столбцу) и $N = 8$ (по строке), $G_{кр} = 0,52$. Исходя из того, что по критерию Кохрена $G_{кр} > G$ можно сделать вывод о воспроизводимости эксперимента.

Далее подсчитываются коэффициенты предполагаемой имитационной модели по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{\xi=1}^N X_{\xi i} \bar{Y}_{\xi}}{N} \quad (3.12)$$

Значения коэффициентов соответственно равны: $b_0=8,130$; $b_1=2,685$; $b_2=0,785$; $b_3=2,768$.

Значимость коэффициентов математической модели оцениваются с помощью критерия Стьюдента. Показатель критерия t -параметр рассчитывается по формуле:

$$t_i = \frac{b_i}{\sqrt{\sigma^2\{b_i\}}} \quad (3.13)$$

Для вычисления дисперсий ошибки необходимо определить дисперсию воспроизводимости эксперимента по формуле

$$\sigma^2\{Y\} = \sum_{\xi=1}^8 \sigma_{\xi}^2 / 8 = 15,66 / 8 = 1,958.$$

Таким образом дисперсия ошибок определения коэффициентов полинома будет равна

$$\sigma^2\{b\} = \frac{\sigma^2\{Y\}}{Nn} = \frac{1,958}{24} = 0,081.$$

Далее для каждого коэффициента подсчитываются значения t -параметра

$$b_0 \rightarrow t_0 = \frac{|b_0|}{\sqrt{\sigma^2\{b_0\}}} = \frac{8,13}{\sqrt{0,081}} = 28,626;$$

Аналогично определены значения t -параметра для остальных коэффициентов: $t_1=9,45$; $t_2=2,76$; $t_3=9,746$. Критическое значение $t_{кр}$ определяется по справочной литературе для надежности $\alpha = 0,95$ и $N \cdot n=8 \cdot 3=24$; $t_{кр}=2,1$. Существуют также более точные значения коэффициентов Стьюдента, которые основываются на коэффициентах риска $\beta = 1 - \alpha$ и число степеней свободы ν . Для рассматриваемого случая $\beta = 0,05$ и $\nu = N(n - 1) = 8(3 - 1) = 16$, $t_{кр}=2,12$.

Исходя из полученных значений t и $t_{кр}$ можно с надежностью 0,95 утверждать, что коэффициенты b_0 , b_1 , b_2 и b_3 являются значимыми, математическая модель в этом случае будет иметь вид:

$$y = 8,13 + 2,685x_1 + 0,785x_2 + 2,768x_3 \quad (3.14)$$

Из полученной математической модели видно, что наибольшее влияние на целевую функцию оказывает третий фактор x_3 (величина влажности грунта), а также к значениям третьего фактора близки значения первого фактора - толщины стружки.

После уточнения математической модели необходимо проверить ее на адекватность исследуемому процессу. В полученном полиноме имеются четыре члена соответственно дисперсия адекватности будет иметь вид:

$$\sigma_{ад}^2 = \frac{1}{4} \sum_{\xi=1}^8 (\bar{Y}_{\xi} - Y_{\xi t})^2. \quad (3.15)$$

Теоретические значения параметра оптимизации – тяговых сопротивлений определяются подстановкой значений соответствующих факторов для каждого номера опыта. Для условий исследования, соответствующих опыту №1 значения факторов, будут: $x_1 = -1$; $x_2 = -1$; $x_3 = -1$. Теоретическое значение y для данных условий будет равно $y_{1t} = 8,13 - 6,238 = 1,892$.

Аналогично полученные для других опытов значения вносятся в столбец XVI. Сравнивая теоретические значения с экспериментальными, можно получить дисперсию адекватности:

$$\begin{aligned} \sigma_{ад}^2 &= \frac{1}{4} [(1,85 - 1,892)^2 + (7,77 - 7,262)^2 + (4,11 - 3,462)^2 + (7,72 - 8,832)^2 \\ &\quad + (5,99 - 7,428)^2 + (14,32 - 12,793)^2 + (9,83 - 8,998)^2 + (14,00 - 14,368)^2] \\ &= 1,784. \end{aligned}$$

Далее определяется дисперсия воспроизводимости эксперимента:

$$\sigma^2\{y\} = \frac{1}{8} (0,053 + 1,179 + 0,184 + 1,08 + 0,0027 + 14307 + 4,600 + 7,138) = 1,958.$$

Дисперсия адекватности больше дисперсии воспроизводимости, в этом случае необходимо воспользоваться F -критерием, который признает модель адекватной если $F < F_{кр}$. Данный критерий определяется по формуле $F = \frac{\sigma_{ад}^2}{\sigma_y^2} = \frac{1,784}{1,958} = 0,91$. В этом случае расчетное значение F меньше табличного $F_{кр}$ для большинства уровней значимости, т. е. условие соблюдается.

Пересчёт уравнения регрессии на натуральные факторы.

Среднее значение первого фактора – толщины срезаемой стружки: $X_{01}=4,5*2,5 = 11,25$, и шаг изменения $\Delta X_1=3*2,5 = 7,5$, ($\Delta\alpha$); второго фактора, плотность грунта – $X_{02}= 5$, и $\Delta X_2= 2$; третьего фактора, влажности грунта - $X_{03}=9\%$, (w_0) и $\Delta X_3=6\%$, (Δw).

Замена нормированных факторов на натуральные:

$$X_i(H) = \frac{H-H_0}{\Delta H} = \frac{\alpha-11,25}{7,5}, X_i(c) = \frac{c-c_0}{\Delta c} = \frac{c-5}{2}, X_i(w) = \frac{w-w_0}{\Delta w} = \frac{w-9}{6},$$

Подставив эти выражения в уравнение регрессии, получим:

$$-b_0 = 2,68 * \frac{H-11,25}{7,5} + 0,785 * \frac{c-5}{2} + 2,768 * \frac{w-9}{6}, \text{ далее}$$

$-b_0 = 0,35 * (H - 11,25) + 0,39 * (c - 5) + 0,46 * (w - 9)$, далее окончательно уравнение регрессии принимает вид

$$F = 0,06 + 0,35H + 0,39c + 0,46w. \quad (3.16)$$

Результаты исследований наглядно свидетельствуют о том, что наибольшее почти одинаковое влияние на параметр оптимизации – тяговые сопротивления, при работе ковша каналоочистителя РР-303, оказывают такие факторы как влажность грунта и толщина снимаемой стружки.

Значительное влияние на тяговые сопротивления оказывает и категория грунта, однако для рассмотренного диапазона I и II категорий все же их влияние по сравнению с первым и третьим факторами невелико.

Математическая модель достаточно верно, качественно и количественно описывает значения тяговых сопротивления при совместном рассмотрении всех трех факторов: толщины стружки, твердости грунта по трудности разработки и

влажности грунта. В связи с этим при модернизации рабочего оборудования и проектировании сменных рабочих органов – ковшей рассматриваемого каналоочистителя, следует определять их геометрические размеры с учетом количества наносов и заилений для оптимального выбора толщины слоя снимаемого грунта, а также учитывать влажность грунтов и в определенной степени их категории.

3.7. Полевые испытания каналоочистителя ОКН-0,5 с уширенным ковшом

В настоящей работе представлено сравнение двух оптимальных комплексов машин для проведения очистных, восстановительных и ремонтных работ каналов осушительной и оросительной сетей. В каждом из них имеется ведущая машина, в первом случае это каналоочиститель ОКН-0,5, во втором каналоочиститель с ковшом на жестких направляющих РР-303. Техническая характеристика каналоочистителя ОКН-0,5 представлена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Техническая характеристика каналоочистителя ОКН-0,5 с рабочим оборудованием «Очистной ковш»

Характеристики	Величина
Вместимость ковша, м ³	0,22
Ширина ковша, м	1,69
Угол поворота ковша, град	142
Наибольшая кинематическая глубина копания, м	3,4
Наибольший радиус копания, на уровне стоянки, м	6,05
Наибольшая высота выгрузки, м	4,9
Техническая производительность в грунтах, не менее м ³ /ч (м/ч)	24 (200)
Габаритные размеры ОКН-0,5 (с базовым трактором), мм в рабочем положении (при максимальном вылете стрелы)	
Длина	6400
Ширина	8700
Высота	2900
Масса эксплуатационная, кг	9170
Масса рабочего оборудования конструктивная, кг	3700

По второму варианту в диссертации имеется достаточно много исследований моделей рабочих органов как в полевых, так и в лабораторных условиях. По первому варианту – каналоочистителю ОКН-0,5 также были проведены исследования

работы с уширенным ковшом в полевых условиях. Такие испытания важны для сравнительной экономической оценки комплексов [122]. Очиститель каналов навесной ОКН-0,5 изначально выпускался белорусским Кохановским экскаваторным заводом, настоящее время производится компанией АМКОДОР. Летом 2022 года Инжиниринговым Центром Тимирязевской Академии в рамках деятельности института мелиорации, водного хозяйства и строительства по поддержке в работоспособном состоянии мелиоративных каналов и по проведению научных исследований было закуплено рабочее оборудование каналаочистителя ОКН-0,5 и базовый трактор МТЗ-82.

Однако, рабочее оборудование ОКН-0,5 массой 3700 кг, включающее в себя: ковш, рукоять, стрелу, механизм поворота рабочего оборудования в плане, бульдозерный отвал, опорное колесо, основную раму и гидравлическую станцию с гидроцилиндрами и рукавами высокого давления, по требованиям завода-изготовителя может быть установлено на более мощный трактор Беларус-1221 [146]. Такой трактор имеется на Полевой опытной станции Тимирязевской академии. В связи с необходимостью проведения очистных работ на мелиоративных каналах РГАУ-МСХА и исследовательских мероприятий было принято решение установить рабочее оборудование на данный трактор (рис. 3.29).

Рабочее каналаочистительное оборудование ОКН-0,5 было установлено на базовый трактор Беларус-1221 сотрудниками кафедры мелиоративных и строительных машин (в том числе автор диссертационной работы) в течение 4-х дней с 28 октября по 1 ноября 2022 года. В первый день было очевидно, что монтаж рабочего оборудования невозможен без автомобильного стрелового крана грузоподъемностью не менее 15 т. Кроме того, на погрузочно-разгрузочных и монтажных работах использовался телескопический вилочный погрузчик JCB Teletruk. Элементы гидропривода также были установлены в течение 4-х дней в период с 3 ноября по 8 ноября 2022 года сотрудниками компании, обслуживающей машину по гарантии.

Последовательность монтажно-сборочных, пуско-наладочных и эксплуатационных работ представлена на рисунке 3.29.

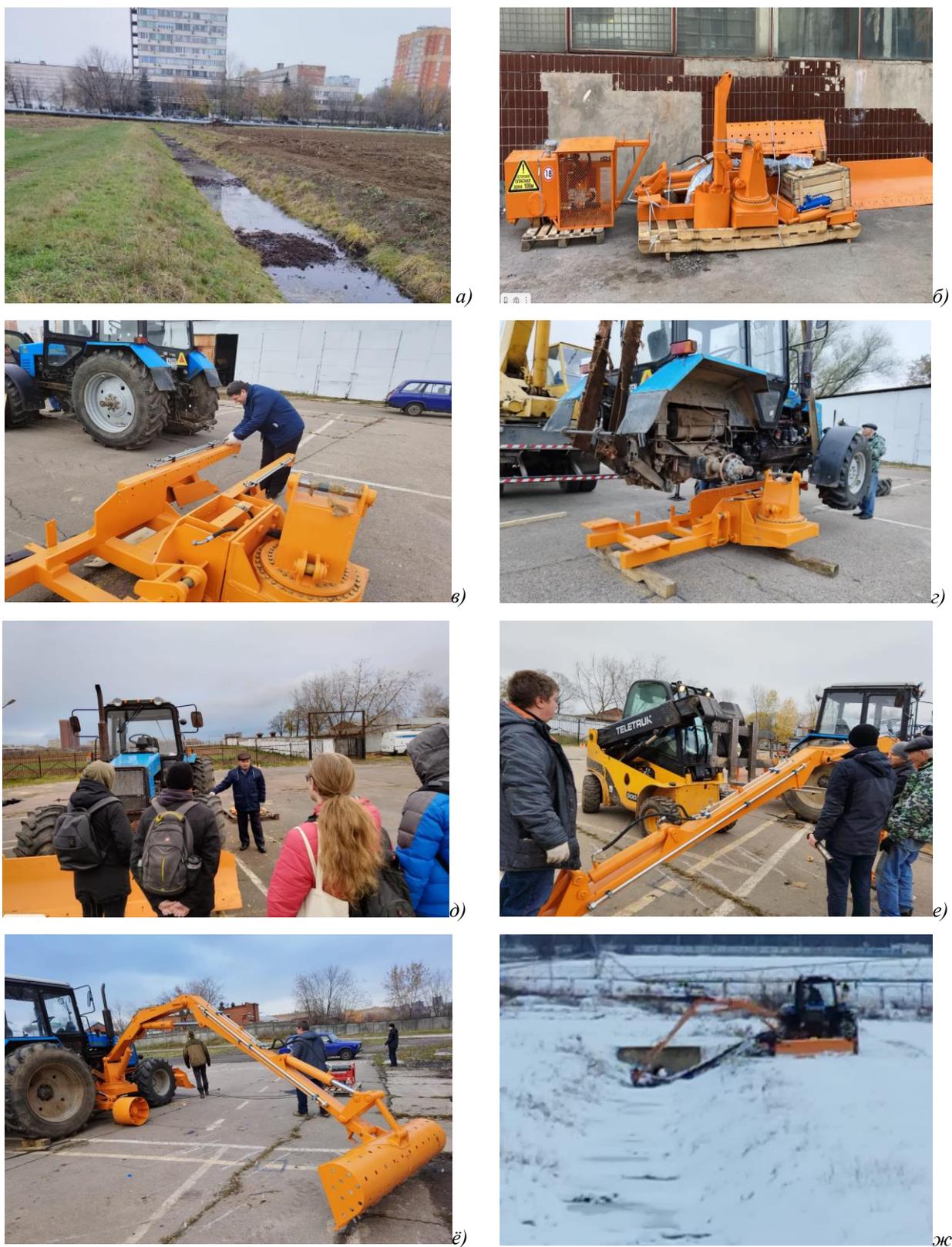


Рисунок 3.29 – Монтаж рабочего оборудования и работа каналоочистителя ОКН-0,5: а) состояние мелиоративного осушительного канала до очистки; б) доставка рабочего оборудования ОКН-0,5 на кафедру мелиоративных и строительных машин; в) подготовка основной рамы к монтажу; г) монтаж основной рамы с помощью крана; д) ознакомление студентов направления подготовки «Гидромелиорация» со сборкой каналоочистителя; е) сборка стрелы каналоочистителя; ж) рабочее оборудование в сборе; жс) очистка канала в зимний период.

С 21 ноября 2022 года после пуско-наладочных работ проводились операции по очистке каналов мелиоративной сети от наносов. Следует отметить, что на данный период на полях уже был снежный покров. Каналоочиститель ОКН-0,5 довольно легко справлялся с операциями по очистке, все основные каналы мелиоративной осушительной сети были очищены от наносов заилений и мусора за короткий промежуток времени.

В процессе работы были выявлены и некоторые недостатки, к примеру, опорное колесо гладкого цилиндрического профиля при копании скользило по поверхности грунта, особенно по снежной, что приводило к потере устойчивости. Одним из вариантов решения данной проблемы может быть применение зимних пневматических шин.

На территории Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева функционирует осушительная мелиоративная система с каналами большой протяженности. Для их очистки Инжиниринговым центром Тимирязевской академии в 2022 году было приобретено рабочее оборудование каналоочистителя ОКН-0,5, которое установлено в качестве боковой навески на пневмоколесный трактор Беларусь-1221 (рис. 3.30). Машина предназначена для очистки мелиоративных каналов глубиной до 2 м от наносов, заилений и растительности. Рабочее оборудование каналоочистителя включает в себя универсальный бульдозерный отвал, неполноповоротную в плане стрелу, рукоять и уширенный мелиоративных ковш. В задней части трактора расположена гидравлическая станция. Все элементы рабочего оборудования приводятся в действие гидроцилиндрами двустороннего действия. С противоположной стороны от рабочего оборудования на раме трактора установлен противовес, состоящий из 10 плит, каждая из которых имеет массу 45 кг. Эксплуатационная масса всей машины составляет 9170 кг. По режиму работы данный каналоочиститель относится к машинам периодического действия и работает позиционно, разрабатывая наносы в каналах в поперечном к оси канала направлениях.

Испытания каналоочистителя ОКН-0,5 проводились сотрудниками кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ на осуши-

тельных каналах глубиной до 1,5–2 м с наличием заилений, наносов и растительности. Распределение наносов крайне неравномерное, наибольшее их количество наблюдалось в местах соединения осушителей с магистральным каналом. В отличие от наносов, обильная травянистая растительность наблюдалась по всей длине каналов.



Рисунок 3.30 – Состояние осушительного канала и его бермы перед очисткой

В начале работы машинист устанавливает каналочиститель на берме параллельно оси канала, затем с помощью гидроцилиндров опускает универсальный бульдозерный отвал и боковое опорное колесо до упора с поверхностью грунта (рис. 3.31). В итоге для обеспечения устойчивости в работе машина опирается на бульдозерный отвал, боковое опорное колесо и левое заднее колесо трактора.



Рисунок 3.31 – Каналоочиститель ОКН-0,5 в работе

Цикл работы каналоочистителя состоит из следующих операций: отрыв ковшем наносов, заилений и растительности от массива; подъем наполненного ковша на требуемую высоту, поворот рабочего оборудования в плане к месту выгрузки; выгрузка содержимого ковша на берму (в отвал); обратный поворот ковша в забой. Некоторые операции цикла совмещаются, что позволяет уменьшить продолжительность цикла, соответственно увеличить производительность машины. Продолжительность цикла работы машины в процессе испытаний в зависимости от квалификации машиниста находилась в пределах 45...55 с. После разработки забоя машина переезжает на следующую позицию.

В ходе испытаний каналоочистителя ОКН-0,5 по восстановлению осушительных каналов мелиоративной системы глубиной до 1,5 м подтвердились такие характеристики как: высокое качество проводимых очистных работ, простота конструкции рабочего оборудования и легкость управления.

Однако наряду с достоинствами были выявлены следующие недостатки: недостаточная прочность и жесткость стандартного ковша, которые отразились на поломке внутренних ребер жесткости в местах сепарационных отверстий (рис. 3.32, *а*); невозможность выгрузки ковша на значительном расстоянии от кромки канала во избежание обратного попадания наносов в русло канала; ограничитель поворота рабочего оборудования в плане проварен на раме не по всему периметру, что привело к быстрому его отказу; штуцеры рукавов высокого давления на бульдозерном отвале установлены некорректно, поскольку при крутом повороте базового трактора вращающиеся управляемые колеса могут их разрушить; в некоторых случаях опорное колесо с гладкой поверхностью скользит по откосу, что в определенной степени нарушает устойчивость машины при работе.



Рисунок 3.32 – Ковш каналочистителя: *а* - поломка ребер жесткости ковша каналочистителя ОКН-0,5 в местах сепарационных отверстий; *б* – усиленный ковш

Устранение перечисленных недостатков в соответствующей последовательности предлагается осуществить следующими техническими решениями: усиление конструкции ковша сваркой дополнительных перегородок из листов большей толщины без сепарационных отверстий (рис. 3.32, *б*); сварка проушин ковша с дополнительным усилением, смещенная на расстояние обеспечивающее выгрузку ковша на оптимальном расстоянии от кромки канала и жесткость конструкции из-за возникающих изгибающих моментов; сварка ограничителя поворота рабочего оборудо-

дования на раме по всему периметру; применение гидроцилиндров, штуцеры которых направлены в сторону от колес; применение опорных колес с зацепами для фиксации.

Дополнительные перегородки по усилению конструкции предложены на основании прочностного расчета методом конечных элементов, проведенного в системе Inventor Pro для твердотельной модели ковша. Согласно методу, предварительно формируется объемная модель, задается материал конструкции, определяются опорные ограничения, задается нагрузка определенной точке и величины, конструкция разбивается на конечные элементы и проводится расчет. Результатом расчета является файл отчета с таблицами и гистограммами с расчетными параметрами. Наиболее интересующим для исследователя параметром является запас прочности.

По вопросу прочности конструкции ковша следует учитывать, что данный рабочий орган не предназначен для разработки грунтов II, III и IV категорий. Однако, при разработке наносов и заилений, относящихся к I категории, на дне каналов встречались непреодолимые и невидимые для машиниста древесные или каменные препятствия, приведшие к разрушению перегородок.

Средняя производительность по результатам замеров в данных конкретных условиях составила 13,2 м³/ч.

Исследовательская часть работы каналоочистителя ОКН-0,5 была направлена на определение технико-эксплуатационных показателей машины, прежде всего производительности, которую необходимо было сравнить с аналогичными характеристиками для каналоочистителя РР-303.

При определении производительности каналоочистителя ОКН-0,5, как для машины периодического (позиционного) действия и поперечного копания измерялись продолжительности операций цикла. Цикл работы каналоочистителя во многом идентичен работе одноковшового экскаватора с рабочим оборудованием обратная лопата поперечного копания и включает в себя следующие виды операций [138]:

1. Отрыв грунта (копание наносов, заилений и срезание растительности) от дна канала и откосов;
2. Подъем ковша с наносами и заилением на расчетную высоту;
3. Поворот ковша с наносами и заилением в сторону бермы;
4. Выгрузка грунта и наносов из ковша на берму;
5. Обратный поворот рабочего оборудования в забой (канал).

Место разработки грунта носит название забой, а место отсыпки – отвал. Продолжительность каждой операции измерялась с помощью секундомера. В целом эксплуатационная производительность каналоочистителя как для машины периодического действия определяется по формуле:

$$P_{\text{э}} = q \cdot n \cdot \frac{K_{\text{н}}K_{\text{в}}K_{\text{п}}}{K_{\text{р}}}, \quad (3.17)$$

где q – вместимость ковша, м³; n – количество циклов в час, определяется по

$$\text{формуле: } n = \frac{3600}{T_{\text{ц}}}, \quad (3.18)$$

где $T_{\text{ц}}$ – суммарная продолжительность операций цикла, с.

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 \quad (3.19)$$

где t_1 – время на копание наносов, заилений, частично грунта и срезание растительности, с.; t_2 – время на подъем ковша с наносами, заилением на требуемую высоту, с.; t_3 – время поворота ковша с наносами и заилениями в сторону бермы, с.; t_4 – время выгрузки грунта, наносов, заилений и растительности из ковша на берму, с.; t_5 – время обратного поворота рабочего оборудования в забой на дно и откосы канала, с.; t_6 – время на переезд на следующую позицию по берме и на опускание опорного колеса и бульдозерного отвала, с.

Кроме этого, производительность каналоочистителя поперечного копания ковшового типа зависит от коэффициентов наполнения ковша, $K_{\text{н}} = 0,7 \dots 1,15$; использования машины по времени, $K_{\text{в}} = 0,65 \dots 0,85$; разрыхления грунта, $K_{\text{р}} = 1,0 \dots 1,11$. Испытания машины в реальных условиях очистки каналов показали значимость коэффициента учитывающего уровень квалификации и опыт работы тракториста-машиниста, который можно оценить коэффициентом профессионализма

$K_{\Pi} = 0,5 \dots 1$. Результаты полевых работ по очистке канала показали, что в зависимости от уровня подготовки машиниста каналоочистителя производительность его может быть в пределах:

$$P_{\text{э}} = q \cdot \frac{3600}{t_1+t_2+t_3+t_4+t_5+t_6} \cdot \frac{K_{\text{н}}K_{\text{в}}K_{\text{п}}}{K_{\text{р}}} = 0,22 \cdot \frac{3600}{15+10+8+5+8+25} \cdot \frac{0,9 \cdot 0,7 \cdot 0,7}{1,1} = 4,47 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Величина производительности, полученной при значениях коэффициентов близких к минимальным, не всегда отражает реальное состояние дел. В некоторых случаях коэффициенты могут быть близки к максимальным значениям и производительность может достигать 8–10 м³/ч. Распределение наносов по длине канала может быть крайне неравномерным. Поэтому полученные значения производительности показывают средние величины производительности. Значительное количество наносов обычно наблюдаются, к примеру, на стыках разноименных каналов, а также на соединениях дренажных элементов с каналами.

3.8. Исследования работы ковшей в натуральную величину по удалению наносов и заилений из канала

Применение одноковшового экскаватора ЭО-2621 или его модификаций для очистки мелиоративных каналов возможно, однако, эффективность такого решения весьма сомнительно. Это связано, во-первых, с тем, что базовый стандартный ковш уступает по ширине специализированным конструкциям мелиоративных ковшей; во-вторых, задняя навеска рабочего оборудования – обратная лопата требует поперечной установки машины к каналу, что требует маневрирования перед каждым переездом на новую позицию; в-третьих, при попытке установить машину параллельно каналу ограничиваются возможности выполнения рабочей операции по очистке канала заданной глубины. Совсем иное положение дел будет при использовании каналоочистителя ОКН-0,5, поскольку рабочее оборудование с уширенным мелиоративным ковшом используется в качестве боковой навески. Такая конструктивная схема исключает подготовительное маневрирование машины перед каждым переездом на новую позицию характерное для экскаватора ЭО-2621. Со-

ответственно машина в процессе проведения рабочих операций позиционно перемещается параллельно каналу. В основе разрабатываемых методов исследования лежит возможность одновременного варьирования факторами, влияющими на объект исследования, возможность оценки влияния факторов на процесс по их вкладам в значения параметров, характеризующих процесс, а также взаимное влияние факторов – эффектов взаимодействия. Современные методы позволяют существенно сократить время, затраты на проведение эксперимента и математического описания объекта исследования, т. е. построения соответствующих математических моделей, раскрывающих количественные соотношения между факторами, влияющими на процесс и параметрами, характеризующими сопротивление копанью [188].

Научно-практическое исследование выполняли в условиях полевой опытной станции РГАУМСХА имени К. А. Тимирязева в период с сентября по ноябрь 2022 года. В рамках работы Инжинирингового центра Тимирязевской академии было закуплено рабочее оборудование каналоочистителя ОКН-0,5, которое было установлено силами сотрудников кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных машин на предусмотренный технической документацией пневмоколесный трактор полевой станции Беларусь-1221. Наладку элементов гидропривода производили сотрудники компании по гарантии.

В качестве объектов исследования рассматривались мелиоративные осушительные каналы без крепления дна и откосов на территории академии. Состояние каналов оценивалось визуально на предмет наличия наносов, заилений и растительности. По результатам исследований на участках каналов множество наносов и заилений. Кроме этого, в русле канала было зафиксировано наличие грунтов и торфяных почв. Для нормального функционирования мелиоративной системы размеры русла канала необходимо было привести к проектным. Для этого применялась каналоочистительная машина ОКН-0,5 с уширенным ковшом поперечного копания, которая, в свою очередь, рассматривалась в качестве предмета исследований. Для удобства проведения исследований каналы были разбиты на участки длиной по 200 м. В процессе работы необходимо было обеспечивать требуемый уклон дна канала [274, 275, 229].

Несмотря на идентичные элементы рабочего оборудования каналоочистителя и экскаватора с рабочим оборудованием «обратная лопата» принцип действия машины отличается. Во-первых, рабочее оборудование используется в качестве боковой навески; во-вторых, имеется дополнительное опорное колесо, обеспечивающее вместе с бульдозерным отвалом устойчивость машины при работе.

При определении технико-эксплуатационных показателей работы (производительности) каналоочистителя, как машины периодического – позиционного действия, с помощью секундомера измерялась продолжительность всех операций цикла, который включает в себя: время на отрыв наносов со дна и откосов, время на подъем ковша с наносами, время на поворот ковша в плане к месту выгрузки (на берму), время разгрузки ковша, время переезда машины на следующую позицию и время на обратный поворот ковша в русло канала. Для сокращения продолжительности цикла, соответственно, увеличения производительности, некоторые операции цикла можно совместить, например, подъем и поворот ковша. При высокой квалификации машиниста производительность также может значительно увеличиться. Объем наносов в ковше определялся, исходя из стандартной вместимости с учетом коэффициента наполнения ковша $K_n=0,7-1,12$. Анализ проведенных исследований состояния каналов, а также возможностей каналоочистителя позволил выявить некоторые недостатки машины при проведении очистительных работ по каналам с закрепленным дном. Техническое решение – поворотный ковш по очистке закрепленного дна осушительного канала, выполнено с использованием графического пакета Inventor Pro. Прочностные расчеты новых элементов и конструкций также выполнены в этой системе. Статический расчет машины со сравнительно большой массой нового ковша выполнен с помощью мини-программы, написанной в системе Mathcad. Анализируя конструкцию канала с незакрепленным и закрепленным дном (рис. 3.33 *а, б*) и возможности рабочего оборудования каналоочистителя ОКН-0,5 поперечного копания при проведении испытаний на мелиоративных системах (рис. 3.34), пришли к выводу о том, что очистку канала с незакрепленным дном машина успешно проводит, но для канала с закрепленным дном

необходимо применить новый рабочий орган – уширенный ковш с сепарацией, работающий по принципу грейфера. Первый вариант предлагаемого рабочего органа – ковш (рис. 3.35, а) состоит из верхнего короба, шарнирно соединенного с рукоятью рабочего оборудования и с гидроцилиндром поворота в вертикальной плоскости. В нижней части к коробу шарнирно присоединены два смыкающихся ножа с приводом от двух гидроцилиндров посредством толкателей. Работа машины с данным ковшом заключается в вертикальном опускании его в пространство закрепленного дна, режущие ножи при этом направлены вертикально вниз.

По мере опускания ковша ножи внедряются в наносы и заиления. В момент заглубления ножей на всю их высоту включаются гидроцилиндры, с помощью которых производится смыкание ножей, тем самым происходит наполнение ковша. Далее ковш поднимается и поворачивается к месту разгрузки. Разгрузка ковша производится на берму размыканием ножей с помощью гидроцилиндров. Затем машина переезжает на новую позицию.

Данный ковш используется при строго параллельной оси очищаемого канала установке базового трактора, в противном случае возникают сложности при размещении ковша внутри закрепленного дна. Ширина ковша составляет 2 метра, т. е. с одной позиции могут быть удалены наносы с участка длиной 2 м. С учетом того, что в процессе работы не всегда удастся производить установку машины в рабочее положение строго параллельно оси канала, в конструкцию рабочего органа были внесены изменения, касающиеся возможности поворота ковша в плане, что позволит обеспечить точное его расположение в пространстве закрепленного дна, т. е. был установлен механизм поворота с гидравлическим приводом (рис. 3.35, б).

Более того, возможность поворота ковша в плане позволяет производить операцию очистки с одной позиции трех последовательных участков канала с суммарной длиной 6 метров. Такая возможность существенно уменьшает время, затрачиваемое на переезд на новую позицию и подготовку рабочего оборудования к работе; соответственно, увеличивается производительность.



а) б)
Рисунок 3.33 – Мелиоративный канал:
а) без крепления дна; б) с закрепленным дном



Рисунок 3.34 – Работа каналаочистителя ОКН-0,5

Характеристики осушительных каналов представлены в таблице 1. Анализ характеристик показал, что значительная часть осушительных каналов имеет ширину по дну 0,4 м, исходя из этого, можно принять ширину ковша равной 0,4 м. Остальные параметры ковша определены исходя из технологий проведения работ.

На рисунке 3.35 представлены новые сменные рабочие органы каналаочистителя ОКН-0,5. Рабочий орган шарнирно соединен с рукоятью, которая, в свою очередь, соединяется со стрелой рабочего оборудования [267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 277, 278].

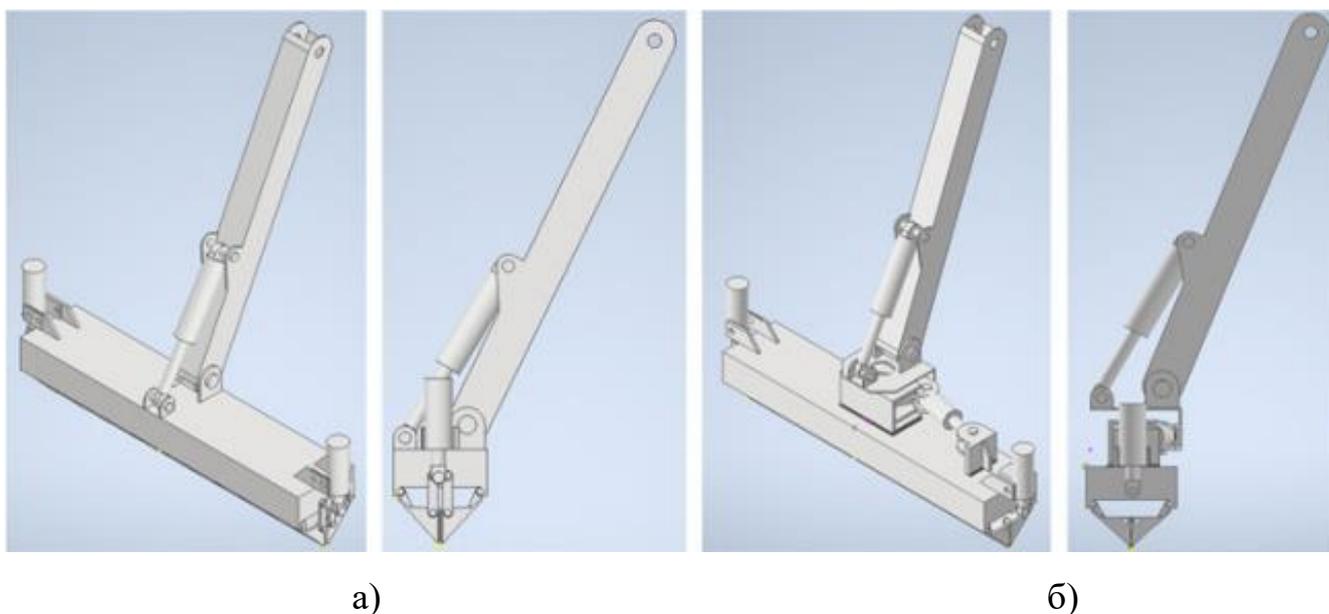
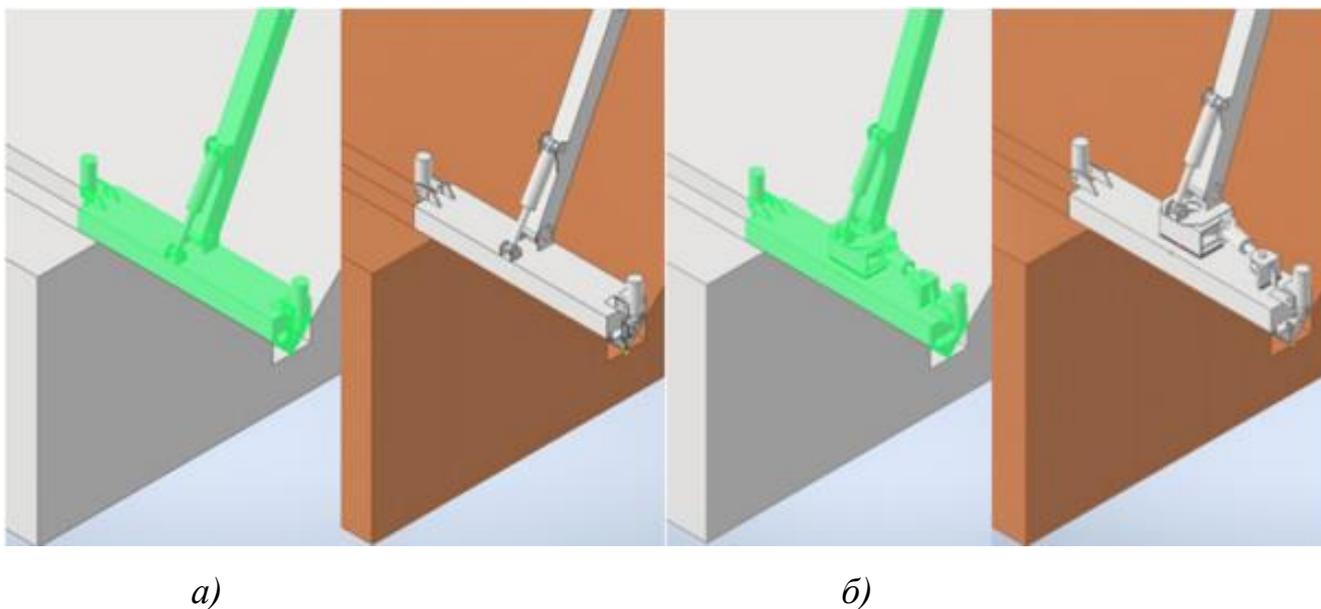


Рисунок 3.35 – Новые рабочие органы каналоочистителя ОКН-0,5:

а) поперечного действия; б) с поворотным механизмом

Схема работы предлагаемых ковшей отличается от траектории движения рабочего органа «обратной лопаты» строгой вертикальной подачей, тогда как при поперечном копании ковш может разрушить конструкцию креплений. На рисунке 3.36 представлена схема подачи и размещения рабочих органов в каналоочистителя в пространстве между креплениями. С учетом того, что предлагаемый ковш имеет массу больше, чем у стандартного ковша, проведен расчет устойчивости машины.



а)

б)

Рисунок 3.36 – Установка рабочего органа каналоочистителя ОКН-0,5 в пространство закрепленного дна канала:

а) поперечного действия; б) с поворотным механизмом

Расчет устойчивости заключается в определении коэффициента устойчивости, который представляет собой отношение суммы всех восстанавливающих моментов к сумме всех опрокидывающих моментов. Это отношение должно быть не менее 1,15. В нашем случае восстанавливающие моменты относительно точки опрокидывания возникают от величин массы базового трактора и противовеса. Точкой опрокидывания принимается крайняя точка дополнительного цилиндрического колеса устойчивости. Опрокидывающие моменты возникают от величин масс стрелы, рукояти и конструкции нового ковша с гидроцилиндрами. Производительность каналаочистителя с новыми ковшами определяется по формуле: $P_3 = qn$, где q – геометрическая вместимость ковша, m^3 ; n – число циклов в час, $n = 3600/T_{ц}$, где $T_{ц}$ – продолжительность цикла (сек.), который включает в себя время t_1 на опускание и установку рабочего органа в канал (в пространство между креплениями дна канала), время t_2 на копание наносов и заилений, время t_3 на подъем ковша на требуемую высоту, время t_4 на поворот оборудования в плане к месту разгрузки, время t_5 на разгрузку, время t_6 на переезд на новую позицию (для неповоротного в плане ковша), время t_6 на обратный поворот на дно закрепленного канала для трех участков длиной соответствующей ширине ковша (для поворотного ковша), время t_7 – на переезд на новую позицию (для поворотного ковша).

Разработка новых рабочих органов требует проведения их прочностных расчетов. Смыкающиеся ножи новых рабочих органов выполнены с сепарацией для отвода воды в процессе перемещения наносов на берму. На прочностных характеристиках наличие отверстий влияет незначительно. Прочностные расчеты новых конструкций ковша выполнены в системе Inventor Pro методом конечных элементов в следующей последовательности: 1. Выполняется конструкция или деталь в объеме, т. е. формируется твердотельная модель с помощью программных инструментов выдавливания, вращения, изгиба или лофтинга. 2. Задается материал конструкции. 3. Определяются граничные условия, т. е. выясняются опорные поверхности. 4. Задаются нагрузки в требуемых точках и заданной величины. Нагрузки могут быть в виде сосредоточенной или распределенной силы, также могут быть

изгибающие моменты. 5. Создается конечно-элементная сетка, т.е. деталь или конструкция разбивается на конечные элементы. 6. Производится расчет с помощью встроенного модуля. 7. Формируется отчет по анализу напряженного состояния. В отчете по прочности представляются таблицы с результатами и гистограммы напряженного состояния. Из множества расчетных данных наибольший интерес представляет запас прочности. Для стальных конструкций запас прочности находится в пределах от 1,5 до 2,0, для чугунных – от 2,0 до 2,5. В случае если для стальных деталей запас прочности менее 1,5 – деталь не пригодна для применения; если этот параметр окажется больше допустимого диапазона, то наблюдается увеличенный расход металла. В случаях, когда запас прочности оказывается в допустимом диапазоне, но близким к минимальным значениям, имеет смысл проведение уточненного прочностного расчета. Сущность уточненного расчета заключается в разбивке детали на более мелкие конечные элементы, что позволяет получить более точный результат [66, 67, 68, 69, 74, 75]. Рабочее оборудование каналоочистителя ОКН-0,5 является неполноповоротным, т. е. угол поворота составляет 142 градуса. Такая особенность позволяет перемещать разработанные наносы из канала на берму. Часто наносы и растительность выгружаются у бровки бермы. В случае, если перемещаемые из канала материалы вредны для окружающей среды или для выращиваемых на мелиорируемых площадях сельскохозяйственных культур, их собирают в кучи с помощью бульдозеров, производят погрузку экскаваторами в самосвалы и увозят на утилизацию. Если наносы и заиления безвредны, то их с помощью специальных машин с прицепным винтовым механизмом распределяют с бермы по полю [370].

С целью изучения качества производимых очистных работ на мелиоративных осушительных каналах как с закрепленным дном, так и без его крепления произведена разработка новых конструкций рабочих органов и технической документации к ним. В результате исследований работы каналоочистителя ОКН-0,5 установлено: 1) заиления и наносы на закрепленном дне осушительного канала приводят не только к снижению пропускной способности канала, но и отводу излишков воды с мелиорируемой территории. 2) невозможность очистки закрепленного дна

с помощью стандартного ковша поперечного копания; такие попытки могут привести к разрушению элементов крепления; 3) необходимость разработки ковшей для очистки закрепленного дна, работающих по принципу грейфера; в работе представлены варианты ковшей рабочего органа каналоочистителя ОКН-0,5 в пространстве закрепленного дна канала: а) поперечного действия; б) с поворотным механизмом; 5) работа поворотного ковша позволяет увеличить производительность по сравнению с неповоротным на 40 %. Это связано с тем, что с поворотным ковшом можно разрабатывать наносы на трех последовательных участках с одной позиции [95].

3.9. Анализ выполненных исследований и планирование работ по модернизации существующих и созданию новых конструкций рабочих органов каналоочистителей

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований определены тяговые усилия, возникающие при копании грунта ковшом каналоочистителя, на основе которых можно сделать вывод о возможностях их реализации гидросистемой, установленной на базовом тракторе. Процесс увеличения тяговых сопротивлений в зависимости от возрастающей глубины копания наиболее адекватно описывается полиномиальной аппроксимацией с величиной достоверности $R^2 = 0,9533$. Увеличение глубины копания приводит к увеличению тяговых сопротивлений, а это в свою очередь ведет к увеличению расхода топлива базового трактора, износу деталей рабочего оборудования. Кроме того, тяговые сопротивления при работе ковша трапецеидальной формы выше, чем при работе прямоугольного ковша. Это объясняется тем, что площадь поперечного сечения трапецеидального ковша также больше. Так, при увеличении глубины с 6 до 8 см для модели соответствует возрастающему тяговому сопротивлению для рабочего органа в натуральную величину от 3,85 до 4,055 кН, что составляет 5%.

На основе проведенных экспериментальных исследований предложено новое техническое решение ковша каналоочистителя. Предполагаемое изобретение

относится к устройствам для копания грунта и может быть использовано в строительстве и мелиорации. Это устройство также можно использовать для очистки каналов от наносов, заиления и растительности. Целью предполагаемого изобретения является повышение производительности за счет уменьшения тяговых сопротивлений. Указанная цель достигается тем, что ковш каналочистителя выполняется с боковыми стенками, толщина которых уменьшается по длине. Такое конструктивное решение ковша каналочистителя позволяет повысить производительность за счет уменьшения тяговых сопротивлений посредством снижения трения о боковые стенки. Сужением боковых стенок достигается свободное резание, но не по всей длине боковых стенок, а с момента начала сужения, причем чем больше угол, образующийся между боковыми стенками ковша и русла тем меньше величина трения металла о грунт. Предполагаемое изобретение можно использовать на ковшах экскаваторов различных типов.

Предложены конструкции ковшей различной вместимости, обеспечивающие набор грунта по всей длине хода. В процессе лабораторных исследований подтверждено главное достоинство каналочистителя РР-303 – высокое качество работ. Речь идет не только о проведении каких-либо доделочных операциях, но и о значительном продлении сроков службы каналов до капитального ремонта.

Испытания выявили и пути повышения производительности каналочистителя за счет более совершенной конструкции ковша и уточнения его параметров. В процессе проектирования базового ковша выбор его основных параметров – длины, рабочего хода и высоты стенок при заданных величинах вместимости ковша и его ширины, не был достаточно обоснован.

Назрела необходимость в проведении дальнейших исследований, позволяющих оптимизировать параметры ковша, обосновать внедрение новых конструкций сменных ковшей различной ширины. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования дают основания полагать, что каналочиститель РР-303 может рассматриваться как ведущая машина разных вариантов комплексов машин, применяемых для очистки не только дна, но и прилежащих ко дну откосов каналов осушительных систем. В особенности каналочиститель РР-303 на базе трактора

ДТ-75 и новой его модификации ВТ-100 эффективен при очистке канала с закрепленным дном. Кроме того, проведены полевые испытания каналоочистителя ОКН-0,5, который можно рассматривать в качестве ведущей машины комплекса для сравнения с другими комплексами. Формирование комплекса каналоочистительных машин предусматривает не только очистку дна и откосов, но и дальнейшую транспортировку наносов и заилений к месту их утилизации, соответственно комплекс будет содержать бульдозер для сбора наносов в кучи на берме, самосвал для транспортировки и экскаватора для погрузки наносов в кузов самосвала.

Испытания проведенные в полевых условиях на осушительных каналах Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева подтвердили эффективность применения каналоочистителя ОКН-0,5. Выявлены также недостатки в конструкции рабочего оборудования каналоочистителя ОКН-0,5 при очистке каналов глубиной до 1,5-2 м. Представлены рекомендации по улучшению конструкции рабочего органа, которые позволят с высоким качеством очищать каналы от наносов, заилений и растительности. Сформирована программа экспериментальных исследований. Определена методика проведения экспериментальных на основе однофакторного исследования, целевой функцией которого являются тяговые усилия, а фактором, наиболее влияющим на целевую функцию принята глубина копания.

Проведены лабораторные исследования с модельными и натурными образцами ковшей каналоочистителя. Экспериментальные исследования процесса копания показали наиболее весомые факторы, влияющие на тяговые сопротивления, преимущественно – это глубина копания. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с использованием компьютерных программ Mathcad и Excel.

Выбор рабочих органов для тех или иных видов каналов напрямую связан с их геометрическими параметрами и количеством наносов, заилений и растительности в русле канала. Проведены исследования по очистке каналов от наносов, заилений и растительности в натуральных условиях. По технологии проведения очистных работ исследованиям определены величины основных параметров ковшей (ширина, длина и высота) для очистки дна осушительных каналов. Предложены новые

технические решения конструкций ковшей для данных конкретных условий эксплуатации, главным фактором которых является ширина по дну. Предложены ковши с усеченными стенками ковша, для снижения тяговых сопротивлений. Выявлены два комплекса машин для очистки и восстановления каналов с ведущими машинами ОКН-0,5 и РР-303.

Выводы по третьей главе:

1. Представлена методика проведения экспериментальных исследований по определению устойчивости откосов мелиоративных каналов при использовании каналоочистительных машин с боковой навеской рабочего оборудования, перемещающихся по берме канала.

2. Проведены лабораторные исследования устойчивости откосов мелиоративных осушительных каналов на грунтовом канале кафедры ОТГМСР. Целью исследований являлось определение предельных нагрузок, при которых нарушается устойчивость откосов канала. В работе исследуется воздействие каналоочистительных машин с гусеничными уширенным и узким ходовыми устройствами на устойчивость откоса канала нагрузкой по кромке бермы параллельно оси канала.

3. Представлена программа экспериментальных исследований моделей рабочих органов каналоочистителей. Тяговые сопротивления определялись при работе уменьшенной модели ковша и пересчете полученных значений для ковша в натуральную величину. Испытания уменьшенной модели в 2,5, сформированной по теории физического моделирования Баловнева В. И., проводились на грунтовом лотке лаборатории мелиоративных машин кафедры «Мелиоративные и строительные машины».

4. Представлена методика проведения экспериментальных исследований рабочих органов каналоочистителей. Испытания, проводились по схеме однофакторного эксперимента, при котором целевой функцией были приняты тяговые сопротивления, в качестве фактора, влияющего на целевую функцию, рассматривалась глубина копания. Каждый опыт проводился с повторностью 3–4 раза, что дает более точное описание процесса исследования.

5. Определены эксплуатационные характеристики модельных и натуральных образцов ковшей каналоочистителя на жестких направляющих. К ним относятся геометрические размеры ковшей: длина и высота ковшей. Ширина ковшей 0,4; 0,6 и 0,8 м принята с учетом значений ширины дна осушительных каналов,

6. Проведены экспериментальные исследования процесса копания на грунтовом лотке по определению тяговых сопротивлений для модели, которые пересчитаны на рабочий орган в натуральную величину. При пересчете полученных значений модели на рабочий орган в натуральную величину по теории физического моделирования при толщине стружки 7,5 см, а тяговые сопротивления составляют 0,77 кН.

7. Проведены полевые испытания каналоочистителя ОКН-0,5 с уширенным ковшом, которые показали высокое качество работ, однако наличие высоких нагрузок на рабочий орган предложена его модернизация.

8. Проведены исследования работы ковшей каналоочистителя ОКН-0,5 в натуральную величину по удалению наносов и заилений из канала, по результатам которых предложены новые конструкции рабочих органов с получением патентов на полезные модели № 218348 U1, № 219569 U1.

9. Проведен анализ выполненных исследований и планирование работ по модернизации существующих и созданию новых конструкций рабочих органов каналоочистителей.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Результаты экспериментальных исследований устойчивости откосов каналов

Результаты экспериментальных исследований по определению устойчивости откосов канала, показывают, что данная характеристика в большей степени зависит от вида грунта, его влажности, величины нагрузки и заложения откосов. Для опыта, при котором факторы имеют следующие значения: 1. Влажность грунта – 18% ; 2. Категория грунта – I (3-4 удара ударника ДорНИИ); 3. Вид грунта – суглинок; 4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 по кромке бермы левого откоса (вертикальной стенки) доведена до 91,144 кг; 5. Состояние вертикального откоса – устойчивость нарушена (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Величина запаса устойчивости при вертикальном откосе канала с распределенной нагрузкой на берме недостаточна в данных условиях

Результаты расчетов по данному опыту по расчету коэффициента устойчивости левого вертикального откоса с распределенной нагрузкой на полке швеллера

№14 в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса и анализ призмы сдвига при расчете откоса (величина суммарной силы; угол наклона основания) в системе GeoStab 8.1 представлены на рисунке 4.2.

Выводы по серии опытов: при нагружении вертикального откоса по полке швеллера, как показано на рисунке 4.1, до нагрузки величиной 91,144 кг, что составляет $232,5 \text{ Н/м}^2$ – устойчивость вертикального откоса нарушена; при нагружении откоса с заложением 75° по ребру швеллера до нагрузки величиной 214,744 кг, что составляет $1322,3 \text{ Н/м}^2$ – устойчивость откоса нарушена.

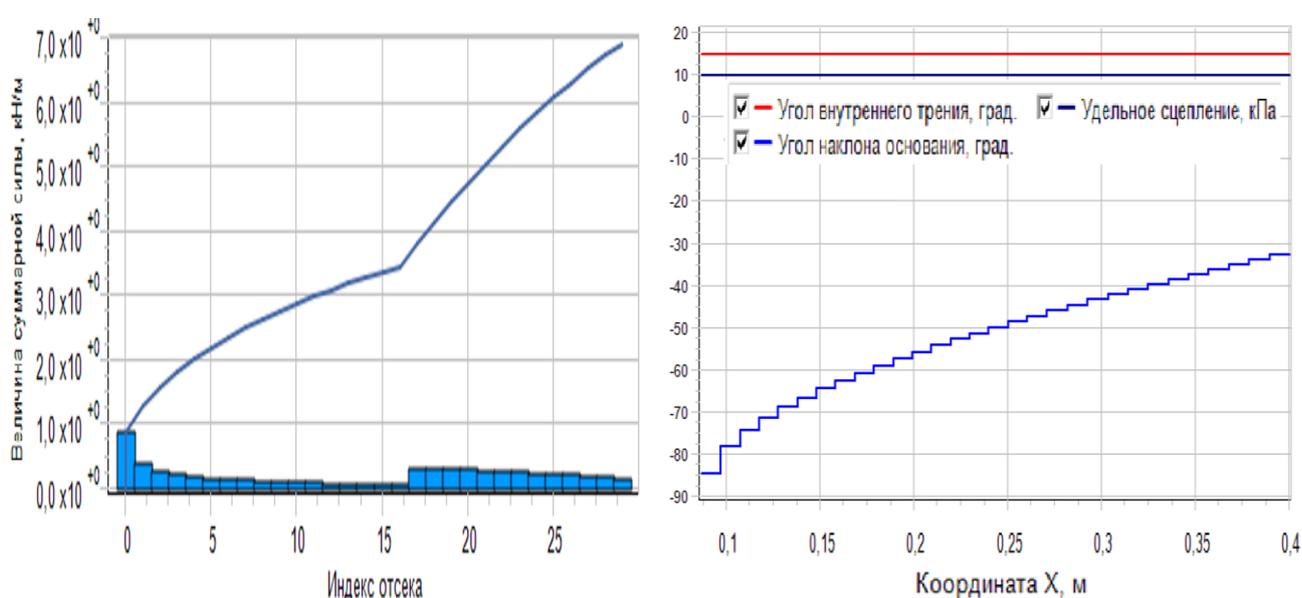


Рисунок 4.2 – Расчет коэффициента устойчивости левого вертикального откоса с распределенной нагрузкой на полке швеллера №14 в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса и анализ призмы сдвига при расчете откоса (величина суммарной силы; угол наклона основания)

Результаты экспериментов подтверждены расчетными данными, полученными в компьютерной программе GeoStab 8.1. Опытное определение устойчивости откосов с учетом поправочного и эксплуатационного коэффициентов подтверждают результаты экспериментальных данных, полученных на большом грунтовом канале лаборатории кафедры ОиТГМиСР РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

4.2. Методика обработки результатов экспериментальных исследований

В рамках диссертационной работы выполнено множество экспериментальных исследований как в лабораторных, так и в полевых условиях. Сущность обработки данных заключается в том, что после каждого опыта, проведенного на грунтовой лотке или канале получают зависимости (кривые) изменения тяговых сопротивлений в зависимости от разных факторов, в данном случае от глубины. Обычно кривая представляет собой случайную функцию, на которой прослеживаются начальный режим (период разгона), установившийся режим и конечный режим (период торможения). При определении средних значений тяговых сопротивлений по зависимостям наибольший интерес представляет установившийся режим. Именно по установившемуся режиму определяются средние значения для каждого опыта. В настоящей работе для обработки экспериментальных данных преимущественно применялись такие компьютерные программы как Mathcad и Excel. С помощью этих программ можно определить такие характеристики случайных величин (зависимостей) как: средние значения, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, коэффициенты детерминации и корреляции. В данных программах присутствуют модули позволяющие на основе экспериментальных данных получать различные диаграммы: графики, гистограммы, поверхности и т. д.). Кроме того, есть возможность выбора того или иного вида аппроксимации (линейную, полиномиальную, степенную, экспоненциальную или логарифмическую) наиболее адекватно описывающего исследуемый процесс.

Математический и расчетные пакеты [348] присутствующие в программах позволяют проводить пересчет полученных для модели значений тяговых сопротивлений на модель полноразмерного рабочего органа (т. е., рабочего органа в натуральную величину). Пересчет проводится формулами из теории приближенного физического моделирования. Пример обработки данных исследования модели представлена на рисунке 4.3.

Экспериментальные данные работы модели ковша каналоочистителя:

1. Задание количества точек исследуемой функции для участка с установленным режимом.
 $N_{\text{точ}} := 44$ $i := 0..N - 1$
2. Задание значений времени изменения целевой функции в виде вектора-строки матрицы.
 $X1 := (1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 \ 9 \ 10 \ 11 \ 12 \ 13 \ 14 \ 15 \ 16 \ 17 \ 18 \ 19 \ 20 \ 21 \ 22)$
 $X2 := (23 \ 24 \ 25 \ 26 \ 27 \ 28 \ 29 \ 30 \ 31 \ 32 \ 33 \ 34 \ 35 \ 36 \ 37 \ 38 \ 39 \ 40 \ 41 \ 42 \ 43 \ 44)$
3. Объединение значений векторов X1 и X2.
 $X := \text{augment}(X1, X2)$
4. Привязка масштаба и транспонирование вектора-строки матрицы значений времени в вектор-столбец.
 $X := X \cdot 0.1$ $X := X^T$
5. Задание значений изменения целевой функции - тяговых сопротивлений при установленном режиме для модели.
 $Y1 := (154 \ 154 \ 157 \ 158 \ 157 \ 157 \ 154 \ 149 \ 146 \ 138 \ 132 \ 128 \ 128 \ 129 \ 129 \ 130 \ 131 \ 131 \ 135 \ 136 \ 136 \ 139)$
 $Y2 := (144 \ 143 \ 144 \ 143 \ 145 \ 148 \ 147 \ 146 \ 147 \ 150 \ 154 \ 154 \ 151 \ 156 \ 156 \ 148 \ 142 \ 142 \ 138 \ 132 \ 131 \ 130)$
6. Объединение значений векторов Y1 и Y2 и транспонирование вектора-строки матрицы значений целевой функции - тяговых сопротивлений в вектор-столбец.
 $Y := \text{augment}(Y1, Y2)$ $Y := Y^T$
7. Пересчет значений тяговых усилий модели на рабочий орган в натуральную величину при масштабном коэффициенте $i=4$ и показателе степени $n=2.5$.
 $Y := Y \cdot 4^{2.5} \cdot 10^{-3}$
8. Определение средних значений тяговых сопротивлений (кН) для рабочего органа в натуральную величину по результатам опыта с моделью при глубине рыхления 10 см.
 $R_{\text{ср}} := \text{mean}(Y)$ $R = 4.581$
9. Расчет коэффициентов уравнения линейной регрессии a_0 и b_0 встроенными командами Mathcad.
 $a_0 := \text{intercept}(X, Y)$ $b_0 := \text{slope}(X, Y)$ $a_0 = 4.653$ $b_0 = -0.032$ $f(X) := a_0 + b_0 \cdot X$ $Y1 := Y - f(X)$
10. Расчет дисперсии.
 $D := \text{var}(Y)$ $D = 0.095$
11. Определение коэффициента вариации.
 $v := \frac{\sqrt{D}}{R}$ $v = 0.067$
12. Построение зависимости изменения тяговых сопротивлений от глубины рыхления (4 см) на участке с приближенным установленным режимом.

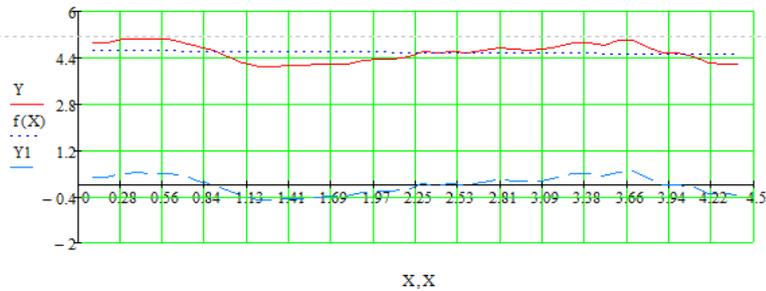


Рисунок 4.3 – Листинг обработки данных эксперимента в системе Mathcad, синим цветом выделена реализация для модели Y1, красным – кривая расчетных значений для рабочего органа в натуральную величину Y, пунктирной линией – средние значения

Пересчет величин тяговых сопротивлений от значений уменьшенной модели с учетом масштабного коэффициента на полноразмерный рабочий орган в натуральную величину проведен по приближенному методу физического моделирования В. И. Баловнева по формуле:

$$P_{\text{н}} = P_{\text{м}} i_{\text{в}}^n, \quad (4.1)$$

где $P_{\text{н}}$ – сопротивление копанию для «натуры», т. е. для полноразмерного рабочего органа, кН; $P_{\text{м}}$ – сопротивление копанию для уменьшенной модели, кН; $i_{\text{в}}$ – масштабный коэффициент, n – показатель степени, учитывающий состояние обрабатываемой среды, типы талых и мерзлых грунтов и особенности подобия отождествляемых объектов. Полученные значения тяговых усилий обрабатывались в

системе Mathcad. На рисунке 4.4 представлен листинг результатов и обработки экспериментальных данных по определению тяговых сопротивлений при копании грунта ковшем каналочистителя в зависимости от основного фактора – глубины копания для участка со множеством значений исследуемой функции, получено уравнение регрессии по линейной аппроксимации. Также представлены результаты пересчета полученных значений для ковша в натуральную величину и изменение коэффициента корреляции [4, 157, 158].

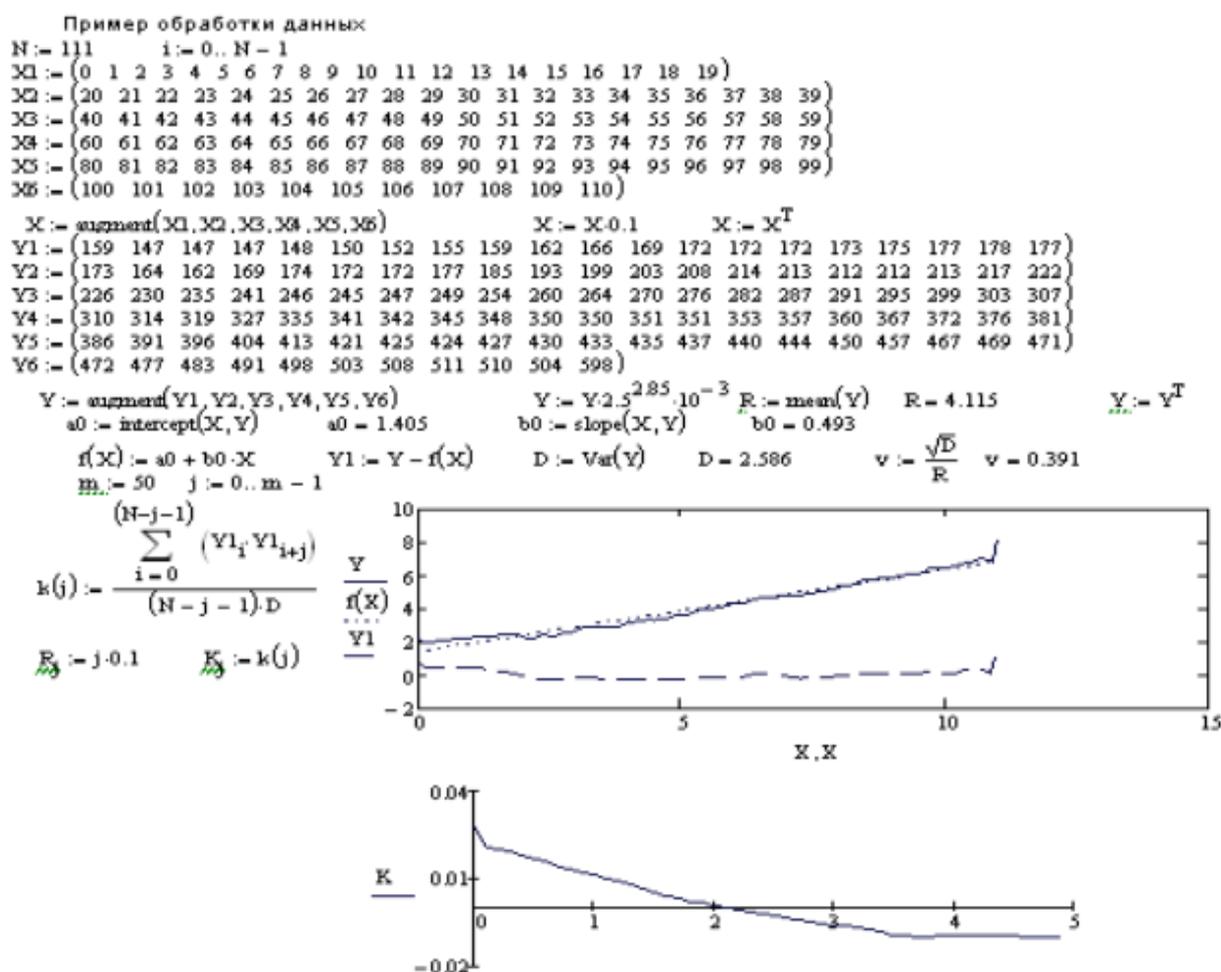


Рисунок 4.4 – Листинг обработки данных экспериментальных исследований по определению тяговых сопротивлений при копании грунта

Результаты обработки данных однофакторного эксперимента свидетельствуют о том, что с увеличением толщины стружки (глубины копания) увеличиваются, как и ожидалось, тяговые сопротивления. Кривая изменения тяговых сопротивлений описана линейной аппроксимацией с коэффициентами $a_0=1,405$ и $b_0=0,493$. Средние значения тяговых сопротивлений для установившегося режима составляют $R=4,115$ кН. В данном примере представлены их численные значения,

которые пересчитаны далее для полноразмерного рабочего органа, т. е., ковша в натуральную величину. Работа ковша каналоочистителя при выявленных тяговых сопротивлениях вполне реализуема гидросистемой базового трактора и системой полиспадов.

Наибольший интерес представляет показатель степени, который при приближенном физическом моделировании [82, 294] может быть в пределах от 2 до 3 в зависимости от типа и состояния грунтов, причем разброс расчетных значений сопротивления рыхлению для мерзлых и талых грунтов, довольно большой. Грунты по трудности разработки делятся на VIII категорий в зависимости от количества ударов $S_{уд}$ ударника ДорНИИ (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Категории грунтов по числу ударника ДорНИИ

Величина	Категория грунта							
	талые				мерзлые			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Число ударов, $S_{уд}$	1...4	5...8	9...15	16...35	35...70	70...140	140...280	280...500

При глубине копания на модели в 10 см граничные значения для талых грунтов на рабочем органе в натуральную величину по результатам расчета будут равны соответственно 2,291 и 9,162 кН.

С учетом того, что очистка каналов проводится на немерзлых грунтах, рассматривались только талые грунты, и, экспериментальные исследования в лабораторных условиях проводились с грунтом второй категории, величина коэффициента n после ранжирования для четырех категорий принята 2,5 [82, 83].

Средние значения тяговых сопротивлений при копании по четырем точкам после пересчета на натуру имеют значения: $R_1 = 2,042$ кН; $R_2 = 3,850$ кН; $R_3 = 4,055$ кН; $R_4 = 4,581$ кН. Линейная и полиномиальная аппроксимации изменения целевой функции и соответствующие уравнения регрессии процесса копания, как наиболее адекватно описывающие исследуемой работы ковша, представлены на рисунке 4.5.

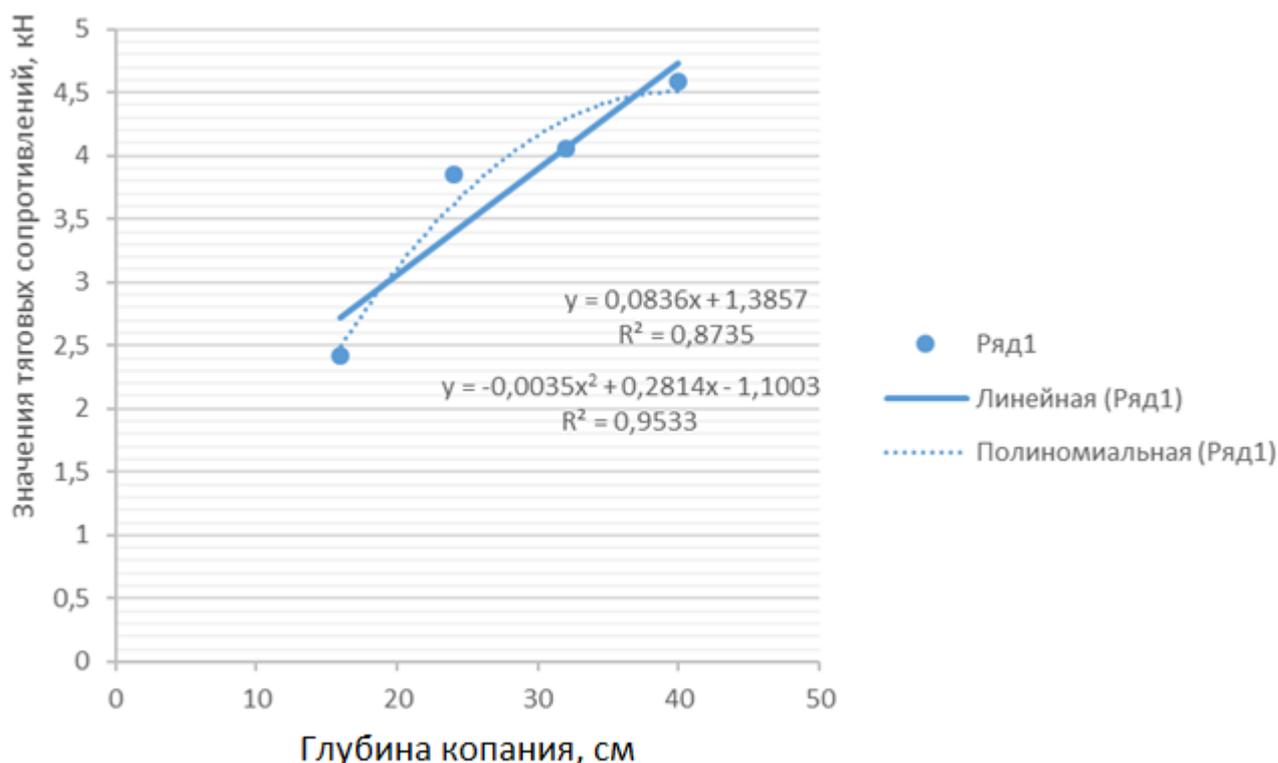


Рисунок 4.5 – Зависимость тяговых сопротивлений от глубины копания при работе ковша каналочистителя

Качество очистки дна канала определялась визуально и измерялась с помощью линейки в конце хода ковша на вертикальном срезе.

Результаты лабораторных исследований дают основания полагать целесообразность использования ковша каналочистителя с трапециевидальным профилем. Установлена возможность его работы с грунтами различной степени уплотнения, в том числе с каменистыми включениями и погребенной древесиной.

Процесс увеличения тяговых сопротивлений в зависимости от возрастающей глубины копания наиболее адекватно описывается полиномиальной аппроксимацией с величиной достоверности $R^2 = 0,9533$. Увеличение глубины копания приводит к увеличению тяговых сопротивлений. Кроме того, тяговые сопротивления при работе ковша трапециевидальной формы выше, чем при работе прямоугольного ковша. Это объясняется тем, что площадь поперечного сечения трапециевидального ковша также больше. Так, при увеличении глубины с 6 до 8 см для модели соответствует возрастающему тяговому сопротивлению для рабочего органа в натураль-

ную величину от 3,85 до 4,055 кН, что составляет 5%. В то же время, на фоне предыдущей точки роста сопротивлений копания, в крайней точке наблюдается их значительное увеличение.

Полученные при лабораторных исследованиях значения тяговых сопротивлений для ковша каналочистителя трапецеидального профиля вполне реализуемы при использовании его с базовыми тракторами третьего тягового класса.

В процессе испытаний подтверждено главное достоинство этого типа каналочистителя – высокое качество работ. Речь идет не только о проведении каких-либо доделочных операций, но и о значительном продлении сроков службы каналов до капитального ремонта.

Испытания выявили и пути повышения производительности каналочистителя за счет более совершенной конструкции ковша и уточнения его параметров. В процессе проектирования машины в целом, выбор основных параметров рабочего органа, т. е. длины ковша и его рабочего хода, а также высоты стенок при заданных вместимости ковша и его ширины, не был достаточно обоснован.

Подтверждена и необходимость в установке отбойной плиты, что, безусловно, будет способствовать лучшему наполнению ковша, и исключит просыпание грунта в момент его подъема.

4.3. Обоснование выбора рабочих органов каналочистителей

В целях обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации производство мелиоративных работ [354] должно обеспечить не только повышение урожайности сельскохозяйственных культур, но привлечение дополнительных территорий в сельскохозяйственный оборот.

Для достижения выше указанной цели, а также снижения себестоимости производства работ, оставаясь конкурентоспособным в данном направлении, при вовлечении территорий с избытком влаги или наоборот с недостатком воды, необходимо применять современные энергосберегающие технологии, машины и специальные рабочие органы [183] машин на всех этапах их производства.

Одним из таких этапов является очистка мелиоративных каналов от наносов и заилений. Именно на этом этапе происходит удаление излишков воды с сельскохозяйственных площадей в паводковый период или наоборот сохранение влаги в системе с помощью гидротехнических сооружений на каналах в засушливый период.

Основным преимуществом каналоочистителей ковшового типа с рабочим органом на жестких направляющих является высокое качество проводимых очистных работ и относительно высокая производительность.

Основным требованием при очистке и восстановлении каналов в земляном теле рассматривается обеспечение конструкторских размеров дна и откосов канала, а также обеспечение требуемого уклона дна. Несоблюдение этих требований влечет за собой возникновение размывов, накопление воды на участках с обратным уклоном.

Поэтому, исследования, посвященные повышению качества проведения очистных и восстановительных работ, являются актуальными и имеют важное научно-техническое и хозяйственное значение для нормального функционирования гидромелиоративных систем [105, 106, 107, 108, 109, 111].

Машины для очистки каналов, как правило, выпускаются в навесном и прицепном исполнении и агрегируются с энергетическими средствами. В последние годы расширяется линейка универсальных самоходных машин с различными видами сменного рабочего оборудования, в том числе машины на гусеничном ходу и на шинах сверхнизкого давления. Примером тому могут служить каналоочистители РР-303 на гусеничном ходу и каналоочиститель ОКН-0,5 на базе пневмоколесного трактора. Объединяющим элементом в многообразии данных машин является ковшовый рабочий орган, на качественные показатели работы которого зависят от его конструктивных параметров. Неоспоримое преимущество машин с ковшовыми рабочими органами — это их цена, простота конструкции, надежность и производительность. В зависимости от геометрических характеристик каналов и от специфики мелиоративного предприятия используют машины с ковшами разных поперечных сечений. Кроме того, для очистки дна и откосов каналов могут быть

применены и машины с фрезерными или дисковыми рабочими органами. Однако они уступают в обеспечении изначальной конструктивной формы канала [114, 115, 116, 117, 118, 119].

Создание САД-модели (computer aided design) рабочего органа каналоочистителя может быть, как окончательным, так же и промежуточным этапом проектирования. В последнем случае создается САМ-модель (computer-aided manufacturing), которая дает возможность воспроизводить инновационную модель в материале, в виде прототипа.

На таком этапе воспроизведения прототипа необходимо акцентировать внимание на возможные несовершенства конструкции. Для создания такого рода моделей наиболее всего подходят 3D-принтеры. Полученную таким образом модель можно изучать «вживую» и проводить с ней лабораторные исследования.

Такое визуальное исследование прототипа позволяет сделать заметными существенные недостатки. Порой при проектировании, исследование компьютерной модели, не дает возможности полноценно изучить ее, что делает незаметными недостатки [21, 22, 23, 25, 36, 84, 85, 86, 87, 88].

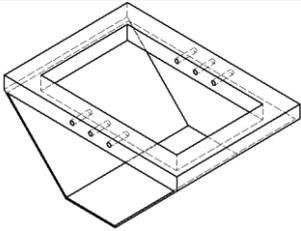
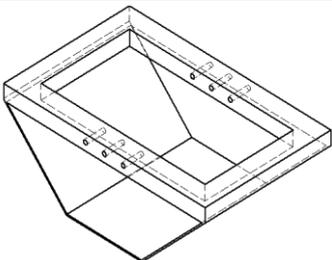
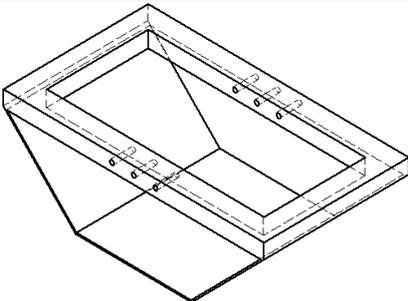
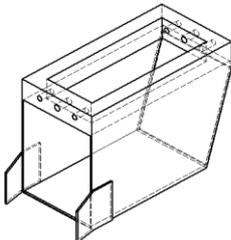
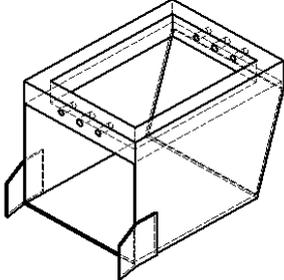
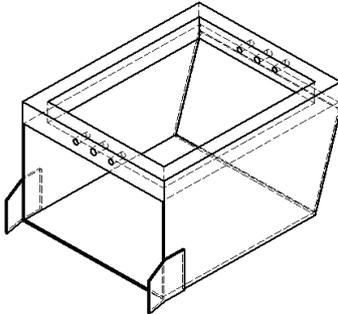
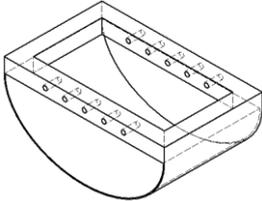
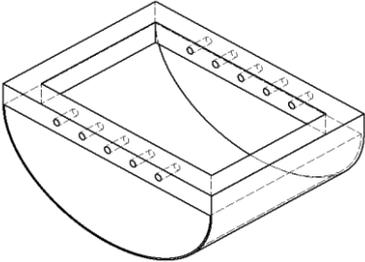
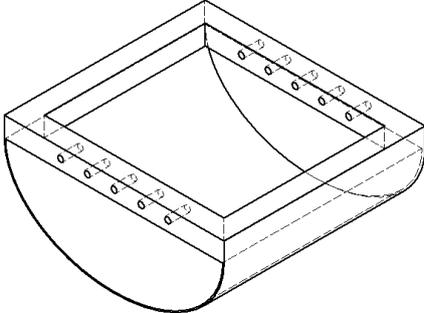
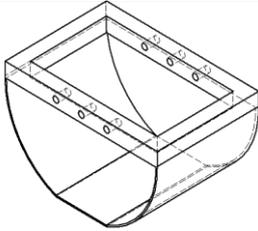
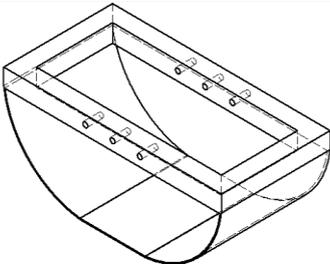
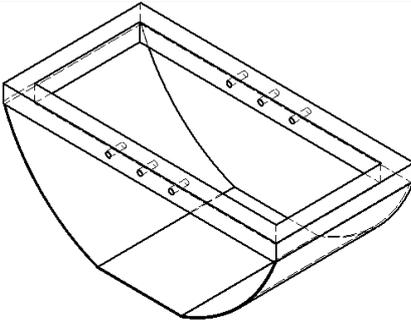
Наличие на мелиоративных системах различных видов, типоразмеров и поперечных сечений каналов требует применения соответствующих рабочих органов.

Каналоочиститель РР-303, который можно рассматривать в качестве ведущей машины комплекса машин для очистки каналов, может иметь несколько видов рабочих органов. Выбор вида рабочего органа напрямую связан с профилем очищаемого канала.

Наиболее распространенными профилями осушительных каналов являются трапецеидальный с незакрепленным дном, трапецеидальный с закрепленным дном, кроме перечисленных встречаются в мелиоративных хозяйствах и каналы параболического сечения.

В таблице 4.2 представлены виды сменных ковшей для каналоочистителя РР-303М, разработанные в системе Inventor Pro для различных видов сечения канала [38, 39, 40, 263, 264].

Таблица 4.2 – Ковши каналоочистителей, используемые при различных видах каналов и их ширине по дну

<p>№1. Вид канала – осушительный канал в земляном теле без крепления дна; тип ковша – трапецевидальный, ширина по дну: 0,4; 0,6; 0,8</p>		
		
<p>№2. Вид канала – Осушительный канал в земляном теле с закрепленным дном; тип ковша – прямоугольный, ширина по дну: 0,4; 0,6; 0,8</p>		
		
<p>№3. Вид канала – Осушительный канал в земляном теле с параболическим профилем; тип ковша – параболический</p>		
		
<p>№4. Вид канала – Осушительный канал в земляном теле с параболическим профилем с фиксированной шириной по дну; тип ковша – параболический с фиксированной шириной по дну: 0,4; 0,6; 0,8</p>		
		

Модели ковшей спроектированы в системе Inventor Pro, прочностной расчет проведен методом конечных элементов. Нагрузки, приходящиеся на ковш, в частно-

сти, на режущую кромку определены экспериментальными исследованиями. Толщина стенок, размеры лемеха и рамы подобраны таким образом, чтобы обеспечить запас прочности в допустимых пределах, в проектных примерах запас прочности для стальных конструкций может находиться в пределах от 1,5 до 2,0 единиц [33].

4.4. Удаление наносов, заилений и растительности со дна и прилежащих частей откосов

Как уже указывалось, каналоочиститель с продольным, по оси канала движением ковша в жестких направляющих был разработан в отраслевой научно-исследовательской лаборатории МГМИ. Установочная серия каналоочистителей была изготовлена Хасав-юртовским ОРЭМЗ в 1990 году. Каналоочиститель получивший индекс РР-303 предназначался для проведения текущих ремонтов мелиоративных каналов при очистке от наносов и заиления дна каналов. Испытания в Ярославской области проводились с нашим участием. В приведенных ниже таблицах 4.3 и 4.4 показаны средние цифры, полученные в период испытаний.

Таблица 4.3 – Техническая характеристика каналоочистителя РР-303

Наименование	Единица измерения	Данные параметров
1.Базовая машина		Трактор ДТ-75
2.Параметры очищаемых каналов:		
• наибольшая глубина	м	3,5
• ширина по дну	м	0,4...1,8
• ход ковша	м	5,5
3.Ширина ковша	м	0,4;0,6
4.Вместимость сменных ковшей:	м ³	
• при ширине ковша 0,4 м		0,18
• при ширине ковша 0,6 м		0,25
5.Продолжительность цикла	с	50
6.Конструктивная масса	т	11,2
7.Габаритные размеры:	мм	
• высота		3125
• ширина		3400
• длина		7300

Показатели работы каналоочистителя определены по данным эксплуатационных испытаний, проведенных кафедрой мелиоративных и строительных машин МГМИ в Московской и Ярославской областях России. Результаты агротехнической оценки лабораторно-полевых испытаний сведены в таблицу 4.6.

Таблица 4.4 – Результаты агротехнической оценки условий работы каналоочистителя РР - 303 при проведении лабораторно-полевых испытаний

Условия работы	Ед. измерения	Показатели
1.Глубина каналов	м	1,8...2,8
2.Коэффициент заложения откосов		1,30...1,75
3.Максимальная амплитуда микронеровностей	мм	175
4.Максимальная амплитуда микронеровностей на пути движения трактора	мм	280
5.Уровень воды в каналах	мм	100...620
6.Толщина наносов	мм	160...320
7.Засоренность камнями	%	0,3
8.Засоренность погребенной древесиной	%	0,63
9.Средняя густота травостоя на дне	стеб./м ²	270
10.Средняя высота растений	м	0,74
11.Средний диаметр стеблей	мм	11,0
12.Максимальный диаметр стебля кустарника	мм	38

В таблице 4.5 приведены показатели эксплуатационно-технологической оценки каналоочистителя РР-303, полученные на контрольных испытаниях в УЭЗС пос. Защитный Ярославской области.

Таблица 4.5 – Показатели эксплуатационно-технологической оценки

Наименование показателей	Данные испытаний
1. Календарный период работы	15.08.96г.по24.10.96г.
2. Общее количество дней работы	48
3. Количество дней простоя из-за ремонта оборудования	-
4. Время основной работы, ч	140
5. Продолжительность простоев на обслуживание техн. процесса, ч	
6. Коэффициент технологического обслуживания	12,3
7. Продолжительность простоев из-за нарушения техн. процесса, ч	0,92
8. Коэффициент надежности технологического процесса	
9. Коэффициент использования технологического времени	13,4
10. Технологическое время, ч	0,91
11. Коэффициент использования сменного времени	0,84
12. Сменное время работы, ч, в том числе:	165,7
1. Время на переезды, ч	0,69
2. Ежемесячный нормированный техн. уход, ч	
3. Время ежемесячного нормированного техобслуживания трактора, ч	203,2
4. Нормированный отдых обслуживающего персонала, ч	14,6
1. Коэффициент использования эксплуатационного времени	4,8
2. Эксплуатационное время, ч	8,1
3. Производительность, м/ч,(м ³ /ч):	10,0
• основного времени	0,52
• технологического времени	
• сменного времени	281,2
• эксплуатационного времени	247 (12,48)
	208,8 (10,96)
	170,3 (8,94)
	123,0 (6,46)

В период испытаний было отмечено высокое качество работы каналоочистителя, не требующее после очистки никаких доделочных или дополнительных операций.

Отмечена также тенденция к образованию призмы волочения большого объема. При подъеме горизонтально расположенного ковша в некоторых случаях фиксировалась просыпание части грунта.

Все это, безусловно, сказывалось на производительности машины. В таблице 4.6 дана стоимость машино-часа РР-303.

Таблица 4.6 – Стоимость машино-часа работы экскаватора (на 2006 год)

Наименование базовой машины	Трактор ДТ-75
Балансовая стоимость машины, тыс. руб.	500
В том числе:	
Трактор ДТ-75, тыс. руб.	400
Рабочее оборудование, тыс. руб.	100
Годовые затраты:	
Срок службы, лет	8
Стоимость амортизации в год, тыс. руб./г	13
Эксплуатационные затраты на час работы:	
Зарплата, руб./ч	125
Затраты на топливо:	
Мощность двигателя, кВт	59
Удельный расход топлива, кг/кВт ч	0,285
Коэффициент использования мощности	0,5
Расход топлива на час работы, кг/ч	8,4
Стоимость 1 кг топлива, руб.	16
Стоимость топлива на час работы, руб./ч	134,52
Стоимость смазочных материалов на час работы, руб./ч	33,63
Удельные затраты на ремонт, чел/ч	33,63
Стоимость машино-часа руб./ч	350

В то же время были выявлены и некоторые недостатки, видимо свойственные конструкциям этого типа. Так на сухих песчаных грунтах отмечалось неполное наполнение ковша по высоте.

4.5. Отличительные характеристики рабочих органов мелиоративных каналоочистителей

Многоковшовые каналоочистители (каналоочистители типа ЭМ-152Б, ЭМ-202) в большинстве случаев представляют собой экскаваторы поперечного копания. В качестве машины непрерывного действия этот рабочий орган отличается большой производительностью при малых затратах мощности. При проведении капитальных ремонтов, когда требуется полностью восстановить геометрический

профиль канала с помощью многоковшового экскаватора можно добиться наилучшего качества очистки.

Машины серии ЭМ-152Б можно отнести к первенцам отечественной каналоочистительной техники. Выпуск этих машин приходится на начало шестидесятых годов. К положительным сторонам конструкции каналоочистителя ЭМ-152Б следует также отнести его способность производить выборочную обработку отдельно откосов канала и отдельно дна; удалять наносы с растительностью, мелкими камнями и древесными остатками; работать в сильно увлажненных, налипающих грунтах, так как ковши снабжены механизмами принудительной очистки; работать в каналах заполненных водой; работать как при прямом, так и обратном ходе машины. В то же время использование каналоочистителя на текущих ремонтах канала приводит к подрезанию нижней части откосов, что крайне нежелательно. Наибольшее распространение этот тип каналоочистителя получил в Белоруссии, где осушение открытыми каналами превалирует над дренажом. В России и Прибалтике применение многоковшовых каналоочистителей ограничено, так как каналов мелкой сети здесь на порядок меньше, так же как каналов, проложенных в торфяных грунтах. В свое время были попытки создать многоковшовый экскаватор для ремонта каналов больших сечений глубиной до 3-х метров. Испытание опытного образца показало нецелесообразность его применения. Слишком громоздкая, с высокой стоимостью изготовления получилась машина, уступающая по рентабельности даже одноковшовым экскаваторам с циклическим режимом работы.

Многолетнее применение многоковшовых каналоочистителей ЭМ-152Б и ЭМ-202 в зоне осушения показало, что возможность работы этих машин по седлающей схеме практически не использовалась. В то же время именно эта технологическая особенность данных каналоочистителей приводит к наиболее сложным конструктивным решениям, оправданным только необходимостью движения по вершинам узких дамб, что характерно для оросительных каналов, проложенных в полувыемке-полунасыпи. Каналоочиститель ЭМ-152Б, работающий по консольной схеме показан на рисунке 4.6, а его рабочий орган – многоковшовая цепь и ленточный конвейер для отвала грунта на рисунке 4.7.



Рисунок 4.6 – Каналоочиститель ЭМ-152, работающий по консольной и седлающей схеме



Рисунок 4.7 – Рабочий орган каналоочистителя ЭМ-152Б

Попытки создать каналоочиститель со скребковым рабочим органом (каналоочиститель Д-490М), предпринятая Минским СКБ-2 следует признать неудачной, хотя по некоторым показателям скребковая цепь может быть поставлена на первое место. К таким показателям можно отнести: производительность, малую массу, низкую стоимость и наиболее простую, с точки зрения изготовления, конструкцию. Однако ограниченность использования - только на торфяных грунтах, быстрый износ цепи из-за работы на повышенных скоростях, забрасывание трактора грунтом явились причиной отказа от постановки этой машины на производство. Скребковый каналоочиститель представлен на рисунке 4.8.

Фрезерные каналоочистители имеют довольно широкую номенклатуру, рабочее оборудование их обычно базируется на гусеничных тракторах тяговых классов 3,0...6,0. Эти машины часто используются при проведении текущих ремонтов мелиоративных систем, когда удалению подвергаются только донные наносы и отложения. Фрезерные каналоочистители работают с высокой частотой вращения фрезы, срезают грунт тонкими стружками (до 10...30 см) и разбрасывают его ровным слоем без образования кавальеров на расстоянии до 10...15 метров от бровки (рис. 4.9). Достаточно простая конструкция и низкая металлоемкость рабочего органа обуславливают относительно небольшую стоимость машины и малые затраты на эксплуатацию. Наиболее производительны фрезерные каналоочистители в увлажненных грунтах при слое воды до 15...20 см. Заметим, что такие условия

наиболее типичны при очистке осушительных каналов. Однако при больших уровнях воды работа фрезы затруднительна. Если же уровень воды превышает 0,5 диаметра фрезы, каналоочиститель становится неработоспособным. Нельзя применять фрезерные каналоочистители в каменистых и сухих минеральных грунтах из-за сильного износа лопаток с ножами и даже их поломок.



Рисунок 4.8 – Скребок-каналоочиститель Д-490



Рисунок 4.9 – Фрезерный каналоочиститель

Но главным недостатком фрезерных рабочих органов следует считать низкое качество производимой операции по очистке дна каналов. Этот недостаток связан с неизбежным подрезанием нижней части откосов и разрушением их дернового слоя, да и метающие свойства фрезы далеко не всегда являются рациональными. При работе фрезерных каналоочистителей сложно обеспечить первоначальные проектные размеры очищаемого канала.

В силу этих причин нельзя признать фрезерные каналоочистители в качестве основных машин при проведении текущих ремонтов осушительных систем, что и подтверждается практикой.

Заметим при этом, что наиболее часто фрезерные каналоочистители применяют на очистке оградительных каналов, когда рельеф окружающей местности приводит к их интенсивному засорению в течение сезона.

Отметим еще одну конструкцию фрезерного рабочего органа, предназначенного для очистки откосов канала, примененного в машине (рис. 4.10). В этом каналоочистителе предпринята попытка обработки откоса и дна канала одновременно. Вторая фреза, очищающая дно расположена на одной и той же раме с навеской на

тракторе тягового класса 3,0. Испытания не выявили положительных сторон конструкции, и каналоочиститель не был рекомендован к производству.

Ковшовые очистители относятся к циклическим машинам. В первую очередь, к ним следует отнести одноковшовые экскаваторы [211, 312, 313, 314] как стандартного исполнения с различными конструкциями ковшей, так агрегатированные с тракторами (рис. 4.11, 4.12). Главные достоинства ковшей - простейшая конструкция и универсальность по виду выполняемых работ.

Конструкции ковшей самые разнообразные: уширенные для планировки откосов и очистки дна, перфорированные для черпания из-под воды, треугольной формы для очистки малых по размерам каналов, грейферного типа используемых при больших объемах наносов и, наконец, поворотных, с помощью которых можно повысить качество проведения очистных операций.



Рисунок 4.10 – Фрезерный рабочий орган для очистки откосов каналов



Рисунок 4.11 – Одноковшовый каналоочиститель на тракторной базе

Без особых натяжек можно утверждать, что ковшовые очистители, включая одноковшовые экскаваторы, пока занимают первое место по использованию на ремонтных работах, проводимых на системах. Их эффективность главным образом зависит от удельных объемов наносов.

Ковшовые очистители с продольным по оси канала движением ковшей

Относительно низкая производительность ковшовых очистителей и, в частности одноковшовых экскаваторов никогда не считалось главным недостатком. Более существенным оценивали качество проводимых работ, а именно значительные

габаритные переборы грунта на ремонтных работах. Габаритные переборы на различных каналах достигали 12...20% от площади поперечного сечения. Необходимость проведения планировочных операций после ремонта, дополнительная одерновка откосов, и установка в отдельных случаях креплений почти удваивали стоимость ремонта. И все же простота конструкции ковшей и их высокая надежность, и универсальность предопределили поиск новых конструктивных решений очистных машин подобного типа. Главным направлением стали попытки придать ковшу продольное движение по оси канала. Первой такой машиной стал драглайн с боковой стрелой (рис. 4.13). Эти машины выпускались серийно. Достаточно широкое применение они получили на эксплуатационных работах, особенно в республиках Прибалтики. Поскольку сегодня экскаваторы-драглайны практически сняты с производства, дальнейшее использование боковой стрелы оказалось бесперспективным.



Рисунок 4.12 – Специальные ковши экскаваторов, применяемые для очистки каналов

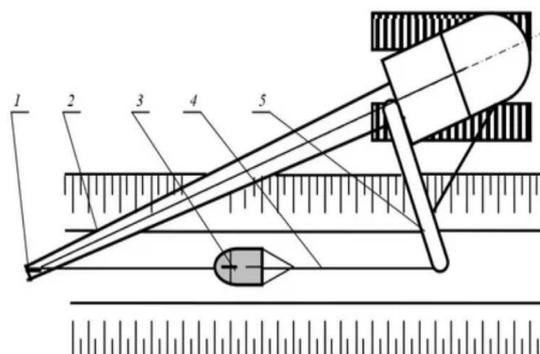


Рисунок 4.13 – Схема работы драглайна с боковой стрелой

За рубежом получило некоторое распространение другое решение. Фирма «Berkenheger», например, установила экскаваторное оборудование обратной лопаты на самоходное шасси способное работать как по седлающей, так и внутриканальной схемам. В последнем случае колесная полноприводная машина опирается на откосы. Ковш обратной лопаты копает по оси канала, а грунт выгружает за бровку. Для каналов мелкой сети такая схема работоспособна. При больших глубинах могут возникать затруднения из-за недостаточного радиуса разгрузки (рис.

4.14). Этот недостаток устранен на каналоочистителе с боковой навеской. Здесь вылет ковша значительно увеличен (рис. 4.15).



Рисунок 4.14 - Внутриканальный каналоочиститель «Berkenheger» с оборудованием экскаваторного типа

Рисунок 4.15 – Каналоочиститель с боковой навеской рабочего оборудования

Учитывая, что несущая способность откосов может оказаться значительно ниже, чем берм, к ходовому оборудованию внутриканальных машин предъявляются повышенные требования по проходимости (рис. 4.16).

Сложность конструкций самоходных шасси этого типа, их большая масса и стоимость вряд ли будут способствовать широкому распространению подобных машин. В неустойчивых грунтах и при наличии фильтрационного давления русла осушительных каналов крепят. В зависимости от применяемых материалов можно выделить пять основных видов креплений: биологические и биохимические (одерновка, залужение откосов, пригрузка растительным грунтом, дерново-травяные ковры и др.); древесно-хворостяные (плетневые стенки, фашины, жердевые и дощатые щиты, тюфяки и др.); каменные (каменная наброска, пригрузка из гравия, щебня, гравийно-песчаной смеси и др.); бетонные и железобетонные (плиты, упорные блоки, лотки разной конструкции из плотного и фильтрующего бетона и др.); полимерные и стекловолоконные (фильтрующие ткани с пригрузочными карманами, пластмассовые ленты и др.). Бетонное и железобетонное крепления осушительных каналов пока не получили широкого распространения, из-за их высокой стоимости, хотя их устройство менее трудоемко и наиболее механизировано. В процессе эксплуатации русла каналов, имеющих крепления, могут заилиться вслед-

ствие отложения наносов, а также зарастать травянистой и кустарниковой растительностью. Это приводит к уменьшению площади поперечного сечения канала и снижению его пропускной способности. Со временем крепления каналов разрушаются и их необходимо восстанавливать. С учетом того, что каналы могут быть с укрепленным руслом и без крепления, машины для очистки тоже могут быть разными. Конструкции крепления могут быть выполнены из досок, деревянных элементов, фашинных составляющих и т. д. При проведении очистных работ на каналах с укрепленным дном и откосами важно не повредить конструкцию крепления и обеспечить сохранение дернового покрова на откосах канала. Обеспечить сохранность конструкций крепления откосов может только каналочиститель с продольным по оси канала движением ковша.

Требованиям по очистке каналов с укрепленными откосами наиболее отвечает каналочиститель РР-303М. Продольное движение ковша здесь достигается его установкой на жесткую направляющую балку. При этом ковш может двигаться прямолинейно по оси канала, не затрагивая конструкций крепления. Направляющая балка каналочистителя шарнирно закреплена на спаренной телескопической стреле, а ковш приводится в движение двумя гидроцилиндрами в сочетании с 4-кратными скоростными полиспастами. Это позволяет обеспечить довольно большую длину хода ковша, порядка 5...6 метров (рис. 4.17). В качестве базовой машины здесь использовались модификации трактора ДТ-75Б, а в последующем проектируется конструкция навески на трактор ВТ-100.

Механизированную очистку обычно проводят ранней весной, и после уборки урожая, в другое время мешают посевам сельскохозяйственных культур. Ручную очистку выполняют беспрепятственно весь сезон с учетом конкретных условий при глубине воды в каналах до 0,1 м (механизированную - до 0,25 м). Целесообразно весной, осенью и в дождливое время очищать каналы с небольшим водосборным бассейном и участки с небольшим уклоном дна, а в засушливое время - участки с неблагоприятными условиями. Для очистки укрепленных каналов от наносов применяют специальный ковш к обратной лопате экскаватора Э-304 (емкость

ковша 0,2 м³, длина 2 м, ширина 0,45 м, высота 0,98 м), с таким ковшом канал от наносов очищается без повреждения крепления.



Рисунок 4.16 – Ходовое оборудование повышенной проходимости для внутри-канальных каналоочистителей



Рисунок 4.17 – Каналоочиститель РР-303 в рабочем процессе

Производительность каналоочистителя РР-303 (русловый ремонтер) невысокая как у машин периодического действия, однако этот недостаток компенсируется за счет высокого качества очистки, которое обеспечивается строго прямолинейным движением ковша по жестким направляющим с возможностью регулирования толщины срезаемого слоя наносов и возможностью использования сменных, различных по ширине, ковшей.

Кроме того, каналоочиститель РР-303М способен разрабатывать грунт из-под воды. Позиционная работа каналоочистителя на базе гусеничного трактора с боковой навеской способствует уменьшению продолжительности цикла. Каналоочиститель РР-303 может работать в условиях, когда каналы засорены камнями, погребенной древесиной и даже железными предметами.

Использование на базовом тракторе третьего тягового класса ходового устройства с уширенными гусеницами позволяет производить очистку каналов глубиной до 3,5 метров. Устойчивость машины при работе обеспечивает также противовес с возможностью изменения вылета. Существует также версия использования рабочего оборудования с движением ковша двустороннего действия по

жестким направляющим в качестве сменного рабочего оборудования к одноковшовому экскаватору. В эксплуатационных мелиоративных организациях, где имеется большой парк общестроительных полноповоротных экскаваторов, такое техническое решение может оказаться целесообразным во всех отношениях, особенно при малых объемах работ, когда приобретение специальной машины приведет к излишним дополнительным затратам.

Сменное рабочее оборудование каналоочистителя РР-303 представлено рисунке 4.18.

При очистке каналов, также, как и при их строительстве необходимо обеспечить требуемый уклон дна канала, в противном случае отвод излишков воды с мелиорируемой территории будет затруднен.

Для этого в конструкции рабочего оборудования РР-303 имеются передняя и задние подвижные опоры, в которых позволяют изменять толщину стружки, соответственно изменять наклон дна канала.

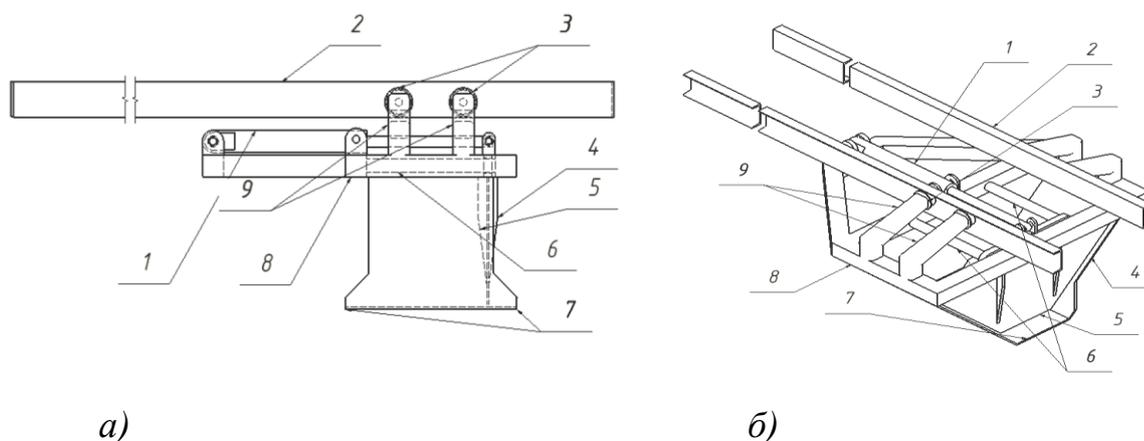


Рисунок 4.18 – Рабочее оборудование с продольным движением ковша двустороннего действия, навешенный на оборудование одноковшового экскаватора: 1 – гидроцилиндр подвижной стенки; 2 – жесткие направляющие; 3 – роlikоопоры ковша; 4 – боковые стенки ковша; 5 – подвижная стенка ковша; 6 – направляющие подвижной стенки; 7 – режущие кромки ковша; 8 – рама ковша; 9 – держатели ковша

Особенностью ковша двустороннего действия, представленного на рисунке 4.16 является также возможность его применения на базе машины перемещающейся по любой из берм.

4.6. Проектирование и прочностные расчеты конструкций рабочих органов каналоочистительных машин

Проектирование новых конструкций рабочего оборудования каналоочистительных машин требует проведения их прочностных расчетов. Прочностные расчеты новых конструкций, изготовленных из стандартных прокатных профилей, проводятся с использованием правил, принятых по дисциплине «Сопротивление материалов». Стандартные профили преимущественно имеют одинаковое поперечное сечение по всей длине, их масс-инерционные и технические характеристики, которые используются в процессе проведения прочностных расчетов, такие как моменты инерций, моменты сопротивления изгибу, полярные моменты сопротивления кручению, масса погонного метра, геометрические размеры и т. п. даются в справочной литературе. Соответственно, больших сложностей при проведении прочностных расчетов новых элементов, деталей и конструкций рабочего оборудования мелиоративных каналоочистителей не возникает. Однако, часто при проектировании конструкций рабочего оборудования (к примеру, стрела, рукоять, ковш и т. д.) их поперечное сечение не всегда имеет постоянное значение, т. е. конфигурация детали или конструкции меняется по длине. Для конструкций со сложной конфигурацией, отличающихся от стандартных профилей, не существуют табличных значений перечисленных выше масс-инерционных характеристик и их в каждом случае необходимо определять.

Определение данных характеристик «вручную» требует большого количества времени и ресурсов, поэтому для их определения используются различные компьютерные программы, такие как: SolidWorks, CATIA, Inventor Pro, ANSYS, Компас и др. В целом все перечисленные программы содержат примерно одинаковые модули для проектирования и проведения прочностных расчетов новых конструкций. После изучения всех указанных графических пакетов наиболее удобной для проектирования элементов и проведения их прочностных расчетов по мнению автора настоящей работы является программа Inventor Pro. В отличие от классического способа проектирования конструкций в плоскости, подготовки технической

документации на их изготовление и формирование объемных конструкций, программа Inventor Pro наравне с другими пакетами, позволяет изначально формировать объемные конструкции деталей и затем переводить их в плоскость (т. е. выполнять чертежи). Такой способ подготовки технической документации на изготовление деталей и конструкций носит название «Ассоциативное черчение». Кроме того, в программе Inventor Pro имеются модули для анализа напряженного состояния и возможность представления сборочных чертежей в виде презентаций.

Дели и конструкции рабочего оборудования каналоочистительных машин преимущественно изготавливаются из сплавов черных металлов, т. е. из стали и чугуна. Сталь, как известно, пластична по сравнению с чугуном, а чугун более хрупок, такие свойства им придает содержание в той или иной мере углерода. Основной исследуемой характеристикой при проведении прочностных расчетов новых конструкций каналоочистительных машин является запас прочности, который представляет собой отношение предельных действующих в конструкции напряжений к допустимым значениям напряжений. Целью прочностных расчетов является определение действующих напряжений и сравнение их с допустимыми значениями. В расчетах обычно запас прочности для стальных конструкций принимается в пределах от 1,5 до 2, а для чугунных от 2 до 2,5 единиц. Если расчетное значение запаса прочности менее допустимого диапазона – то это означает, что конструкция не выдерживает заданных нагрузок, а если больше – то в таком случае идет расход металла. Детали и конструкции рабочего оборудования могут быть под нагрузками, в результате которых могут возникать нормальные и касательные напряжения. Нормальные напряжения в свою очередь подразделяются на напряжения сжатия и изгиба. В большинстве случаев конструкции в значительной мере подвержены одному из напряжений, в таком случае расчет ведут по данному напряжению. Бывают также случаи, когда в детали под действием нагрузок возникают все три вида напряжений, обычно все три вида напряжений возникает в деталях, в которые подвержены нормальным нагрузкам, а также передают вращающий момент. Такими

детальями являются валы, несущие нормальную нагрузку и передающие вращающий момент. В таких случаях определяют эквивалентные напряжения, которые сравниваются с допускаемыми напряжениями.

Применение графических пакетов упрощает проведение прочностных расчетов для деталей и конструкций сложной конфигурации. Способ проведения прочностного расчета с использованием графических пакетов носит название метода конечных элементов (МКЭ). Сущность этого метода заключается в том, что изначально в графическом пакете создается исследуемая деталь или конструкция сложной конфигурации (т.е. деталь, у которой площадь поперечного сечения меняется по длине), затем задается материал детали, указываются опорные плоскости, затем в определенных точках задаются те или иные нагрузки конкретной величины, далее конструкция разбивается на конечные элементы (тетраэдры) т.е. создается конечно-элементная сетка. Расчет [221, 222] проводится программой для каждого элемента, затем результаты интегрируются и выдаются в виде таблиц и гистограмм. В существующих графических пакетах имеются различные способы формирования объемных твердотельных деталей, такие как: выдавливание, вращение, лофтинг, изгиб, оболочка и др.

Последовательность проведения прочностного расчета в системе Inventor Pro включает в себя следующие операции:

- Формирование сложной объемной твердотельной детали или конструкции использованием встроенных функций.
- Задание материала конструкции, используя базу материалов.
- Определение опорных поверхностей детали или конструкции.
- Задание различных нагрузок (сосредоточенная нагрузка, распределенная нагрузка, вращающий момент) в определенных точках и заданной величины.
- Разбивка детали на конечные элементы (тетраэдры), т.е. создание конечно-элементной сетки.
- Проведение расчета методом конечных элементов.

- Представление результатов расчета в виде отдельного файла – отчета, содержащего гистограммы деформаций, смещений, напряжений и запаса прочности, а также таблицы результатов.

Наиболее важным из результатов расчета является показатель запаса прочности, по величине которого можно сделать выводы о возможности применения данной конструкции с определенными геометрическими размерами и изготовленной из определенной марки стали. В программе имеется также опция «Анимация», которая позволяет увидеть характер изменения напряженно-деформированного состояния конструкции. В настоящей работе в системе Inventor Pro спроектирован ковш каналоочистителя РР-303 и представлен его прочностной расчет. В результате выполненных в системе Inventor Pro расчетов были получены: гистограмма распределения нагрузок, напряжений, смещений и деформаций конструкции; коэффициент запаса прочности конструкции ковша (находится в допустимых пределах от 1,5 до 2 единиц); масс-инерционные характеристики конструкции.

Основные этапы подготовки и расчета трехмерной модели ковша:

- формирование трехмерной модели в системе Inventor Pro (рис. 4.19);
- выполнение чертежа ковша на основе объемной модели (рис. 4.20);
- применение библиотек (при необходимости) в процессе проектирования;
- создание опорных плоскостей (закреплений);
- задание нагрузок в определенных точках и заданных величин;
- создание конечно-элементной сетки (рис. 4.21);
- выполнение расчета. Этот процесс может занять несколько минут, его продолжительность зависит от сложности и выбранной точности конструкции;
- получение результатов.

Результаты выдаются в виде рисунков, таблиц и цветowych гистограмм, по которым можно сделать выводы о прочности моделируемой конструкции. Программа создает отчет по проведенному анализу.

На рисунке 4.22 приведены результаты исследования напряженно-деформированного состояния ковша каналоочистителя, которые показывают характер деформаций и напряжений.

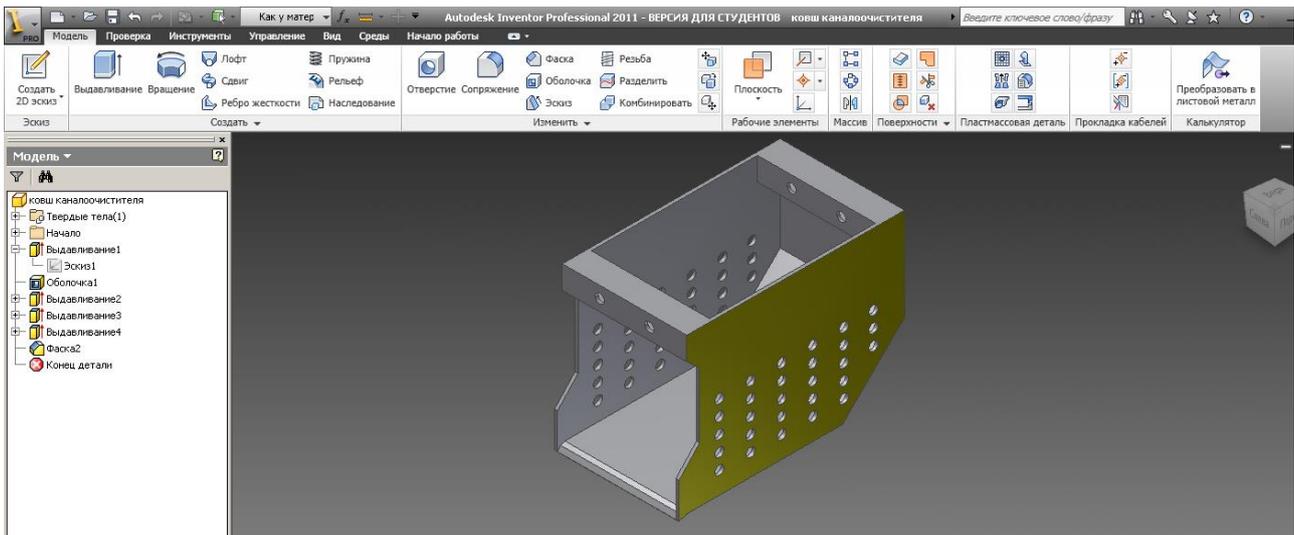


Рисунок 4.19 – Ковша каналочистителя, выполненный в системе Inventor Pro

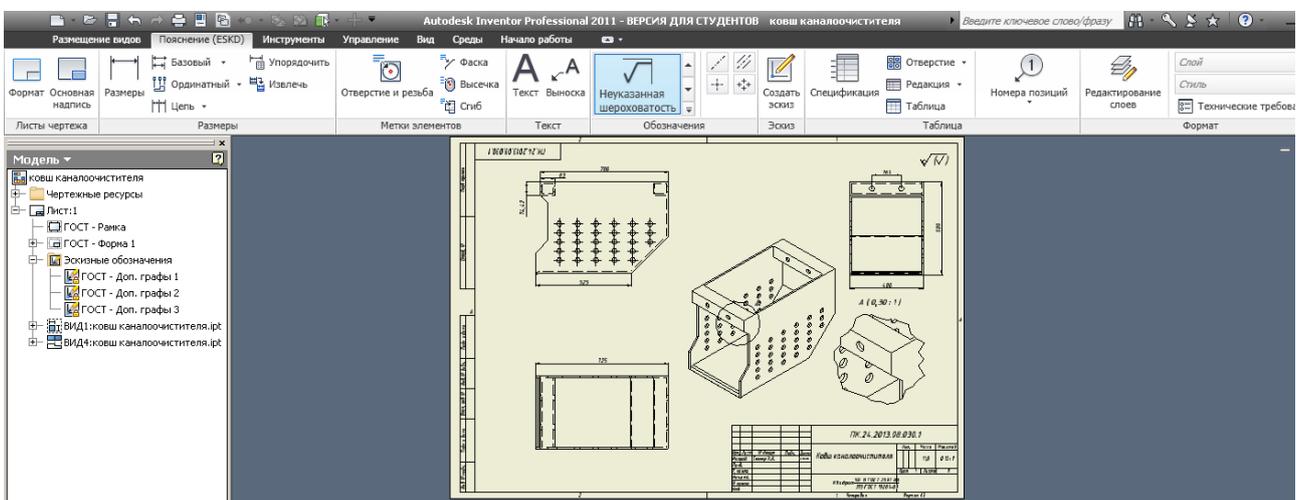


Рисунок 4.20 – Чертеж конструкции ковша, выполненной на основе модели

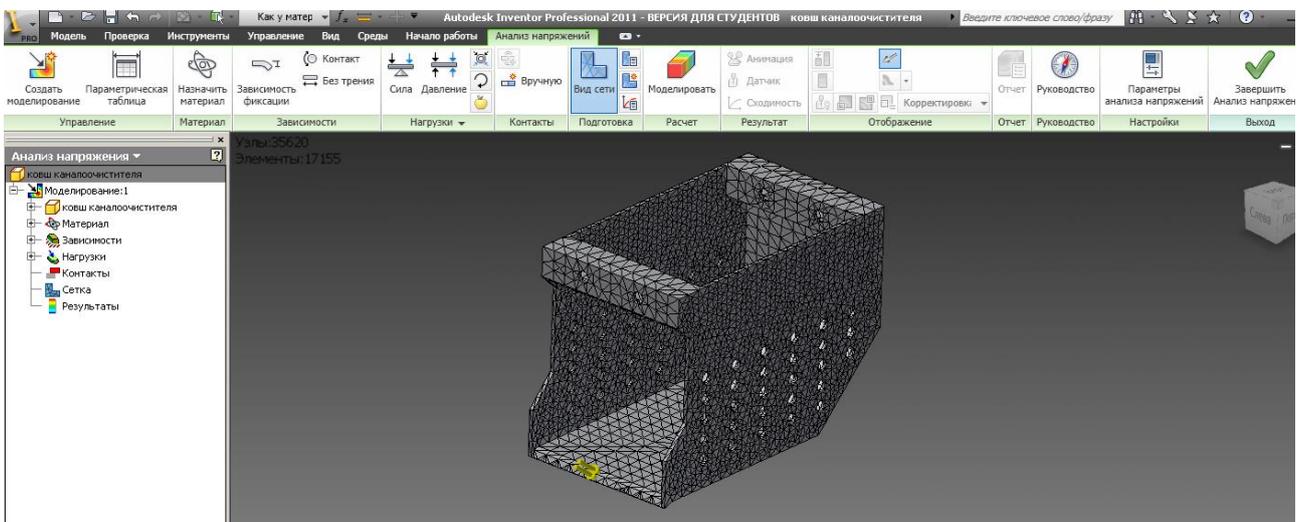


Рисунок 4.21 – Создание конечно-элементной сетки

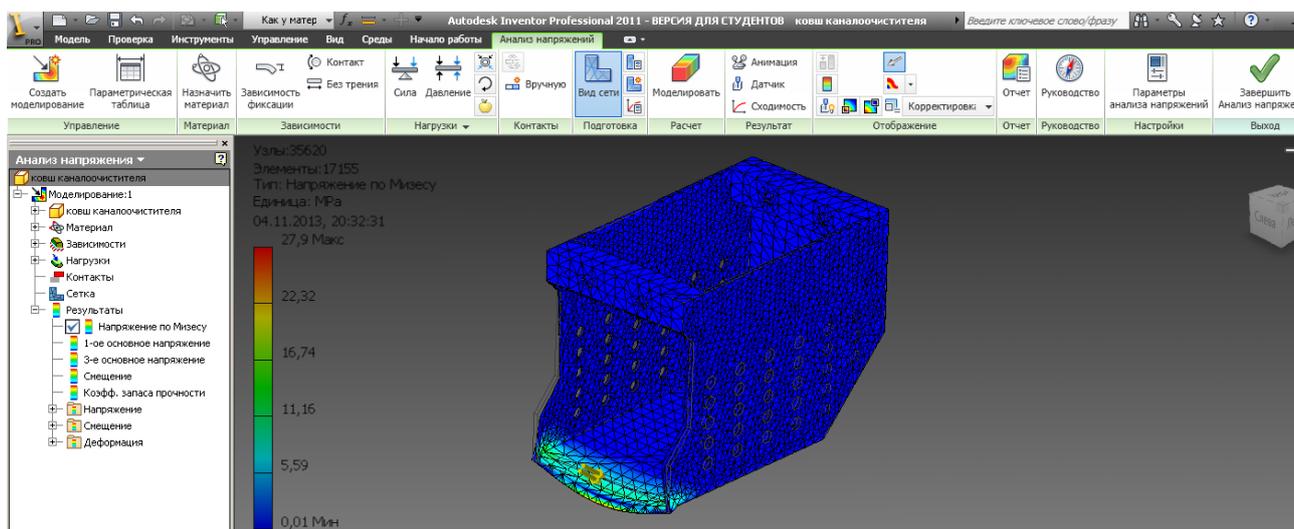


Рисунок 4.22 – Прочностной расчет ковша

Прочностной расчет новой конструкции ковша, проведенный в системе Inventor Pro в целом показал, что запас прочности находится в допустимых пределах, а именно $n = 1,77$ при сосредоточенной нагрузке $P = 12500$ Н. Величина сосредоточенной нагрузки определена по формуле Н.Г. Домбровского $P_l = K_k F$, где K_k - удельное сопротивление грунта копанию МПа, F - площадь снимаемой стружки см^2 .

Опыт проведения прочностных расчетов показал, что при значениях запаса прочности близких к допустимым крайним низким показателям, а также для определения напряжений в опасных сечениях, имеет смысл выполнять уточненный прочностной расчет [340, 353].

Графический пакет Inventor Pro при проведении прочностных расчетов по умолчанию задает размеры конечных элементов (тетраэдров) равным $l = 0,1$ мм.

Уточненный прочностной расчет предполагает уменьшение размеров конечных элементов для получения более точного значения запаса прочности. Уточненный расчет проводится для той же самой конструкции, с той же нагрузкой, приложенной на определенную поверхность, единственное что изменяется – это размеры конечных элементов.

Данное исследование было проведено согласно правилам однофакторного эксперимента, размеры конечных элементов изменялись в диапазоне от 0,06 до 0,12 с шагом 0,02 мм (табл. 4.7), соответственно получились четыре точки 0,06; 0,08; 0,1 и 0,12.

Таблица 4.7 – Результаты уточненного прочностного расчета

№	Нагрузка, P , Н	Размеры конечных элементов l , мм	Запас прочности n ,
1	12500	0,12	1,89572
2	12500	0,10	1,77461
3	12500	0,08	1,62023
4	12500	0,06	1,40316

По результатам исследований получены зависимости запаса от величины размеров конечных элементов в линейной аппроксимации (рис. 4.23).

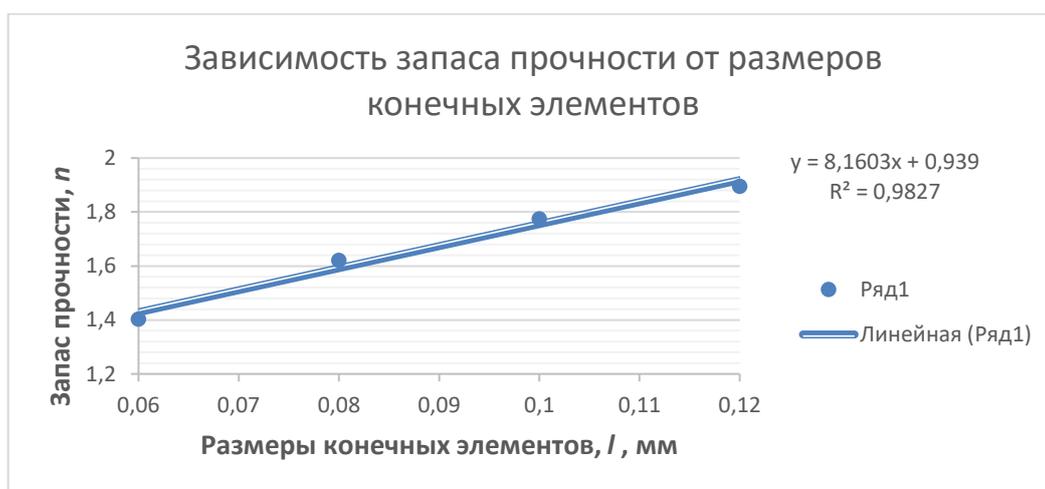


Рисунок 4.23 – Результаты уточненного прочностного расчета (зависимость запаса прочности от размеров конечных элементов в линейной аппроксимации)

Показатель величины достоверности аппроксимации близок к единице и равен $R^2=0,9827$, уравнение регрессии имеет вид $y=8,6103x+0,939$.

Зависимость запаса прочности от размеров конечных элементов представлена на рисунке 4.24.

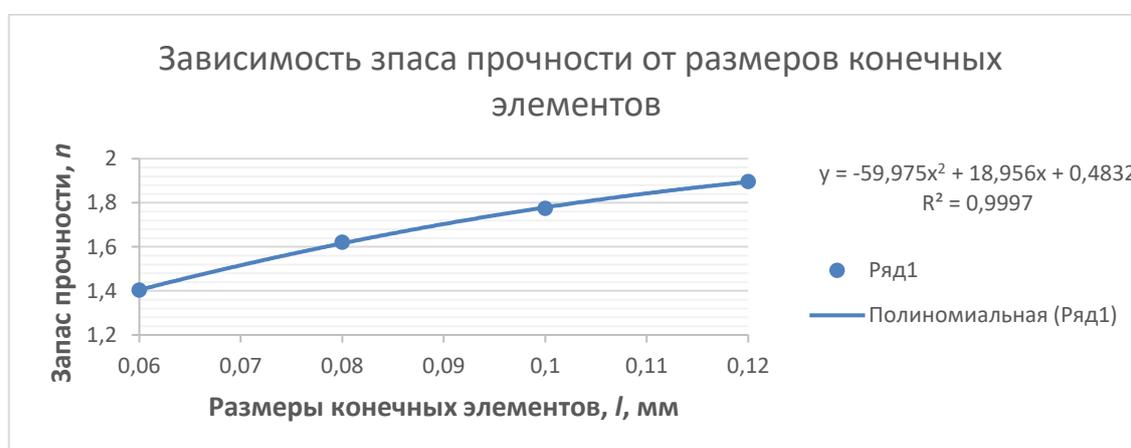


Рисунок 4.24 – Результаты уточненного прочностного расчета

Показатель величины достоверности аппроксимации близок к единице и равен $R^2=0,9997$, уравнение регрессии имеет вид $y=-59,975x^3+18,956x+0,4832$. Следовательно, изменение запаса прочности в зависимости от размеров конечных элементов полиномиальной аппроксимацией наиболее адекватно описывает процесс. В то же время результатам исследования видно, что при размерах конечных элементов равных 0,06 мм запас прочности $n=1,40316$ находится ниже допустимых минимальных пределов 1,5, это говорит о том, что нагрузки для конструкции ковша довольно велики и имеет смысл использовать более прочную сталь.

4.7. Расчет технико-эксплуатационных и качественных параметров каналочистителя с прямолинейным движением ковша на роликах

Очистка как осушительных, так и оросительных каналов от наносов, заиленных и растительности во многом определяет нормальное функционирование мелиоративных систем. Рассмотрен новый ковш с трапецидальным сечением, позволяющий очищать не только дно канала, но и прилежащие ко дну части откосов каналов. Описывается конструкция рабочего оборудования, процесс копания наносов, их подъема в ковше и выгрузки.

По проведенным лабораторным исследованиям с уменьшенной моделью ковша каналочистителя выяснено, что перед ковшом, при его неполном заполнении в процессе копания формируется призма волочения, для чего предложено было увеличить высоту ковша. Однако, увеличение высоты ковша, а также его выполнение с трапецидальным сечением ведет к увеличению его вместимости и массы, что может повлиять на устойчивость машины в момент подъема наносов из канала. Поэтому предложено применение гусеничного трактора в качестве базы каналочистителя, что обеспечит достаточную устойчивость в процессе работы. Определена теоретическая производительность каналочистителя с новым ковшом. На основе проведенных лабораторных исследований с моделью ковша трапецидального сечения отмечается увеличение производительности и качества очистки дна канала. Установлено, что тяговые сопротивления при разработке наносов на дне

канала значительно меньше, чем при разработке грунтов «в плотном теле» рабочими органами одноковшовых экскаваторов.

Фрезерные, роторные, а также многоковшовые рабочие органы существующих каналоочистителей не обеспечивают при очистке необходимый уклон дна канала, подрезают откосы, а выброшенными наносами портят культурные посевы [79, 80, 81, 82, 83].

Значительные технологические возможности имеют тракторные и экскаваторные каналоочистители с рабочим органом, выполненным в виде ковша, перемещающегося по жестким направляющим [65, 78].

Жесткая пространственная конструкция стрелы каналоочистителя рассчитана не только на работу несимметрично приложенных весовых нагрузок рабочего органа, но и на восприятие усилий, возникающих при технологических нарушениях процесса очистки и выемки наносов из русла канала. Стрела состоит из монолитной нижней секции, выполненной из двух боковых стрел традиционной ломаной формы коробчатого сечения, связанных между собой двумя поперечными балками. Во внутреннем пространстве боковых стрел размещены две верхние секции, обеспечивающие вынос рабочего органа на необходимое расстояние от трактора при наборе и его смещение от плоскости стрелы при разгрузке грунта. Верхние и нижние секции стрелы соединяются между собой в требуемом положении посредством двух пар пальцев, позволяющих изменять общий вылет стрелы от 3,22 до 4,95 м [37, 57, 76, 77].

Выявление способов увеличения производительности каналоочистителя достигается решением задач по проектированию нового ковша каналоочистителя с трапецеидальным сечением и испытанием его модели в лабораторных условиях, а также выяснением возможности работы с различными грунтами, в том числе с каменистыми включениями и погребенной древесиной; выявлением способности работы в каналах с растительностью и водой. Также цель достигается определением способов выгрузки грунта (наносов) на берму канала без попадания его на посевы; осуществлением качественной планировки дна канала независимо от состояния

бермы и положения на ней базовой машины; оценкой увеличения производительности при использовании новых сменных ковшей при очистке дна и прилежащих ко дну частей откосов.

Рабочий орган – ковш трапецеидального сечения пассивного типа создан на базе хорошо зарекомендовавшего себя ковшового оборудования, который очищает не только дно, но и прилежащие ко дну части откосов канала. Отличительной особенностью каналочистителя РР-303 является то, что в процессе набора грунта ковш движется прямолинейно, вдоль русла канала. Такое движение обеспечивается ему жесткой направляющей балкой, выполненной из двух швеллеров, по которым на роликах катится ковш. Сама направляющая устанавливается на дно канала на двух концевых опорах, одна из которых расположена на уровне режущей кромки ковша, а другая поднята над кромкой на расстояние, равное величине срезаемой стружки. Этот подъем может регулироваться винтовым домкратом в зависимости от степени заиления очищаемого канала и в соответствии с требуемым уклоном дна.

Работа каналочистителя осуществляется позиционно, при последовательном перемещении базового трактора по берме параллельно оси канала [82, 83]. При этом величина перемещения равна длине рабочего хода ковша. Направляющая балка с ковшом опускается на дно канала с помощью гидроцилиндров механизма подъема. Установка направляющей вдоль оси канала в горизонтальной плоскости производится поворотом трактора с помощью бортовых фрикционов. При опускании направляющей в канал гидроцилиндр механизма качания находится, как правило, в «плавающем» положении, обеспечивая тем самым самоустановку рабочего органа на опоры.

Исходное положение ковша – на конце направляющей балки, сзади по отношению к трактору. Очистка производится при включении ходовых гидроцилиндров путем перемещения ковша вдоль направляющей. При этом пласт наносов разрезается вертикальными закрылками и кромкой ковша. Вырезанная стружка поступает в ковш. Образующееся в конце хода ковша перемещение призмы волочения

останавливается упорным щитом, после чего происходит принудительное заталкивание всей срезанной массы наносов в ковш. После набора ковша производится подъем рабочего органа из русла канала с помощью стреловых гидроцилиндров. Далее ковш возвращается в исходное положение и принудительно разгружается. Процесс разгрузки осуществляется при торможении подвижной стенки о неподвижный упор и дальнейшем перемещении ковша вдоль направляющей.

Вытолкнутый грунт падает на берму канала сзади трактора, образуя компактный массив, размеры которого в зависимости от количества воды в наносах колебались в пределах: длина – 0,8...1,5 м, ширина – 0,6...0,8 м, высота – 0,05...0,3 м.

На этом рабочий цикл заканчивается и каналоочиститель перемещается на новую позицию. Операцию выгрузки можно совмещать с перемещением машины на новую позицию. Более подробное описание работы каналоочистителя представлено в работах [70, 71, 72, 73].

Для определения производительности машин введено понятие «Условная скорость выполнения ремонтов» – $V_{\text{усл}}$, км/ч [48]. Это связано с тем, что протяженность пути машины при очистке каналов складывается не только из рабочих проходов, но и из холостых проходов. Величина холостых проходов зависит от типа машины и выбранной технологии производства работ. Если обозначить рабочую скорость машины при выполнении операции очистки канала – V_p , транспортную скорость при движении по проселочным дорогам – V_x , то условная скорость выполнения ремонтов будет равна:

$$V_{\text{усл}} = \frac{V_p \cdot V_x}{V_x + A \cdot V_p} \cdot K_B, \quad (4.2)$$

где $A = L_x / L_p$, т. е. это безразмерная величина, показывающая соотношение протяженности холостых перегонов L_x к протяженности рабочих проходов L_p ; K_B – коэффициент использования машины по времени.

Наличие в канале донной растительности не влияет на процесс набора грунта. В процессе набора разрушается корневая система растений, что позволяет отказаться от дополнительной операции удаления донной растительности специальной

каналоокашивающей машиной. Экономическая оценка показала, что годовой экономический эффект только от применения одного каналоочистителя РР-303 соизмерим с работой на операции очистки дна каналов от наносов около 40 русловых ремонтеров.

4.8. Обоснование применения и технологические характеристики ковша с трапецеидальным профилем

Экспериментальные испытания разработанного ковша трапецеидального профиля для обеспечения очистки не только дна канала, но и частей откосов, прилежащих ко дну для подтверждения теоретических предпосылок, проводились в 2022 г. в лаборатории мелиоративных машин кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ (рис. 4.25) [141, 317, 318, 319].



Рисунок 4.25 – Экспериментальные испытания ковша трапецеидального профиля

Полученные экспериментальные данные обработаны на ЭВМ с использованием пакета программы Mathcad. Результаты статистической обработки приведены в табл. 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты статистической обработки данных по определению тяговых сопротивлений при работе модели ковша каналоочистителя

Марка машины	Объем выборки	Средняя арифметическая	Коэффициент $a\theta$	Коэффициент $b\theta$	Минимум	Максимум	Дисперсия	Коэффициент вариации
РР-303	39	31,663	30,424	0,064	110	131	2,945	0,391

На рисунке 4.26 представлен листинг обработки опытных экспериментальных данных работы модели ковша каналоочистителя.

Определение зависимости тягового сопротивления от глубины копания

```

N := 40          i := 0..N - 1
X1 := (0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14)
X2 := (15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29)
X3 := (30 31 32 33 34 35 36 37 38 39)
X := augment(X1,X2,X3)  X := XT
Y1 := (110 111 113 114 114 113 114 115 116 118 120 118 116 115 118)
Y2 := (119 118 114 111 109 108 112 111 110 107 106 106 108 109 110)
Y3 := (111 114 118 119 122 127 131 131 129 131)
Y := augment(Y1,Y2,Y3)  Y := YT  R := mean(Y)  R = 31.663
a0 := intercept(X,Y)    a0 = 30.424  a1 := slope(X,Y)  a1 = 0.064  f(x) := a0 + a1·X
Y1 := Y - f(X)         D := Var(Y1)  D = 2.945

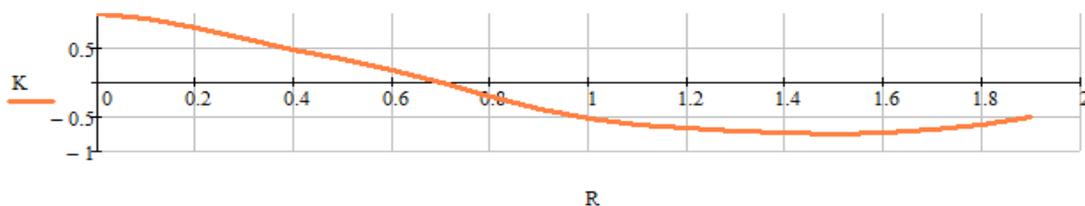
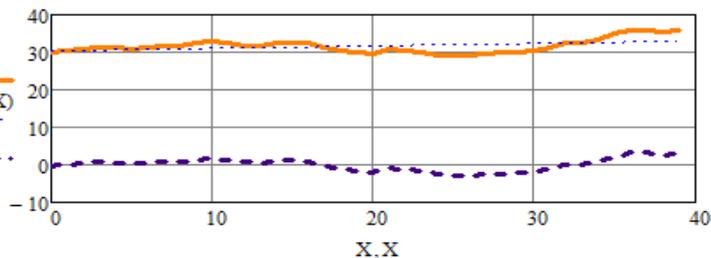
```

Корреляционная функция

```

m := 20  j := 0..m - 1  k(j) :=  $\frac{\sum_{i=0}^{N-j-1} (Y1_i - Y1_{i+j})}{(N-j-1) \cdot D}$ 
k(0) = 1  Rxy := j - 0.1  Kxy := k(j)

```



```

X := (0 1 2 3 4 5)  X := XT
Y := (110 114 115 108 108 122)  Y := YT  Y := Y · 10-3 · g2.7
R := mean(Y)  R = 30.959  D := var(Y)  D = 1.817

```

Рисунок 4.26 – Листинг обработки данных экспериментальных исследований по определению тяговых усилий и качества очистки канала

Результаты обработки данных свидетельствуют о том, что с увеличением толщины стружки (глубины копания) увеличиваются, как и ожидалось, тяговые сопротивления.

Кривая изменения тяговых сопротивлений описана линейной аппроксимацией с коэффициентами $a_0=1,405$ и $b_0=0,493$.

Средние значения тяговых сопротивлений составляют $R=4,115$ кН. В данном примере представлены их численные значения, которые пересчитаны далее для ковша в натуральную величину.

Работа ковша каналоочистителя при выявленных тяговых сопротивлениях вполне реализуема гидросистемой базового трактора.

4.9. Конструирование ковшей для очистки дна и откосов каналов в зависимости от наличия элементов их крепления

Известно, что машина РР-303 относится к каналоочистителям с продольным движением ковша по жестким направляющим. Имеются ограничения по ширине ковша. Это связано с наименьшей шириной по дну большинства осушительных каналов. Для каналов проводящей сети эта величина может быть принята равной 400 мм. Каналы с большей шириной могут быть очищены за два или более проходов. Однако практика показала, что имеет смысл снабдить каналоочиститель сменным ковшом увеличенной ширины, например 600 мм. Таким образом, один параметр ковша оказывается заданным.

Проведенные исследования в лабораторных условиях показали, что остальные геометрические размеры ковша – его длина и высота должны быть увязаны с ходом ковша и толщиной стружки, которая, в свою очередь, зависит от энергетических возможностей гидросистемы и устойчивости базового трактора. Технологическими исследованиями установлено, что при вместимости ковша $0,30 \dots 0,35 \text{ м}^3$ ход ковша должен быть в пределах $5 \dots 6 \text{ м}$. При толщине стружки 200 мм такой ход может быть оценен как оптимальный. Тогда соотношение длины ковша к его высоте рекомендуется принимать $2,5 : 1,0$. При ширине ковша 600 мм, длина хода сокращается до $4,0 \dots 4,5 \text{ м}$ при вместимости ковша $0,4 \text{ м}^3$. Теоретическая производительность каналоочистителя при одном проходе составит, при ширине ковша 400 мм – 0,38 км очищенного канала в час, а при ширине ковша 600 мм – 0,27 км за один час. Как в первом, так и во втором случае это соответствует $20 \dots 22 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Главным параметром ковша является его вместимость, выраженная в кубических метрах. Поскольку каналоочиститель рассматриваемого типа снабжен консольной навеской рабочего органа, работающего на больших вылетах, то вопрос о вместимости ковша практически полностью зависит от устойчивости базовой машины. В качестве базовой машины выбран гусеничный трактор ДТ-75Б.

Относительно низкая производительность, как и у всякой машины циклического действия, компенсируется высоким качеством очистки, которое заключается

в строго прямолинейном движении ковша с регулируемой толщиной стружки и возможностью использования сменных, различных по ширине ковшей, а также способностью каналоочистителя черпать грунт из-под воды. Каналоочиститель РР-303 может работать в любых условиях, в том числе на каналах, засоренных камнями, погребенной древесиной и даже железными предметами. Добавим к этому, что по показателям устойчивости каналоочиститель, агрегированный с гусеничным трактором тягового класса 3,0 в болотном исполнении, способен очищать каналы глубиной до 3,5 метров при коэффициенте заложения откосов равным 1,5. Заслуживает внимания и вариант рабочего оборудования с продольным движением ковша, навешенный на оборудование одноковшового экскаватора. В эксплуатационных организациях, где имеется парк экскаваторов, подобное решение может оказаться весьма выигрышным во всех отношениях, особенно при малых объемах работ, когда приобретение специальной машины приведет к дополнительным затратам. На рисунке 4.27 представлено рабочее оборудование с продольным движением ковша, которое может быть установлено как сменное оборудование и на гидравлический одноковшовый экскаватор.

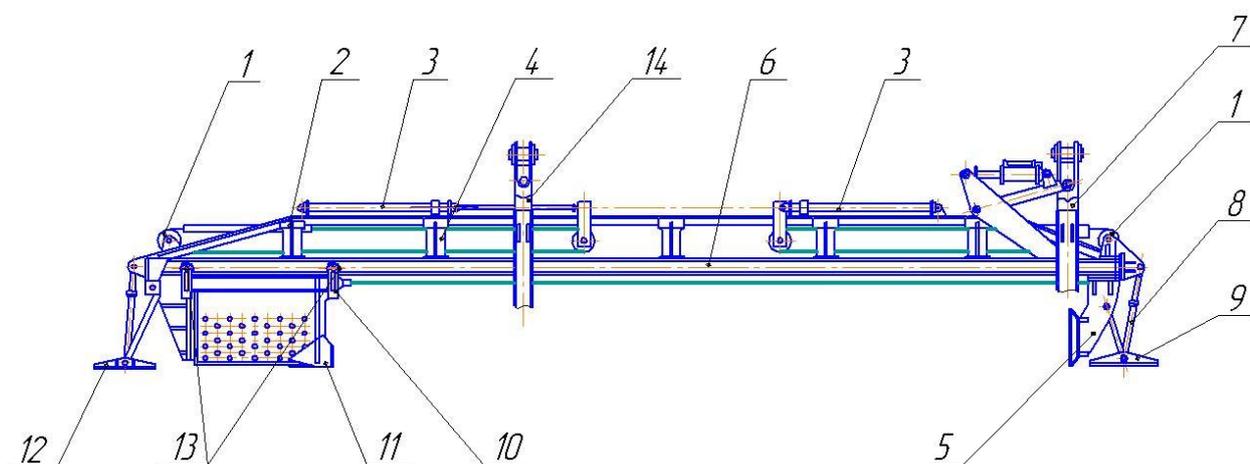


Рисунок 4.27 - Рабочий орган с продольным движением ковша: 1, 2 – концевые блоки; 3 – гидроцилиндры передвижения ковша; 4 – рама рабочего оборудования; 5 – упорный щит; 6 – направляющие балки; 7, 14 – передний и задний телескопы стрелы; 8 – винтовая штанга; 9 – передняя подвижная опора; 10 – траверса; 11 – рабочий орган (ковш); 12 – задняя подвижная опора; 13 – роликовые опоры траверсы.

Расчеты по устойчивости выполнены исходя из принятого коэффициента запаса устойчивости равного 1.4. Такой коэффициент соответствует правилам Ростехнадзора РФ. В расчетах учтены влияние массы ковша с грунтом, сил тяжести навесного оборудования и установки противовеса.

Определены внешние силы, действующие на рабочий орган и мелиоративную машину при переходе из рабочего в транспортное положение.

Расчет на устойчивость в данном случае очень важен т. к. каналоочиститель работает на слабом грунте непосредственно рядом с откосом канала и при подъеме заполненного ковша может опрокинуться или съехать вниз.

Анализ графических зависимостей вместимости ковша от его вылета (рис. 4.28) показывает, что для данного базового шасси при достаточно больших вылетах, порядка 5,0...6,0 метров можно ориентироваться на ковш вместимостью 0,25...0,3 м³, а при вылетах до 3-х м вместимость ковша может быть увеличена до 0,4...0,5 м³. Такие цифры должны удовлетворить производителей, так как при этом обеспечивается достаточно высокая производительность [279].

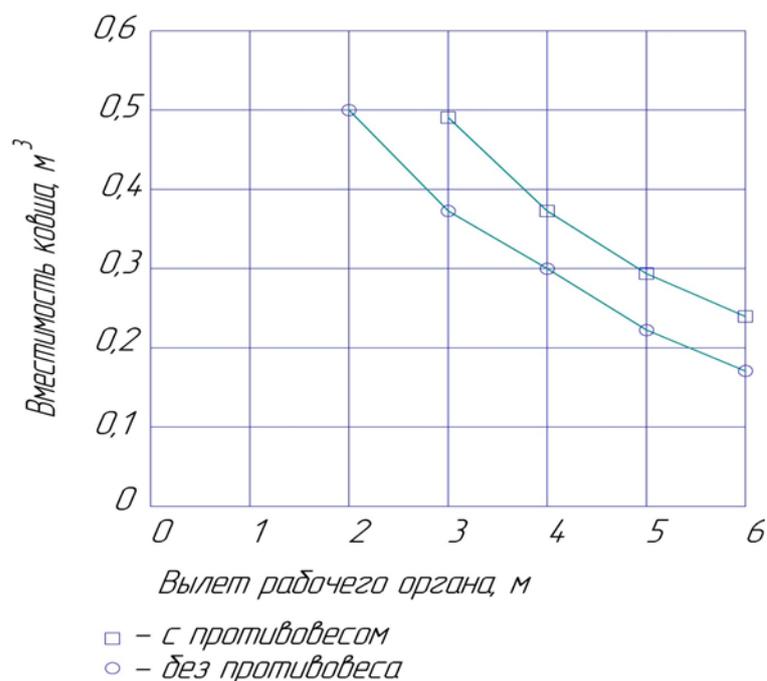


Рисунок 4.28 - Зависимость вместимости ковша от вылета рабочего органа по условиям устойчивости для каналоочистителя PP-303

Второй главный параметр ковша – его ширина. Эта величина зависит, главным образом, от внешних факторов, а именно от принятых в зоне осушения размеров сечений каналов. Здесь, прежде всего, следует определить нижнюю границу. Считаем, что минимальный размер ковша по ширине должен соответствовать 400 мм. Такой параметр обеспечивает очистку дна каналов за один или несколько проходов практически всей сети. Тем не менее, следует предусмотреть возможность применения сменных ковшей с увеличенной шириной, например 500 мм и 600 мм. Это решение также будет способствовать повышению производительности, когда имеются для этого соответствующие условия. С другой стороны процесс очистки дна каналов напрямую связан с реальными объемами наносов, что предопределяет работу ковша со стружками различной толщины. В связи с этим возникает весьма важный вопрос о выборе длины хода ковша обеспечивающего его полное заполнение. Результаты расчетов, проведенных на основе лабораторных исследований по определению необходимого хода ковша в зависимости от его вместимости при различных толщинах снимаемой стружки наносов, приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Требуемый ход ковшей в зависимости от их вместимости

Вместимость ковша, м ³	Ширина ковша, м	Толщина снимаемой стружки грунта, м	Требуемый ход ковша для его заполнения, м
0,25	0,4	0,10	6,25
		0,20	3,12
		0,30	2,0
	0,5	0,10	5,0
		0,20	2,5
		0,30	1,6
	0,6	0,10	4,2
		0,20	2,1
		0,30	1,4
0,30	0,4	0,10	7,5
		0,20	3,75
		0,30	2,5
	0,5	0,10	6,0
		0,20	3,0
		0,30	2,0
	0,6	0,10	5,0
		0,20	2,5
		0,30	1,6
0,40	0,4	0,10	10,0
		0,20	5,5
		0,30	3,3
	0,5	0,10	8,0
		0,20	4,0
		0,30	2,6
	0,6	0,10	6,6
		0,20	3,3
		0,30	2,2

Если ориентироваться на большие вылеты рабочего органа, что для проведения очистных работ в мелиорации крайне важно, то выбор параметров ковша по вместимости окажется достаточно ограниченным. В представленной таблице 1 фигурируют три типоразмера ковша, вместимость которых соответственно равна 0,25; 0,3 и 0,4 м³.

Расчетная величина хода ковша в этих случаях имеет довольно большой разброс от 1,6 до 10,0 м. Однако можно отметить, что при толщине стружки 0,15 м и более длина хода ковшей с различными параметрами не превышает 5...6 м.

Сопоставив эти цифры с габаритными размерами базовой машины – трактора ДТ-75Б (длина трактора 4600 мм) видим, что в конструктивном отношении ход ковша равный 5,0...5,5 м может быть легко реализован.

В зависимости от ширины канала по дну каналочиститель может очищать дно каналов несколькими способами. Известно, что при работе данного каналочистителя толщина стружки не меняется кроме тех случаев, когда по всей длине хода ковша толщина наносов различная или когда ковш движется под уклоном.

Более сложно обстоит вопрос выбора и обоснования таких геометрических параметров ковша как длина ковша и высота его стенок. Соотношения, принятые в практике экскаваторного оборудования, в том числе ковшей драглайна здесь мало подходят из-за ограничений размеров по ширине. Попытка реализовать требуемый объем ковша за счет увеличения высоты его стенок может оказаться неудачной, так как на определенной стадии процесс заполнения ковша грунтом может быть нарушен образованием чрезмерно увеличенной призмы волочения. Причем в различных грунтовых условиях это может по-разному проявляться.

В исследованиях выбран экспериментальный метод определения критических точек по высоте заполнения ковшей различной вместимости и размеров по ширине. Эксперименты проводились в лабораторных условиях в грунтовом канале, как на моделях, так и с ковшами в натуральную величину.

Вместимость ковшей можно определить по приближенным корреляционным зависимостям, полученным на основании исследований и испытаний этих рабочих

органов. Эти зависимости связывают между собой рабочие усилия, действующие в процессе копания, и вместимость ковша.

В ходе экспериментов с физической моделью ковша каналоочистителя получены зависимости наполняемости и объема призмы волочения от хода (т. е. длины пути), при постоянной толщине стружки и плотности (рис. 4.29). Толщина стружки при опытах задавалась от 2 до 8 см с интервалом 2 см, а плотность равнялась трем ударам ударника ДорНИИ. Наполняемость измерялась в процентах.

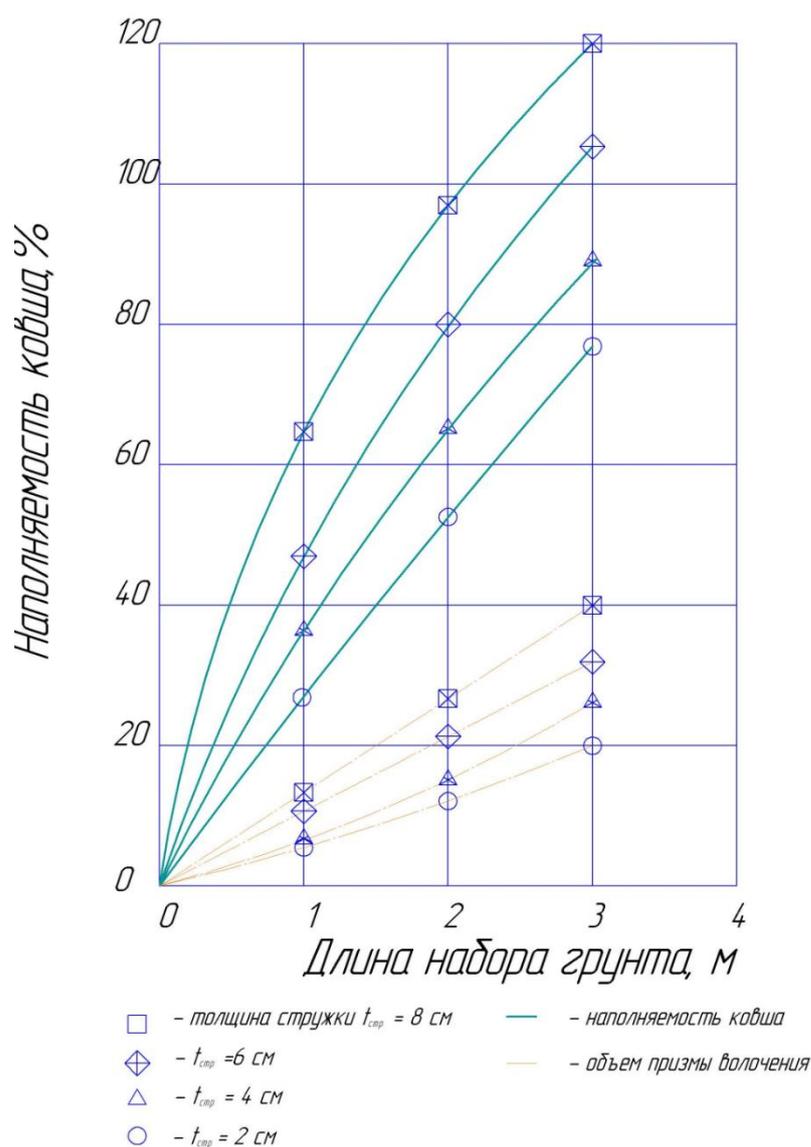


Рисунок 4.29 - Зависимость наполняемости ковша и объема призмы волочения от длины набора грунта

Как видно из зависимостей наполняемость может быть 100% и больше на более коротком пути при больших толщинах стружки. Чем больше толщина стружки, тем больше объем призмы волочения. Исходя из полученных зависимостей, можно

выбрать и обосновать режимы работы каналоочистителя. К примеру, по зависимости при толщине стружки 8 см и длине набора грунта 3 м наполняемость ковша равна 120%, а объем призмы волочения при той же длине составляет 40%. В зависимости от ширины канала по дну каналоочиститель может очищать дно каналов несколькими способами. Известно, что при работе данного каналоочистителя толщина стружки не меняется кроме тех случаев, когда по всей длине хода ковша толщина наносов различная или, когда ковш движется под уклоном. На рисунке 4.30 показаны способы очистки дна канала ковшем на жесткой направляющей.

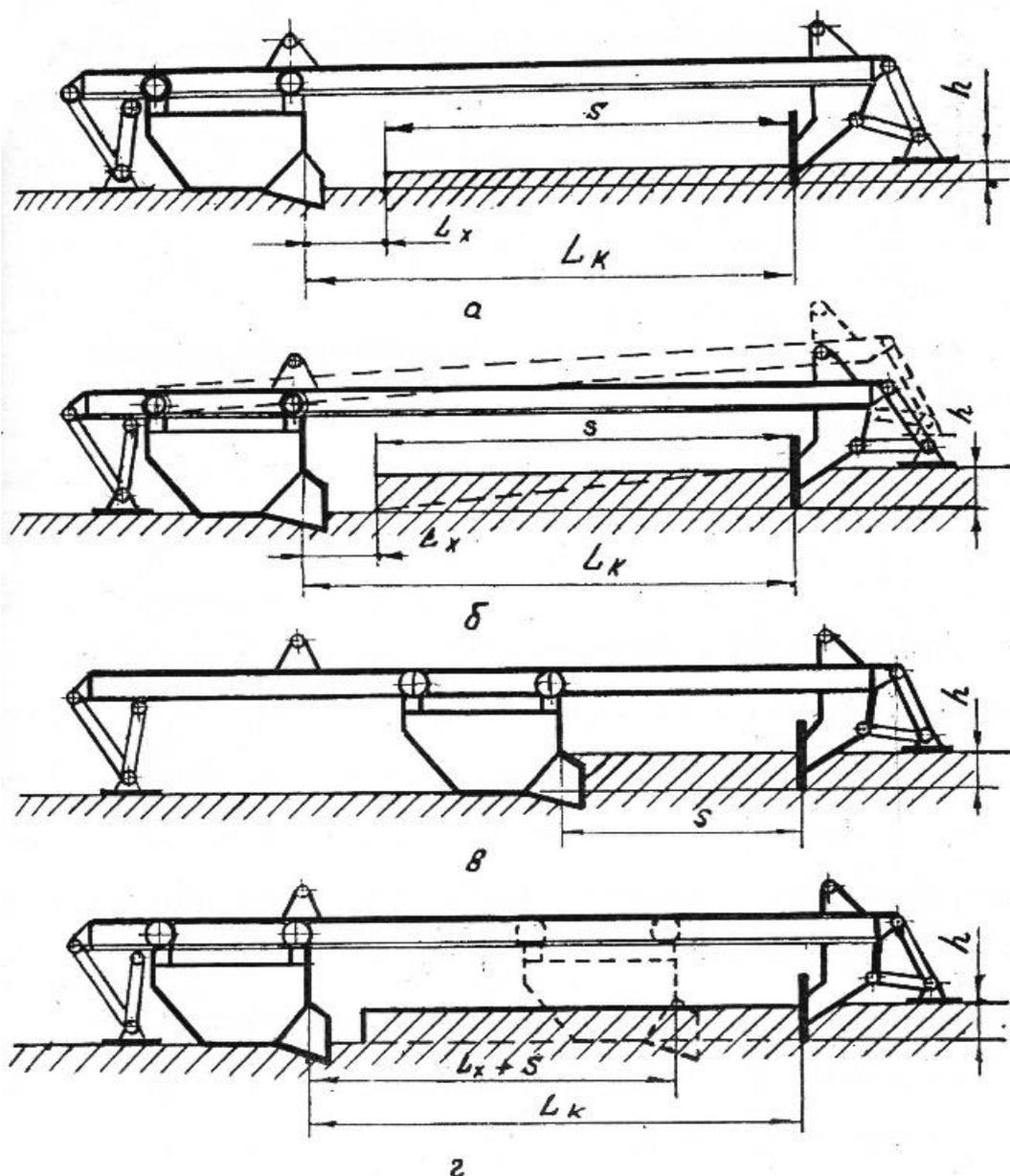


Рисунок 4.30 - Способы очистки дна канала ковшем на жесткой направляющей: а) однопроходный; б) многопроходный, послойный; в) однопроходный, с укороченным ходом ковша; г) многопроходный, с укороченными захватками. L_x – длина холостого хода ковша вдоль направляющей ($L_x = 0,6 \dots 1,2$); L_k – конструктивная длина хода ковша ($L_k = 5,5$ м).

Более сложно обстоит вопрос выбора и обоснования таких геометрических параметров ковша как длина ковша и высота его стенок. Соотношения, принятые в практике экскаваторного оборудования, в том числе ковшей драглайна здесь мало подходят из-за ограничений размеров по ширине. Попытка реализовать требуемый объем ковша за счет увеличения высоты его стенок может оказаться неудачной, так как на определенной стадии процесс заполнения ковша грунтом может быть нарушен образованием чрезмерно увеличенной призмой волочения. Причем в различных грунтовых условиях это может по-разному проявляться.

Нами выбран экспериментальный метод определения критических точек по высоте заполнения ковшей различной вместимости и размеров по ширине. Эксперименты проводились в лабораторных условиях в грунтовом канале, как на моделях, так и с ковшами в натуральную величину.

Вместимость ковшей можно определить по приближенным корреляционным зависимостям, полученным на основании исследований и испытаний этих рабочих органов. Эти зависимости связывают между собой рабочие усилия, действующие в процессе копания, и вместимость ковша.

Лабораторные эксперименты проведены по однофакторной системе, т. е. при изменении одного фактора и неизменности всех остальных. Переменные факторы: толщина стружки ($H = \delta$), т. е. число факторов $m = 1$. Для модели M уменьшенной в 2,5 раза) приняты четыре толщины: $\delta = 2, 4, 6, 8$ см и соответственно для натуре $\delta = 5, 10, 15, 20$ см.

Уровни остальных факторов зафиксированы конструкцией лабораторной установки и параметрами грунтового лотка и для проводимого эксперимента являются постоянными: размеры модели $h_k = 0.2$ м; $b_k = 0.16$ м; $L_k = 0.34$ м; $V_m = 0.01$ м³; длина пути наполнения L_k может изменяться в зависимости от толщины стружки.

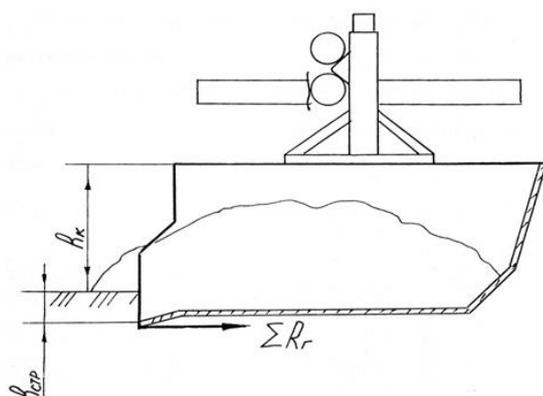
Эксперименты проведены последовательно при следующей влажности грунта $W_3 = 17\%$.

Остальные параметры грунта приняты в соответствии с табличными данными по суглинку (табл. 4.10).

Таблица 4.10 – План экспериментов

№ эксперимента	Категория грунта	Диапазон D	Канал K	Толщина стружки δ , см	Длина пути L, м
1	1	1	3	2	3
2	1	2	3	4	3
3	1	2	3	6	3
4	1	2	3	8	3

Модель ковша, установленная на тележку, движется горизонтально и по ходу движения ковш наполняется. При рассмотрении суммарных горизонтальной реакций грунта считается, что они расположены в плоскости движения ковша как показано на рисунке 4.31.



а)



б)

Рисунок 4.31 – Модели ковшовых рабочих органов: а) схема рабочего органа каналоочистителя и реакций грунта; б) установка модели прямоугольного профиля на тележку грунтового лотка (модель изготовлена с прозрачной боковой стенкой из оргстекла)

На рисунке 4.32 представлена последовательность цикла конструирования модели рабочего органа – ковша каналоочистителя прямоугольного профиля от этапа проектирования в системе Inventor pro, распечатки на 3D-принтере марки Ender, изготовления модели ремонтных мастерских и до проведения лабораторных испытаний на почвенном канале [288, 292, 293, 300].

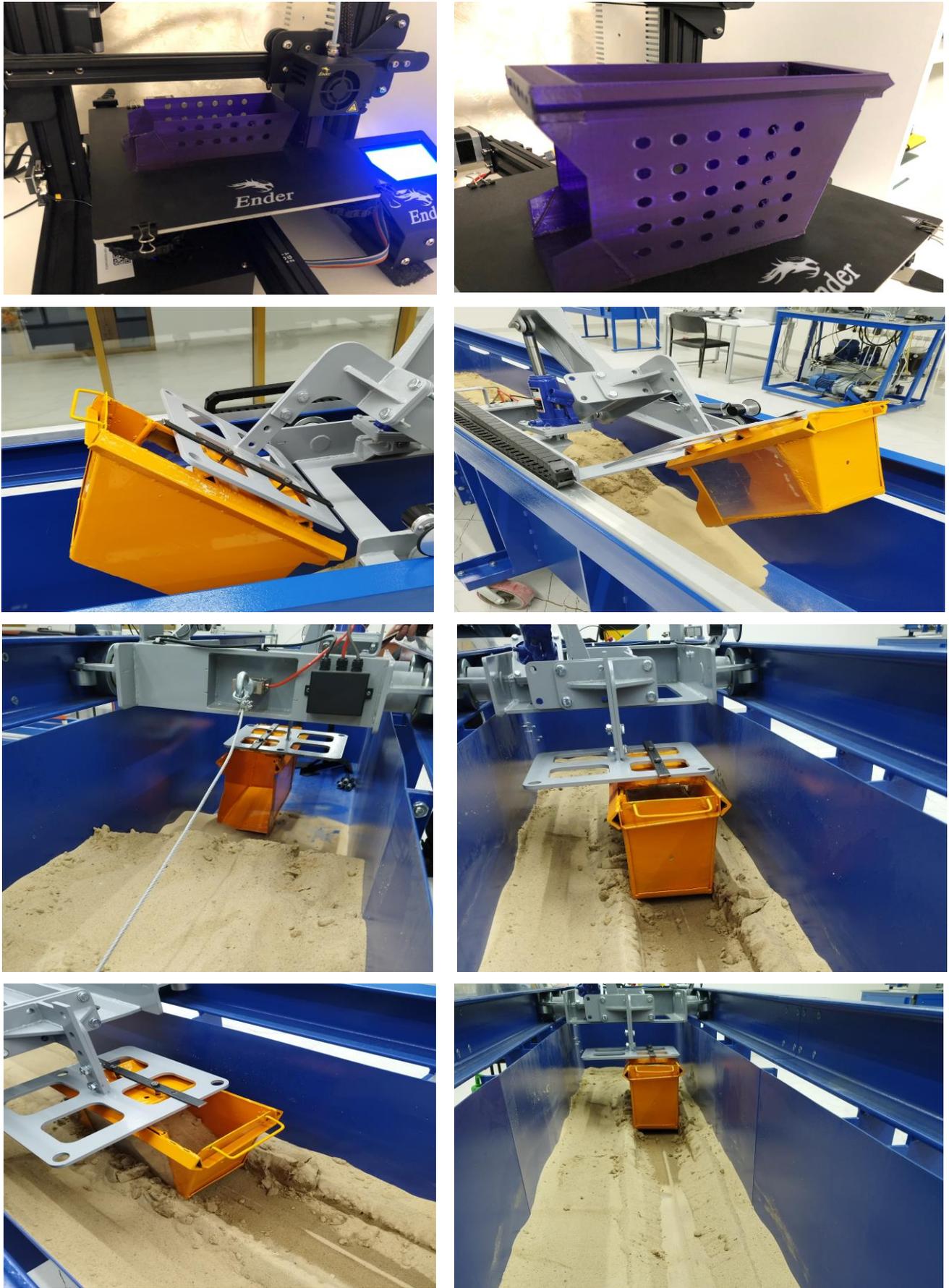


Рисунок 4.32 – Проектирование, изготовление и испытание модели рабочего органа каналочистителя прямоугольного профиля

На рисунке 4.33 представлена последовательность цикла проектирования рабочего органа – ковша каналочистителя трапецеидального профиля от этапа проектирования в системе Inventor pro, изготовления модели до проведения лабораторных испытаний на грунтовом лотке лаборатории мелиоративных машин.

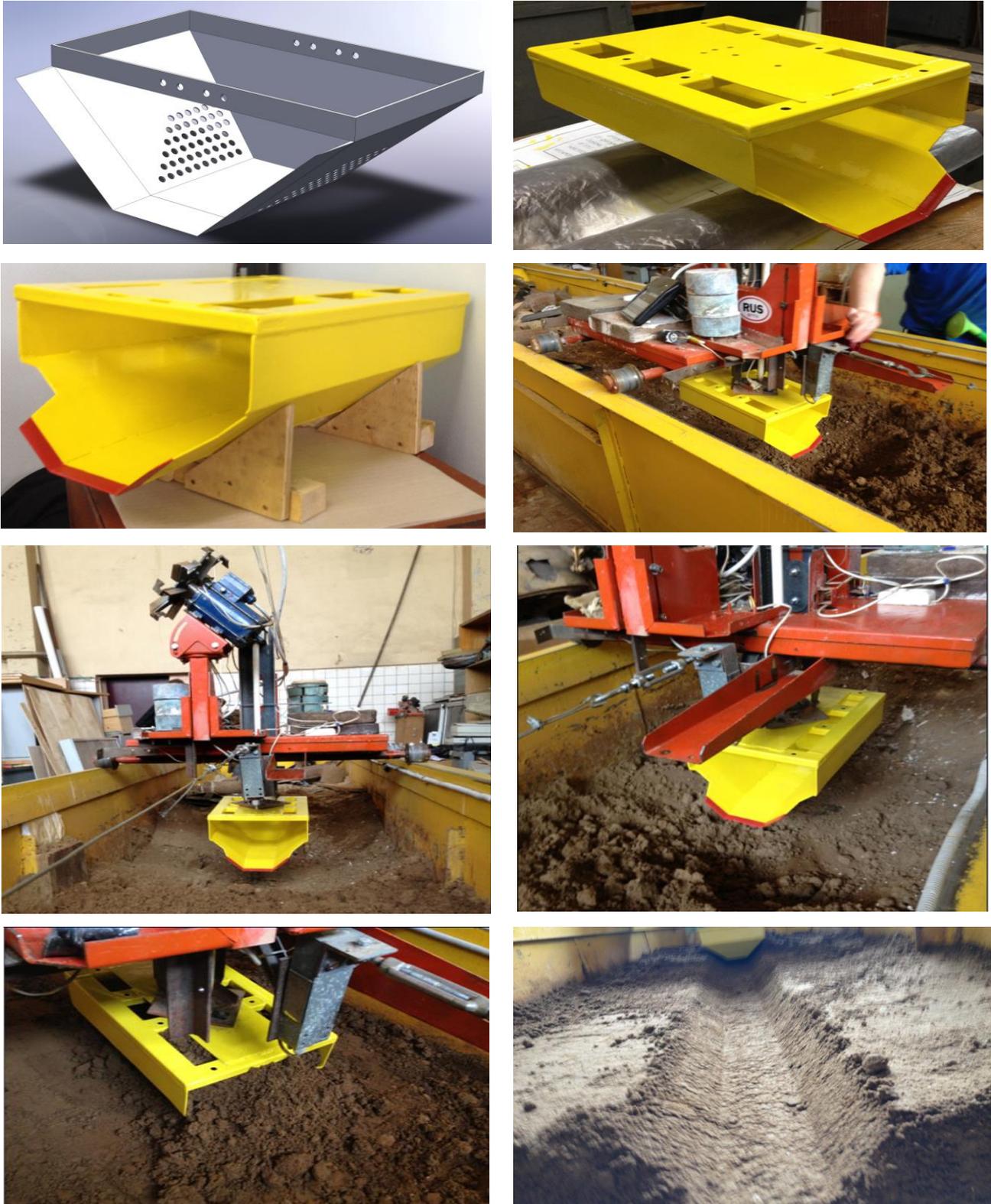


Рисунок 4.33 – Проектирование, изготовление и испытание модели рабочего органа каналочистителя трапецеидального профиля

Чтобы сравнить полученные экспериментальные данные с теоретическими произведен расчет. Суммарная горизонтальная составляющая усилия (Н) копания в конце заполнения ковша (по аналогии с ковшами стругов и драглайнов) без зубьев рассчитана по формуле А.Н. Зеленина:

$$\sum R_{\Gamma} = 10 C_{\text{уд}} N^{1,35} (1 + 2,6 b_{\text{к}}) (1 + 0,0075 \psi) (1 + 0,03 \delta_{\text{к}}) \varepsilon' \mu' + \varepsilon S k_{\text{сж}} + V_{\text{п}} \gamma_{\Gamma} f_{\Gamma} / K_{\text{р}}, \quad (4.3)$$

где $C_{\text{уд}}$ – число ударов плотномера ДорНИИ; $H, b_{\text{к}}, \psi$ – соответственно глубина (см), ширина (м) и угол (град.) резания, $\psi = 20 \dots 30^{\circ}$; $\delta_{\text{к}}$ – толщина стенок ковша, $\delta_{\text{к}} = 1,0 \dots 1,5$ см; ε' – коэффициент, учитывающий влияние угла заострения $\gamma_{\text{к}}$ боковых стенок ковша, при $\gamma_{\text{к}} = 45 \dots 90^{\circ}$ соответственно $\varepsilon' = 1,0 \dots 1,03$; $\mu' = 1$ для блокированного резания; ε – коэффициент влияния на $k_{\text{сж}}$ высоты пригружающего слоя грунта $h_{\text{к}}$; для $h_{\text{к}} = 0,25 \dots 0,50$ м $\varepsilon = 1,15 \dots 1,30$; $k_{\text{сж}}$ – удельное сопротивление грунта продольному сжатию, Н/см²; для блокированного резания при $C_{\text{уд}} = 1 \dots 2, 3, 4, 6, 10$ соответственно удельное сопротивление грунта продольному сжатию, Н/см² $k_{\text{сж}} = 1,2; 2,5; 3,5; 4,5; 7,5$; S – площадь поперечного сечения стружки, см²; $S = H b_{\text{к}}$; $V_{\text{п}}$ – объем призмы волочения, м³; $V_{\text{п}} = y V_{\text{к}}$; $V_{\text{к}}$ – объем грунта в ковше, м³; $y = 0,20 \dots 0,50$; γ_{Γ} – объемная сила тяжести грунта, Н/м³; f_{Γ} – коэффициент трения грунта по грунту; $K_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления.

Результаты расчетов выполнены в Excel и сведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11 – Результаты расчетов

$C_{\text{уд}}$	$H,$ см	$b_{\text{к}},$ м	$\psi,$ гр	$\delta_{\text{к}},$ см	ε'	μ'	E	$S,$ см ²	$k_{\text{сж}}$	$V_{\text{п}},$ м ³	y	$V_{\text{к}},$ м ³	$\gamma_{\Gamma},$ Н/м ³	f_{Γ}	$K_{\text{р}}$	$\sum R_{\Gamma},$ Н
3	5	0,4	30	1	1	1	1,3	200	2,5	0,04	0,25	0,16	0,5	0,9	1,2	1328,18
3	10	0,4	30	1	1	1	1,3	400	2,5	0,04	0,25	0,16	0,5	0,9	1,2	3028,74
3	15	0,4	30	1	1	1	1,3	600	2,5	0,04	0,25	0,16	0,5	0,9	1,2	4938,48
3	20	0,4	30	1	1	1	1,3	800	2,5	0,04	0,25	0,16	0,5	0,9	1,2	7006,73

Из формулы (4.14) видно, что по мере наполнения ковша грунтом тяговое усилие возрастает и достигает максимума в конце наполнения.

Результаты экспериментальных исследований по определению усилий копания для модели ковша каналоочистителя (масштабный коэффициент $K_m = 2,5$ и вместимость $V = 0,01 \text{ м}^3$) приведены в табл. 4.12 и рис. 4.13. Опыты проводились на грунтовом лотке лаборатории кафедры МиСМ, грунт – средний суглинок, влажность $W = 17\%$, $C_{уд} = 3$.

Таблица 4.12 – Результаты исследования усилий копания

№	δ см	$\sum R_r$, кН
1	2	0.09
2	4	0.2
3	6	0.32
4	8	0.46

Результаты пересчета данных, полученных для модели (табл. 4.13) на рабочий орган в натуральную величину с использованием рабочей методики приближенного физического моделирования процессов резани, копания и рыхления грунта без изменения его свойств (по В.И. Баловневу).

Таблица 4.13 – Результаты пересчета с модели на натуру ($b = 400 \text{ мм}$, $V = 0,16 \text{ м}^3$)

№	δ , см	R_r , кН ($n = 3$)
1	5	0.09 / 1.4
2	10	0.2 / 3.1
3	15	0.32 / 5
4	20	0.46 / 7.19

Пересчет произведен по формуле $F_n = F_m i^n$, где $n = 1$ – для мерзлых грунтов, $n = 2$ – для талых грунтов, $n = 3$ – для наносов (разжиженных грунтов).

Как видно из таблиц 4.10 и 4.11 между результатами теоретических и экспериментальных исследований имеется, хоть и небольшая, разница, которую можно выразить через коэффициент $k \approx 1.05$.

Диаграммы зависимости усилия копания от наполняемости ковша полученные при проведении эксперимента и зафиксированные самописцем приведены на рисунке 4.16.

В результате экспериментов установлено, что значительное влияние на характер процесса и усилия резания оказывает глубина резания, с увеличением которой усилия возрастают. Зависимости усилия резания P от глубины H , при различных значениях плотности грунта C и при постоянных значениях ширины, угла и скорости резания, представлены на рисунке 4.34, как видно из графика, усилие прямо пропорционально глубине резания H до некоторых значений последней.

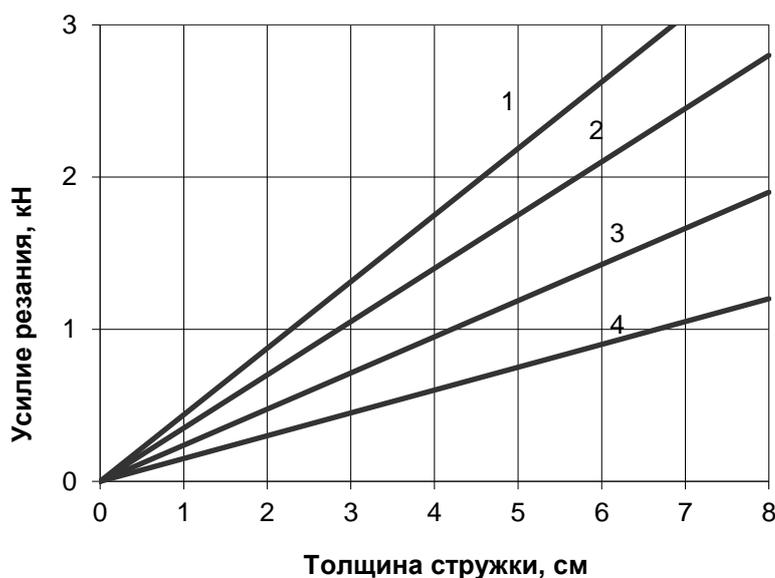


Рисунок 4.34 – Зависимость усилия резания P от толщины стружки при различных значениях плотности C : 1) $C = 10$, 2) $C = 8$, 3) $C = 4$, 4) $C = 2$

В результате исследований установлено, что перед ковшом (рис. 4.35) образуется призма волочения.



а)



б)

Рисунок 4.35 – Модель ковша каналоочистителя: а) установка модели на тележку; б) формирование призмы волочения при копании ковшом

В ходе экспериментов с физической моделью ковша каналочистителя получены зависимости наполняемости и объема призмы волочения от хода (т. е. длины пути), при постоянной толщине стружки и плотности. Толщина стружки при опытах задавалась от 2 до 8 см с интервалом 2 см, а плотность равнялась трем ударам ударника ДорНИИ. Наполняемость измерялась в процентах.

Как видно из зависимостей наполняемость, может быть, 100% и больше на более коротком пути при больших толщинах стружки. Чем больше толщина стружки, тем больше объем призмы волочения.

Исходя из полученных зависимостей можно выбрать и обосновать режимы работы каналочистителя. К примеру, по зависимости при толщине стружки 8 см и длине набора грунта 3 м наполняемость ковша равна 120%, а объем призмы волочения при той же длине составляет 40%.

На основе проведенных экспериментальных исследований предложено новое техническое решение ковша каналочистителя. Предполагаемое изобретение относится к устройствам для копания грунта и может быть использовано в строительстве и мелиорации. Это устройство можно использовать для очистки каналов от наносов, заиления и растительности. Целью предполагаемого изобретения является повышение производительности за счет уменьшения тяговых сопротивлений. Указанная цель достигается тем, что ковш каналочистителя, выполняется с усеченными боковыми стенками. Такое конструктивное решение ковша каналочистителя позволяет повысить производительность за счет уменьшения тяговых сопротивлений по средствам снижения трения о боковые стенки, с помощью сужения которых достигается свободное резание, но не по всей длине боковых стенок, а с момента начала сужения, причем чем больше угол, образующийся между боковыми стенками ковша и русла тем меньше трений. Предполагаемое изобретение можно использовать на ковшах экскаваторов различных типов.

Теоретические и практические данные позволили графически отобразить преимущества нового ковша по сравнению с базовым. С помощью Mathcad, и Excel были рассчитаны усилия копания сравниваемых ковшей и построен график зависимости наполняемости ковша от длины набора грунта.

Из графика видно, что предлагаемый новый ковш значительно снижает усилия копания, тем самым повышая производительность.

Эксперимент показал, что в отдельных случаях, при малых толщинах стружки и определенной ширине ковша не наблюдается его полное заполнение в связи с образованием призмы волочения перед ковшом, препятствующего подъему грунта в ковш. Поэтому на пути ковша устанавливают отбойную плиту. Выявлено, что такое техническое решение весьма эффективно, и дает возможность заполнить ковш даже при малых толщинах стружки. Все это влияет на рабочую длину хода ковша и габариты всей машины. После определения опытным путем усилий копания для модели и пересчета их на натуру установлена вместимость ковша $0,16 \text{ м}^3$ далее исходя из того, что ширина по дну у большинства осушительных каналов (см. глава 1) в большинстве случаев $0,4 \text{ м}$, установлена ширина ковша: $0,4 \text{ м}$. Затем определены оптимальная толщина и требуемый ход ковша для его заполнения. Толщина стружки определена по средним значениям толщины наносов на дне осушительных каналов за год.

Длина ковша определены по известной формуле Н. Г. Домбровского:

$$L = 1,46 \sqrt[3]{q}, \quad (4.4)$$

где q – вместимость ковша.

Но в связи с тем, что каналоочиститель может работать с различными типами грунтов формула (4.15) претерпела небольшие изменения, касающиеся типов грунтов:

$$L = (1,40 \dots 1,52) \sqrt[3]{\frac{q}{k}}, \quad (4.5)$$

где k – коэффициент, учитывающий тип грунта (глина – $0,80 \dots 0,90$; пески – $0,90 \dots 0,95$). Длина ковша для соответствующей вместимости остается одной и той же, а высота ковша изменяется по соответствующей ширине.

Угол скоса боковых стенок был получен путем теоретических расчетов, которые показали, что угол больше 2° весомо снижает вместимость ковша, что негативно отражается на производительности. В свою очередь уменьшение этого угла

не дает значительного выигрыша в производительности. Таким образом, в результате проведенных исследований получены остальные геометрические параметры ковша, т. е. длина и высота, обеспечивающие вместимость ковша при данной ширине и угол скоса боковых стенок (табл. 4.14).

Таблица 4.14 – Рекомендуемые параметры ковша

Вместимость, м ³	Ширина ковша, м	Толщина снимаемой стружки, м	Длина ковша, м	Высота ковша, м	Уклон боковых стенок, гр.
0,16	0,4	0,10 0,20 0,30	0,8	0,5	2°

Так же были проведены расчеты на жесткость и прочность ковша с использованием пакета ANSYS, которые показали, что новый ковш имеет достаточный запас жесткости и прочности.

Выводы по четвертой главе:

1. Получены результаты экспериментальных исследований устойчивости откосов каналов. Результаты экспериментов подтверждены расчетными данными, полученными в компьютерной программе GeoStab 8.1. Опытное определение устойчивости откосов с учетом поправочного и эксплуатационного коэффициентов подтверждают результаты экспериментальных данных, полученных на большом грунтовом канале лаборатории кафедры ОиТГМиСР РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

2. Представлена методика обработки результатов экспериментальных исследований. В настоящей работе для обработки экспериментальных данных преимущественно применялись такие компьютерные программы как Mathcad и Excel. С помощью этих программ определены такие характеристики случайных величин (зависимостей по определению тяговых сопротивлений) как: средние значения, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, коэффициенты детерминации и корреляции.

3. Выполнено обоснование выбора рабочих органов каналоочистителей. Наиболее распространенными профилями осушительных каналов являются трапецеидальный с незакрепленным дном, трапецеидальный с закрепленным дном,

кроме перечисленных встречаются в мелиоративных хозяйствах и каналы параболического сечения. В работе представлены модели ковшей для очистки каналов шириной по дну 0,4; 0,6 и 0,8 м.

4. Представлен процесс удаления наносов, заилений и растительности со дна и прилежащих частей откосов каналов с использованием разработанного ковша трапецеидального профиля.

5. Даны отличительные характеристики рабочих органов мелиоративных каналоочистителей. Мелиоративные каналоочистители могут быть снабжены активными или пассивными рабочими органами. Каналоочиститель ОКН-0,5 имеет сменные ковшовые и роторные рабочие органы. Для каналоочиститель РР-303 сменные разработаны ковши прямоугольного и трапецеидального профилей, кроме того, получен патент на полезную модель ковша двустороннего действия.

6. Представлено проектирование и прочностные расчеты новых конструкций рабочих органов каналоочистителей. По всем разработанным в рамках настоящей работы рабочим органам каналоочистителей проведены прочностные расчеты методом конечных элементов в программах Компас и Inventor Pro.

7. Представлены расчеты технико-эксплуатационных и качественных параметров каналоочистителя с прямолинейным движением ковша на роликах. Определены производительности каналоочистителя с предлагаемыми новыми ковшами, которая составляет от 17 до 20 м³/ч.

8. Даны обоснование применения и технологические характеристики ковша с трапецеидальным профилем. Главное назначение предлагаемого ковша – очистка дна и прилежащих ко дну частей откосов каналов без крепления.

9. Представлено конструирование ковшей для очистки дна и откосов каналов в зависимости от наличия элементов их крепления. Наличие креплений откосов исключает применение трапецеидального ковша. Каналы с закрепленным дном и откосами составляют около 20% от осушителей. В таких случаях применяется ковш прямоугольного профиля, который способен двигать в пространстве между креплениями.

ГЛАВА 5. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И СОСТАВА ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ МАШИН ДЛЯ ОЧИСТКИ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

5.1. Формирование технологии очистительных работ и обоснование оптимального состава комплекса машин по очистке и восстановлению мелиоративных каналов

Важным составляющим в исследовании вопроса очистки каналов является формирование технологии и выбор оптимального комплекса каналоочистительных машин, которые могут обеспечить выполнение заданных объемов работ при наилучших технико-эксплуатационных показателях. Выбор рационального комплекса напрямую зависит от эксплуатационных и качественных показателей работы отдельных каналоочистительных машин, составляющих рассматриваемый комплекс. Более того выбор оптимального комплекса зависит также от естественно-производственных условий, количества наносов, заилений и растительности, а также их распределения по протяженности каналов. На рисунке 4.34 представлена технологическая схема производства работ. Линия, соединяющая элементы отдельных групп машин, показывает один из возможных оптимальных вариантов комплекса.

5.1.1. Анализ существующих технологий очистительных работ на мелиоративных системах

В реальных условиях эксплуатации и проведения очистных работ на мелиоративных системах, в частности на осушительных системах, необходимо использовать все виды ресурсов и технологий, которые позволят наиболее эффективно, качественно и кратчайшие сроки производить восстановление каналов. Здесь можно рассмотреть технологии очистки каналов в зависимости от наличия на каналах: а) древесно-кустарниковой растительности; б) травянистой растительности;

в) наносов и заилений на дне и откосах каналов. Первый случай – технология очистки каналов при наличии древесно-кустарниковой растительности на каналах невозможен при своевременном выполнении операций ухода и ремонтов каналов. Однако, в настоящее время существуют каналы, на которых не выполнялись очистительные работы в течение длительного промежутка времени, в результате чего на каналах могли возникнуть элементы древесно-кустарниковой растительности. Наиболее распространенной технологией очистки мелиоративных (оросительных) каналов от древесно-кустарниковой растительности является использование ручного труда, средств малой механизации и специальных машин, обычно бензопил, навесные кусторезы с активными дисковыми пильными рабочими органами и т.д. Данная технология включает в себя пять операций: первая – срезка надземной части древесной растительности с использованием кусторезов; вторая – удаление срезанной растительности из русла канала путем сгребания ее в кучи подборщиками или кустарниковыми граблями; третья – переработка срезанной древесно-кустарниковой растительности на щепу с помощью передвижных рубильных машин; четвертая – транспортировка щепы потребителю или в места хранения с помощью автощеповозов или самосвалов; пятая – обработка пней арборицидами.

Срезанную древесно-кустарниковую растительность удаляют из русла и берм каналов с помощью механизированных средств и вывозят для дальнейшей утилизации. Часто срезанную кустарниковую растительность сжигают. Кроме того, после срезания древесно-кустарниковой растительности необходимо производить корчевание пней, в противном случае через небольшой промежуток времени они дают обильную поросль. В свою очередь корчевание пней разрушает и деформирует откосы и дно каналов, что требует использования ручного труда и общестроительной техники для восстановления профиля сечения канала. В таких случаях (в работе Анисимова С. А.) во избежание деформаций элементов канала используется метод угнетения пней, основанный на использовании специального устройства для локального внесения арборицидной смеси на пни. В то же время применение арборицидных смесей, как биологически высокоактивных веществ,

количество их в воде, грунтах и растительности должно подлежать строгому контролю [93, 94, 209].

Второй случай – наличие в русле каналов травянистой растительности, требует использования технологии с применением различных типов каналоокашивающих машин. В целях снижения затрат на техническую эксплуатацию систем в работе Гантмана В.Б. предлагается использовать технологию утилизации скошенной травы для нужд кормопроизводства (рис. 5.1).

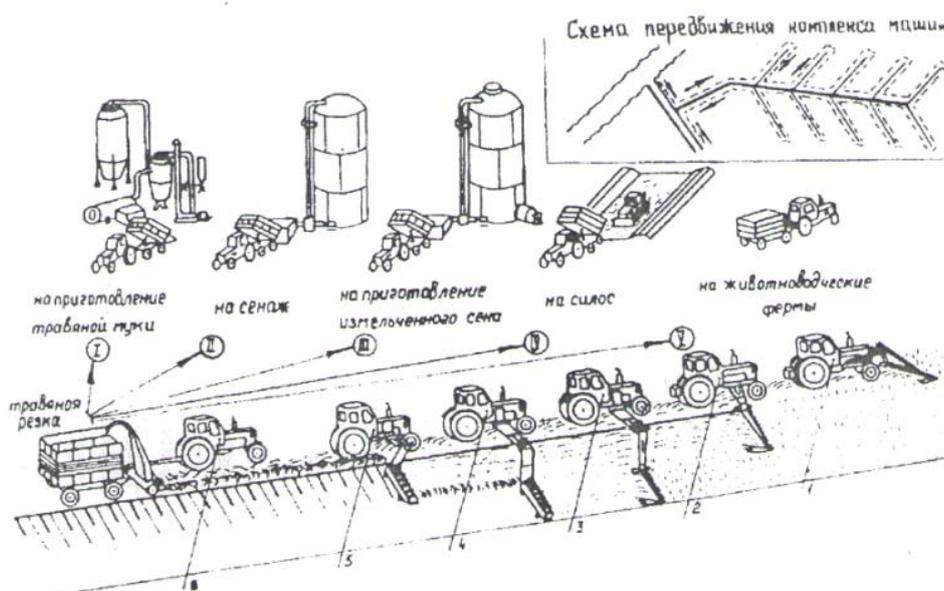


Рисунок 5.1 – Технологический комплекс машин для выполнения операций скашивания, сгребания и подбора растительности из русла канала с целью использования ее в производстве кормов: 1 – фронтальная косилка РР-23Ф; 2 – косилка I типоразмера РР-22; 3 – косилка II типоразмера ККД-1,5; 4 и 5 – подборщик ККД-1,5; 6 – подборщик измельчитель-погрузчик КУФ-1,8

Такая задача была поставлена с учетом естественно-производственных и социальных условий в развитом в мелиоративном понимании регионе Российской Федерации – Калининградской области. Для проводящих и магистральных каналов данная технология включает пять операций: первая – окашивание бермы фронтальной косилкой мелиоративного назначения РР-23Ф; вторая – скашивание растительности с откосов косилкой первого типоразмера РР-22 или ККД-1,5; третья – скашивание растительности с откосов косилкой второго типоразмера ККД-1,5 с большим вылетом рабочего органа; четвертая – сгребание скошенной растительности с нижней части откоса на верх (на берму) на расстояние до 1,5-2 м от бровки канала с

помощью граблей конвейерного типа ККД-1,5Т. Однако, о промышленных методах заготовки травы для использования ее в кормопроизводстве речь не идет, далеко не везде для этого были благоприятные условия, а также не было комплекса машин, способного полностью механизировать все заготовительные операции [110, 120, 265, 266, 268].

Третий случай – наличие в русле каналов наносов и заилений требует использования различных видов каналоочистительной техники и вспомогательных машин к ним. Здесь технологии очистки могут отличаться в зависимости от того, что осушительные каналы могут иметь закрепленное дно и откосы. В случае наличия закрепленного дна технология очистки может состоять из следующих операций: 1 – удаление со дна наносов и размещение их на берме канала с помощью каналоочистителя с ковшом прямоугольного профиля движущимся по оси канала на жестких направляющих; 2 – удаление наносов и заилений с откосов канала и размещение их на берме с помощью каналоочистителя со скребковым рабочим оборудованием; 3 – сбор наносов и заилений в кучи на берме канала с помощью бульдозерного оборудования одноковшового экскаватора на базе пневмоколесного трактора (ЭО-2621); 4 – погрузка наносов и заилений в кузов самосвала экскаватором ЭО-2621 и дальнейшая их транспортировка для утилизации.

5.1.2. Состояние дел по выпуску каналоочистителей представленных в Системе машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства в части мелиорации

Еще в советское время в конце 80-х и в начале 90-х годов ВНИИГиМом совместно с отраслевыми и зональными научно-исследовательскими разрабатывались: Система машин 1981–1990 годов; Система машин для комплексной механизации мелиоративных работ на 1986–1995 годы. Разработка Системы машин велась с учетом решения основных задач в мелиорации, таких как:

- комплексная механизация всех технологических процессов;

- внедрение прогрессивных технологических процессов, базирующихся на индустриальных методах и использовании общестроительных и специальных мелиоративных машин на мощных промышленных и мелиоративных тракторах;

- совершенствование структуры парка машин в мелиоративном строительстве с целью максимального приближения его к требованиям водного хозяйства.

В основу Системы машин были положены следующие важные принципы:

- расширение применения мощных общестроительных и специальных высокопроизводительных машин;

- создание и использование специальных комплексов машин для строительства трубопроводов, бетонных облицовок, производства дренажа и культуртехнических работ.

Одним из множества процессов охватываемых Системой машин, касающийся настоящей работы является ремонт и содержание оросительных и осушительных.

Основой формирования Системы машин [327, 337] являются технологические комплексы, рекомендуемые для выполнения различных операций и процессов в мелиоративном строительстве. В рассматриваемой системе предложено 88 комплексов. В разделе «Технологические комплексы машин для производства эксплуатационных работ на мелиоративных системах» предусмотрено 18 технологических комплексов, объединенных в пять групп:

- для ремонта и очистки каналов от наносов, а также обсаженных деревьями с одной или двух сторон;

- для окашивания и удаления растительности на каналах;

- для ремонта и промывки закрытых дренажей;

- для очистки каналов и отстойников гидромеханизированным способом;

- для содержания и ремонта гидротехнических сооружений.

Наиболее соответствующим пунктом для настоящей диссертационной работы является первый пункт. В случае разработки комплекта машин и технологии учитывались специальные условия механизированных работ по очистке каналов:

растянутость фронта работ при сравнительно небольшом их удельном объеме, неудобства подхода машин к месту работы (отсутствие дороги, наличие посадок), сложный профиль поперечного сечения, изменения в процессах эксплуатации трассы, невеликая толщина наносного слоя и т. п. Поэтому при окашивании и очистке осушительных и оросительных каналов, а также стабилизации их откосов, очистке и промывке закрытого дренажа в «Систему машин» наряду с общестроительными машинами включаются специальные каналоочистительные машины, новое оборудование к одноковшовым экскаваторам ЭО-2621А, ЭО-3322Д, косилки, средства гидромеханизации, дренопромывочные машины и др. [134, 151, 152].

Учтены предложения ряда институтов о введение в систему машин новых, рекомендуемых к освоению или прошедших испытаний, а также выпускаемых промышленностью технических средств. К примеру, в комплексах для содержания и ремонта каналов предусмотрено использования таких машин, каналоочиститель МР-14 взамен МР-7А, МР-15 вместо ЭМ-152Б и МР-16, а также каналоочистителей на собственной базе как МР-12А, внутриканального на базе ТО-31 с глубиной очистки до 4 м, на колесном тракторе класса 1,4-2,0 со сменными рабочими органами, на базе универсального манипулятора ЭМ-3340 и т.п.

В комплексах для окашивания и удаления растительности на каналах значительно расширена номенклатура новых технических средств, например косилки-подборщики, дно-окашивающие и фронтальные косилки, агрегат ремонтно-эксплуатационный.

5.1.3. Формирование новой технологии очистительных работ на мелиоративных системах

С учетом проведенного анализа технологий очистки мелиоративных каналов, отличающихся своими достоинствами и недостатками в настоящей диссертационной работе предложена разработанная усовершенствованная технология очистки мелиоративных каналов от наносов и заилений. В приложениях представлены фрагменты технологических схемы производства работ по очистке каналов.

Формирование технологий очистительных работ на мелиоративных системах определенно связано с объемами работ, сезонностью, видом мелиоративной системы (осушительная или оросительная), протяженностью каналов, имеющимся в мелиоративном хозяйстве типов и типоразмеров машин, с их технико-эксплуатационными и технико-экономическими показателями, а также с геометрическими параметрами очищаемых каналов.

Важным составляющим в исследовании вопроса очистки каналов является формирование и выбор оптимального (рационального) комплекса каналоочистительных машин, которые могут обеспечить выполнение заданных объемов работ при наилучших технико-эксплуатационных показателях. Выбор рационального комплекса напрямую зависит от эксплуатационных и качественных показателей работы отдельных каналоочистительных машин, составляющих рассматриваемый комплекс. Более того выбор оптимального комплекса [210] зависит также от естественно-производственных условий, количества наносов, заилений и растительности, а также их распределения по протяженности каналов.

Формирование технологии очистительных работ (табл. 5.1) может быть осуществлено на основании ежегодных и периодических эксплуатационно-ремонтных работ, в которые входят следующие операции:

1. Очистка дна каналов от заилений и наносов;
2. Очистка откосов канала от наносов и заилений;
3. Сбор в кучи наносов и заилений на берме;
4. Погрузка и транспортировка наносов и заилений с бермы к месту отсыпки;
5. Разравнивание кавальеров, профилирование дорог вдоль каналов.

Наибольшие протяженности из осушительных каналов на территории Российской Федерации имеют каналы трапецеидального профиля, выполненные в земляном теле без крепления дна и откосов.

Здесь при формировании технологии очистки на первой операции в качестве ведущей машины также можно применить каналоочиститель РР-303 с ковшом на жестких направляющих, однако в этом случае имеет смысл ковш трапецеидального

профиля способного очистить не только дно, но и прилежащие к нему части откосов канала. Вторую операцию технологии по очистке от наносов и заилений можно провести одноковшовым каналочистителем ОКН-0,5. Третья операция выполняется бульдозерным оборудованием одноковшового экскаватора ЭО-2621.

Таблица 5.1 – Возможные варианты машин, которые могут входить в оптимальные комплексы

Очистка дна канала от наносов и заилений									
РР-303	ОКН-0,5	МР-12А	МР-14	МР-15	МР-16	МР-19	КМ-82	ЭМ-152	Д-490
Очистка откосов канала от наносов и заилений									
РР-303	ОКН-0,5	ЭМ-152	Д-490	ЕТ-14	ЕТ-16	ЕТ-18	ЕТ-20	ЕТ-26	ЖСВ 5СХ
Сбор наносов и заилений в кучи									
ЭО-2621	ОКН-0,5	ДЗ-42	ЖСВ 5СХ	-	-	-	-	-	-
Погрузка наносов и заилений в транспортное средство									
ЭО-2621	ТО-18	ЖСВ 5СХ	ЕТ-14	ЕТ-16	ЕТ-18	ЕК-14	ЕК-16	ЕК-18	ЕК-20
Транспортировка к месту укладки (утилизация)									
Камаз-5511	Урал-5557	ГАЗ-25072	-	-	-	-	-	-	-

Четвертая операция по погрузке наносов и заилений в транспортные средства также выполняются рабочим оборудованием обратная лопата экскаватора ЭО-2621. Транспортировка заилений и наносов к месту утилизации можно производить с помощью самосвала Камаз-5511.

5.1.3.1. Применение технологий работы с БПЛА при выполнении каналочистительных работ

Навигационные технологии на базе глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), таких как GPS, ГЛОНАСС, Galileo - в настоящее время являются катализаторами инновационных процессов и ускоренного развития агропромышленного комплекса во всем мире, в том числе в мелиоративном производстве.

В агропромышленном комплексе Российской Федерации наиболее известны работы по исследованию, разработке и применению навигационных систем в координатном (точном) земледелии следующих ученых: Балабанова В.И., Воронкова

В.Н., Захаренко А.В., Кирюшина В.И., Лобачевского Я.П., Мазирова М.А., Матюка Н.С., Федоренко В.Ф., Шпаара Д., Якушева В.П. и ряда других [89, 254, 320]. В настоящее время в мировом агропромышленном комплексе современные навигационные технологии активно внедряются в интересах управления различными технологическими процессами. Наибольшего развития и успеха навигационные технологии получили в растениеводстве, за счет внедрения технологий точного (координатного) земледелия.

Координатное (точное) земледелие, в соответствии с ГОСТ Р 56084–2014 — совокупность технических средств, программно-аппаратных комплексов, навигационных, геоинформационных и телекоммуникационных технологий, позволяющих снимать, обрабатывать и применять информацию, привязанную к координатам с целью оптимизации агротехнологических решений производства продукции растениеводства.

Данный вид хозяйствования также называют «земледелием по предписанию», «топоориентированным земледелием», «точечным земледелием», «аккуратным сельским хозяйством» и рядом других терминов.

Следует отметить, что в настоящее время все более применяются особые понятия — «precision farming» (точное хозяйствование), «precision agriculture» (точное сельское хозяйство), «smart farming» (умное хозяйствование), «IT-farming» (хозяйствование на основе информационных технологий») (рисунок 5.2) [89, 254, 320].



Рисунок 5.2 – Концепция «IT-Farming» от компании «Amazone» (рис. с сайта <http://www.amazone.ru>)

Проведение очистных работ на осушительных каналах сельскохозяйственных полей предполагает предварительную оценку состояния протяженных каналов, а именно количество наносов, заилений травяной и кустарниковой растительности, наличие деформаций русла, размывы участков, оползневые явления, состояние дренажных труб. Проведение оценки состояния каналов по перечисленным пунктам на протяженных каналах в обычных условиях визуального осмотра представляет собой операции, требующие значительных затрат времени и трудовых ресурсов. В таких случаях наиболее верным решением является применение глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), беспилотных летательных аппаратов, которые способны качественно оценить в течение короткого времени все имеющиеся на каналах дефекты, наличие наносов, заилений и растительности.

Основным достоинством применения навигационных технологий является то, что наблюдаемые объекты (протяженные каналы разных порядков, участок поля или сельскохозяйственная техника) привязаны к конкретным навигационным координатам. При этом имеется возможность наблюдения и анализа по каждому соответствующему точности глобального позиционирования участку канала с индивидуальными значениями его площади, рельефа, длины, состояния растительности и ряда других характеристик. Собранные и обработанные данные позволяют создавать базы ежегодных данных, на основе которых можно планировать и дифференцированно осуществлять на каждом из таких участков мелиорируемых площадей и каналов агротехнологические приемы по очистке, восстановлению каналов с целью их нормального функционирования, которое в последующем обеспечит увеличению урожайности сельскохозяйственных культур.

Здесь наравне с точным земледелием можно рассматривать точную мелиорацию, позволяющую проводить специфические работы характерные гидромелиоративному хозяйствованию, т. е. строительство [321, 322] гидромелиоративных объектов (каналов, дамб), очистка протяженных каналов от наносов заилений и растительности. Основной задачей развития координатной (точной) мелиорации является повышение эффективности системы управления гидромелиоративным производством за счет нескольких основных составляющих [89, 254, 287, 320]:

- гидромелиоративное (учёт реальных потребностей растения в воде при орошении; учет водного режима при осушении; оптимизация маршрутов техники, используемой при строительстве и очистке мелиоративных каналов с заданием их точных координат и других мероприятий);

- технологическое (эксплуатация гидромелиоративных систем имеет более высокое качество);

- техническое (оптимизируется тайм-менеджмент на уровне хозяйства, оптимизируется расход топливно-смазочных материалов, при одновременном повышении долгосрочного планирования технологических операций);

- экологическое (уменьшается вредное воздействие гидромелиоративного производства на окружающую среду, например, за счет дифференцированного использования открытых и закрытых мелиоративных систем);

- экономическое (наблюдается повышение производительности труда, при сокращении затрат, качественная эксплуатация и содержание объектов, что в итоге, улучшает эффективность мелиоративного хозяйствования).

Одним из главных достоинств применения навигационных технологий в гидромелиоративном производстве является возможность составления, ведения и хранения электронной библиотеки данных с подробной историей выполнения осушительных и оросительных работ и полученных высоких урожаев.

Главными задачами и направлениями практических работ в применении навигационных технологий в гидромелиоративном хозяйстве в настоящее время являются [89, 254, 320]:

- проведение замеров площадей мелиорируемых земель, определение протяженностей, состояния и объемов работ по очистке мелиоративных каналов с регистрацией их конкретных навигационных координат;

- картографирование осушаемых и орошаемых площадей (составление карт гидромелиоративных систем и хозяйств с применением автоматических пробоотборников, оснащенных ГНСС-приемниками);

- автоматизация управления мелиоративной техникой (параллельное вождение и автопилотирование) на базе ГНСС-навигации, обеспечивающей необходимую точность при выполнении технологических операций с использованием каналокопателей, каналоочистителей, дренаукладчиков и т. д.);

- расчет и проведение точного гидромелиоративного процесса, что позволяет обеспечить сбалансированное состояние водных ресурсов мелиоративной системы;

- контроль над обеспечением двойного регулирования мелиоративных каналов, включающего в себя сохранение влаги в засушливые периоды и сброс излишков воды в паводковые периоды, что позволит получение индексов уровня воды в каналах на различных их участках, и соответственно позволяет планировать последовательность их обработки;

- расчет и выяснение строго определенного (дифференцированного) количества объемов наносов, заилений и растительности, которые необходимо удалить из русла мелиоративных каналов;

- автоматический мониторинг объемов и заилений в каналах и составление карт (картографирование) карт объемов очистки, а в перспективе, карт ежегодных объемов работ;

- дистанционный мониторинг и контроль над использованием и техническим состоянием дорогостоящей сельскохозяйственной техники на протяженных мелиоративных каналах.

Одним из бурно развивающихся сегментов применения навигационных технологий в мировом сельскохозяйственном в том числе мелиоративном производстве является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [89, 254, 320].

Применение БПЛА в мелиоративном хозяйстве позволяет выполнять следующие основные задачи:

- геофенсинг (уточнение координат, контуров и протяженности мелиоративных каналов и мелиорируемых площадей);

- фитосанитарный мониторинг (нахождение и выделение участков каналов и мелиорируемых площадей зараженной и угнетенной растительностью);
- нахождение участков мелиорируемых площадей, подверженных затоплению и водной эрозии;
- построение ортофотопланов (карт микрорельефа) мелиоративных каналов;
- визуальное сопровождение выполнения технологических операций по очистке каналов;
- мониторинг транспортных перевозок, например, в период удаления наносов, заилений и растительности из каналов;
- мониторинг состояния гидромелиоративных систем.

Например, японская компания Yamaha RMAX уже обрабатывает с помощью БПЛА более 1 млн га сельскохозяйственных угодий в год. По некоторым оценкам экспертов, рынок услуг, которые могут обеспечивать БПЛА в мировом масштабе в 2015 году, составил 127 млрд долларов, из которых около 77 млрд долларов составляют сельское хозяйство и транспорт [89, 320].

По состоянию на 2013 год по данным Teal Group (Тил Групп, США) на рынке БПЛА доминировали компании GA-ASI: 19,02 %, - Дженерал Атомикс Аэронавтикал Системс (Инк., США); 8,35 % - Northrop Grumman Corporation (Норстоп Грумман Корпорейшн, США); 7,02 % - Elbit Systems Ltd (Элбит Системс, Лтд, Израиль); 16,92 % - IAI Ltd. (Израиль Аэроспейс Индастриз, Израиль), а также 5,65 % - AeroVironment (АэроВайромент, США). С общей долей этих компаний на мировом рынке в 57 %. Также на рынке БПЛА представлены следующие основные компании: Aeronautics Ltd (Аэронавтикс, Лтд, Израиль), Safran SA (Сафран СА, Франция), SAAB AB (СААБ АБ, Швеция), Thales Group (Талес Групп, Франция), TAI Inc. (Туркиш Аэроспейс Индастриз, Инк., Турция), и Aviation Industry Corporation of China (Эвиэйшн Индастри Корпорейшн оф Чайна, Китай), общая рыночная доля этих компаний составляла 29,20 %. Очевидно, что применение БПЛА для контроля за состоянием мелиоративных систем и частности мелиоративных каналов дает реальную картину по объемам очистительных работ. Однако, данные аэрофото съемки необходимо периодически контролировать наземными наблюдениями, для

получения альтернативных показателей [89].

Комплекс этих мероприятий, а также автоматическое накопление и хранение данных в электронном виде, однофакторный и многофакторный анализ, а также визуализация собранных данных за несколько лет, позволяет упростить управление эксплуатацией гидромелиоративных систем, помогает специалистам более эффективно планировать хозяйственную деятельность, достоверно оценивать текущую ситуацию и оперативно принимать необходимые технологические решения по корректировке ситуации на мелиорируемых площадях и очищаемых каналах.

Все это приводит к снижению себестоимости продукции, росту производительности и повышению эффективности гидромелиоративного производства.

5.1.3.2. Дальнейшие перспективы использования БПЛА при очистке мелиоративных каналов

Полномасштабное введение в эксплуатацию в мировом масштабе российской глобальной навигационной спутниковой системы ГНСС ГЛОНАСС позволяет использовать на мелиорируемых площадях зон орошения и осушения оборудование и технологии, разработанные в Российской Федерации, в том числе при очистке каналов от наносов, заилений и растительности [109].

К навигационным технологиям на базе ГНСС GPS/ГЛОНАСС, которые можно применить при механизированной очистке мелиоративных каналов различной протяженностей и категорий как в зоне орошения, так и в зоне осушения относятся (рисунок 5.3):



Рисунок 5.3 – Применение навигационных технологий при очистке мелиоративных каналов

1. Навигационные технологии с использованием БПЛА вертолетного и самолетного типа;

2. Автоматизация управления мелиоративными каналочистителями (параллельное вождение и автопилотирование), датчики, установленные на мелиоративных каналочистителях, обеспечивающей необходимую точность при движении вдоль каналов на бермах и при удалении наносов со дна канала;

3. Логистические системы мониторинга и управления потоками при транспортировке наносов, заилений и растительности к местам их утилизации.

Анализ навигационных технологий с использованием БПЛА, для возможного применения при очистке мелиоративных каналов, дает основания полагать, что их эксплуатация эффективна для решения следующих задач:

- геофенсинг (уточнение координат и контуров полей, мелиоративных площадей, в том числе для страхования и кредитовая мелиоративного производства);

- применение БПЛА для определения объемов работ по удалению наносов, заилений и растительности из русел каналов.

- визуальное сопровождение выполнения технологических операций по очистке каналов специальными каналочистителями;

- мониторинг транспортных перевозок, например, в период перемещения вынутых из русел каналов наносов и растительности к месту их утилизации.

Для этих целей могут применяться БПЛА самолетного типа на базе Геоскан 201 PRO в комплекте с мультиспектральной камерой и ГИС Спутник Агро производства российской Группы компаний Геоскан, который был специально разработан для нужд сельскохозяйственного производства, в том числе и для гидромелиоративного хозяйствования. Технические характеристики представлены в таблице 5.4 [89, 320].

БПЛА Геоскан 401 Про, включающий программное обеспечение для фотограмметрической обработки Photoscan Pro, обладает высокой маневренностью, способностью нести некоторую полезную нагрузку, вести съемку на самых малых высотах и зависать в точке (рисунок 5.4).



Рисунок 5.4 – Беспилотный летательный комплекс Геоскан 201 Агро [99]

Система вертолетного типа Геоскан 401 Про от Группы компаний Геоскан с вертикальным взлетом и посадкой повышенной грузоподъемности до 10 кг (рисунок 5.5, таблицы 5.2 и 5.3) может применяться для определения объемов работ по очистке каналов, а также для выяснения деформаций и изменения геометрических размеров каналов, водных объектов, населенных пунктов и др.



Рисунок 5.5 – Беспилотный летательный комплекс Геоскан 401 Про

Таблица 5.2 – Технические характеристики Геоскан 201 Агро

Характеристика	Величина, размерность
Продолжительность полета	до 180 мин
Макс. протяженность маршрута	210 км
Площадь съемки за 1 полет	7–22 км ²
Допустимая скорость ветра	до 10 м/с
Макс. допустимая скорость ветра	12 м/с
Скорость полета	64–130 км/ч
Макс. взлетная масса	8 кг
Макс. масса полезной нагрузки	1.5 кг
Размах крыльев	230 см
Двигатель	Электрический
Мин. безопасная высота полета	100 м
Макс. высота полёта	4000 м
Время подготовки к взлёту	10 мин
Температура эксплуатации	от -20 до +40 °С (доп. опция от -40 до +40°С)
Взлет/ посадка	с катапульты / на парашюте, в автоматическом режиме

Для повышения точности движения (снижения к минимуму человеческого фактора) при очистке мелиоративных каналов каналочистителями непрерывного действия рекомендуется устанавливать навигационное оборудование параллельного и автоматического вождения.

Таблица 5.3 – Технические характеристики Геоскан 401 Про

Характеристика	Величина, размерность
Продолжительность полета	до 60 мин
Макс. протяженность маршрута	15 км
Площадь съемки за 1 полет	до 0.5 км ²
Макс. допустимая скорость ветра	до 10 м/с
Скорость полета	0-50 км/ч
Макс. взлетная масса	9.5 кг
Макс. масса полезной нагрузки	2 кг
Размер в сложенном виде	71x20x19 см
Двигатели	электрические
Размер в полетном виде	156x156x56 см
Мин. безопасная высота полета	10 м
Макс. высота полёта	500 м
Температура эксплуатации	От -20 до +40 °С
Взлет/ посадка	вертикально

Мелиоративные каналы как элементы мелиоративных систем имеют довольно протяженные участки и определение объемов работ наземными средствами требует большого количества времени и затрат, в этом случае применение средств БПЛА упрощает работу мелиоративных хозяйств.

Российская компания «ЛАБСОЛЮТ» разработала и предлагает сельхозпроизводителям, а также мелиоводхозам относительно недорогое и достаточно простое в применении устройство «ГлоНАШ», позволяющий выполнять работы с точностью 20–30 см. (рис. 5.6 и 5.7).



Рисунок 5.6 – Уточнение координат и контуров полей с помощью БПЛА на территории Мичуринского сада РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева



Рисунок 5.7 – Уточнение координат и контуров полей с помощью БПЛА в полевых условиях

Навигационное оборудование устанавливается на мелиоративный каналочиститель, и, в зависимости от требуемой точности управление осуществляется механизатором вручную по показаниям метки на экране дисплея (курсоуказателя), либо с использованием специального дисплея [126, 179].

Компанией «ЛАБСОЛЮТ» также предлагается для использования система параллельного вождения AG LEADER COMPASS 6500 (рисунок 5.8). Использование такой системы становится особенно актуальным для достижения строгой прямолинейности очищаемого канала, и в особенности закрепленного дна осушительного канала.



Рисунок 5.8 – Навигационный комплект оборудования «ГлоНАШ» от компании «ЛАБСОЛЮТ»

Дисплей Compass 6500 (рис. 5.9) наиболее соответствует по требованиям выполнения очистительных работ, при реализации которых выполняется процесс параллельного визуального, полуавтоматического и полностью автоматического вождения каналочистительной машины. Система Compass – очень удобное и не сложное в применении устройство, вследствие эффективного для восприятия специалиста интерфейса и настройки навигации. Установить этот дисплей на каналочиститель или любую другую машину каналочистительного комплекса достаточно просто.

При этом устройство Compass оборудовано USB-входом, что позволяет сохранять треки движения и координаты мелиоративного канала на съемных носителях, а также при необходимости обновлять программное обеспечение системы.



Рисунок 5.9 – Оборудование для параллельного вождения AG LEADER COMPASS 6500

При выполнении каналоочистительных работ с двухчастотным приемником 6500 GPS/ГЛОНАСС предоставляется операционная возможность определения координат с точностью 15–20 см на бесплатном сигнале. При активации платных сервисов навигационной коррекции TerraStar C появляется возможность определения размеров очищаемых объектов каналов с точностью движения 4 см, в режиме и подключения референтной станции (РТК) с точностью движения – 2 см при установке к дисплею подруливающего устройства OnTrac или автопилота SteerCommand Ag Leader.

На основании представленных видов БПЛА можно утверждать:

1. Комплексное применение навигационных технологий в мелиоративном производстве, в частности при очистке мелиоративных каналов от наносов, заилений и растительности комплексами содержащими различные типы машин, а также автоматическое накопление и хранение данных в электронном виде, многофакторный анализ и визуализация собранных данных за несколько лет, позволяет упростить управление эксплуатации гидромелиоративных систем, помогает специалистам более эффективно планировать хозяйственную деятельность, достоверно оценивать текущую ситуацию и оперативно принимать необходимые технологические решения по корректировке ситуации на мелиоративных каналах.

2. Для условий содержания и очистки мелиоративных каналов от наносов, заилений и растительности как зон орошения, так и зон осушения могут применяться навигационные технологии на базе БПЛА вертолетного и самолетного типа; системы параллельного вождения каналоочистительных техники, установленные на различных машинах каналоочистительных комплексов, а также логистические системы мониторинга и управления потоками при транспортировке удаленных со дна и откосов каналов заилений и растительности к местам их утилизации.

5.2. Формирование оптимальных комплексов машин для очистки и восстановления мелиоративных каналов

Тот или иной процесс по очистке и восстановлению мелиоративных каналов можно выполнить с помощью мелиоративных машин [1, 2, 3], имеющих огромное число разнообразных типов, типоразмеров и параметров, благодаря чему можно сформировать еще большее число комплексов машин. Так, например, если мелиоративный процесс включает пять операций, где каждая из них может быть выполнена 4 различными машинами, то число комплексов машин для выполнения поставленных целей может составить до $N=4^5=1024$ вариаций. Пусть задан некий мелиоративный процесс, к примеру очистка канала. Этот процесс входит ряд операций: выемка наносов, удаление растительности, удаление наносов и растительности с откосов канала, удаление наносов и растительности с берм канала и транспортировка отходов к месту утилизации. Эти операции могут быть выполнены соответствующими машинами: каналоочиститель с ковшом на жестких направляющих, каналоокашивающая машина, мелиоративная косилка, экскаватор на базе пневмоколесного трактора с рабочим оборудованием обратная лопата и с бульдозерным отвалом. Известны затраты на выполнение каждой операции. Поскольку при выполнении смежных операций, машины влияют друг на друга (конструктивно и технологически), то затраты на выполнение операций могут быть различными. Также возможно, что одна универсальная машина может выполнять несколько операций технологического процесса, заменяя при этом две или три типа машин. В то

же время необходимо учитывать, что одна машина не может осуществить все виды работ технологического процесса [34, 184, 185, 186, 187]. Основной целью в таком случае становится определение такого комплекса машин, который обеспечит выполнение всего технологического процесса с минимальными затратами. Определение основных особенностей, взаимосвязей и количественных закономерностей зависит от логической последовательности выполнения операций. Для наглядности все возможные комплексы машин для очистки каналов представим в виде сетевого графа. Индексом I обозначим номер выполняемой операции, индексами J и K – машину, участвующую в выполнении той или иной операции. Возможна ситуация, когда машина может выполнять несколько операций, например ЭО, очистка канала и транспортировка отходов. Индекс I указывает номер операции, выполняемой данной машиной. Операция, выполняемая той или иной машиной, обозначается в виде стрелки на графе, над которой указана величина затрат $C(I,J,K)$ на выполнение 1-ой операции K -ой операции после выполнения $(I-I)$ – й операции J -й машиной, Машина, выполняющая ту или иную операцию, представляется в виде кружка (узла). Узел (I,L,J) в начале стрелки ассоциируется с машиной $(I-L, J)$, выполняющей предшествующую операцию, а узел в голове стрелки (I,K) ассоциируется с машиной $M(I,K)$, выполняющей текущую операцию 1-ю операцию. Узел также означает завершение одной или нескольких операции машиной и начало выполнения другой операции. Начальный $(0, 1)$ и конечный $(N, 1)$ кружки сетевого графа представляют собой фиктивные машины: $M(0,1)$ и $M(N, 1)$ (рис. 5.10).

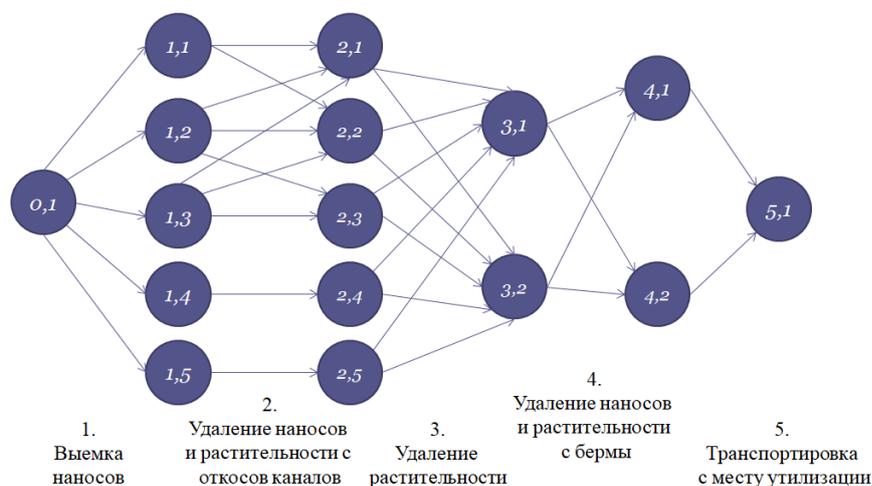


Рисунок 5.10 – Вариант сетевого графа применимого к созданию комплекса машин

Если определенная машина рассматриваемого комплекса при выполнении определенной операции не может по конструктивным, технологическим или другим причинам работать с предшествующей машиной, то соответствующая связь (стрелка) отсутствует на сетевом графе.

Представление всех возможных комплексов машин в виде сетевого графа обеспечивает наглядность и простоту формирования допустимого множества комплексов машин. При увеличении числа операций и числа возможных машин для выполнения заданного строительного процесса резко возрастает весь технологический процесс и соответствующий комплекс машин [219, 220].

При выборе оптимального комплекса из существующего множества машин использованием сетевого графа, наиболее наглядные результаты позволяет получать алгоритм Дейкстры. Это алгоритм на графах, впервые представленный голландским исследователем Эдсгером Дейкстрой в 1959 году. Алгоритм Дейкстры позволяет находить кратчайшие пути от одной из вершин графа до всех остальных.

В настоящей диссертационной работе предлагается использовать алгоритм Дейкстры с заменой идеи «нахождения кратчайшего пути от одной из вершин графа до всех остальных» на «выбор комплекса машин для выполнения технологической операции с минимальными затратами от одной из вершин графа до всех остальных». Алгоритм метода Дейкстры включает два основных этапа.

Определение для каждого узла минимальных суммарных затрат для частичного технологического процесса к концу. Для начального узла или фиктивной машины $M(0,1)$ минимальные затраты равны 0, $Y(0,1) = 0$. Для каждого следующего узла или машины $M(I, K)$ минимальные суммарные затраты определяются по формуле $Y(I,K) = \min[Y(I-1,J)+C(I,J,K)]$.

При этом числе сумм, из которых определяется минимальная, равно числу стрелок, входящий в данный узел (машину). Каждая сумма равна минимальным суммарным затратам в узле, из которого выходит стрелка, и затратам на операцию, соответствующую стрелке, входящей в рассматриваемый узел.

В узел (1,1) входит одна стрелка, следовательно, минимальные суммарные затраты составят: $Y(1,1) = Y(0,1) + C(1,1,1) = 0 + 46 = 46$. В узлах (1,2) и (1,3) минимальные суммарные затраты равны: (1,2) – 45, (1,3) – 35. В узел (2,1) входит уже три стрелки и для каждой из них определяются соответственные суммы, а из них минимальная.

$$Y(2,1) = \begin{cases} Y(1,1) + C(2,1,1) = 46 + 157 = 203 \\ Y(1,1) + C(2,2,1) = 48 + 155 = 203 \\ Y(1,1) + C(2,3,1) = 35 + 165 = 200 \end{cases}$$

Последняя сумма затрат является минимальной, следовательно, стрелку, которой соответствует минимальная сумма, отмечает штрихом. В узел (2,2) тоже входит три стрелки, для каждой из них определяются сумму и из них – минимальная.

$$Y(2,2) = \begin{cases} Y(1,1) + C(2,1,2) = 46 + 150 = 196 \\ Y(1,1) + C(2,2,2) = 48 + 150 = 195 \\ Y(1,1) + C(2,3,2) = 35 + 162 = 197 \end{cases}$$

Вторая сумма затрат минимальная, следовательно, эту стрелку отмечаем штрихом. Определение оптимального комплекса (машин) пути, обеспечивающего минимальные затраты для всего технологического процесса. Для этого в последнем фиктивном узле находят помеченную стрелку, входящую в этот узел – ее выделяют жирной линией. Затем находят узел, из которого вышла выделенная стрелка и метят его (обводят). Далее определяется и выделяется жирной линией помеченная строка, входящая в помеченный узел. Этот процесс продолжается до начала графа. Окончательно определяем оптимальный комплекс машин [295], в которая добавят следующие машины: $M(1,2) - M(2,3) - M(3,1) - M(4,1)$.

Представим данные энергетических затрат по операциям технологического процесса очистки каналов в виде сетевого графа.

После расчета всех энергетических затрат воспользуемся сетевым графом (рис. 5.11) для выявления оптимального (рационального) комплекса на основе ранее представленных базового и нового [239, 240].



Рисунок 5.11 – Сетевой граф базового и нового комплексов машин при доступности всех машин

Данный граф позволяет делать вывод о том, каким бы был комплекс, если бы все машины выпускались на данный момент или их можно было бы найти в состоянии максимально приближенный к заводским. При таких условиях можно обратить внимание, что предложенные машины для первой операции являются более энергетически затратными и выглядят на фоне базового комплекса более затратными. Однако, ДЗ-109Б и ДЗ-143 являются машинами, снятыми с производства, использование их для комплекса не представляется возможным. По этой причине, итоговый граф с учетом «доступности» к покупке машин будет выглядеть следующим образом (рис. 5.12).



Рисунок 5.12 - Итоговый сетевой граф базового и нового комплексов машин

Далее, данный граф будет расшифровываться диаграммой ниже (рис. 5.13).

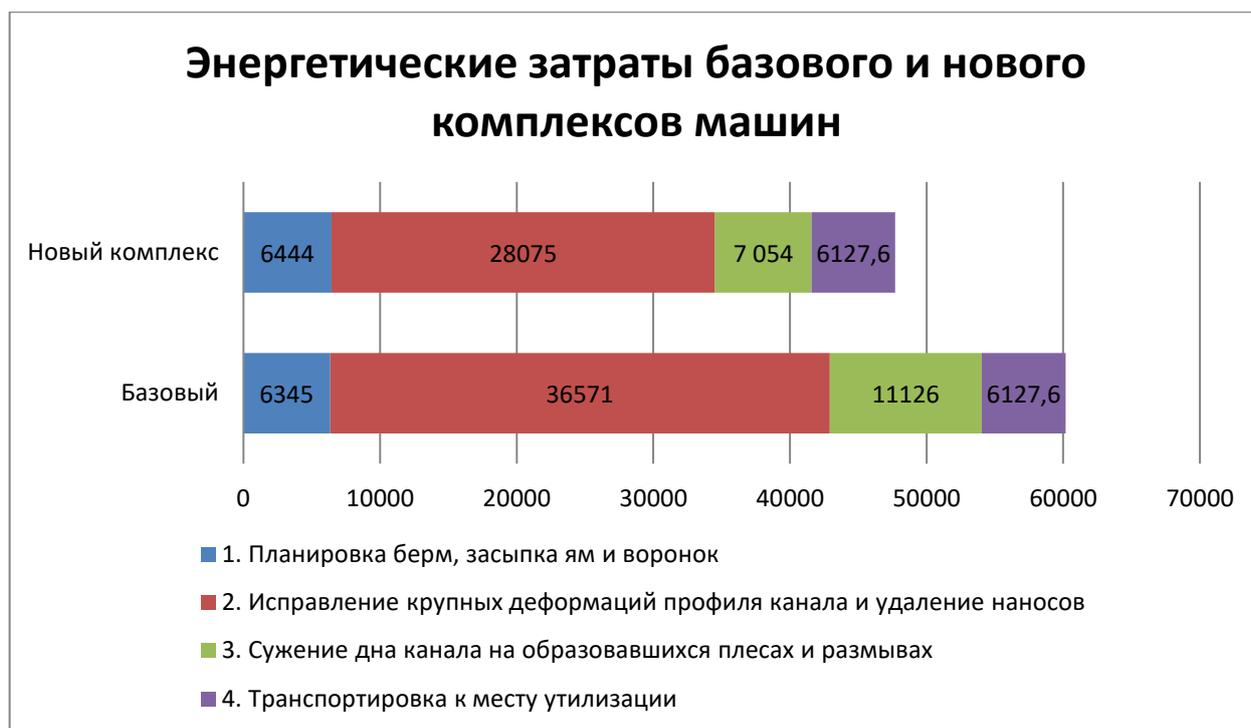


Рисунок 5.13 – Энергетические затраты базового и нового комплексов каналоочистителей

Одной из каналоочистительных машин, которые выпускаются, в настоящее время является очиститель каналов навесной ОКН-0,5. Эта машина вполне может быть использована в качестве ведущей машины комплекса, поскольку обладает высокими технико-эксплуатационными характеристиками и качеством проводимых очистных работ.

Наравне с каналоочистителем РР-303 она относится к машинам периодического действия, работающая позиционно. В дальнейшем в настоящей работе будут сравнены технико-эксплуатационные и технико-экономические характеристики каналоочистительных комплексов, ведущими машинами которых являются каналоочистители ОКН-0,5 и РР-303.

Выводы по пятой главе:

1. Представлено формирование технологии очистительных работ и обоснование оптимального состава комплекса машин по очистке и восстановлению мелиоративных каналов на основе состояния каналов и существующих машин для их

очистки. Проведен анализ существующих технологий очистительных работ на мелиоративных системах. Выполнен анализ состояния дел по выпуску машин представленных в Системе машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства в части мелиорации.

2. Выполнено формирование новой технологии очистительных работ на мелиоративных системах с применением технологий работы с БПЛА при производстве каналоочистительных работ, а также представлены дальнейшие перспективы использования БПЛА при очистке мелиоративных каналов.

3. Сформированы оптимальные комплексы машин для очистки и восстановления мелиоративных каналов, ведущими машинами которых являются каналоочистители ОКН-0,5 и РР-303М.

4. В случаях выбора наличия множества машин предлагается использовать алгоритм Дейкстры для выбора комплекса машин выполняющего технологические операции с минимальными затратами от одной из вершин графа до всех остальных.

ГЛАВА 6. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СФОРМИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ КАНАЛООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ЗОНЫ ОСУШЕНИЯ АПК

6.1. Экономическая оценка предложенных комплексов машин

Формирование комплексов машин и выбор оптимального варианта механизации каналочистительных работ, как правило, производится организациями, выполняющими ремонтно-восстановительные работы, при составлении проекта производства работ на восстанавливаемом объекте [232].

При формировании комплексов каналочистительных машин и выборе оптимального варианта использована методика, предложенная в книге «Расчеты экономической эффективности применения машин в строительстве» под общей редакцией доктора экономических наук, профессора С.Е. Канторера изданная в 1972 году [193]. Несмотря на довольно старый источник, на разные формы хозяйствования в аграрном и мелиоративно-строительном секторах и на виды экономики тогда и сейчас – эта методика наиболее подходит для проведения сравнительных расчетов и анализа комплексов машин по очистке и восстановлению мелиоративных каналов. В особых случаях при значительной сложности конструктивной схемы элементов мелиоративной системы или условий работ, а также при проектировании типовых объектов выбор вариантов, схем механизации и составление проекта производства механизированных работ осуществляется проектной организацией.

Отбор машин для выполнения механизированных операций и оценку выбранного варианта механизации очистных работ необходимо производить применительно к конкретным условиям мелиоративной организации или водохозяйственного предприятия, а в тех случаях, когда это невозможно (к примеру, при формировании типовых проектов), необходимо заблаговременно до начала работ осуществлять привязку принятых технических решений по производству механизированных работ к конкретным условиям мелиоративного хозяйства и протяженности каналов. При отборе машин и выборе варианта комплекса механизации очистных

работ вначале определяется перечень основных (ведущих в комплексе) машин, техническая область использования которых соответствует техническим характеристикам очищаемого мелиоративного канала. Далее определяется, какие из выбранных машин невозможно использовать по организационным причинам, в том числе в связи с невозможностью их своевременной доставки на объект, а также выполнения работ в запланированные сроки, в связи с затруднительностью размещения машин на существующем фронте работ и др.

В случае большого количества разновидностей типов ведущих машин, удовлетворяющих техническим и технологическим требованиям, на основе анализа дополнительных характеристик эффективности (удельные показатели веса, эксплуатационной массы, металлоемкости и мощности, эксплуатационной надежности и т.д.) выбираются машины, которые по данным характеристикам являются наилучшими. В определенных случаях характеристикой для предварительного отбора может быть принята величина сметной себестоимости машино-смены рассматриваемых машин. Здесь необходимо учитывать, что сметная себестоимость не будет соответствовать плановой себестоимости, которая увязана с конкретными условиями применения машины. В то же время некоторое представление о целесообразности применения и предварительной оценке той или иной ведущей машины можно получить и по сметной себестоимости машино-смены.

Если по ведущим машинам рассматриваемого перечня известна область эффективного их применения, то эти данные также могут быть использованы для предварительного отбора машин. К отобранным ведущим машинам комплекса формируется состав соответствующих комплексов машин и определяются варианты механизации каналочистительных работ, которые подлежат сравнительному технико-экономическому анализу и оценке. При выборе состава комплекса машин применительно к конкретным условиям мелиоративного хозяйства необходимо иметь подробные данные о составе парка машин по типам, моделям и количеству, также о техническом состоянии и степени изношенности машин [17, 18, 19, 20].

При сравнении вариантов комплексов машин в качестве наилучшего (оптимального) принимается вариант, позволяющий использовать наиболее распространенные машины и комплексы машин и обеспечивающий выполнение механизированных очистительных работ в сроки, которые согласованы со сроками ввода объекта в эксплуатацию после ремонтно-восстановительных работ или соответствуют нормам продолжительности ремонта. Для сравнительной оценки вариантов механизации для очистки и восстановления каналов используются такие показатели как: себестоимость и трудоемкость механизированных работ; стоимость используемых производственных фондов; продолжительность выполнения ремонтно-восстановительных работ. Использование последнего показателя особенно важно при сравнении вариантов комплексной механизации ведущих работ, темп выполнения которых определяет сроки сдачи объекта и ввода его в эксплуатацию.

Себестоимость механизированных работ на объекте с учетом общих накладных расходов и влияния на их величину изменения продолжительности работ определяется по формуле

$$C_0 = 1,08(E'_0 + \sum_{i=1}^n C_{M-ч_i} Ч_{M-ч_i}) + 1,5(E''_0 + P_0) - Э_n \quad (6.1)$$

где E'_0 - единовременные затраты по доставке машин на объект, их монтажу и демонтажу, устройству и разработке дорог, подводке при необходимости электроэнергии и др. без включения в их состав косвенных расходов, а также общих накладных расходов и без учета заработной платы; E''_0 - заработная плата в составе единовременных затрат; E''_i - себестоимость машино-часа i -той машины комплекта без учета единовременных затрат; $Ч_{M-ч_i}$ - числа машино-часов работы на объекте i -той машины комплекта; P_0 - заработная плата всех рабочих, участвующих в производстве работ, за исключением учтенной в себестоимости машино-часа и в единовременных затратах; 1,08 и 1,5 – коэффициенты общестроительных накладных расходов; $Э_n$ – экономия (перерасход) в накладных расходах, обеспечиваемая изменением продолжительности данного вида работ по сравнению с продолжительностью работ по эталонному варианту; если по рассматриваемому варианту механизации продолжительность работ больше чем по эталонному, то в накладных расходах будет перерасход и в формуле перед $Э_n$ ставится знак «плюс».

Себестоимость механизированных работ по очистке и восстановлению каналов при необходимости может быть определена на единицу работ с учетом при этом экономии (перерасхода) в накладных расходах, отнесенной к единице продукции. Если в результате снижения (увеличения) продолжительности механизированных работ сокращается (удлиняется) на определенный промежуток времени ремонта мелиоративного канала, то определяется экономия (перерасход) в накладных расходах по объекту в целом и одновременно экономический эффект (потери) в результате сближения (отдаления) сроков сдачи мелиоративного объекта в эксплуатацию. При снижении продолжительности ремонтных и восстановительных работ мелиоративного канала за счет внедрения эффективных вариантов механизации размер накладных расходов, определенный по объекту в процентах от прямых затрат, снижается за счет: уменьшения трудоемкости на человеко-день сэкономленных затрат; уменьшения фонда заработной платы в размере величины, сэкономленной в результате сокращения продолжительности заработной платы; уменьшения условно-постоянной части накладных расходов на величину $\Delta_{y-p.n}$, определяемую по формуле:

$$\Delta_{y-p.n} = C_{o.p} K_{z.m} K_{n.p} q_{y-p} \left(1 - \frac{T}{T_n} \right) \quad (6.2)$$

где $C_{o.p}$ - прямые затраты в составе сметной себестоимости объекта; $K_{z.m}$ - удельный вес в составе прямых затрат заработной платы и расходов на эксплуатацию машин; $K_{n.p}$ - коэффициент общих накладных расходов; q_{y-p} - удельный вес условно-постоянной части в составе общих накладных расходов, начисляемых на объект; T - продолжительность выполнения ремонтно-восстановительных работ фактическая или по проекту; T_n - нормативная продолжительность выполнения ремонтно-восстановительных работ.

В составе производственных фондов учитываются используемые в механизированном ремонтно-восстановительном процессе машины, оборудование, технологический транспорт, а также производственная база технической эксплуатации маши, включающая стационарные и передвижные ремонтные мастерские, топливо и маслозаправщики, средства для перебазирования машин и др. Производственные

фонды (машины, оборудование и др.), применяемые в процессе ремонта и восстановления мелиоративных каналов, учитываются по балансовой стоимости, а если она не известна, то по инвентарно-расчетной или рыночной. Если на балансе мелиоративного хозяйства числится несколько машин данной модели и при этом по разной балансовой стоимости, то в основу расчета принимается средняя балансовая стоимость этой модели. Если в рассматриваемых вариантах механизации очистных работ потребляемые фонды включаются через определенные периоды времени частями, то стоимость этих фондов должна приводиться к периоду начала выполнения механизированного процесса. С учетом приведения фондов к начальному периоду, размер приведенных затрат по объекту в целом может быть рассчитан по формуле:

$$П_{з.о} = C_0 + C_{ф.прив} T_0 E_n, \quad (6.3)$$

где C_0 – себестоимость ремонтно-очистительных работ на каналах; $C_{ф.прив}$ – стоимость фондов, приведенная к начальному периоду выполнения работ; T_0 – время в годах выполнения рассматриваемого вида механизированных работ на объекте.

Наиболее целесообразным – оптимальным является вариант, по которому приведенные затраты, рассчитанные применительно к объему механизированных работ на объекте, будут минимальными. Экономический эффект, обеспечиваемый выбранным вариантом комплекса механизации, определяется разностью приведенных затрат, рассчитанных на восстанавливаемый объект в целом, по эталонному $П_{з.о.э}$ и выбранному варианту $П_{з.о.н}$:

$$\mathcal{E}_{о.п} = П_{з.о.э} - П_{з.о.н} \quad (6.4)$$

Если в основу расчета экономического эффекта принимаются приведенные удельные затраты $П_{з.у}$, то в этом случае значение $\mathcal{E}_{о.п}$ определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{о.п} = П_0 (П_{з.у.э} - П_{з.у.н}) = П_0 [(C_{ед.э} + K_{уд.э} E_n) - (C_{ед.н} + K_{уд.н} E_n)], \quad (6.5)$$

где $П_{з.у.э}$; $П_{з.у.н}$ – приведенные удельные затраты соответственно по эталонному и новому варианту; $C_{ед.э}$; $C_{ед.н}$ – себестоимость единицы работ соответственно по эталонному и новому варианту; $K_{уд.э}$; $K_{уд.н}$ – удельные капитальные вложения (или стоимость произведенных фондов) соответственно по эталонному и новому вариантам; E_n – нормативный коэффициент эффективности ($E_n = 0,12$).

При сравнении вариантов комплексов организации механизированных работ на каналах с различной продолжительностью их выполнения в годах при разновременном включении в механизированный процесс производственных фондов расчет экономического эффекта производится по формуле:

$$\mathcal{E}_0 = \left(\sum_{t=1}^{T_1} \frac{C'_t}{(1+E_{н.п})^t} - \sum_{t=1}^{T_2} \frac{C''_t}{(1+E_{н.п})^t} \right) + E_H \left(\sum_{t=1}^{T_1} \frac{\Phi'_t}{(1+E_{н.п})^t} - \sum_{t=1}^{T_2} \frac{\Phi''_t}{(1+E_{н.п})^t} \right) \quad (6.6)$$

где C'_t и C''_t - себестоимость механизированных работ в t -ом году по эталонному варианту с общей длительностью работ T_1 лет и новому (выбранному) варианту с общей длительностью работ T_2 лет; Φ'_t - стоимость включаемых в производственный процесс за t -й год фондов соответственно по эталонному и новому варианту; Φ''_t - нормативный коэффициент приведения разновременных затрат, учитываемых в себестоимости и разновременно включаемых в процесс фондов по их стоимости; этот коэффициент принимается равным 0,08.

Кроме расчета экономического эффекта по приведенным затратам определяется экономия (перерасход) в себестоимости $\mathcal{E}_{0,с}$, в стоимости приведенных по времени к начальному периоду фондов $\mathcal{E}_{0,ф}$ и в трудоемкости $\mathcal{E}_{0,т}$.

Если при значительной экономии в трудоемкости по выбранному варианту себестоимость по этому варианту превышает себестоимость по эталонному варианту, необходимо проводить соизмерение по указанным вариантам себестоимости и трудоемкости. Для этого необходимо по вариантам определить расчетную стоимость механизированных работ на объекте $P_{ст.о}$ по формуле:

$$P_{ст.о} = C_0 + Z_0 K_{приб} \quad (6.7)$$

где Z_0 - заработная плата рабочих, участвующих в ремонтно-восстановительных работах на каналах; $K_{приб}$ - отношение стоимости прибавочного продукта, создаваемого трудом рабочих, к их заработной плате принимается равным 1,1.

Сопоставление расчетной стоимости по обоим вариантам показывает, какой из вариантов эффективнее. В аналогичных ситуациях целесообразно рассчитывать экономический эффект также по разности приведенных затрат, исчисленных по расчетной стоимости, а не по себестоимости. Приведенные затраты в этом случае применительно к мелиоративному объекту, определяется по формуле:

$$P_{з.о} = C_о + Z_о K_{приб} + C_{ф.о} E_n \quad (6.8)$$

где $C_{ф.о}$ - стоимость производственных фондов, используемых в ремонтно-восстановительных работах, приведенная к объему работ на объекте.

Формула для определения приведенных удельных затрат по расчетной стоимости имеет вид:

$$P'_{з.у} = C_{ед} + Z_{ед} K_{приб} + C_{ф.уд} E_n, \quad (6.9)$$

где $C_{ед}$ и $Z_{ед}$ - соответственно себестоимость и заработная плата рабочих, отнесенные к единице работ; $C_{ф.уд}$ - удельная стоимость фондов, определяемая путем деления балансовой стоимости производственных фондов на их годовую выработку в единицах конечной продукции механизированного процесса.

Если в результате применения нового варианта формирования комплекса для очистных работ достигается досрочное завершение и ввод в эксплуатацию мелиоративного канала, обеспечивающего всю мелиоративную систему, то определяется народно-хозяйственный эффект от досрочного ввода объекта в эксплуатацию по формуле:

$$\mathcal{E}_{н.х} = C_{ф} (T_n - T) E_n, \quad (6.10)$$

где $C_{ф}$ - сметная стоимость в руб., введенных в действие фондов (стоимость объекта); E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений для отрасли, к которой относится объект восстановления; T_n - нормативный срок проведения ремонтно-восстановительных работ мелиоративного канала в годах; T - фактический (проектный) срок строительства в годах.

При длительных сроках ремонтно-восстановительных работ канала необходимо при расчете народнохозяйственного эффекта от досрочного ввода объекта в эксплуатацию учитывать различие в размере приведенных к начальному периоду капитальных вложений. Расчет народнохозяйственного эффекта в этом случае по формуле:

$$\mathcal{E}_{н.х} = C_{ф} (T_n - T) E_n - \left[\sum_{j=1}^m \frac{K_j}{(1+E_{н.п})^{T_j}} - \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{(1+E_{н.п})^{T_i}} \right] \quad (6.11)$$

где K_i - капитальные вложения в течение i -го промежутка времени ($i=1, 2, \dots, n$), выраженного в годах по эталонному варианту с нормативной продолжительностью

ремонтно-восстановительных работ T_n ; K_j – то же, j -го промежутка времени ($j=1, 2, \dots, m$) по проектному (фактическому) варианту с продолжительностью ремонтно-восстановительных работ T ; T_i – время (годы) между начальным периодом затрат (момент приведения) и серединой отдаленного периода затрат ($T_i=0,5; 1,5; \dots; \frac{n+a}{2}$), исчисленное по эталонному варианту; здесь a – целое число, определенное из условия $a < n < a+1$; T_j – то же, по проектному (или фактическому) варианту ($T_j=0,5; 1,5; \dots; \frac{m+b}{2}$); здесь b – целое число, определенное из условия $b < m < b+1$;

E_n – норматив эффективности для приведения разновременных капитальных вложений, который принимается равным 0,08.

6.2. Выбор оптимального варианта комплекса машин для очистки и восстановления мелиоративного канала

Выбор оптимального комплекса выполнен на основе технико-эксплуатационных и технико-экономических характеристик каналочистителей.

Очистку от наносов и заилений мелиоративного осушительного канала III типоразмера глубиной до 3 м, шириной по дну от 0,4 до 0,8 м и заложением откосов от 1 : 1 до 1 : 1,75 можно производить с использованием различных комплексов машин [349, 350]. В качестве ведущих машин в комплексах применяются каналочиститель ОКН-0,5 на базе пневмоколесного трактора и каналочиститель с ковшом на жестких направляющих РР-303 на базе гусеничного трактора. В первом случае (вариант I) в комплекс, кроме каналочистителя ОКН-0,5 входят бульдозер ДЗ-42 для перемещения наносов, заилений и растительности, и прицепной грейдер СД-105 для планировки откосов канала, бермы и откосов кавальеров, кроме того, возможен ручной труд русловых ремонтников для зачистки и оправки дна канала. Во втором случае (вариант II) в комплекс, кроме ведущей машины – каналочистителя РР-303, входит бульдозер ДЗ-42 для перемещения наносов и заилений, вынутых из русла канала в проектные кавальеры. Специальной техники и ручного труда для

планировки откосов, и зачистки дна канала не требуется, так как эти операции выполняются ковшом трапецеидального профиля, который способен очищать не только дно, но и части откосов канала, прилежащих ко дну. Каналоочистительный комплекс формируется для очистки и восстановления участка магистрального канала осушительной сети длиной 3,1 км, глубиной до 3-х м, шириной по дну 0,4 м заложением откосов 1 :1. Средние удельные объемы ежегодных работ по удалению наносов чрезвычайно малы и составляют у большинства каналов от 0,02 до 0,10 м³ на 1 м длины. Это соответствует толщине стружки 5...15 см. Следует также отметить, что в длительном отсутствии операций по уходу эти значения могут приближаться к 0,25 особенно на участках стыковки каналов [323, 324, 325, 326, 328, 329].

В таблице 6.1 приведены исходные данные для расчета величин основных показателей по рассматриваемым вариантам комплексов машин по очистке мелиоративных каналов (<https://vgtz-traktor.ru>) [92, 103, 334, 335, 342, 351].

Таблица 6.1 – Исходные данные для расчета основных показателей комплексов

Исходные данные	Единица измерения	Каналоочиститель ОКН-0,5 (МТЗ-1221+р.о.)	Каналоочиститель РР-303 (ДТ-75+р.о.)	Бульдозер ДЗ-42 (ДТ-75+р.о.)	Грейдер прицепной СД-105 (тягач МТЗ-1221+р.о.)
Опгово-отпускная цена	руб.	4800000+1250000=6050000	2460000+1000000=3460000	2460000+600000=3060000	4800000+949200=5749000
Инвентарно-расчетная стоимость	руб.	6473500	3702200	3274200	6151430
Эксплуатационная среднечасовая выработка	м ³ /ч, м ² /ч	24 200	16 160	20	- 800
Число часов работы в году	ч	480 (2100)	480 (2100)	480 (2550)	480 (1700)
Эксплуатационная годовая выработка	м ³ , м ²	50400, -	33600, -	51000, -	- 1360000
Количество обслуживающего персонала	чел.	1	1	1	1
Единовременные затраты (монтаж, демонтаж машины и переброска на объекта)	руб.	125000	145000	130000	155000
Себестоимость машино-часа без учета единовременных затрат	руб.	1250, 6	1150,5	586,68	956,54
Трудоемкость машино-часа	чел.-час	1,35	1,37	1,35	1,37

Количество машино-часов работы машин на объекте ($Ч_{м-ч}$) определяется делением объема работ на объекте (Q_0) на эксплуатационную среднечасовую производительность ($П_{э.ср-ч}$): $Ч_{м-ч} = \frac{Q_0}{П_{э.ср-ч}}$. (6.12)

Общий объем работ по очистке мелиоративного канала на объекте определяется умножением проектного объема грунта (наносов и заилений) на одном погонном метре канала ($0,25 \text{ м}^3$) на протяженность канала в м (3100 м) $0,25 \cdot 3100 = 775 \text{ м}^3$.

Объемы работ, приходящихся на долю отдельных машин составят:

I вариант

- каналоочиститель ОКН-0,5 – 775 м^3 ;
- бульдозер ДЗ-42 на перемещение разработанных грунтов (наносов и заилений) – 775 м^3 ;
- грейдер СД-105 на планировке откосов. Объем планировочных работ, приходящийся на 1 погонный метр откосов канала $10,8 \text{ м}^2$, на 1 погонный метр кавальеров или бермы – $23,8 \text{ м}^2$, всего: $10,8 + 23,8 = 34,6 \text{ м}^2$.

Общий объем планировочных работ составит: $34,6 \cdot 3100 = 107260 \text{ м}^2$.

Зачистка дна вручную на тех участках составляет на 1 погонный метр канала $2,5 \text{ м}^2$. Общий объем ручных работ составит: $2,5 \cdot 3100 = 7750 \text{ м}^2$.

II вариант

- каналоочиститель РР-303 – 775 м^3 ;
- бульдозер ДЗ-42 перемещает $0,25 \text{ м}^3$ грунта на 1 погонный метр канала: на весь объем получится $0,25 \cdot 3100 = 775 \text{ м}^3$.

Полное количество машин, необходимое для выполнения объема работ по очистке канала от наносов и заилений в течение заданного срока определяют по формуле

$$n = \frac{Ч_{м-ч}}{Т_{год}} \quad (6.13)$$

где n – количество машин; $Ч_{м-ч}$ – число машино-часов на объекте; $Т_{год}$ – число часов работы машины в году.

В таблице 6.2 приведены результаты расчета требуемого количества машин по каждому варианту механизации очистных работ и единовременных затрат на доставку машин на мелиоративный объект, их монтаж и демонтаж.

Таблица 6.2 – Результаты расчета требуемого количества машин

Варианты механизации и комплексы машин	Объем работ на объекте		Эксплуатационная среднечасовая производительность	Количество машино-часов работы на объекте	Число часов работы в году	Потребное количество машин	Единовременные затраты в рублях	
	Единица измерения	Всего					на одну машину	на все машины
Вариант I (эталонный) Каналоочиститель ОКН-0,5	м ³	775 м ³	24	32,3	480 (2100)	1,61	125000	201250
Бульдозер ДЗ-42	м ³	775 м ³	20	38,75	480 (2550)	1,61	130000	209300
Грейдер СД-105	м ²	107260	250	429	480 (1700)	0,89	155000	137950
Вариант II (новый) Каналоочиститель РР-303	м ³	775 м ³	16	48	480 (2100)	0,1	145000	14500
Бульдозер ДЗ-42	м ³	775 м ³	20	38,75	480 (2550)	1,61	130000	209300

Кроме машин в варианте I потребуется применение труда русловых ремонтеров. Норма выработки руслового ремонтера 2-го разряда на зачистке дна и части откосов канала 12 м²/ч. При годовом фонде времени рабочего 1900 ч годовая выработка составит: 12 · 1900 = 22800 м². Для выполнения данного объема работ потребуется в среднем 7750/22800 = 0,34 рабочих – 1 рабочий.

Стоимость зачистки 1 м² площади канала вручную составит: 493/12 = 41 руб.

Себестоимость работ на объекте по каждому из вариантов определяем по формуле: $C_0 = (E_0 + \sum_{i=1}^n C_{M-ч_i} \cdot Ч_{M-ч_i}) K'_H + PK''_H$ (6.14)

I вариант (эталонный)

$$C_0 = [(201250 + 209300 + 137950) + (1256,6 \cdot 32,3 + 586,68 \cdot 38,75 + 956,54 \cdot 429)] 1,08 + (41 \cdot 7750) 1,5 = 1536696,9 \text{ руб.};$$

II вариант (новый)

$$C_0 = [(14500 + 209300) + (1150,5 \cdot 48 + 586,68 \cdot 38,75)] 1,08 = 307994,4 \text{ руб.};$$

Трудоёмкость работ составит:

I вариант (эталонный)

$$Z_{\text{тр}} = 32,3 \cdot 1,35 + 38,75 \cdot 1,35 + 429 \cdot 1,37 + 1900 \cdot \frac{3}{12} \cdot \frac{7750}{474} = 8449,94 \text{ чел.-час.};$$

II вариант (новый)

$$Z_{\text{тр}} = 48 \cdot 1,37 + 38,75 \cdot 1,35 = 118,07 \text{ чел.-час.}$$

Определяем приведенные затраты по рассматриваемым вариантам:

I вариант (эталонный)

$$P_{\text{з.г.э}} = 1536696,9 + (6473500 \cdot 1,61 + 3274200 \cdot 1,61 + 6151430 \cdot 0,89)0,12 = 1536696,9 + 21168569,7 \cdot 0,12 = 4076925,2 \text{ руб.};$$

II вариант (новый)

$$P_{\text{з.г.э}} = 307994,4 + (3702200 \cdot 0,1 + 3274200 \cdot 1,61)0,12 = 307994,4 + 5641682 \cdot 0,12 = 984996,24 \text{ руб.};$$

Годовой экономический эффект от применения варианта II с ведущей машиной – каналоочистителем РР-303 составляет:

$$Э_{\text{год}} = 4076925,2 - 984996,24 = 3091928,96 \text{ руб.}$$

Годовая экономия в себестоимости работ составляет:

$$Э_{\text{себ}} = 1536696,9 - 307994,4 = 1228702,5 \text{ руб.}$$

Экономия капитальных вложений

$$Э_{\text{кап}} = 21168569,7 - 5641682 = 15526887,7 \text{ руб.}$$

Годовая экономия в затратах труда составит:

$$Э_{\text{тр}} = 8449,94 - 118,07 = 8331,87 \text{ чел.-час.}$$

Выводы по шестой главе:

1. Дана экономическая оценка результатов исследований. Экономическая эффективность применения результатов исследований определена на основе сравнения двух оптимальных каналоочистительных комплексов, ведущими машинами которых являются каналоочиститель ОКН-0,5М и каналоочиститель РР-303М.

2. В результате расчетов определены: количество машино-часов работы машин на объекте; общий объем работ по очистке мелиоративного канала на объекте; объемы работ, приходящихся на долю отдельных машин в первого и второго комплексов; полное количество машин, необходимое для выполнения объема работ по очистке канала от наносов и заилений в течение заданного срока; стоимость зачистки единицы площади канала вручную, требуемое для незначительных участков канала недоступных для машин комплекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате литературно-патентного исследования установлено, что качественное функционирование каналов инженерно-осушительных систем связано с очисткой их дна и откосов на проектную глубину с соблюдением требуемого заложения и уклона, а также с обеспечением устойчивости откосов. Определены основные причины нарушения нормального функционирования мелиоративных каналов, в числе которых: заиления, наносы, травянистая и кустарниковая растительность в русле канала, нарушение устойчивости откосов и их деформация.

2. На основании теоретических исследований:

а) выявлены причины нарушения устойчивости откосов, возникновения оползневых явлений на откосах каналов и предложены способы обеспечения их устойчивости с разработкой и учетом поправочного $k_{\text{п}}$ и эксплуатационного $k_{\text{э}}$ коэффициентов, где $k_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий реальные условия состояния откоса с учетом влажности: $k_{\text{п}} = W \cdot k_{\text{пр}} \cdot k_{\text{э}} \cdot f_{\text{г}}$, где W – влажность грунта; $k_{\text{пр}}$ – коэффициент, зависящий от характеристики грунта, для связных грунтов $k_{\text{пр}} = 0,8 \dots 0,9$, для несвязных – $k_{\text{пр}} = 1,2 \dots 1,3$; $f_{\text{г}}$ – коэффициент трения грунта о грунт, $f_{\text{г}} = 0,5 \dots 1,0$; $k_{\text{э}}$ – коэффициент эксплуатации. Значения коэффициента эксплуатации определяются по эмпирической формуле: $k_{\text{э}} = k_{\text{вл}} \cdot k_{\text{пл}} \cdot k_{\text{кат}}$, где $k_{\text{вл}}$ – коэффициент, учитывающий наличие влаги между слоями грунта, $k_{\text{вл}} = 0,7 \dots 1,0$; $k_{\text{пл}}$ – коэффициент, учитывающий плотность грунта $k_{\text{пл}} = 0,7 \dots 1,0$; $k_{\text{кат}}$ – коэффициент, учитывающий категорию грунта, $k_{\text{кат}} = 0,7$ для I категории; $0,8$ – II. Обеспечение устойчивости откосов каналов заключается в соблюдении условия, при котором угол внутреннего трения грунта о грунт (граничных слоев грунта) будет больше угла наклона слоя грунта: $\beta < \varphi$. Приведенный угол трения грунта о грунт определяется в зависимости от типа грунта и его физико-механических свойств: $\varphi = \arctg f$, где f – коэффициент трения грунта о грунт.

б) определены теоретические (расчетные) значения тяговых сопротивлений при работе ковшей каналочистителя прямоугольного и трапецеидального профилей по формуле $P = P_{\text{коп}} + P_{\text{нап}} + P_{\text{приз}} + P_{\text{тр}}$. Для ковша каналочистителя РР-

303М прямоугольного профиля, предназначенного для очистки закрепленного канала теоретические (расчетные) значения тяговых сопротивлений при разработке грунтов (наносов) I категории и толщине стружки 0,1 м составляют 2800 Н., для ковша трапецеидального профиля значения теоретических тяговых сопротивлений при той же толщине стружки составляют 3500 Н.

3. Проведены экспериментальные исследования:

а) по определению устойчивости откосов каналов от распределенных нагрузок при заложении откосов от 70 до 90° и при влажности от 15 до 18%. Экспериментальные исследования подтверждают теоретические данные, проведенные с учетом поправочного $k_{\text{п}}$ и эксплуатационного $k_{\text{э}}$ коэффициентов, полученных на Большом грунтовом канале лаборатории кафедры ОТГМСР РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

б) по определению тяговых усилий при копании грунтов рабочими органами мелиоративных каналоочистителей. Средние значения тяговых усилий для моделей рабочих органов каналоочистителей по результатам экспериментальных исследований находятся в пределах от 0,1 до 0,15 кН. Пересчет средних значений тяговых усилий моделей на рабочие органы в натуральную величину по правилам теории физического моделирования позволил получить значения от 1,5 до 2,5 кН.

4. Сформированы технологии производства очистных работ каналов инженерно-осушительных систем на основе естественно-производственных условий и состояния мелиоративных каналов с применением каналоочистительных комплексов с ведущими машинами РР-303М и ОКН-0,5М, при которых производительность с высоким качеством очистных работ на каналах глубиной до 2,5 и протяженностью 1000 м на 30-40% выше по сравнению с работой каналоочистительных комплексов, представленных в Системе машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства.

5. На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны рациональные конструкции рабочих органов мелиоративных каналоочистителей для более эффективных очистных работ и рекомендации их выпуска в бли-

жайшие годы. На основе теоретических и экспериментальных исследований предложены новые конструкции ковшей каналоочистителей РР-303М и ОКН-0,5М, подтвержденные патентами на изобретение и на полезную модель (патенты на изобретения №2500858, №2578244; патенты на полезные модели №149228, №218348, №219569).

6. Обоснованы и предложены оптимальные (рациональные) по технико-эксплуатационным, технико-экономическим, а также по наименьшим энергетическим показателям комплексы каналоочистительных машин для восстановления канала осушительной сети, в состав которых входят каналоочиститель с ковшем на жестких направляющих, каналоокашивающая машина, мелиоративная косилка, экскаватор на базе пневмоколесного трактора с рабочим оборудованием обратная лопата и бульдозерным отвалом. На основании исследований предложены базы данных (№ 2024621209 «Мелиоративные каналоочистительные машины»; № 2024621207 «Формирование комплексов машин для очистки и восстановления мелиоративных каналов»). Расчеты показывают, что производительность данного комплекса на 15% больше, чем у комплекса с ведущей машиной поперечного копания. Кроме того, машина с прямолинейным движением ковша отличается высоким качеством очистки дна закрепленных каналов.

7. В работе обоснованы и предложены технологии использования БПЛА для исследования, оценки и контроля состояния осушительных каналов сельскохозяйственных полей на основе системы ГЛОНАСС. Для контроля качества проведения работ по очистке каналов рекомендуется использовать БПЛА и технологии искусственного интеллекта для выполнения следующих основных задач: уточнение координат, контуров и протяженности мелиоративных каналов и мелиорируемых площадей; нахождение и выделение участков каналов и мелиорируемых земель растительностью; нахождение участков мелиорируемых площадей, подверженных затоплению и водной эрозии; построение карт микрорельефа мелиоративных каналов; визуальное сопровождение выполнения технологических операций по очистке

каналов; мониторинг транспортных перевозок, например, в период удаления наносов, заилений и растительности из каналов; мониторинг состояния гидромелиоративных систем.

8. Результаты исследований опытных образцов рабочих органов мелиоративных каналоочистителей ОКН-0,5 и РР-303М внедрены в Ассоциации дилеров сельскохозяйственной техники «АСХОД», г. Москва; ООО «Научно-производственное объединение «Экар», г. Москва. Конструкции рабочих органов каналоочистителей для очистки каналов с учетом физических процессов обеспечения устойчивости откосов, внедрены в учебный процесс и используются при курсовом, выполнении ВКР студентами профилей подготовки «Механизация и автоматизация гидромелиоративных работ» и «Техника и технологии гидромелиоративных работ».

9. Расчет экономической эффективности внедрения предлагаемых комплексов для очистки мелиоративных каналов, выполненных на основе предварительной замены экономических составляющих энергетическими и последующего обратного пересчета показал наиболее эффективный из предлагаемых вариантов комплекс с ведущей машиной – каналоочистителем РР-303М с годовым экономическим эффектом 3091928,96 руб. Годовая экономия в себестоимости работ от применения варианта II с ведущей машиной – каналоочистителем РР-303М составляет: $\mathcal{E}_{\text{сб}}=1228702,5$ руб., экономия капитальных вложений $\mathcal{E}_{\text{кап}}=15526887,7$ руб., годовая экономия в затратах труда составляет: $\mathcal{E}_{\text{тр}}=8331,87$ чел.-час.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдразаков Ф.К. Формирование оптимального экскаваторного парка и определение его эффективности // Социально-экономические проблемы АПК: Сб. науч. работ; Саратов. гос. агр. ун-т им. Н. И. Вавилова. Саратов, 1998. – С.193-200.
2. Абдразаков Ф.К, Горюнов Д. Г. Оптимизация формирования парков машин и распределения техники по производственным объектам // Строительные и дорожные машины. 2002. №3. – С. 12–14.
3. Абдразаков Ф.К, Горюнов Д. Г. Разработка комплексной экономико-математической модели оптимизации парков машин мелиоративного производства // Экологические проблемы мелиорации: Материалы международной конференции. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, 2002. – С. 370–373.
4. Абдразаков Ф.К., Горюнов Д. Г. Формирование оптимального состава экскаваторного парка - залог стабильности хозяйства // Механизация строительства. 1998. №8. – С. 14–16.
5. Абдразаков, Ф. К. Взаимодействие с грунтом рабочих органов мелиоративных машин при очистке оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, А. В. Поваров // Научная жизнь. – 2015. – № 1. – С. 34–41.
6. Абдразаков, Ф. К. Интенсификация мелиоративного производства путем совершенствования технологий реконструкции и строительства оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников // Мелиорация и водное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 6–9.
7. Абдразаков, Ф. К. Исследование влияния эксплуатационных параметров высокоэффективных фронтальных фрез мелиоративных машин для оросительных каналов сельскохозяйственного назначения / Ф. К. Абдразаков, А. В. Поваров // Научная жизнь. – 2016. – № 3. – С. 6–17.
8. Абдразаков, Ф. К. Исследования и оценка технического состояния Комсомольской оросительной системы / Ф. К. Абдразаков, А. В. Носенко, А. В. Поморова // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 11. – С. 44–47.
9. Абдразаков, Ф. К. Как повысить эффективность оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, А. В. Поваров // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 4. – С. 19–22.
10. Абдразаков, Ф. К. Механизация очистки мелиоративных каналов и водоемов противопожарного назначения и экономическая оценка ее эффективности / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Д. Г. Горюнов // Механизация строительства. – 2015. – № 2(848). – С. 42–47.
11. Абдразаков, Ф. К. Определение оптимальных параметров процесса удаления грунта фрезерными рабочими органами при выполнении эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных каналах / Ф. К. Абдразаков, А. В. Поваров // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2016. – Т. 16, № 9. – С. 77–80.
12. Абдразаков, Ф. К. Оценка перспективы использования бетонного полотна в качестве облицовочного материала оросительных каналов / Ф. К. Абдраза-

ков, А. А. Рукавишников // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 4(60). – С. 327–339. – DOI 10.32786/2071–9485-2020-04-32.

13. Абдразаков, Ф. К. Полевые исследования машин для очистки мелиоративных каналов и водоемов противопожарного назначения от древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Д. Г. Горюнов, С. А. Анисимов // Аграрный научный журнал. – 2014. – № 12. – С. 51–55.

14. Абдразаков, Ф. К. Процесс взаимодействия фрезерных рабочих органов, оборудованных ножами криволинейной формы, с грунтом оросительных каналов при проведении эксплуатационно-ремонтных работ / Ф. К. Абдразаков, А. В. Поваров // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2015. – № 4(16). – С. 111–119.

15. Абдразаков, Ф. К. Пути развития мелиорации земель в Поволжье / Ф. К. Абдразаков, В. А. Щербаков, В. В. Соколов // Научная жизнь. – 2014. – № 2. – С. 84–99.

16. Абдразаков, Ф. К. Разработка адаптивных технологий эксплуатации оросительных каналов, покрытых бетонным полотном / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников, Э. Э. Сафин // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 11. – С. 4–8. – DOI 10.28983/asj.y2022i11pp4-8.

17. Абдразаков, Ф. К. Состояние оросительных каналов саратовского заволжья и пути повышения их эффективности / Ф. К. Абдразаков, К. И. Чуркина // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 4. – С. 68–70. – DOI 10.28983/asj.y2020i4pp68-70.

18. Абдразаков, Ф. К. Экономико-энергетическая оценка эффективности технологии и технических средств для очистки мелиоративных каналов и водоемов противопожарного назначения / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Д. Г. Горюнов, С. А. Анисимов // Аграрный научный журнал. – 2014. – № 9. – С. 31–35.

19. Абдразаков, Ф. К. Экономическая целесообразность проведения реконструкции мелиоративных систем / Ф. К. Абдразаков, А. В. Поморова, А. В. Носенко // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2017. – Т. 13, № 3. – С. 24–27.

20. Абдразаков, Ф. К. Экономическое обоснование инвестиционных проектов строительства, реконструкции или капитального ремонта объектов природопользования / Ф. К. Абдразаков, А. А. Ткачев, А. В. Поморова // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 5. – С. 65–68.

21. Абдразаков, Ф. К. Эффективный рабочий орган для очистки оросительных каналов от древесной растительности / Ф. К. Абдразаков, А. А. Хальметов // Научная жизнь. – 2015. – № 6. – С. 51–61.

22. Абдразаков, Ф. К. Исследования работы машин для очистки мелиоративных каналов и водоёмов противопожарного назначения от древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Д. Г. Горюнов, С. А. Анисимов // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 7. – С. 14–20.

23. Абдулмажидов, Х. А. Анализ напряженного состояния при разработке новых конструкций рабочего оборудования строительных и мелиоративных машин / Х. А. Абдулмажидов, В. И. Балабанов, Н. Б. Мартынова // Наука в центральной России. – 2021. – № 3(51). – С. 78–87. – DOI 10.35887/2305-2538-2021-3-78-87.

24. Абдулмажидов, Х. А. Аналитическая модель системы управления скоростью движения ковша каналоочистительной машины / Х. А. Абдулмажидов, Н. А. Мочунова // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 9. – С. 13–15.

25. Абдулмажидов, Х. А. Восстановление уплотненных почв с целью повышения их плодородия в зоне орошения / Х. А. Абдулмажидов, Н. К. Теловов // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сборник III Всероссийской (национальной) научной конференции, Новосибирск, 20 декабря 2018 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2018. – С. 539–542.

26. Абдулмажидов, Х. А. Выбор и обоснование комплексов машин для очистки осушительных каналов на основе мелиоративных требований / Х. А. Абдулмажидов // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: Материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 01 января – 30 2017 года / Под общей редакцией Ш. М. Мерданова. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. – С. 17–21.

27. Абдулмажидов, Х. А. Выбор и обоснование комплексов машин для очистки осушительных каналов на основе их технико-эксплуатационных показателей / Х. А. Абдулмажидов // Доклады ТСХА: Материалы международной научной конференции, Москва, 05–07 декабря 2017 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К. А. Тимирязева, 2018. – С. 67–69.

28. Абдулмажидов, Х. А. Выбор оптимального состава комплекса машин для очистки осушительного канала мелиоративной сети / Х. А. Абдулмажидов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 1(65). – С. 391–399. – DOI 10.32786/2071-9485-2022-01-38.

29. Абдулмажидов, Х. А. Выбор оптимальных комплексов машин для восстановления функционирования осушительных каналов мелиоративных систем / Х. А. Абдулмажидов // Аэкономика: экономика и сельское хозяйство. – 2017. – № 2(14). – С. 10.

30. Абдулмажидов, Х. А. Выбор основных параметров и оценка точности работы дренажной машины / Х. А. Абдулмажидов // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 43–6. – С. 5–7. – DOI 10.18411/lj-10-2018-124.

31. Абдулмажидов, Х. А. Зависимость производительности мелиоративного каналоочистителя с жесткими направляющими от возможностей сменных ковшовых рабочих органов / Х. А. Абдулмажидов // Овощи России. – 2022. – № 6. – С. 125–129. – DOI 10.18619/2072-9146-2022-6-125-129.

32. Абдулмажидов, Х. А. Использование каналоочистителей с различными рабочими органами для очистки дна каналов при двойном регулировании систем осушения / Х. А. Абдулмажидов // Техногенная и природная безопасность: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Саратов, 19–21 апреля 2017 года / Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2017. – С. 162–169.

33. Абдулмажидов, Х. А. Использование программы Inventor Pro при конструировании элементов машин природообустройства / Х. А. Абдулмажидов // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: Материалы Международной научно-практической конференции, Майский, 24 января 2018 года / – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина, 2018. – С. 3–7.
34. Абдулмажидов, Х. А. Использование теории графов при формировании оптимальных комплексов мелиоративных каналоочистительных машин / Х. А. Абдулмажидов, В. И. Балабанов, Н. Б. Мартынова // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12. – № 4. – DOI 10.31774/2712–9357-2022-12-4-169–185.
35. Абдулмажидов, Х. А. Исследование факторов, влияющих на устойчивость каналоочистителя с ковшом на жестких направляющих / Х. А. Абдулмажидов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2020. – № 1(95). – С. 35–40. – DOI 10.34677/1728–7936-2020-1-35-40.
36. Абдулмажидов, Х. А. Исследования прочности конструкций машин природообустройства при уточненном расчете с учетом колебаний температуры / Х. А. Абдулмажидов // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 45–7. – С. 35–38. – DOI 10.18411/lj-12-2018-155.
37. Абдулмажидов, Х. А. Комплексное применение каналоочистительных машин / Х. А. Абдулмажидов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2013. – № 3(59). – С. 28–32.
38. Абдулмажидов, Х. А. Комплексное проектирование и прочностные расчеты конструкций машин природообустройства в системе Inventor Pro / Х. А. Абдулмажидов, А. С. Матвеев // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2016. – № 2(72). – С. 40–46.
39. Абдулмажидов, Х. А. Комплектование машин для очистки осушительных каналов на основе их геометрических параметров / Х. А. Абдулмажидов // Агроинженерная наука XXI века: Научные труды региональной научно-практической конференции, Казань, 18 января 2018 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2018. – С. 4–8.
40. Абдулмажидов, Х. А. Конструирование и анализ напряжений деталей машин природообустройства в программе Inventor Pro / Х. А. Абдулмажидов // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 45–6. – С. 58–60. – DOI 10.18411/lj-12-2018-139.
41. Абдулмажидов, Х. А. Конструктивные особенности и расчет производительности каналоочистителя с ковшом на жесткой направляющей / Х. А. Абдулмажидов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2017. – № 2(78). – С. 21–25.

42. Абдулмажидов, Х. А. Конструкционные особенности каналов и технологические возможности каналоочистителя с ковшем на жесткой направляющей / Х. А. Абдулмажидов // Транспорт, логистика, природопользование - 2013: материалы Международной научно-практической конференции, Ереван, 24–25 октября 2013 года / – Ереван: Ассоциация Арменпак, 2013. – С. 99–106.

43. Абдулмажидов, Х. А. Мелиоративные системы как фактор повышения социально-экономической эффективности использования земельных ресурсов / Х. А. Абдулмажидов // Социально-экономическая эффективность использования земельных ресурсов в аграрной сфере экономики Республики Башкортостан: современное состояние и пути повышения: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Уфа, 26–27 октября 2018 года / Башкирский государственный аграрный университет. – Уфа: Издательство "Мир Печати", 2018. – С. 227–230.

44. Абдулмажидов, Х. А. Модернизация ковша каналоочистителя для удаления наносов из каналов осушительных систем / Х. А. Абдулмажидов // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: Материалы международной научной-технической конференции, Тюмень, 08 февраля 2019 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 12–16.

45. Абдулмажидов, Х. А. Модернизация ковша мелиоративного каналоочистителя / Х. А. Абдулмажидов // Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения, Майский, 19 ноября 2018 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина, 2018. – С. 27–31.

46. Абдулмажидов, Х. А. Обоснование выбора оптимальных технологических комплексов машин для очистки осушительных каналов мелиоративных систем. Обзор / Х. А. Абдулмажидов // Агрэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях биологизации и экологизации сельскохозяйственного производства: Москва, 24–25 октября 2018 года / Под редакцией В. Г. Сычева. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, 2018. – С. 4–6.

47. Абдулмажидов, Х. А. Обоснование геометрических параметров ковшей каналоочистителя / Х. А. Абдулмажидов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2013. – № 2(58). – С. 30–33.

48. Абдулмажидов, Х. А. Обоснование основных параметров и режимов работы ковшовых каналоочистительных машин для зоны осушения: специальность 05.20.04: дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.04 / Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович. – Москва, 2000. – 153 с.

49. Абдулмажидов, Х. А. Обработка данных экспериментальных исследований модели ковша каналоочистителя / Х. А. Абдулмажидов, Н. К. Теловов // Логистика, транспорт, природообустройство - 2014: Материалы международной научно-практической конференции, Ереван, 29–30 сентября 2014 года. – Ереван: Ассоциация "АРМЕНПАК", 2014. – С. 95–102.

50. Абдулмажидов, Х. А. Оградительная защитная дамба в Саясане / Х. А. Абдулмажидов // Мелиорация земель - неотъемлемая часть восстановления и раз-

вития АПК Нечерноземной зоны Российской Федерации: Материалы международной научно-практической конференции, Москва, 24–25 октября 2018 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2019. – С. 364–367.

51. Абдулмажидов, Х. А. Оползневые явления и строительство защитных сооружений в Саясане / Х. А. Абдулмажидов // Доклады ТСХА: Сборник статей, Москва, 06–08 декабря 2018 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К. А. Тимирязева, 2019. – С. 66–70.

52. Абдулмажидов, Х. А. Определение тяговых сопротивлений при работе ковша мелиоративного каналоочистителя / Х. А. Абдулмажидов // Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах, Барнаул, 07–08 февраля 2019 года. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2019. – С. 5–6.

53. Абдулмажидов, Х. А. Основные задачи и последовательность расчета баланса мощности мелиоративных машин / Х. А. Абдулмажидов // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 42–3. – С. 41–43. – DOI 10.18411/lj-09-2018-54.

54. Абдулмажидов, Х. А. Особенности конструкции и технологии работы каналоочистителя РР-303 / Х. А. Абдулмажидов // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды: Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 23–24 января 2019 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью Издательство «КУБиК», 2019. – С. 328–332.

55. Абдулмажидов, Х. А. Особенности конструкции рабочего оборудования мелиоративного каналоочистителя РР-303 / Х. А. Абдулмажидов, Р. А. Абдулмажидов // Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах, Барнаул, 07–08 февраля 2019 года. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2019. – С. 3–4.

56. Абдулмажидов, Х. А. Особенности конструкции рабочего оборудования мелиоративного каналоочистителя РР-303 / Х. А. Абдулмажидов // Энергосбережение и энергоэффективность: проблемы и решения: Сборник научных трудов IX Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Нальчик, 22–23 декабря 2020 года. – Нальчик: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова", 2020. – С. 221–225.

57. Абдулмажидов, Х. А. Особенности типоразмеров осушительных каналов и технологические возможности каналоочистителя с ковшом на жесткой направляющей / Х. А. Абдулмажидов // Аэкономика: экономика и сельское хозяйство. – 2017. – № 4(16). – С. 3.

58. Абдулмажидов, Х. А. Оценка эффективности работы дождевальных машин / Х. А. Абдулмажидов, Р. А. Абдулмажидов, В. И. Поддубный // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 44–5. – С. 34–36. – DOI 10.18411/lj-11-2018-119.

59. Абдулмажидов, Х. А. Очистка каналов мелиоративных систем с помощью машин с различными видами сменного рабочего оборудования / Х. А. Абдулмажидов // Овощи России. – 2023. – № 2. – С. 91–96. – DOI 10.18619/2072–9146-2023-2-91-96.

60. Абдулмажидов, Х. А. Очистка мелиоративных каналов от наносов, заилений и растительности / Х. А. Абдулмажидов, М. А. Карапетян // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2016. – № 5(75). – С. 13–17.

61. Абдулмажидов, Х. А. Очистка осушительных каналов от наносов / Х. А. Абдулмажидов // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: Материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 12 февраля 2015 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2015. – С. 18–24.

62. Абдулмажидов, Х. А. Применение каналоочистителей с различными рабочими органами для очистки дна каналов осушительной сети / Х. А. Абдулмажидов, Н. К. Теловов // Комплексные мелиорации - средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель: Материалы юбилейной международной научно-практической конференции, Москва, 26–27 ноября 2014 года / Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова». – Москва: ФГБНУ ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова, 2014. – С. 264–269.

63. Абдулмажидов, Х. А. Применение комплексов машин для очистки осушительных каналов / Х. А. Абдулмажидов // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: Материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 01 февраля 2018 года / Ответственный редактор Ш.М. Мерданов. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 17–21.

64. Абдулмажидов, Х. А. Принципы оптимизации состава комплекса машин для очистки и восстановления мелиоративных каналов / Х. А. Абдулмажидов // Овощи России. – 2022. – № 3. – С. 94–97. – DOI 10.18619/2072–9146-2022-3-94-97.

65. Абдулмажидов, Х. А. Проблемы, возникающие при оценке соответствия рабочих органов каналоочистителей требованиям по содержанию мелиоративного канала / Х. А. Абдулмажидов // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 42–3. – С. 45–48. – DOI 10.18411/lj-09-2018-56.

66. Абдулмажидов, Х. А. Проектирование и расчет вала в программе Inventor Pro / Х. А. Абдулмажидов, А. С. Матвеев, Р. А. Абдулмажидов // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 45–8. – С. 5-8. – DOI 10.18411/lj-12-2018-165.

67. Абдулмажидов, Х. А. Проектирование элементов машин природообустройства в программе Inventor Pro / Х. А. Абдулмажидов // Развитие социального и научно-технического потенциала общества: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Москва, 15 января 2018 года. – Москва: ООО "ИМПУЛЬС", 2018. – С. 869–875.

68. Абдулмажидов, Х. А. Разработка и уточненный прочностной расчет элементов строительных машин в программе Inventor Pro / Х. А. Абдулмажидов // Доклады ТСХА, Москва, 06–08 декабря 2018 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К. А. Тимирязева, 2019. – С. 110–114.
69. Абдулмажидов, Х. А. Расчет элементов машин природообустройства на прочность в программе Inventor Pro / Х. А. Абдулмажидов, Р. А. Абдулмажидов // Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию первого выпуска технологов сельскохозяйственного производства, Чебоксары, 15 ноября 2018 года. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. – С. 385–390.
70. Абдулмажидов, Х. А. Современные представления о взаимодействии рабочих органов мелиоративных машин с обрабатываемой средой / Х. А. Абдулмажидов // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 42–5. – С. 20–23. – DOI 10.18411/lj-09-2018-90.
71. Абдулмажидов, Х. А. Сравнительные характеристики каналоочистителей с пассивными и активными рабочими органами / Х. А. Абдулмажидов // Проблемы комплексного обустройства техноприродных систем: Материалы международной научно-практической конференции, Москва, 16–18 апреля 2013 года. – Москва: ФГБОУ ВПО "МГУП", 2013. – С. 13–23.
72. Абдулмажидов, Х. А. Статический расчет каналоочистителя PP-303 / Х. А. Абдулмажидов // Актуальные вопросы в науке и практике: Сборник статей по материалам V международной научно-практической конференции: В 4 частях, Самара, 01 февраля 2018 года / Ответственный редактор: Халиков А.Р. – Самара: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2018. – С. 158–163.
73. Абдулмажидов, Х. А. Технологические характеристики каналоочистителей для зоны осушения / Х. А. Абдулмажидов, С. К. Тойгамбаев // Тенденции развития науки и образования. – 2019. – № 55–1. – С. 5–10. – DOI 10.18411/lj-10-2019-01.
74. Абдулмажидов, Х. А. Уточненные прочностные расчеты рабочих органов машин природообустройства в системе Inventor Pro / Х. А. Абдулмажидов, А. С. Матвеев // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 3. – С. 7–14.
75. Абдулмажидов, Х. А. Уточненные прочностные расчеты элементов мелиоративных машин / Х. А. Абдулмажидов // Актуальные вопросы экономики и агробизнеса: Сборник трудов XII международной научно-практической конференции, Брянск, 25–26 марта 2021 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2021. – С. 595–600.
76. Абдулмажидов, Х. А. Уточненный прочностной расчет конструкций рабочего оборудования мелиоративных машин в системе Inventor Pro / Х. А. Абдулмажидов // Доклады ТСХА: Сборник статей. Выпуск 293, Москва, 02–04 декабря 2020 года. – Москва: РГАУ, 2021. – С. 213–216.
77. Абдулмажидов, Х. А. Уточненный прочностной расчет элементов машин методом конечных элементов в системе Inventor Pro / Х. А. Абдулмажидов //

Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 39–3. – С. 27–30. – DOI 10.18411/lj-06-2018-43.

78. Абдулмажидов, Х. А. Формирование комплексов машин для очистки мелиоративных каналов / Х. А. Абдулмажидов, Р. А. Абдулмажидов, А. М. Гераев // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 68–3. – С. 35–37. – DOI 10.18411/lj-12-2020-104.

79. Абдулмажидов, Х. А. Формирование оптимального состава комплекса машин на основе требований по содержанию мелиоративных каналов и технико-эксплуатационных показателей каналоочистителя / Х. А. Абдулмажидов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы IV международной научно-практической конференции, Саратов, 29–30 мая 2018 года. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова, 2018. – С. 34–37.

80. Абдулмажидов, Х. А. Характеристики и состояние каналов осушительных систем, требующих применения комплексов каналоочистительных машин / Х. А. Абдулмажидов // Доклады ТСХА: Сборник статей, Москва, 01 января – 2015 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К. А. Тимирязева, 2016. – С. 242–246.

81. Абдулмажидов, Х. А. Характеристики изменения размеров осушительных каналов / Х. А. Абдулмажидов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2013. – № 1(57). – С. 54–57.

82. Абдулмажидов, Х. А. Экспериментальные исследования нового рабочего органа каналоочистителя РР-303 / Х. А. Абдулмажидов // Доклады ТСХА, Москва, 02–04 декабря 2014 года. – Москва: Грин Эра 2, 2015. – С. 146–150.

83. Абдулмажидов, Х. А. Экспериментальные исследования работы модели ковша каналоочистителя / Х. А. Абдулмажидов // Логистика, транспорт, природообустройство - 2014: Материалы международной научно-практической конференции, Ереван, 29–30 сентября 2014 года. – Ереван: Ассоциация "АРМЕНПАК", 2014. – С. 89–95.

84. Агротехническая и энергетическая оценка машин для нарезки гряд и гребней / А. И. Панов, Н. В. Алдошин, В. И. Пляка, М. А. Мехедов // Агроинженерия. – 2020. – № 5(99). – С. 4–9. – DOI 10.26897/2687-1149-2020-5-4-9.

85. Алдошин, Н. В. Выбор стратегий качественного выполнения механизированных работ / Н. В. Алдошин, Р. Н. Дидманидзе // Международный технико-экономический журнал. – 2013. – № 5. – С. 67–70.

86. 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(47). – С. 68–73. – DOI 10.36508/RSATU.2020.22.33.012.

87. Алдошин, Н. В. Совершенствование конструкции сегментно-пальцевых режущих аппаратов / Н. В. Алдошин, А. А. Золотов, Н. А. Лылин // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 6(73). – С. 46–53.

88. Алдошин, Н. В. Совершенствование конструкции фрезерной машины для нарезки гряд / Н. В. Алдошин, А. И. Панов, М. А. Мехедов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2019. – № 1(89). – С. 15–19.

89. Алхамад Алхадж. Драй, А. Результаты оптимизации уборочно-транспортного комплекса по уборке хлопка в условиях Сирийской Арабской Республики / А. Алхамад Алхадж Драй, Н. А. Майстренко, В. И. Балабанов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2018. – № 1(83). – С. 48–51. – DOI 10.26897/1728–7936-2018-1-48-51.

90. Амашукели, С. А. О правовом режиме каналов как водных объектов и гидротехнических сооружений / С. А. Амашукели // Хозяйство и право. – 2022. – № 10(549). – С. 67–79. – DOI 10.18572/0134-2398-2022-10-67-79

91. Аналитический обзор машин для очистки профиля дна мелиоративных каналов от наносов и сорной растительности [Каналоочистительные машины, применяемые в Белоруссии]. Басаревский А.Н., Кравченко К.А. // Науч.-техн. прогресс в с.-х. пр-ве / Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сел. хоз-ва.-Минск, 2014.-Т. 1.-С. 80–86. - Библиогр.: с.86. Шифр 15-3378 // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2015. – No. 3. – Р. 697.

92. Андриянов В. Е. Оптимизация состава МТП в типичных хозяйствах зоны орошаемого земледелия Казахской ССР // Труды КазНИИМЭСХа. Т.7. 1976. с. 45–49.

93. Анисимов, С.А. Конструктивно-технологическая схема устройства для угнетения пней на оросительных каналах / С. А. Анисимов, Д. Г. Горюнов, Д. А. Соловьев // Сельскохозяйственные науки: от вопросов к решениям: Сб. науч. трудов по итогам международной научно-практической конференции. - Томск, 2016. №1 - С. 10–15.

94. Анисимов, С.А. Устройство инъекционного типа для локального угнетения пней на бермах и откосах оросительных каналов / С. А. Анисимов, Д. Г. Горюнов, Д. А. Соловьев // Сельскохозяйственные науки: от вопросов к решениям: Сб. науч. трудов по итогам международной научно-практической конференции. - Томск, 2016. №1 - С. 15–20.

95. Анненкова О. С. Интенсификация использования землеройных машин в строительстве // Строительные и дорожные машины. 1994. №2. С. 23–24.

96. Аношкин, А. В. Современное экологическое состояние пойменно-русловых комплексов в районах осушительной сельскохозяйственной мелиорации / А. В. Аношкин // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. – 2015. – № 4. – С. 426–428.

97. Антонов, И. В. Оценка пропускной способности мелиоративных каналов с применением гистехнологий / И. В. Антонов, В. И. Конотоп // Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии : Материалы Всероссийской (национальной) конференции, посвященная

90-летию гидромелиоративного факультета ОмСХИ (факультета водохозяйственного строительства ОмГАУ), 55-летию факультета агрохимии и почвоведения, 105-летию профессора, доктора географических наук, заслуженного деятеля науки РСФСР Мезенцева Варфоломея Семеновича, Омск, 18 апреля 2019 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2019. – С. 434–441.

98. Апатенко, А. С. Комплектование парка машин для обводнения торфяников с учетом неплановых отказов / А. С. Апатенко // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 12. – С. 36–38.

99. Апатенко, А. С. Комплектование технологических комплексов машин с учетом их надежности при импортозамещении / А. С. Апатенко // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2015. – № 3(67). – С. 39–44.

100. Апатенко, А. С. Повышение эффективности эксплуатации машин мелиоративного комплекса / А. С. Апатенко, Н. И. Владимирова // Техника и оборудование для села. – 2014. – № 3. – С. 38–40.

101. Апатенко, А. С. Совершенствование системы технической эксплуатации при импортозамещении машин для выполнения мелиоративных работ / А. С. Апатенко // Природообустройство. – 2015. – № 2. – С. 74–77.

102. Аппаратные средства нивелирования при разработке и очистке мелиоративных каналов / А. В. Миронов, А. С. Апатенко, Н. С. Севрюгина, О. А. Ступин // Агроинженерия. – 2021. – № 5(105). – С. 36–41. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-5-36-41.

103. Аскарходжаев Т.И., Каримов Н.А. Формирование средств механизации при ремонтно-эксплуатационных работах на оросительных системах. / Перспективные технологии строительства и эксплуатации мелиоративных систем: сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. М.: Агропромиздат, 1990. – С. 160–163.

104. Афанасий, Л. К вопросу заиления и очистки каналов мелиоративных систем / Л. Афанасий, У. Тохир, С. У. Алланиязов // Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, с. Соленое Займище, 21–22 мая 2020 года. – с. Соленое Займище: ФГБНУ "Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук", 2020. – С. 636–639. – DOI 10.26150/PAFNC.2019.45.557-21-636-639.

105. Балабанов, В. И. Изобретательская деятельность Инжинирингового центра Тимирязевской академии / В. И. Балабанов // Российский форум изыскателей: Сборник докладов III Международной научно-практической конференции, Москва, 21–22 октября 2021 года. – Москва: «КДУ», «Добросвет», 2022. – С. 121–124.

106. Балабанов, В. И. Оценка неравномерности глубины рыхления мелиорируемых земель рабочим органом мелиоративного рыхлителя / В. И. Балабанов, Ю. П. Леонтьев, А. А. Макаров // Агроинженерия. – 2021. – № 6(106). – С. 20–25. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-6-20-25.

107. Балабанов, В. И. Разработка роботизированного комплекса для растениеводства / В. И. Балабанов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2017. – № 6(82). – С. 52–55.

108. Балабанов, В. И. Расчет параметров контура увлажнения при капельном поливе картофеля / В. И. Балабанов, Н. Б. Мартынова, Х. А. Абдулмажидов // Природообустройство. – 2022. – № 2. – С. 41–47. – DOI 10.26897/1997–6011-2022-2-41-47.

109. Балабанов, В. И. Этапы развития беспилотных систем в сельском хозяйстве / В. И. Балабанов // Доклады ТСХА, Москва, 03–05 декабря 2019 года. Том Выпуск 292, Часть II. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К. А. Тимирязева, 2020. – С. 19–21.

110. Балашов А.В. Обоснование состава и структуры МТП в крестьянских хозяйствах растениеводческого направления. Дисс. канд. техн. наук. Тамбов, 1996. 210 с.

111. Балун, О. В. Влияние конструкции открытого дренажа на уровень грунтовых вод тяжелых почв Новгородской области / О. В. Балун, В. А. Яковлева // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 51. – С. 108–113.

112. Банди Б. Основы линейного программирования. М.: Радио и связь, 1989. 176 с.

113. Барсов А.С. Линейное программирование в технико-экономических задачах. М.: Наука, 1964. 278 с.

114. Барсов И.П. Строительные машины и оборудование. М.: Стройиздат, 1986, 511 с.

115. Барсов И.П., Станковский А.П. Строительные машины и их эксплуатация. М.: Стройиздат, 1971. 367 с.

116. Басаревский, А. Н. Аналитический обзор машин для очистки профиля дна мелиоративных каналов от наносов и сорной растительности / А. Н. Басаревский, К. А. Кравчинин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-технической конференции: в 3 т., Минск, 22–23 октября 2014 года. Том 1. – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2014. – С. 80–86.

117. Басаревский, А. Н. Аналитический обзор рабочих органов активного типа планировщика-рыхлителя для откосов мелиоративных каналов / А. Н. Басаревский, И. Е. Мажугин // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». Том Выпуск 51. – Минск: Беларуская навука, 2018. – С. 34–39.

118. Басаревский, А. Н. Модернизация конструкции ножей ротационного рабочего органа каналоочистителя / А. Н. Басаревский, К. А. Кравчинин // Разра-

ботка инновационных технологий и технических средств для АПК : Сборник научных трудов заочной Международной научно-практической конференции, Зерноград, 18–19 мая 2016 года / Федеральное агентство научных организаций; Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства" (ФГБНУ СКНИИМЭСХ). – Зерноград: Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, 2016. – С. 30–34.

119. Басаревский, А. Н. Перспективные конструкции ножей ротационного рабочего органа каналочистителя / А. Н. Басаревский, К. А. Кравчинин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Аграрная наука - сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии: материалы Международной научно-технической конференции. В 2 томах, Минск, 19–21 октября 2016 года. Том 1. – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2016. – С. 137–141.

120. Баширов Р.М. Обоснование оптимального состава МТП и плана использования агрегатов. Учебное пособие. Ульяновск: Ульяновский СХИ, 1990.80 с.

121. Бедретдинов, Г. Х. Технологии восстановления осушительных каналов с утилизацией растительности и наносов / Г. Х. Бедретдинов // Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства в России: Материалы международной научно-практической конференции (Костяковские чтения), Москва, 20–21 марта 2013 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, 2013. – С. 125–131.

122. Бедретдинов, Г. Х. Технологии восстановления осушительных каналов и укладки дренажа узкотраншейным способом / Г. Х. Бедретдинов // Основные результаты научных исследований института за 2017 год: Сборник научных трудов. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2018. – С. 3–12.

123. Безбородов, А. Г. Государственное регулирование в области мелиорации земель сельскохозяйственного назначения / А. Г. Безбородов, Ю. Г. Безбородов. – Москва: ФГБОУ ДПО РАКО АПК, 2022. – 202 с. – ISBN 978-5-93098-114-8.

124. Безрук В.М. Геология и грунтоведение. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Недра. 1984. - 224С.

125. Беркман И.Л., Раннев А.В., Рейш А.К. Универсальные одноковшовые экскаваторы. М.: Высшая школа, 1981. 304 с.

126. Беспилотные машины и их применение в сельском хозяйстве / В. И. Балабанов, В. В. Елесеев, П. Д. Солдатов [и др.] // Наука в центральной России. – 2020. – № 3(45). – С. 31–40. – DOI 10.35887/2305–2538-2020-3-31-40.

127. Бирюков Н. С., Казарновский В.Д., Мотылев Ю. Л. Методическое пособие по определению физико-механических свойств грунтов. М.: Недра.1975. с.

128. Борычев, С. Н. Повышение эффективности работы осушительных систем при мелиорации переувлажненных почв нечерноземной зоны РФ / С. Н. Борычев, А. С. Штучкина, О. П. Гаврилина // Вестник Рязанского государственного

агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2019. – № 2(42). – С. 65–68.

129. Борычев, С. Н. Повышение эффективности работы осушительных систем при мелиорации переувлажненных почв нечерноземной зоны РФ / С. Н. Борычев, А. С. Штучкина, О. П. Гаврилина // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2019. – № 2(42). – С. 65–68.

130. Бурштейн К. М. Динамическое программирование в планировании. М.: Экономика, 1968. 127 с.

131. Вадюнина А.Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат. 1961. - 346 с.

132. Ванюшин, П. Н. Состояние и проблемы использования мелиорированных земель Рязанской области / П. Н. Ванюшин // Мелиорация земель - неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечерноземной зоны Российской Федерации: Материалы международной научно-практической конференции, Москва, 24–25 октября 2018 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2019. – С. 57–63.

133. Васильев, В. В. Оптимизация использования ресурсов при эксплуатации мелиоративных систем / В. В. Васильев, О. А. Шавлинский // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 151–158.

134. Веденяпин Г. В., Киртбая Ю.К., Сергеев М. П. Эксплуатация машино-тракторного парка. М.: Сельхозиздат, 1963. 431 с.

135. Вердиев, А. А. Методика прогнозирования доверительного интервала по водопрпускной способности каналов на этапе проектирования / А. А. Вердиев // Бюллетень науки и практики. – 2022. – Т. 8, № 12. – С. 372–381. – DOI 10.33619/2414–2948/85/44.

136. Власов, М. В. Расчет нормативных затрат на эксплуатацию осушительных систем / М. В. Власов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 32–39.

137. Влияние крепления откосов на пропускную способность каналов / А. С. Сасиков, А. Б. Балкизов, В. А. Балкизов, Т. А. Сасиков // Роль науки и технологий в обеспечении устойчивого развития АПК: сборник научных трудов по итогам IX Международной научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки РФ и КБР, профессора Б.Х. Жерукова, Нальчик, 25–27 ноября 2021 года. – Нальчик: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова", 2021. – С. 278–283.

138. Воротникова, О. С. Унифицированная модель расчетов производительности технических средств при реализации транспортных и транспортно-технологических операций / О. С. Воротникова, Н. А. Майстренко, А. Г. Левшин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15. – № 2. – С. 75–80. – DOI 10.22314/2073–7599-2021-15-2-75-80.

139. Выбор стратегий использования привлеченных транспортных средств в сельском хозяйстве / О. Н. Дидманидзе, Н. В. Алдошин, А. М. Карев, А. С. Пехутов // Международный технико-экономический журнал. – 2015. – № 6. – С. 92–99.

140. Гайдар, С. М. Определение основных требований, предъявляемых к рабочему органу специального автомобиля / С. М. Гайдар, Д. А. Никитин // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2023. – № 1(72). – С. 88–94.

141. Гайдар, С. М. Планирование и анализ эксперимента / С. М. Гайдар. – Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2015. – 548 с. – ISBN 978-5-7367-1112-3.

142. Гарбуз, А. Ю. Ремонт повреждений облицовок длительно работающих каналов с использованием полимерных композиций / А. Ю. Гарбуз // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 2(58). – С. 33–39.

143. Голованов, А. И. Применение теории биогеохимических барьеров при мелиорации и рекультивации земель / А. И. Голованов, С. А. Максимов // Природообустройство. – 2016. – № 4. – С. 68–74.

144. Голованов, А. И. Режим противопожарного шлюзования осушенных торфяников (на примере Мещерской низменности) / А. И. Голованов, К. С. Семенова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 5. – С. 20–25.

145. Голованов, А. И. Становление и развитие понятия "природообустройство" / А. И. Голованов, И. Г. Галямина // Природообустройство. – 2013. – № 3. – С. 9–14.

146. Голубев, И. Г. Направления импортозамещения запасных частей сельскохозяйственной техники / И. Г. Голубев // Bulletin of the Russian Research Institute of Mechanization of livestock. – 2016. – № 3(23). – С. 104–106.

147. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов. М.: Стройиздат. 1971. – 367 с.

148. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов (Основные компоненты грунта и их взаимодействие). М.: Стройиздат. 1971.

149. Гольштейн Е.Г., Юдин Д. Б. Задачи линейного программирования транспортного типа. М.: Наука, 1969. 384 с.

150. Гольштейн Е.Г., Юдин Д. Б. Новые направления в линейном программировании. М.: Советское радио, 1966. 524 с.

151. Горюнов Д. Г. Задачи обновления технической эксплуатационно-ремонтной базы мелиоративных систем Саратовской области. / Проблемы научного обеспечения и экономической эффективности орошаемого земледелия в рыночных условиях: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения заслуженного мелиоратора РФ доктора сельскохозяйственных наук, профессора М.Н. Багрова. Волгоград: Волгоградская гос. с.-х. акад., 2001, - С. 50–51.

152. Горюнов, Д. Г. Оптимизация парка землеройных машин для проведения строительных и эксплуатационных работ на мелиоративных системах Нижнего Поволжья: специальность 06.01.02 "Мелиорация, рекультивация и охрана земель": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Горюнов Дмитрий Геннадьевич. – Саратов, 2002. – 162 с.

153. Гришин, М.М. Гидротехнические сооружения. -М.: Госстройиздат, 1962.-763 с.

154. Грунты. Лабораторные испытания. ГОСТ 30416–96. М.: ИПК Издательство стандартов. 1997. 21 с.
155. Грунты. Методы определения физических характеристик. ГОСТ 5180–84. -М.: Издательство стандартов. 1984. - 24 с.
156. Дабылов А.Д. О математической модели оптимизации комплекса ремонтных работ. / Перспективные технологии строительства и эксплуатации мелиоративных систем: сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. М.: Агропромиздат, 1990. – С. 223–227.
157. Девянин, С. Н. Анализ технического регулирования качества средств малой механизации агроинженерии до класса тяги 0,2 / С. Н. Девянин, И. И. Сапожников // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 9. – С. 36–41.
158. Девянин, С. Н. Анализ тяговых усилий на средствах малой механизации / С. Н. Девянин, И. И. Сапожников // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 2. – С. 21–24.
159. Дидманидзе, О. Н. Влияние плотности торфяных почв на возникновение ландшафтных пожаров / О. Н. Дидманидзе, А. В. Евграфов // Природообустройство. – 2022. – № 4. – С. 37–41. – DOI 10.26897/1997–6011-2022-4-37-41.
160. Дидманидзе, О. Н. О перспективах развития автомобильного транспорта в агропромышленном комплексе / О. Н. Дидманидзе, А. М. Карев, Г. Е. Митягин // Международный научный журнал. – 2016. – № 1. – С. 53–65.
161. Дидманидзе, О. Н. Результаты исследований температурного режима осушаемой торфяной почвы / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, А. В. Евграфов // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 45–49. – DOI 10.26897/2687–1149-2023-1-45-49.
162. Добронравов С. В. Строительные машины и оборудование. Справочник. М.: Высшая школа. 1991.- 456 с.
163. Докин Б.Д. Зональная система машин для комплексной механизации растениеводства в рамках агропромышленного комплекса (на примере Западной Сибири). Автореф. дисс. д-ра техн. наук. Новосибирск, 1983. 44 с.
164. Докин Б.Д., Аферина А., Маслов В. Методика определения нормативов потребности в сельскохозяйственной технике для Западносибирской зоны // Научно-технический бюллетень СИБИМЭ. Вып. 3, 4. Новосибирск: ВАСХНИЛ, 1973. С. 3–25.
165. Долматов, Н. П. Модернизация рабочего оборудования каналоочистителя на базе трактора ДТ-75 б / Н. П. Долматов, С. В. Египко, А. Д. Чуднов // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: Материалы III Международной научно-практической интернет-конференции, Новочеркасск, 26–28 апреля 2022 года. – Новочеркасск: ООО "Лик", 2022. – С. 237–243.
166. Дубенок, Н. Н. Оценка состояния осушительных мелиоративных систем с помощью данных дистанционного зондирования / Н. Н. Дубенок, А. Ф. Петрушин, О. А. Митрофанова // Информационные и телекоммуникационные технологии. – 2021. – № 51. – С. 46–51.

167. Дубенок, Н. Н. Перспективы восстановления мелиоративного комплекса Российской Федерации / Н. Н. Дубенок, Г. В. Ольгаренко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 2. – С. 56–59. – DOI 10.30850/vrsn/2021/2/56-59.

168. Дубенок, Н. Н. Гидрологическая роль лесных насаждений малого водосборного бассейна / Н. Н. Дубенок, А. В. Лебедев, А. В. Гемонов // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 3. – С. 3–6. – DOI 10.31857/S2500262721030017.

169. Дубенок, Н. Н. Перспективы и общественная значимость развития мелиорации в Московской области / Н. Н. Дубенок, Г. В. Ольгаренко, Р. В. Калининченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2022. – № 5. – С. 6–11. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-5-6-11.

170. Дубенок, Н. Н. Приоритеты научного обеспечения развития мелиорации / Н. Н. Дубенок // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 1. – С. 96–104.

171. Дубенок, Н. Н. Роль института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А. Н. Костякова в становлении и развитии мелиорации страны / Н. Н. Дубенок, Д. М. Бенин, Н. А. Мочунова // Природообустройство. – 2020. – № 5. – С. 6–17.

172. Дубенок, Н. Н. Состояние и перспективы развития мелиорации земель в Российской Федерации / Н. Н. Дубенок // Мелиорация и водное хозяйство. – 2017. – № 2. – С. 27–31.

173. Дунаев, А. И. Оценка воздействия и природоохранные мероприятия при осушении с/х земель: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки (специальностям) - "Мелиорация, рекультивация и охрана земель" / А. И. Дунаев. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2013.–132 с.

174. Евграфов, В. А. Оптимизация обеспеченности агрегатов мелиоративных технологических комплексов в ремонтно-технических воздействиях / В. А. Евграфов, А. С. Апатенко // Техника и оборудование для села. – 2014. – № 8. – С. 41–44.

175. Емелин Ю.Б. Исследование оптимизации состава и ремонтно-обслуживающей базы энергонасыщенных тракторов в условиях Саратовской области. Дисс. канд. техн. наук. Саратов, 1982.198 с.

176. Емелин Ю.Б. Методология прогнозирования технического прогресса и моделирование инвестиционно-технической политики в сельском хозяйстве. Дисс. д-ра техн. наук. Саратов, 1995. 258 с.

177. Еникеев В.В. Методическая разработка по расчету и оценке на ЭВМ ЕС1030 технической оснащенности сельскохозяйственных предприятий отрасли растениеводства. Л.: Агропромиздат, 1986. 28 с.

178. Жукевич К. И. Совместная оптимизация состава машинно-тракторного парка и потребности в кадрах. // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1974. №11. – С. 3–5.

179. Журавлева, Л. А. Разработка системы управления беспилотным транспортным средством / Л. А. Журавлева // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Саратов, 21–22 апреля 2021 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2021. – С. 281–285.
180. Зеленин А. Н. и др. Машины для земляных работ. М.: Машиностроение. 1975.- 424с.
181. Зотова Л. В. Оптимизация парка машин в мелиоративном строительстве // Мелиорация и водное хозяйство. 1990. № 12. – С. 35–37.
182. Зубарев, В. А. Влияние крупномасштабного наводнения 2013 г. на химический состав воды малых рек Среднего Приамурья в районах осушительной мелиорации / В. А. Зубарев, Р. М. Коган // Вода: химия и экология. – 2015. – № 3(81). – С. 3–10.
183. Заднепровский Р. П. Рабочие органы землеройных и мелиоративных машин и оборудование для разработки грунтов и материалов повышенной влажности. М.: Машиностроение. 1992. - 176с.
184. Иванов, К. Д. Анализ параметров ротационного рабочего органа каналоочистителя / К. Д. Иванов // Наука и молодёжь: Сборник научных трудов. Том Выпуск 5. – Новочеркасск: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», 2018. – С. 162–166.
185. Инвентаризация состояния осушительных каналов Барабы / М. С. Губарев, Л. А. Магаева, И. Д. Рыбкина, С. Н. Шарабарина // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 4. – С. 10–12.
186. Инновационная конструкция мелиоративного плуга для повышения плодородия почв при обработке / Н. Н. Дубенок, С. Я. Семененко, В. Г. Абезин, А. С. Семененко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 3(27). – С. 112–126.
187. Исследование модифицированного рабочего органа комбинированной ротационной косилки / Н. В. Алдошин, А. С. Васильев, А. В. Кудрявцев, В. В. Голубев // Агроинженерия. – 2021. – № 3(103). – С. 10–18. – DOI 10.26897/2687-1149-2021-3-10-18.
188. Кабанов, О. В. Совершенствование технологии и средств очистки каналов от наносов одноковшовыми гидравлическими экскаваторами: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кабанов Олег Викторович. – Саратов, 2002. – 157 с.
189. Каблуков, О. В. Перспективы применения и развития инженерно-мелиоративных систем для освоения территорий, неблагоприятных для ведения сельского хозяйства / О. В. Каблуков // Научная жизнь. – 2017. – № 2. – С. 4–10.
190. Каблуков, О. В. Формирование функциональных блоков гидромелиоративных систем высокого ранга организованности / О. В. Каблуков, К. С. Семенова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2021. – № 5. – С. 18-24. – DOI 10.32962/0235-2524-2021-5-18-24.

191. Калихман И.Л., Войтенко М. А. Динамическое программирование в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 1979. 125 с.
192. Камышенцев Л.А., Казаков В.С., Соколов Ю. А. Новая мелиоративная техника. М.: Россельхозиздат, 1977. 183 с.
193. Канторер, С.Е. Расчеты экономической эффективности применения машин в строительстве / Стройиздат, М.: К-31, Кузнецкий мост, д. 9.
194. Карапетян, М. А. Теоретическое исследование динамики рабочего органа каналоочистителя РР-303 / М. Л. Карапетян, Х. Л. Абдулмажидов // Природообустройство. – 2015. – № 2. – С. 78–80.
195. Карманов В.Г Математическое программирование. М.: Наука, 1986. 288 с.
196. Карпенко, Н. П. Классификатор критериев безопасности мелиоративных систем / Н. П. Карпенко, И. Ф. Юрченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 2. – С. 29–32.
197. Карпенко, Н. П. Классификация мероприятий безопасной эксплуатации мелиоративных систем / Н. П. Карпенко, И. Ф. Юрченко // Природообустройство. – 2016. – № 1. – С. 58–62.
198. Кауричев И.С. Практикум по почвоведению. М.: Колос. 1973. - 279 с.
199. Качинский Н.А. Физика почв. ч.1. М.: Высшая школа. 1965. - 323с.
200. Кизяев, Б. М. Мелиоративные каналы параболического сечения: Технология строительства. – М.: Издательство «Рома», 1998 г.
201. Кизяев, Б. М. Развитие технологий строительства дренажа на мелиорируемых землях / Б. М. Кизяев, Г. Х. Бедретдинов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 5–6. – С. 34–37.
202. Кизяев, Б. М. Реализация научных проектов в сфере развития мелиоративного комплекса России / Б. М. Кизяев, Н. Б. Мартынова // Природообустройство. – 2015. – № 5. – С. 13–17.
203. Кирейчева, Л. В. Компьютерная модель оценки эффективности инвестиций в реализацию мероприятий федеральной целевой программы "Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения на период 2014–2020 гг." / Л. В. Кирейчева, И. Ф. Юрченко, Е. А. Лентяева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 4. – С. 16–23.
204. Кирейчева, Л. В. Роль мелиорации земель в решении проблемы продовольственной безопасности России / Л. В. Кирейчева, И. Ф. Юрченко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 2. – С. 13–15.
205. Кирейчева, Л. В. Теоретические подходы к обоснованию систем комплексных мелиораций / Л. В. Кирейчева, В. М. Яшин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2019. – № 5. – С. 30–35.
206. Кожанов, А. Л. Анализ конструкций мелиоративных систем двустороннего действия и основные пути совершенствования / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 91–98.
207. Кондратьев, В. Н. Обобщение результатов экспериментальных исследований укрепления откосов и русловой части каналов армированными травяными

коврами / В. Н. Кондратьев, Т. Г. Свиридович // Мелиорация. – 2015. – № 1(73). – С. 171–188.

208. Конструктивные решения для обеспечения различных технологий водорегулирования осушаемых земель / В. А. Сташук, А. Н. Рокочинский, В. А. Разгон [и др.] // Мелиорация Полесья: Монография / Под общей научной редакцией Ю.А. Мажайского, А.Н. Рокочинского, А. А. Волчека, О.П. Мешика (Польша). Том 1. Книга 2. – Рязань: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2017. – С. 350–357.

209. Конструкция ручного иньектора для угнетения пней на оросительных каналах и водоемах противопожарного назначения / Д. А. Соловьев, Д. Г. Горюнов, С. А. Анисимов, Д. Н. Ермаков // Техногенная и природная безопасность : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Саратов, 19–21 апреля 2017 года / Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2017. – С. 111–113.

210. Конысбаев К.К. Оптимизация состава машинно-тракторного парка рисоводческих хозяйств Казахстана. Учебное пособие. Алма-Ата: 1987. 40 с.

211. Коршиков А.А., Колганов А.В., Шуньков В. И. Машины и оборудование для строительных и мелиоративных работ. М., 2000. 498 с.

212. Косиченко, Ю. М. Оценка достоверности расчетов удельного фильтрационного расхода через насыпную дамбу необлицованного канала / Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2022. – № 2(86). – С. 135–142.

213. Косиченко, Ю. М. Уточнение гидравлических параметров магистрального канала трапецеидального сечения / Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, В. Ф. Сильченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 80–86.

214. Красников Н. Д. Динамические свойства грунтов и методы их определения. Л: Стройиздат. 1970. – 239 с.

215. Ксензов, А. А. Методика обоснования мелиоративного режима осушаемых земель / А. А. Ксензов. – Издание второе, стереотипное. – Тверь: Тверской государственный университет, 2018. – 24 с. – ISBN 978-5-7609-1307-4.

216. Ксензов, А. А. Новые способы оценки состояния осушительных систем: Методическое пособие / А. А. Ксензов. – Издание второе, стереотипное. – Тверь: Тверской государственный университет, 2018. – 57 с. – ISBN 7685990654969.

217. Ксензов, А. А. Практические рекомендации по оценке качества вод, сбрасываемых осушительными системами на территории Тверской области / А. А. Ксензов. – Издание второе, стереотипное. – Тверь: Тверской государственный университет, 2018. – 40 с. – ISBN 978-5-7609-1324-1.

218. Ксензов, А. А. Совершенствование мелиоративных систем: пособие к СНиП 2.06.03 -85 "Мелиоративные системы и сооружения" / А. А. Ксензов. Том Часть III. – Издание 2-е, стереотипное. – Тверь: Тверской государственный университет, 2018. – 44 с. – ISBN 5-7231-0021-1.

219. Кудайбергенов, П.К. Обновление парка средств механизации и эффективность строительного производства. М.: Стройиздат, 1981. 192 с.
220. Кудрявцев Е. М., Ефимов В. Г. Определение оптимального числа передвижных мастерских для проведения ТО и аварийных ремонтов парков строительных машин. М.: Московский инженерно-строительный институт. 10 с.
221. Кузнецов А.В., Сакович В.А., Холод Н.И. Сборник задач и упражнений по высшей математике. Математическое программирование. Минск: Высшая школа, 1995. 382 с.
222. Кузнецов Ю. Н., Кубузов В.И., Волощенко А.Б. Математическое программирование. М.: Высшая школа, 1976. 352 с.
223. Курбанов, С. О. Методика расчетного обоснования мелиоративных каналов полигонального профиля / С. О. Курбанов, Н. В. Ханов // Природообустройство. – 2014. – № 1. – С. 50–53.
224. Курбанов, С. О. Научные основы проектирования гидротехнических каналов полигонального профиля / С. О. Курбанов, А. А. Созаев. – Нальчик: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова", 2020. – 108 с. – ISBN 978-5-89125-149-6.
225. Курбатов, Н. П. Использование методов математической статистики и теории вероятности при проектировании мелиоративных каналов / Н. П. Курбатов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: Материалы конференции, Тула, 01–03 ноября 2021 года. – Тула: Тульский государственный университет, 2021. – С. 77–83.
226. Курбатов, Н. П. Использование фрактальной теории при оценке сельскохозяйственных территорий / Н. П. Курбатов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Строительство. Электротехника и химические технологии. – 2021. – № 4(12). – С. 32–37. – DOI 10.46573/2658–7459-2021-4-32-37.
227. Курбатов, Н. П. Оценка эффективности работы мелиоративного канала / Н. П. Курбатов // Научный альманах. – 2020. – № 11–3(73). – С. 51–54.
228. Курбатов, Н. П. Прогнозирование деформаций русла каналов / Н. П. Курбатов // Мелиорация земель - неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечерноземной зоны Российской Федерации: Материалы международной научно-практической конференции, Москва, 24–25 октября 2018 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2019. – С. 389–393.
229. Кушнарев Д. М., Беликов М. П. Взрывные работы в гидротехническом и сельском строительстве. М.: Стройиздат, 1973. 288 с.
230. Левшин, А. Г. Идентификация и электронные паспорта самоходной техники / А. Г. Левшин, А. В. Стадник, С. Ю. Дрямов // Сельский механизатор. – 2019. – № 12. – С. 14–15.
231. Левшин, А. Г. Научно-методические основы формирования нормированной шкалы твердости почвы / А. Г. Левшин, М. Н. Ерохин // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени

В.П. Горячкина". – 2017. – № 6(82). – С. 28–34. – DOI 10.26897/1728–7936-2017-6-28-34.

232. Леонов, О. А. Внедрение интегрированной системы менеджмента на предприятиях мелиоративного профиля / О. А. Леонов, В. В. Карпузов, Н. Ж. Шкаруба // Сельский механизатор. – 2019. – № 10. – С. 18–19.

233. Линкевич, Н. Н. Основные мероприятия по повышению надежности и безопасности каналов / Н. Н. Линкевич // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: Материалы II республиканской научно-технической конференции, Минск, 28–29 апреля 2022 года. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2022. – С. 171–178.

234. Лобанов, Г. Л. Методы расчета устойчивого русла крупных мелиоративных каналов в земляном русле / Г. Л. Лобанов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 4(68). – С. 89–95.

235. Лобань, В. Г. Методика определения состава МТП сельскохозяйственных предприятий с помощью ЭВМ (проект). М.: Высшая школа, 1967. 108 с.

236. Лобачевский, Я. П. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства / Я. П. Лобачевский, А. С. Дорохов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 6–10. – DOI 10.22314/2073–7599–2021-15-4-6-10.

237. Лобачевский, Я.П. Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа / Я. П. Лобачевский, С. И. Старовойтов, Н.Н. Чемисов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 5. – С. 10–13

238. Мажугин, Е. И. Надежность мелиоративных роторных косилок / Е. И. Мажугин, С. Г. Рубец, А. Л. Борисов. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. – 132 с. – ISBN 978-985-882-134-0.

239. Малинников, А. Е. Оптимизация состава и использования машинотракторного парка на основе различных критериев. // Оптимизация машинно-тракторного парка: Сб. науч. тр.; С.-х. академия им. К. А. Тимирязева. М.: 1985. С. 37–43.

240. Мануйлов В. Ю., Зотова Л. В. Описание модели для оптимизации комплексов машин, применяемых в водохозяйственном строительстве / Перспективные технологии строительства и эксплуатации мелиоративных систем: сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. М.: Агропромиздат, 1990. С. 116–122.

241. Мартынова, Н. Б. Машины и оборудование для производства культуртехнических работ: Учебно-методическое пособие / Н. Б. Мартынова, В. И. Балабанов, Х. А. Абдулмажидов. – Москва: Издательство "Перо", 2021. – 84 с. – ISBN 978-5-00189-015-7.

242. Мартынова, Н. Б. Плужный каналокопатель для строительства осушительных каналов полуэллиптического профиля / Н. Б. Мартынова, А. Ю. Корнеев // Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования: Материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 31 января – 03 2017 года. Том 2. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2017. – С. 488–493.

243. Маслов, Н. Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве. -М. -Л.: Госэнергоиздат, 1955. -467 с.

244. Матвеев, А. С. Оптимизация выполнения работ по формированию проектной поверхности при работе строительной и мелиоративной техникой / А. С. Матвеев, Х. А. Абдулмажидов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Саратов, 17–19 марта 2020 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2020. – С. 260–266.

245. Махмутов, М.М. Определение тягово-сцепных свойств колесных агрегатов / Махмутов М.М., Кондаурова Н. В., Хисматуллина Ю. Р. // Сельский механизатор. 2016. № 5. С. 10–11

246. Машины для земляных работ. Под ред. Д. П. Волкова. М.: Машиностроение, 1992.- 448 с.

247. Меламут, Д. Л. Гидромеханизация в ирригационном и сельскохозяйственном строительстве. М.: Стройиздат, 1967. 392 с.

248. Мероприятия по ликвидации и предотвращению горения торфяников на мелиоративных системах / А. Н. Шевченко, Д. П. Савчук, Е. В. Власова, А. А. Забуга // Природообустройство Полесья: Монография в 4-х книгах / Под общей научной редакцией Ю.А. Мажайского, А.Н. Рокочинского, А. А. Волчека, О.П. Мешика, Е. Езнаха. Том 2, Книга 2. – Рязань: Мещерский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения "Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова", 2018. – С. 570–575.

249. Методика проектирования оптимального машинно-тракторного парка колхозов и совхозов. Новосибирск: СИБИМЭ, 1970. 40 с.

250. Механизированный способ укладки капельной ленты при выращивании картофеля в Московской области / Б. М. Кизяев, В. И. Балабанов, Н. Б. Мартынова, Х. А. Абдулмажидов // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 10. – С. 108–112. – DOI 10.28983/asj.y2021i10pp108-112.

251. Михеев, П. А. Гидравлический расчет автоматического регулирования водораспределения в магистральном канале пригородной оросительной системы г. Краснодара / П. А. Михеев, К. Г. Гурин, Д. Ю. Иваненко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2017. – № 4. – С. 31–37.

252. Михневич, Э. И. Методы расчета устойчивости регулируемых русел рек-водоприемников и проводящих каналов мелиоративных систем / Э. И. Михневич // Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей: Сборник научных трудов МНПК, Санкт-Петербург, 02–05 июня 2021 года / Под редакцией проф. Г. Л. Гладкова, К. П. Моргунова. Том Выпуск 5. Часть 1. – Санкт-Петербург: ФГБОУ ВО Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова, 2021. – С. 198–216.

253. Молдамуратов, Ж. Н. Технология строительства каналов параболического профиля: учебное пособие / Ж. Н. Молдамуратов. — Алматы: Дарын, 2022. — 180 с. — ISBN 978-601-269-146-7. — Текст: электронный.

254. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие / В. И. Балабанов, С. В. Железова, Е. В. Березовский [и др.]. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К. А. Тимирязева, 2013. – 143 с. – ISBN 978-5-9675-0866-7.

255. Надршин Т. К., Мальцев А.А. Оптимизация машинно-тракторного парка // ВАСХНИЛ. М.: ВНИИТЭИСХ, 1979. 54 с.
256. Научно-технический бюллетень СИБИМЭ. Вып. 3, 4. Новосибирск: ВАСХНИЛ, 1973. С. 3–25.
257. Недорезов, И. А. Распределение грунтов по трудности разработки землеройными машинами. // Строительные и дорожные машины. 1973. №7- С. 5–6.
258. Никольский, Н. И. Физические свойства почвы. Методические указания к полевым и лабораторным практическим занятиям по физике почв. М.: Колос 1956.- 378с.
259. Нит, И.В. Линейное программирование. М.: Изд. Московского университета, 1978. 200 с.
260. О реконструкции и модернизации мелиоративных систем Рязанской области / П. Н. Ванюшин, А. В. Кузин, А. Е. Морозов [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2019. – № 1(41). – С. 5–12.
261. Ольгаренко, Г. В. Нормативно-методические разработки для машинно-технологического обеспечения эксплуатации государственных мелиоративных систем / Г. В. Ольгаренко, С. С. Турапин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2016. – № 6. – С. 27–29.
262. Ольгаренко, Д. Г. Технический уровень и эффективность эксплуатации мелиоративных систем / Д. Г. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – № 4(20). – С. 287–295.
263. Орлов, Б. Н. Исследования износа рабочих элементов машин и технологического оборудования / Б. Н. Орлов, М. А. Карапетян, Х. А. Абдулмажидов // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 2. – С. 36–38.
264. Орлов, Б. Н. Обоснование действий, направленных на усовершенствование рабочего органа каналоочистителя РР-303 / Б. Н. Орлов, Х. А. Абдулмажидов // Транспорт, логистика, природопользование - 2013: материалы МНПК, Ереван, 24–25 октября 2013 года / Ассоциация Арменпак. – Ереван: Ассоциация Арменпак, 2013. – С. 107–113.
265. Основная сорная растительность в оросительных каналах и меры борьбы с ней / В. А. Шадских, В. П. Мельникова, Р. Б. Туктаров [и др.] // Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий: Сборник статей VII МНПК, Саратов, 17 мая 2018 года. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова, 2018. – С. 165–168.
266. Осушительные мелиорации // Использование мелиорируемых земель и эксплуатация мелиоративных систем в Республики Карелия: Методическое пособие. – Петрозаводск: ИП Марков Н. А., 2016. – С. 14–23.
267. Оценка потенциальной пожароопасности осушенных болот Томской области / А. А. Синюткина, Е. Н. Бурнашова, А. А. Беленко [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326, № 12. – С. 45–53.
268. Парлюк, Е.П. Жизненный цикл технической системы как экономическая категория / Е.П. Парлюк // Международный технико-экономический журнал. – 2013. – № 2. – С. 43–47.

269. Патент № 2500858 С1 Российская Федерация, МПК E02F 3/48. Ковш каналоочистителя: № 2012124558/03: заявл. 15.06.2012: опубл. 10.12.2013 / Х. А. Абдулмажидов; заявитель ФГБОУ ВПО "Московский государственный университет природообустройства".

270. Патент № 2578244 С2 Российская Федерация, МПК E02F 3/48. Ковш каналоочистителя двустороннего действия: № 2014105892/03: заявл. 19.02.2014: опубл. 27.03.2016 / Х. А. Абдулмажидов; заявитель ФГБОУ ВПО "Московский государственный университет природообустройства".

271. Патент № 2618334 С Российская Федерация, МПК E02B 11/00. Способ повышения устойчивости откосов транспортирующего осушительного канала: № 2015141184: заявл. 28.09.2015: опубл. 03.05.2017 / А. А. Ксензов; заявитель ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель" (ФГБНУ ВНИИМЗ).

272. Патент на полезную модель № 149228 U1 Российская Федерация, МПК E02F 3/48. Ковш каналоочистителя: № 2013146168/03: заявл. 16.10.2013: опубл. 27.12.2014 / Х. А. Абдулмажидов; заявитель ФГБОУ ВПО "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева" (ФГБОУ ВПО РГАУ - МСХА имени К. А. Тимирязева).

273. Патент на полезную модель № 208074 U1 Российская Федерация, МПК E02F 3/18. Рабочий орган каналоочистительной машины: № 2021115220: заявл. 27.05.2021: опубл. 01.12.2021 / А. Ли, С. У. Алланиязов, Т. Усмонов [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева".

274. Патент на полезную модель № 218348 U1 Российская Федерация, МПК E02F 5/02. Рабочий орган для очистки закрепленного дна мелиоративных каналов: № 2023103994: заявл. 21.02.2023: опубл. 23.05.2023 / Х. А. Абдулмажидов; заявитель ФГБОУ ВО "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева".

275. Патент на полезную модель № 219569 U1 Российская Федерация, МПК E02F 5/28. Рабочий орган для очистки закрепленного дна мелиоративных каналов: № 2023110263: заявл. 21.04.2023: опубл. 25.07.2023 / Х. А. Абдулмажидов; заявитель ФГБОУ ВО "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева".

276. Песков В.Г., Зинь В.С., Мобило Л.В. Механизация эксплуатационных работ на гидромелиоративных системах. Справочник. М.: Агропромиздат, 1986. 143 с.

277. Печенина, В. С. Совершенствование технологии проектирования осушительных систем на основе применения новых конструкций для Центра Нечерноземной зоны / В. С. Печенина, Е. В. Носова // Комплексные мелиорации - средство повышения продуктивности сельскохозяйственных земель: Материалы юбилейной МНПК, Москва, 26–27 ноября 2014 года / ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова». Том 1. – Москва: ФГБНУ ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова, 2014. – С. 131–142.

278. Повышение энергоэффективности производства продукции сельскохозяйственными предприятиями / В. И. Загинайлов, Н. А. Стушкина, О. В. Лештаев

[и др.] // Вестник АПК Верхневолжья. – 2022. – № 3(59). – С. 54–64. – DOI 10.35694/YARCX.2022.59.3.008.

279. Поддубный, В. И. Статический расчет технологических машин природообустройства / В. И. Поддубный, Х. А. Абдулмажидов. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2019. – 30 с.

280. Покровский Г. И. Федоров И. С. Возведение гидротехнических земляных сооружений направленным взрывом. М.: Стройиздат, 1971. 215 с.

281. Пономаренко, Е. А. Осушительные мелиорации и деградация земель / Е. А. Пономаренко, Д. Р. Чернигова // Вестник ИрГСХА. – 2022. – № 111. – С. 42–49.

282. Применение системы капельного орошения для выращивания картофеля в Московской области / В. И. Балабанов, Н. Б. Мартынова, Х. А. Абдулмажидов, А. А. Макаров // Природообустройство. – 2021. – № 3. – С. 47–54. – DOI 10.26897/1997–6011-2021-3-47-54.

283. Прокопенко, Г. М. Оптимизация состава механизированных средств и построение системы инженерного обеспечения сельскохозяйственного производства. Дисс. канд. техн. наук. Алма-Ата, 1988. 273 с.

284. Прокопьев, А.П. Аналитическая модель системы управления скоростью движения виброкатка / А. П. Прокопьев, В.И. Иванчура, Р. Т. Емельянов // Строительные и дорожные машины. 2013. № 5. – С. 33.

285. Пулатов, У.Ю. Основы механизации гидромелиоративных работ в зоне орошения. М.: Колос, 1977. 126 с.

286. Пунинский, В. С. Обоснование рациональных параметров машин для ремонта и восстановления мелиоративных каналов / В. С. Пунинский, Г. Х. Бедретдинов // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы МНПК, Москва, 29–30 марта 2016 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, 2016. – С. 37–45.

287. Пухов, Е. В. Разработка имитационной модели движения сельскохозяйственных агрегатов на поле / Е. В. Пухов, С. С. Мешкова, С. С. Кочкин // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 3. – С. 16–26. – DOI 10.34286/1995–4646–2022-84-3-16-26.

288. Пчелкин, В. В. Основы научной деятельности / В. В. Пчелкин, Т. И. Сурикова, К. С. Семенова. – Москва: ООО "Издательство "Спутник+", 2018. – 173 с. – ISBN 978-5-9973-4821-2.

289. Разработка и обоснование конструкции плужного каналокопателя / Н. Н. Дубенок, С. Я. Семенов, В. Г. Абезин, С. С. Марченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 2(30). – С. 169–185.

290. Рамазанова, Б. М. Роль и значение мелиоративных систем в Саратовской области / Б. М. Рамазанова, О. В. Карпова, Ж. А. Аминов // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях : Материалы VIII МНПК, Саратов, 21–22 апреля 2021 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2021. – С. 68–72.

291. Раннев А.В. Одноковшовые строительные экскаваторы. М.: Высшая школа, 1991. 304 с.

292. Ревин, Ю. Г. Общая оценка динамических процессов землеройно-мелиоративных машин / Ю. Г. Ревин // – 2014. – № 4. – С. 10–15.
293. Ревин, Ю. Г. Особенности расчётного моделирования динамических нагрузок в приводе рабочего оборудования землеройно-мелиоративных машин с учётом механизма их передвижения / Ю. Г. Ревин // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 8. – С. 14–18.
294. Ревин, Ю.Г. [и др.]; Технологические машины и оборудование природообустройства (основы теории и общий расчет мелиоративных машин). под общ. ред. Ю. Г. Ревина; М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Российский гос. аграрный ун-т - МСХА им. К. А. Тимирязева. - Москва: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. - 229 с. ISBN 978-5-9675-1384-8
295. Рекомендации по определению потребности в технике и оптимального состава машинно-тракторного и транспортного парка в сельскохозяйственных предприятиях. Часть I. М.: ВНИИЭС, 1971. 202 с.
296. Роберт О. Фергюсон, Лоурен Ф. Сарджент Линейное программирование. / Перевод с англ. Н. И. Покровский, Р.М. Дмитриева М.: Госстатиздат, 1962. 360 с.
297. Родин, А. И. Метод оптимизации структуры машинно-тракторного парка по критерию минимума расхода топлива. // Оптимизация машинотракторного парка: Сб. науч. тр.; С.-х. академии им. К. А. Тимирязева. М.: 1985. С. 73–75.
298. Русанова, Т.Г. Организация технологических процессов при строительстве, эксплуатации и реконструкции строительных объектов: Учебник / Т. Г. Русанова, Х. А. Абдулмажидов. – Москва: Издательский центр "Академия", 2015. – 352 с. – ISBN 978-5-4468-1551-7.
299. Саклаков В.Д., Аблина С.Л. Проектирование эффективного использования машинно-тракторного парка // Повышение технико-экономических показателей сельскохозяйственных тракторов: Сб. науч. тр. ЧИМЭСХ. Челябинск, 1985. С. 116–121.
300. Семененко, С. Я. Разработка конструкции и обоснование параметров плужного каналокопателя / С. Я. Семененко, В. Г. Абезин, Н. Н. Дубенок // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 3(23). – С. 138–151.
301. Сергеев Е. М. Инженерная геология. М.: Изд-во московского ун-та. 1978.-384 с.
302. Сиротин П.В. Синтез закона оптимального управления системой активной динамической стабилизации движения самоходной машины с навесным рабочим органом. Сиротин П.В. Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 5. С. 5–12.
303. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1986–1995 годы. Часть III, мелиорация. –М.: АгроНИИТЭШТО, 1988 г.
304. Скворцова, А. А. Обоснование технических решений при реконструкции осушительных систем / А. А. Скворцова // Рациональное использование природных ресурсов: специфика и экономические условия формирования: Материалы научно-практической конференции, Новочеркасск, 05 октября 2015 года / Е. Г. Мещанинова (ответ. ред.). – Новочеркасск: Издательство "НОК", 2015. – С. 9–15.

305. Сметанин, В. И. Многофункциональная двухъярусная осушительно-увлажнительная система / В. И. Сметанин, Г. Х. Бедретдинов // Природообустройство. – 2022. – № 5. – С. 22–27. – DOI 10.26897/1997–6011-2022-5-22-27.

306. Снежко, В. Л. Оптимальные участки диффузоров гидродинамических регуляторов расхода на открытых каналах / В. Л. Снежко, А. А. Гайсин // Вестник ВСГУТУ. – 2014. – № 2(47). – С. 28–32.

307. Соболевский, Ю.А. Устойчивость откосов мелиоративных каналов. - Минск: Урожай, 1965. -212 с.

308. Соловьев, Д. А. Состояние оросительных каналов и пути повышения качества их содержания на примере Саратовской области / Д. А. Соловьев, Д. Г. Горюнов, С. А. Анисимов // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: Материалы международной научно-практической конференции, Саратов, 17–18 ноября 2016 года / Под редакцией Ф.К. Абдразакова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова, 2016. – С. 265–272.

309. Соловьев, Д. А. Усовершенствованная технология очистки оросительных каналов от древесно-кустарниковой растительности и наносов / Д. А. Соловьев, С. А. Анисимов, Д. Г. Горюнов // Основные проблемы сельскохозяйственных наук: Сб. науч. трудов по итогам международной научно-практической конференции. - Волгоград, 2016. №3 - С. 11–16.

310. Соловьев, Д. А. Усовершенствованная технология очистки оросительных каналов от древесно-кустарниковой растительности и наносов / Д. А. Соловьев, С. А. Анисимов, Д. Г. Горюнов // Основные проблемы сельскохозяйственных наук: Сборник научных трудов по итогам МНПК, Волгоград, 11 октября 2016 года. Том Выпуск III– Волгоград: Инновационный центр развития образования и науки, 2016. – С. 11–16.

311. Старостина, М. С. Восстановление мелиоративных систем, как фактор повышения продуктивности сельскохозяйственных земель / М. С. Старостина, Н. С. Шелковкина // Кадастровое и эколого-ландшафтное обеспечение землеустройства в современных условиях: Материалы МНПК факультета землеустройства и кадастров ВГАУ, Воронеж, 20 апреля 2018 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 237–239.

312. Строительные машины для механизации мелиоративных работ. Под ред. В. В. Сурикова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат. 1991. - 463с.

313. Строительные машины. Справочник в 2-х томах. / ред. В. А. Баумана и Ф.А. Лапира. Т.1. Машины для строительства промышленных, гражданских и гидротехнических сооружений и дорог. Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение. 1976.-502с.

314. Строительные машины. Т.1. Машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог. / Под общ. Ред. Э. Н. Кузина. 5-е изд., перераб. М.: Машиностроение. 1991. - 496 с.

315. Схрейвер А. Теория линейного и целочисленного программирования. В 2-х томах, Т.1. М.: Мир, 1991. 360 с.

316. Сырье глинистое. Общие требования к методам анализа. ГОСТ 21216.0–93. - Минск: Издательство стандартов. 1999. - 72 с.

317. Теловов, Н. К. Экспериментальные исследования физической модели рабочего органа двухуровневого глубокорыхлителя / Н. К. Теловов, Х. А. Абдулмажидов // Вестник ФГОУ ВПО "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2019. – № 3(91). – С. 22–27. – DOI 10.34677/1728–7936-2019-3-22-27.

318. Теория и методика расчёта параметров строительных и мелиоративных машин: Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений по специальности 23.03.02 - «Наземные транспортно-технологические комплексы», 5450300 - «Механизация водохозяйственных и мелиоративных работ» и 5310600 – «Наземные транспортные системы и их эксплуатация» (Автомобильный транспорт) / В. И. Балабанов, А. Ли, Н. Б. Мартынова [и др.]. – Ташкент: Бухарский институт управления природными ресурсами Национального исследовательского университета "Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства", 2021. – 171 с.

319. Технические средства механизированной укладки капельной ленты в картофельный гребень / Н. Б. Мартынова, В. И. Балабанов, Х. А. Абдулмажидов, А. А. Макаров // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12. – № 4. – DOI 10.31774/2712–9357-2022-12-4-218–232.

320. Технологии, техника и оборудование для координатного (точного) земледелия: Учебник для высших учебных заведений / В. И. Балабанов, В. Ф. Федоренко, В. Я. Гольдяпин [и др.]. – Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2016. – 240 с. – ISBN 978-5-7367-1170-3.

321. Технология и механизация строительного производства (в 2-х ч.). Ч. II / Под. ред. С. С. Атаева, СЕ. Канторера. М.: Высшая школа, 1983. 359 с.

322. Технология, механизация и автоматизация строительства. / С.С. Атаев, В.А. Бондарик, И. Н. Громов и др. Под. ред. С. С. Атаева, С.Я. Луцкого М.: Высшая школа, 1990. 592 с.

323. Титов, В. Н. Методика подбора одноковшовых экскаваторов для очистки каналов от наносов / В. Н. Титов // Мелиорация. – 2014. – № 1(71). – С. 185–194.

324. Тойгамбаев, С. К. Модернизация мелиоративного каналоочистителя РР-303 для зоны осушения / С. К. Тойгамбаев, Х. А. Абдулмажидов // Международный технический журнал. – 2024. – № 1. – С. 36–43. – DOI 10.34286/2949–4176-2024-88-1-36-43.

325. Тойгамбаев, С. К. Повышение уровня технической обеспеченности в растениеводстве Республики Казахстан: специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Тойгамбаев Серик Кокибаевич. – Москва, 2021. – 322 с.

326. Тойгамбаев, С. К. Разработка рабочего оборудования крана на базе трактора МТЗ-82 / С. К. Тойгамбаев, Х. А. Абдулмажидов, Д. К. Байдебеков // Естественные и технические науки. – 2019. – № 7(133). – С. 206–210.

327. Томин, Е. Д., Марченко И. И. Система машин - основа научно-технического прогресса в механизации мелиоративных работ // Перспективные технологии строительства и эксплуатации мелиоративных систем: Сб. науч. тр. ВАСХНИЛ М.: Агропромиздат, 1990. С. 3–8.
328. Тургиев, А. К. Динамика качения колеса трактора при переменной вертикальной нагрузке / А. К. Тургиев, Х. А. Абдулмажидов // Логистика, транспорт, природообустройство - 2015: Материалы международной научно-практической конференции, Ереван, 08–09 октября 2015 года. – Ереван: Арменпак, 2015. – С. 127–132.
329. Тягово-энергетический расчет орудия для внутрпочвенного внесения органических удобрений / А. И. Панов, Н. В. Алдошин, А. А. Манохина, В. В. Семин // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(69). – С. 158–171. – DOI 10.24412/2078–1318-2022-4-158-171.
330. Узун, В.Ф. Методические указания к физико-механическому анализу почв. Саратов. Саратовский сельскохозяйственный институт. 1965. - 27с.
331. Федоров, Д. И. Рабочие органы землеройных машин. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение. 1990. - 368с.
332. Финн, Э.А. Обоснование состава МТП в хозяйстве. М.: Агропромиздат, 1985.159 с.
333. Финн Э.А., Шкурба В.В. К задаче расчета оптимального машинотракторного парка сельскохозяйственного предприятия // Материалы научных семинаров по теоретическим и прикладным вопросам кибернетики. Вып. 7. Киев, 1969. 107 с.
334. Формирование технологического комплекса машин в мелиоративном строительстве с помощью имитационного моделирования / В. А. Евграфов, А. И. Новиченко, И. М. Подхвятилин [и др.] // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – № 3–4. – С. 44–50.
335. Формирование уровней грунтовых вод осушаемых земель в природно-климатических условиях Новгородской области / О. В. Балун, Е. П. Шкодина, В. А. Яковлева, С. Ю. Жукова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – Т. 24, № 2. – С. 257–266. – DOI 10.30766/2072–9081.2023.24.2.257–266.
336. Фролов П. Т., Петров КВ., Балаховский М.С., Сергеев В. П., Мартынов В. Д. Эксплуатация и испытания строительных машин. М.: Высшая школа, 1970.392 с.
337. Хабатов Р.Ш. Методика обоснования количественной структуры системы машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства. // Оптимизация машинно-тракторного парка: Сб. науч. тр.; С.-х. академия им. К. А. Тимирязева. -М.: 1985. С. 3–7.
338. Хаджиди, А. Е. Оценка гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности оросительных каналов в земляном русле / А. Е. Хаджиди, П. И. Артемов // – 2022. – № 91–7. – С. 66–68. – DOI 10.18411/trnio-11-2022-342.
339. Хакимов, Р. Т. Энергоэффективность газомоторной техники в полевых условиях / Р. Т. Хакимов, Р. Т. Хакимов, Р. Р. Хабушев [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. – 2021. – № 53. – С. 32–38.

340. Хедли Дж. Нелинейное и динамическое программирование. М.: Мир, 1967, 500 с.
341. Храбров, М. Ю. Технические решения по конструкциям осушительных и осушительно-увлажнительных систем / М. Ю. Храбров, Н. Г. Колесова // Эффективное использование мелиорируемых земель и водных ресурсов в агропромышленном комплексе России: Сборник научных трудов, Москва, 18–19 ноября 2020 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2021. – С. 145–151.
342. Цены на бензин и дизельное топливо [Электронный ресурс] // Сайт Газпромнефть. Режим доступа: <https://promo.gpn-trade.ru/>- Загл. с экрана.
343. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М.: Недра. 1975. - 304 с.
344. Черных, О. Н. Водные объекты в АПК и их эксплуатация / О. Н. Черных, Н. В. Ханов // Картофель и овощи. – 2019. – № 11. – С. 6–10. – DOI 10.25630/PAV.2019.58.75.001.
345. Чижевская, Н. А. Расположение осушительных каналов / Н. А. Чижевская // Развитие науки и техники: механизм выбора и реализации приоритетов: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Волгоград, 24 августа 2022 года. – Стерлитамак: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2022. – С. 97–95.
346. Чураев, А. А. Современное применение метода "уклон - площадь" на открытых каналах оросительных систем / А. А. Чураев, М. В. Вайнберг // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 2(58). – С. 136–142.
347. Шабанов, В. В. Некоторые аспекты точной мелиорации / В. В. Шабанов, А. И. Голованов // Природообустройство. – 2019. – № 1. – С. 92–96.
348. Шахов, В.А. Программа для реализации вычислительного эксперимента по оценке интенсивности изнашивания элементов шин трактора, эксплуатируемого в различных агроландшафтных условиях при наличии крюковой нагрузки / В. А. Шахов, Е. М. Асманкин, Ю. А. Ушаков, С. В. Тарасова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 6(74). – С. 87–88.
349. Шепелев, А. Е. Расчет геометрических параметров оросительного канала трапецеидального сечения / А. Е. Шепелев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 110–114.
350. Штанько, А. С. Нормативно-методическое обеспечение подбора параметров поперечного сечения осушительных каналов при их проектировании / А. С. Штанько // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: Сборник научных трудов. – 2014. – № 54. – С. 80–83.
351. Щербаков, В. А. Предпосылки создания эффективных форм мелиоративно-производственных объединений на новом этапе развития водных мелиораций / В. А. Щербаков, Ф. К. Абдразаков // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 1. – С. 14–18.
352. Экспериментальные исследования модели ковша мелиоративного каналаочистителя РР-303 для зоны осушения / Х. А. Абдулмажидов, В. И. Балабанов, Н. Б. Мартынова, А. А. Макаров // Мелиорация и водное хозяйство. – 2022. – № 5. – С. 20–25. – DOI 10.32962/0235-2524-2022-5-20-25.

353. Юдин Д. Б., Гольштейн Е.Г. Линейное программирование. Теория, методы и приложения. М.: Паука, 1969. 424 с.
354. Ясинецкий В.Г., Фенин Н. К., Громов В. И. Производство гидромелиоративных работ. М.: Колос, 1972. 264 с.
355. Abdulmazhidov, Kh. Analysis of the reclamation canal condition and cleaning methods / Kh. Abdulmazhidov // E3S Web of Conferences: 1, Nalchik, 18 марта 2021 года – 19 2020 года. – Nalchik, 2021. – P. 01001. – DOI 10.1051/e3sconf/202126201001.
356. Abdulmazhidov, Kh. Analysis of drainage canal defects and review of canal cleaner designs / Kh. Abdulmazhidov // E3S Web of Conferences: 1, Nalchik, 18 марта 2021 года – 19 2020 года. – Nalchik, 2021. – P. 01002. – DOI 10.1051/e3sconf/202126201002.
357. Anoshkin, A. V. Land reclamation and transformation of floodplain-channel complexes at the Middle Amur Lowland / A. V. Anoshkin, V. A. Zubarev // Regional Problems. – 2018. – Vol. 21. – No 3-1. – P. 70-74. – DOI 10.31433/1605-220X-2018-21-3(1)-70-74.
358. Assignment of Irrigation Norms for Available Water Reserves Considering Soil Heterogeneity as a Water Saving Approach to Crop Irrigation / F. K. Abdrazakov, O. V. Mikheeva, T. A. Pankova [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tashkent, Uzbekistan, 23–25 апреля 2020 года. – Tashkent, Uzbekistan: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 012078. – DOI 10.1088/1757-899X/883/1/012078.
359. Automated leveling systems for development and cleaning of reclamation channels in the agro-industrial complex / A. V. Mironov, A. S. Apatenko, N. S. Sevryugina, O. A. Stupin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Michurinsk, 12 апреля 2021 года. – Michurinsk, 2021. – P. 012154. – DOI 10.1088/1755-1315/845/1/012154.
360. Construction and repair of irrigation canals based on converged technologies / F. K. Abdrazakov, A. Rukavishnikov, O. Miheeva [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tashkent, Uzbekistan, 23–25 апреля 2020 года. – Tashkent, Uzbekistan: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 012209. – DOI 10.1088/1757-899X/883/1/012209.
361. Hydrotechnical structures / F. Abdrazakov, T. Pankova, S. Orlova [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Rostov-on-Don, 20–22 октября 2020 года. – Rostov-on-Don, 2020. – P. 012097. – DOI 10.1088/1757-899X/1001/1/012097.
362. Kireycheva, L. V. Evaluation of efficiency of land reclamation in Russia / L. V. Kireycheva // Journal of Agriculture and Environment. – 2018. – No. 3(7). – P. 1. – DOI 10.23649/jae.2018.3.7.1.

363. Larin, D. Restoration of the disturbed natural hydrological regime of the fish-breeding channel Kazachy Yerik within the framework of fishery reclamation / D. Larin, E. Mikhaylov, E. Staseva // E3S Web of Conferences: 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021, Rostov-on-Don, 24–26 февраля 2021 года. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. – P. 03007. – DOI 10.1051/e3sconf/202127303007.
364. Lee, A. Seiling and cleaning of channels / A. Lee, T. Usmonov, B. Norov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kari Niyozov Street, 39-house, Tashkent City, 23–25 апреля 2020 года. – Kari Niyozov street, 39-house, Tashkent City, 2020. – P. 012062. – DOI 10.1088/1757-899X/883/1/012062.
365. Martynova, N. B. The design of the working equipment for laying a drip tape based on the Grimme GF-75/4 ridge former / N. B. Martynova, V. I. Balabanov // E3S Web of Conferences: 1, Nalchik, 18 марта 2021 года – 19 2020 года. – Nalchik, 2021. – P. 01018. – DOI 10.1051/e3sconf/202126201018.
366. Reclamation shifts the evolutionary paradigms of tidal channel networks in the Yellow River Delta, China / C. Xie, B. Cui, T. Xie [et al.] // The Science of the Total Environment. – 2020. – Vol. 742. – P. 140585. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.140585.
367. Soldatov, P. D. Crop modeling and use of information and communication technologies in agriculture / P. D. Soldatov, V. I. Balabanov, A. Yu. Alipichev // Материалы МНК МУИС, посв. 160-летию В.А. Михельсона: сб. ст., Москва, 09–11 июня 2020 года. – Москва: РГАУ - МСХА им. К. А. Тимирязева, 2020. – P. 443–446.
368. Stepanova, S. I. Prospects for research in the field of environmental management and melioration / S. I. Stepanova, D. I. Stepanova // Moscow Economic Journal. – 2022. – Vol. 7, No. 9. – DOI 10.55186/2413046X_2022_7_9_551.
369. The study of the process of face milling cutter work by performing service and repair works at irrigation canals / F. K. Abdrazakov, A. V. Povarov, D. A. Solov'yov [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11. – No 16. – P. 9613-9621.
370. Analysis of anthropogenic impact on the environment, measures to reduce it, and waste management / N. A. Eremeeva, O. A. Savoskina, L. M. Poddymkina [et al.] // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. – 2023. – Vol. 11. – DOI 10.3389/fbioe.2023.1114422.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2500858

КОВШ КАНАЛООЧИСТИТЕЛЯ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет природообустройства" (RU)*

Автор(ы): *Абдулмажидов Хамзат Асламбекович (RU)*

Заявка № 2012124558

Приоритет изобретения 15 июня 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 декабря 2013 г.

Срок действия патента истекает 15 июня 2032 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 149228

КОВШ КАНАЛООЧИСТИТЕЛЯ

Патентообладатель(и): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВПО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева) (RU)*

Автор(ы): *Абдулмажидов Хамзат Асламбекович (RU)*

Заявка № 2013146168

Приоритет полезной модели 16 октября 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 26 ноября 2014 г.

Срок действия патента истекает 16 октября 2023 г.

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2578244

КОВШ КАНАЛОЧИСТИТЕЛЯ ДВУСТОРОННЕГО
ДЕЙСТВИЯ

Патентообладатель(и): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет природообустройства" (RU)*

Автор(ы): *Абдулмажидов Хамзат Асламбекович (RU)*

Заявка № 2014105892

Приоритет изобретения **19 февраля 2014 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **25 февраля 2016 г.**

Срок действия патента истекает **19 февраля 2034 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 218348**Рабочий орган для очистки закрепленного дна
мелиоративных каналов**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева) (RU)*

Автор(ы): *Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович (RU)*

Заявка № 2023103994

Приоритет полезной модели 21 февраля 2023 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 23 мая 2023 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 21 февраля 2033 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью
Сертификат 68180077, № 1010a944edbd24145d5c7
Издатель, Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 21.02.2022 по 25.03.2025

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 219569**Рабочий орган для очистки закрепленного дна
мелноративных каналов**

Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева" (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева) (RU)**

Автор(ы): **Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович (RU)**

Заявка № **2023110263**

Приоритет полезной модели **21 апреля 2023 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации **25 июля 2023 г.**

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает **21 апреля 2033 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 429b6a09e3462164ba19665b73b4aa7
Владелец: **Зубов Юрия Сергеевич**
Действителен с 10.02.2025 по 02.06.2024

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2024621209

«Мелноративные каналочистительные машины»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева) (RU)*

Авторы: *Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович (RU), Безбородов Юрий Германович (RU), Мартынова Наталья Борисовна (RU), Журавлева Лариса Анатольевна (RU), Балабанов Виктор Иванович (RU)*

Заявка № 2024620815

Дата поступления 11 марта 2024 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных 20 марта 2024 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2024621207

«Формирование комплексов машин для очистки и восстановления мелиоративных каналов»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева) (RU)*

Автор(ы): *Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович (RU)*

Заявка № 2024620814

Дата поступления 11 марта 2024 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 20 марта 2024 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов

«УТВЕРЖДАЮ»
 Генеральный директор
 ООО «Научно-производственное
 объединение «ЭКАР»

А. В. Агеев

2023 г.



«УТВЕРЖДАЮ»
 ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
 им. К.А. Тимирязева

Проректор по науке и
 инновационному развитию

А. В. Куряев

2023 г.



АКТ

№ 01/03 от «15» 03 2023 года

опытного внедрения рабочих органов мелиоративных каналоочистителей PP-303 и ОКН-0,5

Комиссия в составе генерального директора ООО «Научно-производственное объединение «ЭКАР» Агеева А. В., директора обособленного подразделения Тарасова А. И., начальника производства Щелкова Е.С., руководителя проекта Котова Д. И., а также представителей ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в составе д.т.н., профессора заведующего кафедрой Организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ Балабанова В.И., к.т.н., доцента Карпова М.В., к.т.н., доцента Жиздюка А.А., и соискателя кафедры Организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ Абдулмажидова Х.А. составила настоящий акт по результатам лабораторных испытаний моделей рабочих органов каналоочистителей, заключающихся в определении качественных характеристик работы и определении тяговых показателей. Испытания проведены на базе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в период 05–08 апреля 2022 г.

На основании лабораторных испытаний, выявивших высокую эффективность работы моделей каналоочистителей PP-303 и ОКН-0,5, в счет компенсации затрат на проведение этих испытаний разработчиками технологии передается на ООО «Научно-производственное объединение «ЭКАР» для дальнейшего опытного внедрения научно-техническая документация и расходные материалы по следующему перечню:

1. Комплект документов технологического процесса: «Очистки дна и откосов мелиоративных каналов».
2. Эскизы, чертежи и файлы с объемными (3D) моделями рабочих органов каналоочистителей.

Авторы разработанных моделей рабочих органов каналоочистителей и технологий очистки дна и откосов каналов обязуются оказать научную и технологическую помощь при проведении производства партии рабочих органов в объеме опытного внедрения.

«Научно-производственное
объединение ООО «ЭКАР»

Директор обособленного подразделения

Тарасов А.И. Тарасов
« 15 » 03 2023 г.

«Научно-производственное
объединение ООО «ЭКАР»

Начальник производства

Щелков Е.С. Щелков
« 15 » 03 2023 г.

«Научно-производственное
объединение ООО «ЭКАР»

Руководитель проекта

Котов Д.И. Котов
« 15 » 03 2023 г.

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА

имени К.А. Тимирязева

Заведующий кафедрой Организации и техноло-
гий гидромелиоративных и строительных работ
доктор технических наук,

профессор Балабанов В.И. Балабанов
« 15 » 03 2023 г.

Соискатель кафедры Организации и техноло-
гий гидромелиоративных и строительных работ
кандидат технических наук, доцент

Абдулмажидов Х.А. Абдулмажидов
« 15 » 03 2023 г.

Доцент кафедры Организации и технологий
гидромелиоративных и строительных работ,
кандидат технических наук

Карпов М.В. Карпов
« 15 » 03 2023 г.

Доцент кафедры Организации и технологий
гидромелиоративных и строительных работ,
кандидат технических наук

Жиздюк А.А. Жиздюк А.А.
« 15 » 03 2023 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
 Исполнительный директор
 Ассоциации дилеров
 сельскохозяйственной техники
 «АСХОД»

 О.В. Устименко
 «21» июня 2023 г.



«УТВЕРЖДАЮ»
 ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
 им. К.А. Тимирязева
 Проректор по науке и
 инновационному развитию

 А.В. Журавлев
 2023 г.



АКТ

№ А 01 от « 21 » июня 2023 года

**опытного внедрения дополнительных устройств в рабочее оборудование
 одноковшового экскаватора ЭО-2621 для работы в составе комплекса
 машин по очистке мелиоративных каналов**

Комиссия в составе Исполнительного директора Ассоциации дилеров сельскохозяйственной техники «АСХОД» О.В. Устименко и члена правления Ассоциации дилеров сельскохозяйственной техники «АСХОД» М.И. Мизина, а также представителей ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в составе д.т.н., профессора, заведующего кафедрой организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ В.И. Балабанова и к.т.н., доцента, соискателя кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ Х.А. Абдулмажидова составила настоящий акт опытного внедрения конструкторской документации на дополнительные устройства в рабочее оборудование одноковшового экскаватора ЭО-2621 для работы в составе комплекса машин по очистке мелиоративных каналов.

На основании лабораторных и полевых испытаний базового экскаватора ЭО-2621, выявивших невысокую эффективность работы по очистке мелиоративных каналов, предложен дополнительный рабочий орган - механический захват, служащий для фиксации разработанного материала (наносов, заилений, травянистой и кустарниковой растительности) в ковше с момента разработки до его разгрузки в отвал или транспортное средство.

Разработчиками технологий и конструкций в рамках опытного внедрения передается Ассоциации дилеров сельскохозяйственной техники

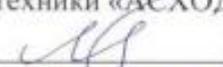
«АСХОД» научно-техническая документация по следующему перечню:

1. Комплект документов дополнительного устройства для технологического процесса очистки дна, откосов мелиоративных каналов от наносов, заилений, травянистой, кустарниковой растительности и погрузки их в транспортные средства.

2. Эскизы, чертежи и файлы с объемными (3D) моделями дополнительных рабочих органов экскаватора ЭО-2621 для работы в составе комплекса каналоочистительных машин.

Авторы разработанных дополнительных устройств по рабочему оборудованию экскаватора и технологий очистки дна, откосов каналов и транспортировки наносов и растительности обязуются оказать научную и технологическую помощь при проведении производства партии рабочих органов в объеме опытного внедрения.

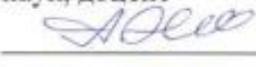
Член правления Ассоциации дилеров сельскохозяйственной техники «АСХОД»


М. И. Мизин
« 21 » июня 2023 г.

Заведующий кафедрой организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ доктор технических наук, профессор


В.И. Балабанов
« 21 » июня 2023 г.

Соискатель кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ кандидат технических наук, доцент


Х.А. Абдулмажидов
« 21 » июня 2023 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и

инновационному развитию

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА

им. К.А. Тимирязева

А.В. Журавлев

2023 г.



АКТ

№ 03 от « 27 » 12 2023 года**о проведении полевых испытаний каналоочистителя ОКН-0,5**

Комиссия в составе представителей кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ института Мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова д.техн.н., профессора, заведующего В.И. Балабанова, к.техн.н. доцента, Х.А. Абдулмажидова, заведующего лабораторией Н.К. Теловова и и.о. заведующего Полевой опытной станцией РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева И.М. Жогина, составила настоящий акт о том, что в период с 1 сентября по 2 ноября 2023 года на мелиоративных каналах осушительной системы Полевой опытной станции проведены полевые испытания каналоочистителя ОКН-0,5 с базовым и модернизированным ковшами.

Комиссией установлено, что:

1. При работе с базовым ковшом наблюдается разрушение внутренних перегородок в следствие их недостаточной прочности.
2. Сотрудниками кафедры предложена модернизированная конструкция ковша с установкой поперечных перегородок с требуемым запасом прочности, толщина которой определена на основе прочностного расчета методом конечных элементов.
3. С использованием модернизированного ковша выполнены работы по очистке мелиоративных каналов протяженностью 1285 м и объемами земляных работ (наносы и заиления с растительностью) 128 м³. За пе-

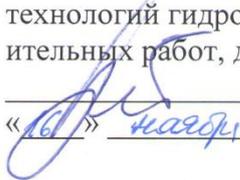
риод работы отказов и разрушений модернизированной конструкции не наблюдалось.

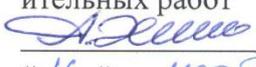
Комиссией рекомендовано:

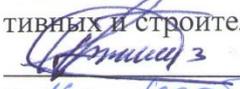
1. Передать на Полевую опытную станцию комплект документов модернизированного ковша для его возможного использования в дальнейшей работе.

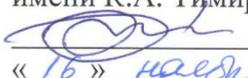
2. Обратиться на завод изготовитель с рекомендациями по модернизации ковша каналоочистителя ОКН-0,5.

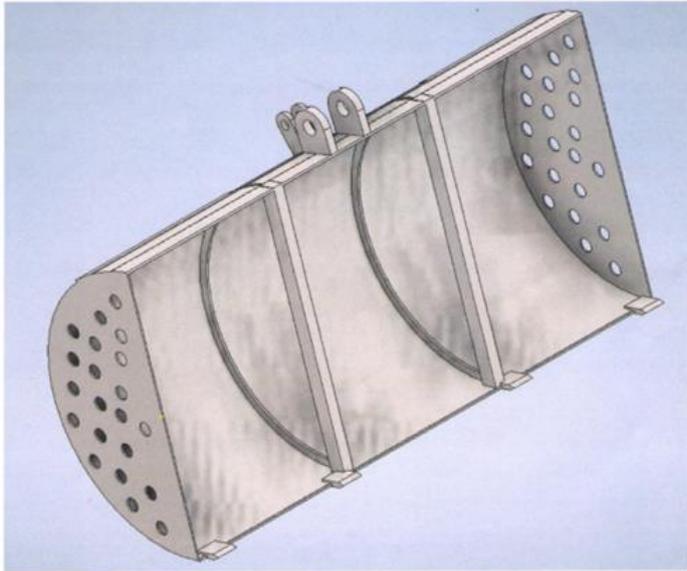
Авторы разработки усиленного ковша каналоочистителя обязуются оказать научную и технологическую помощь при последующей модернизации рабочего оборудования.

Заведующий кафедрой организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ, д.техн.н., профессор

 В.И. Балабанов
 « 16 » мая 2023 г.

К.техн.н., доцент кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ

 Х.А. Абдулмажидов
 « 16 » мая 2023 г.

Заведующий лабораторией кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ

 Н.К. Телов
 « 16 » мая 2023 г.

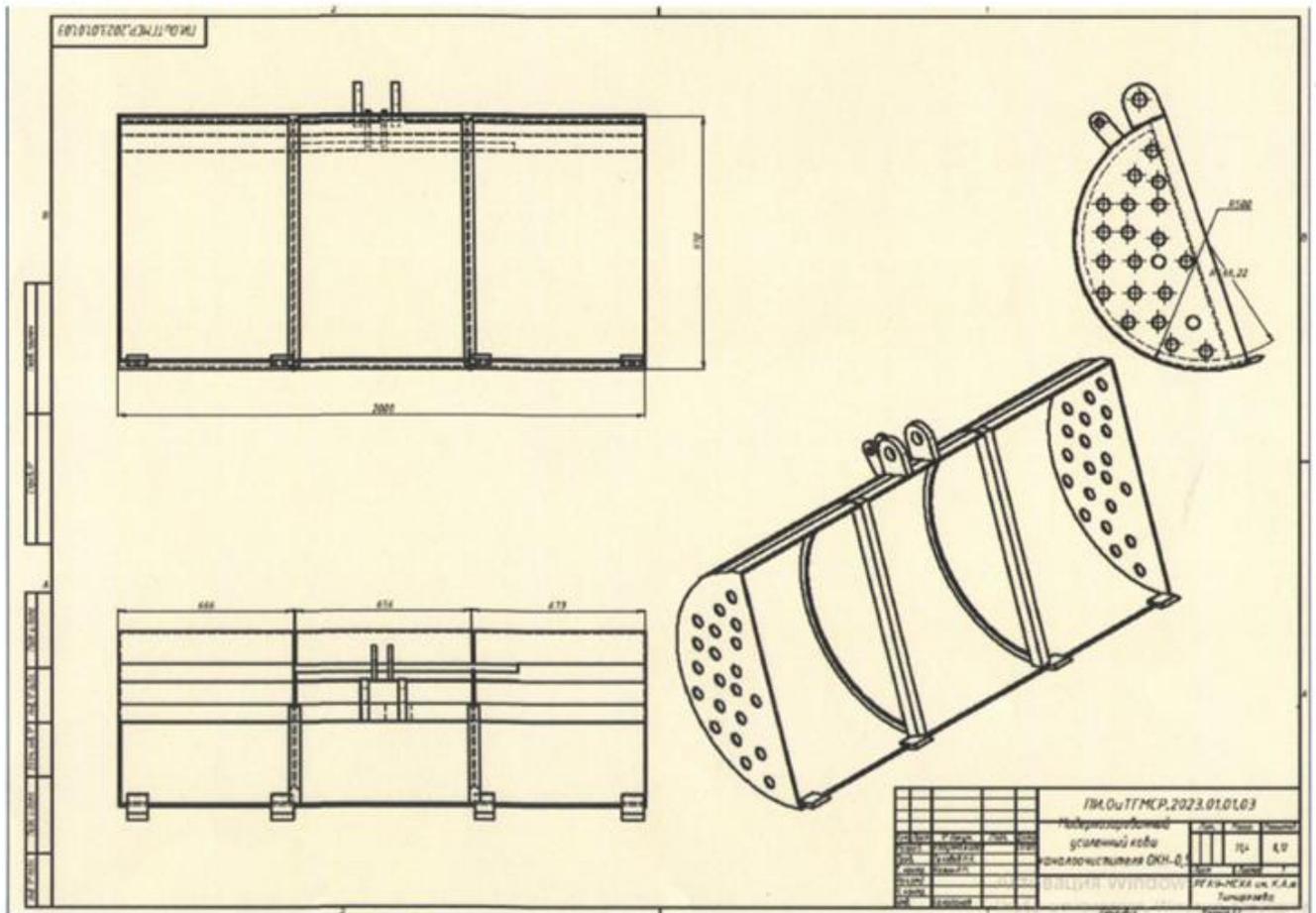
И.о. заведующего Полевой опытной станцией РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

 И.М. Жогин
 « 16 » мая 2023 г.



Модернизированный ковш каналоочистителя ОКН-0,5 в изометрии



Схема производства работ по очистке каналов Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в рамках полевых испытаний ковшея каналоочистителя ОКН-0,5



Сборочный чертеж модернизированного ковша

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке и инновационному развитию

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА

имени К.А. Тимирязева

А.В. Журавлев

« 27 » сентября 2023 г.

**СПРАВКА**

об использовании результатов научно-исследовательской работы (внедрении)
в учебном процессе

Дана кандидату технических наук, доценту кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ Абдулмажидову Хамзату Арсланбековичу в том, что разработанные и изготовленные им конструкции рабочих органов каналоочистителей для очистки каналов с учетом физических процессов обеспечения устойчивости откосов, внедрены в учебный процесс и используются при курсовом и дипломном проектировании, выполнении ВКР студентами направления 35.03.11 Гидромелиорация, направленности – Механизация и автоматизация гидромелиоративных работ, а также магистрантами кафедры.

Опытные конструкции рабочих органов, разработанные Абдулмажидовым Х.А. для изучения процессов очистки каналов от наносов, заилений и растительности в полевых условиях предполагается использовать в дальнейших научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в качестве основы для модернизации с целью совершенствования рабочих органов мелиоративных каналоочистителей на кафедре организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

И.о. директора Института мелиорации,
водного хозяйства и строительства
имени А.Н. Костякова, к.т.н., доцент



Д.М. Бенин

Заведующий кафедрой
организации и технологий
гидромелиоративных и строительных работ
д.т.н., профессор



В.И. Балабанов

ПРИМЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОЧИСТКИ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ПОЛЕВОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ РГАУ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА (ВАРИАНТ С ВРЕДНЫМИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НАНОСАМИ, ЗАИЛЕНИЕМ, ТРАВЯНИСТОЙ, КУСТАРНИКОВОЙ И ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И МУСОРА)

Перечень работ	Состав машинно-тракторных агрегатов	Назначение и агротехнические требования	Технологические сроки выполнения
<i>Облет канала по всей его протяженности с БПЛА для мониторинга состояния канала до очистки и восстановления</i>			
Облет канала	БПЛА Квадрокоптер DJI Mavic 3	Видео и фотосъемка канала	Летний период
Анализ состояния каналов	Компьютерная программа PotPlayer 231220 и средства ИИ	Определение участков канала требующих очистки и восстановления	После получения информации о состоянии канала
Разработка и принятие проекта по очистке канала, формирование комплекса машин	Каналоочиститель ОКН-0,5 (база - МТЗ-2112), Экскаватор ЭО-2621 (база – трактор МТЗ-82 или ЮМЗ-6Л), бульдозер ДЗ-42 (база - трактор ВТГ-90), фронтальный погрузчик ТО-18; трактор МТЗ-82 с прицепом 2 ПТС-4,5	Очистка канала от наносов, заилений, травянистой, кустарниковой и древесной растительности	После анализа состояния канала
<i>Очистка канала от наносов, заилений, травянистой, кустарниковой и древесной растительности</i>			
Очистка каналов	Каналоочиститель ОКН-0,5 с ковшовым рабочим органом (база- трактор МТЗ-1221)	Очистка дна и откосов от наносов заилений и растительности с их распределением по всей длине канала.	Летний период после разработка и принятие проекта по очистке канала
Сбор мусора в кучки на берме канала	Бульдозер ДЗ-42 (база – гусеничный трактор ВТГ-90)	Сбор наносов, растительности и мусора в кучки, выравнивание бермы	После очистки русла и разгрузки мусора на берме
Погрузочные работы	Экскаватор ЭО-2621 (база – трактор МТЗ-82 или ЮМЗ-6Л); погрузчик ТО-18; трактор МТЗ-82 с прицепом 2 ПТС-4,5	Очистка бермы от вынутых из русла канала наносов, заилений, растительности и мусора	После сбора наносов и растительности в кучки на берме канала
Транспортные работы	Трактор МТЗ-82 с прицепом 2 ПТС-4,5	Транспортировка материалов к месту утилизации	Непосредственно после погрузка в прицеп
<i>Контрольный облет канала по всей его протяженности с БПЛА по фиксации состояния канала после очистки и восстановления</i>			
Облет канала	БПЛА Квадрокоптер DJI Mavic 3	Видео и фото-съемка канала	После очистки канала
Анализ состояния каналов	Компьютерная программа PotPlayer 231220 и средства ИИ	Определение качества восстановительных работ	После получения оценки канала после очистки
Принятие работ	Утверждение сформированного комплекса машин	Оценка качества канала после очистки	После анализа состояния восстановленного канала

ПРИМЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОЧИСТКИ МЕЛИОРАТИВНЫХ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ПОЛЕВОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ РГАУ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА (ВАРИАНТ С БЕЗВРЕДНЫМИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НАНОСАМИ, ЗАИЛЕНИЕМ И ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ)

Перечень работ	Состав машинно-тракторных агрегатов	Назначение и агротехнические требования	Технологические сроки выполнения
<i>Облет канала по всей его протяженности с БПЛА по фиксации состояния канала до очистки и восстановления</i>			
Облет канала	БПЛА Квадрокоптер DJI Mavic 3	Видео и фотосъемка канала	Летний период
Анализ состояния каналов	Компьютерная программа PotPlayer 231220 и средства ИИ	Определение участков канала требующих очистки и восстановления	После получения информации о состоянии канала
Разработка проекта по очистке канала, формирование комплекса машин	Каналоочиститель ОКН-0,5 (база - МТЗ-2112), бульдозер ДЗ-42 (база - трактор ВТГ-90)	Очистка канала от наносов, заилений, травянистой, кустарниковой и древесной растительности	После анализа состояния канала
<i>Очистка канала от наносов, заилений, травянистой, кустарниковой и древесной растительности</i>			
Очистка каналов	Каналоочиститель ОКН-0,5 с ковшовым рабочим органом (база- трактор МТЗ-1221)	Очистка дна и откосов от наносов заилений и растительности с их распределением по всей длине канала.	Летний период после разработка и принятие проекта по очистке канала
Распределение наносов и заилений по ближайшим из канала по с/х полю	Бульдозер ДЗ-42 (база – гусеничный трактор ВТГ-90)	Распределение наносов, растительности по близлежащим участкам с/х поля. Выравнивание поверхности бермы.	После очистки дна и откосов канала и распределения наносов на берме.
<i>Контрольный облет канала по всей его протяженности с БПЛА по фиксации состояния канала после очистки и восстановления</i>			
Облет канала	БПЛА Квадрокоптер DJI Mavic 3	Видео и фотосъемка канала	После очистки канала
Анализ состояния каналов	Компьютерная программа PotPlayer 231220 и средства ИИ	Определение качества восстановительных работ	После получения оценки канала после очистки
Принятие работ	Утверждение сформированного комплекса машин	Оценка качества канала после очистки	После анализа состояния восстановленного канала

Техническая характеристика некоторых современных колесных тракторов

Показатель	Типовое наименование трактора										
	Беларусь МТЗ-920	Беларусь МТЗ-1025	John Deere 6330	Беларусь-1221	Fendt Farmer 412 Vario	Беларусь МТЗ 1523	Case New Hol- land T7040	ХТЗ-150К	Terrion АТМ 3180	К-744Р1	John Deere 8330
Мощность номинальная, кВт (л.с.)	60 (81)	77 (105)	77 (105)	95,6 (130)	93 (126)	114 (155)	104 (165)	128,7 (175)	137 (186)	184 (350)	183 (250)
Удельное давление на грунт, кПа (кгс/см ²)	140	140	-	180	-	180	-	180	-	220	-
Удельный расход топлива при эксплуатационной мощности, г/кВт.ч. (г/л.с.ч.)	220 (162)	236 (171)	-	226 (166)	-	220 (161,8)	205 (150)	217 (160)	208 (152)	220 (162)	-
Масса эксплуатационная, кг	3920	4295	4540	4640	5240	6000	6600	8005	6400	14900	10346
Колея колес, мм: передние / задние	1455-1955 / 1800-2100	1445-1990 / 1430-2100	2400	1545-2265 / 1500-1900	1360 / 2000	1610-2150 / 1600-2440	1552-2269 / 1524-2438	1680 или 1860	2440	2115	1690 / 2180
Максимальная скорость движения, км/ч (вперед / назад)	36,6 / 13,0	36,60 / 14,0	50 / 42	33,8 / 15,8	40 / 50	32,34 / 15,50	40 / 40	30,08 / 9,16	50 / -	28,84 / -	42 / 17
Тяговый класс, кН	14	14	14	20	20	30	30	30-40	40	50	50

Техническая характеристика некоторых современных гусеничных тракторов

Показатель	Типовое наименование трактора								
	ВТ-100Д	ВТ-150Д	T-402.01	OpTZ-150Г	ХТЗ-181	Беларусь МТЗ-2102	John Deere 8320Т	AGCO Challenger MT735	Case IH STX 375 Quadtrac
Мощность номинальная, кВт (л.с.)	88 (94)	110 (150)	110,3 (150)	129 (175)	139,7 (180)	156 (212)	183 (250)	185 (251)	280 (375)
Удельное давление на грунт, кПа	49	41	50	46	42	50	63	75	78
Удельный расход топлива при эксплуатационной мощности, г/кВтч (г/л.с.ч.)	236 (174)	228 (167)	235 (170)	220 (162)	220 (162)	249 (180)	-	-	-
Масса эксплуатационная, кг	7580	7820	8930	8150	9050	10800	14300	20400	24129
Максимальная скорость движения, км/ч (вперед / назад)	14,2 / 8,3	15,5 / 15,5	11,94 / 7,82	15,31 / 7,93	15,31 / 7,93	30 / 14,1	30 / 8,5	40 / 14	30 / 13,7
Тяговый класс, кН	30	40	40	50-60	50-60	40	-	-	-

Результаты лабораторных исследований

Первая серия опытов (задача №1 - определить устойчивость откосов канала при их заложении 1:1 с наличием распределенных нагрузок по *полке* швеллера №14 длиной 2,8 м на кромке бермы)

Опыт №1

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №2

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг. Вся нагрузка 64,144 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №3

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг. Вся нагрузка 91,144 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №4

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг + 27 кг. Вся нагрузка 118,144 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №5

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг + 27 кг + 27 кг. Вся нагрузка 145,144 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №6

1. Влажность грунта – 17–20%;

2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг + 27 кг + 27 кг + 19 кг. Вся нагрузка 164,144 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №7

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг + 27 кг + 27 кг + 19 кг + 11 кг. Вся нагрузка 175,144 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №8

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг + 27 кг + 27 кг + 19 кг + 11 кг + 50 кг. Вся нагрузка 225,14 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №9

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг + 27 кг + 27 кг + 19 кг + 11 кг + 50 кг + 19 кг. Вся нагрузка 244,144 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №10

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг + 27 кг + 27 кг + 19 кг + 11 кг + 50 кг + 19 кг + 35 кг. Вся нагрузка 280,5 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Выводы по первой серии опытов: при нагружении откоса с заложением 1:1 по полке швеллера как показано на фото (рис. 1) до нагрузки величиной 280,5 кг, что составляет $7142,2 \text{ Н/м}^2$ - видимых деформаций и изменений нет. Коэффициент устойчивости откоса в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса получился равным 4,089, что определяет значительную устойчивость в данных условиях.



Рисунок 1 – Откос канала с распределенной нагрузкой по полке швеллера
 Результаты расчетов по данному опыту в системе GeoStab 8.1 представлены на рисунке 2. На рисунке 3 представлен анализ призмы сдвига при расчете откоса методом Филлениуса.

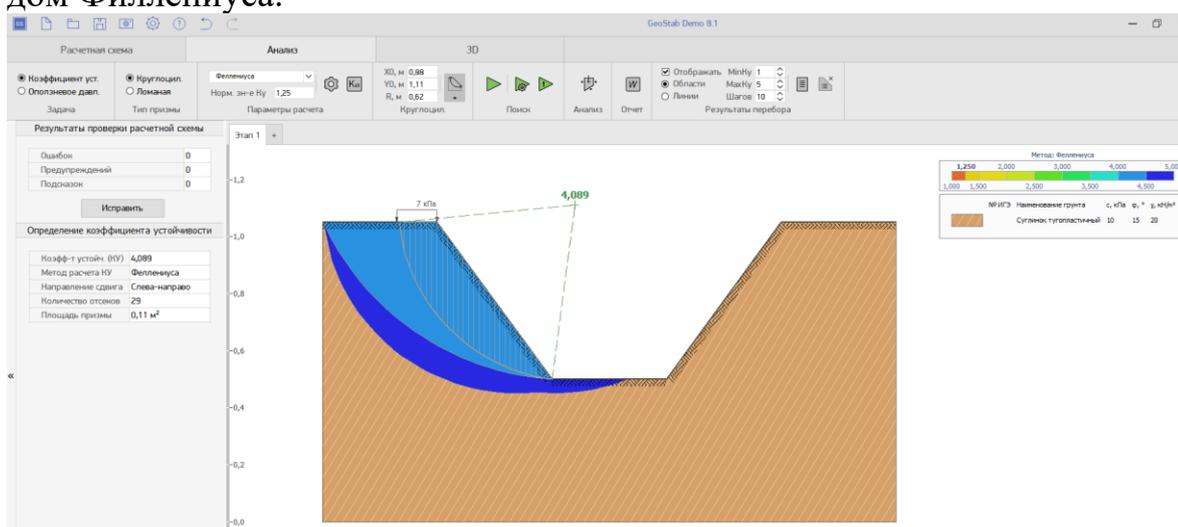


Рисунок 2 – Расчет коэффициента устойчивости левого откоса с распределенной нагрузкой $7142,2 \text{ Н/м}^2$ на полке (0,14x2,8 м) швеллера №14 в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса

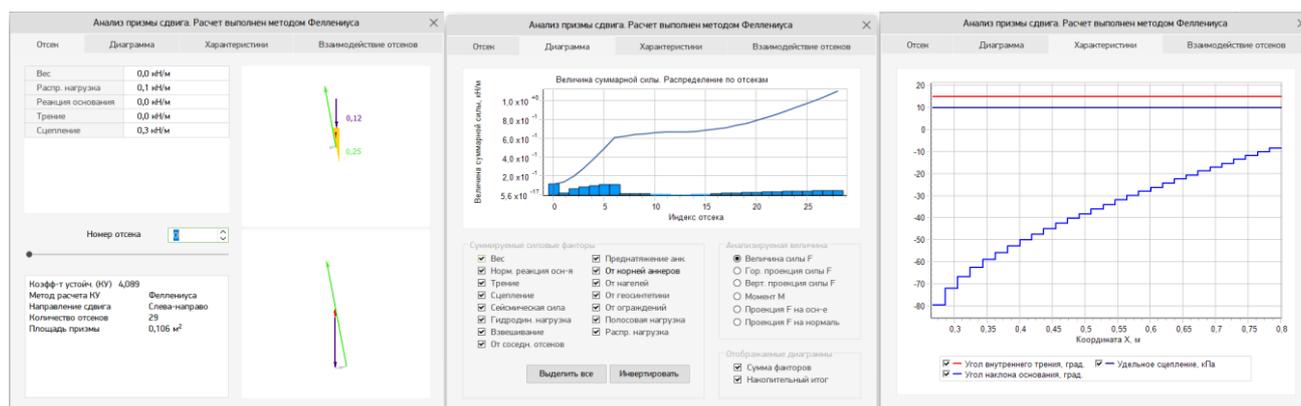


Рисунок 3 – Анализ призмы сдвига при расчете откоса методом Феллениуса

Вторая серия опытов (задача №2 - определить устойчивость откосов канала при их заложении 1:1 с наличием распределенных нагрузок по *ребру* швеллера №14 длиной 2,8 м на кромке бермы)

Опыт №1

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №2

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 11 кг. Вся нагрузка 46,644 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №3

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 11 кг + 19,6 кг. Вся нагрузка 66,244 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №4

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 11 кг + 19,6 кг + 27 кг. Вся нагрузка 93,244 кг.

5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №5

1. Влажность грунта – 17–20%;

2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);

3. Вид грунта – суглинок;

4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 11 кг + 19,6 кг + 27 кг + 27 кг. Вся нагрузка 120,244 кг.

5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №6

1. Влажность грунта – 17–20%;

2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);

3. Вид грунта – суглинок;

4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 11 кг + 19,6 кг + 27 кг + 27 кг + 27 кг. Вся нагрузка 147,244 кг.

5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №7

1. Влажность грунта – 17–20%;

2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);

3. Вид грунта – суглинок;

4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 11 кг + 19,6 кг + 27 кг + 27 кг + 27 кг + 28,5 кг. Вся нагрузка 175,744 кг.

5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Выводы по второй серии опытов: при нагружении откоса с заложением 1:1 по ребру швеллера как показано на фото (рис. 4) до нагрузки величиной 175,744 кг, что составляет $10821,6 \text{ Н/м}^2$ - видимых деформаций и изменений нет. Откос устойчив при данных нагрузках. Коэффициент устойчивости откоса в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса получился равным 4,022, что определяет значительную устойчивость в данных условиях. Подробный расчет приведен в приложении 2.

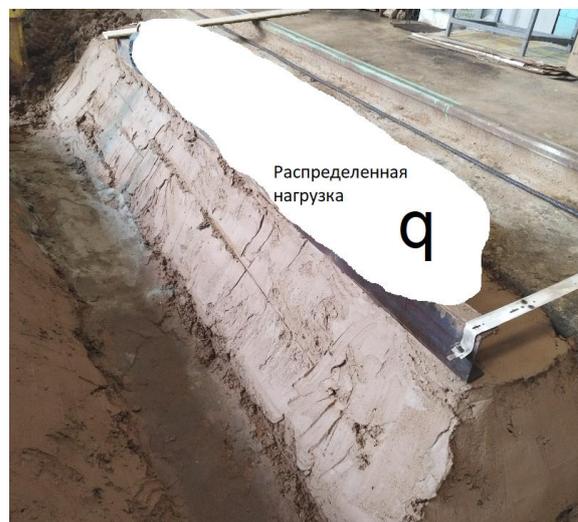




Рисунок 4 – Откос канала с распределенной нагрузкой по ребру швеллера
 Результаты расчетов по данному опыту в системе GeoStab 8.1 представлены на рисунке 5. На рисунке 6 представлен анализ призмы сдвига при расчете откоса методом Филлениуса.

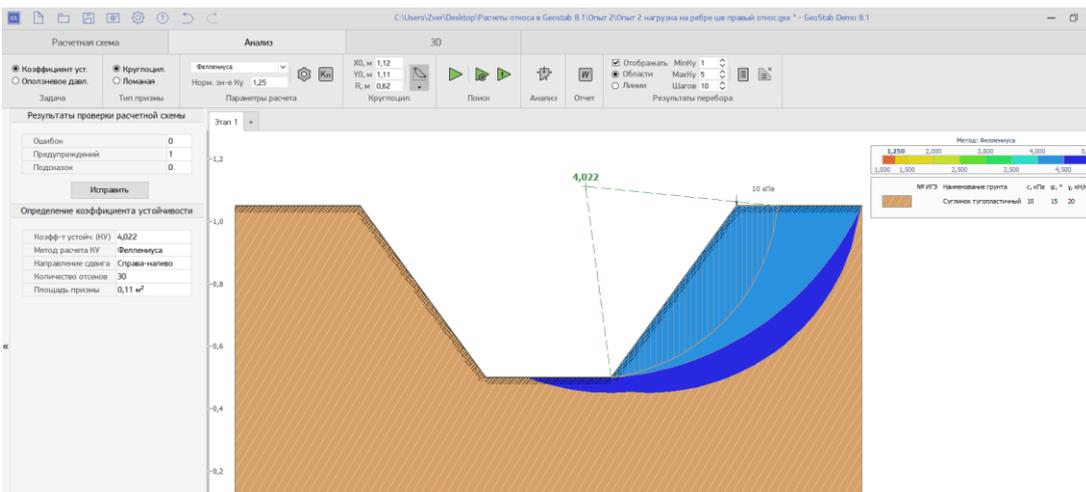


Рисунок 5 – Расчет коэффициента устойчивости правого откоса с распределенной нагрузкой $10821,6 \text{ Н/м}^2$ на ребре швеллера №14 (0,058x2,8 м) в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса ($K_{уст} = 4,022$)

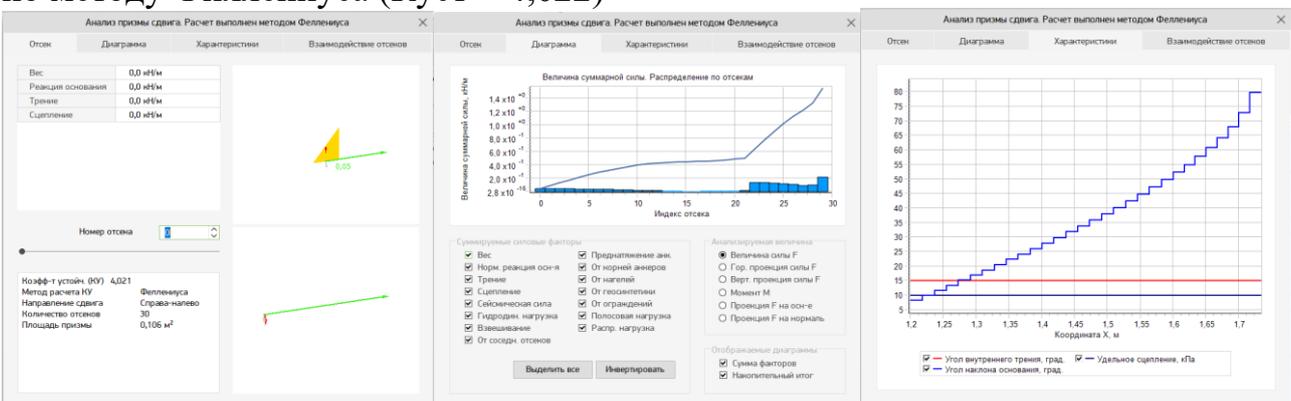


Рисунок 6 – Анализ призмы сдвига при расчете откоса методом Филлениуса

Третья серия опытов (задача №3 - определить устойчивость откосов канала при вертикальной стенке с наличием распределенных нагрузок *по полке* швеллера №14 длиной 2,8 м на кромке бермы)

Опыт №1

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №2

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг. Вся нагрузка 64,144 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №3

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на полке швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы левого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг. Вся нагрузка 91,144 кг.
5. Состояние откоса – появилась трещина, произошло обрушение.

Выводы по третьей серии опытов: при нагружении вертикального откоса по полке швеллера как показано на фото (рис. 7) до нагрузки величиной 91,144 кг, что составляет $232,5 \text{ Н/м}^2$ – устойчивость вертикального откоса нарушена. Подробный расчет приведен в приложении 3.





Рисунок 7 – Разрушение вертикального откоса канала с распределенной нагрузкой по полке швеллера

Результаты расчетов по данному опыту в системе GeoStab 8.1 представлены на рисунке 8. На рисунке 9 представлен анализ призмы сдвига при расчете откоса методом Филлениуса.

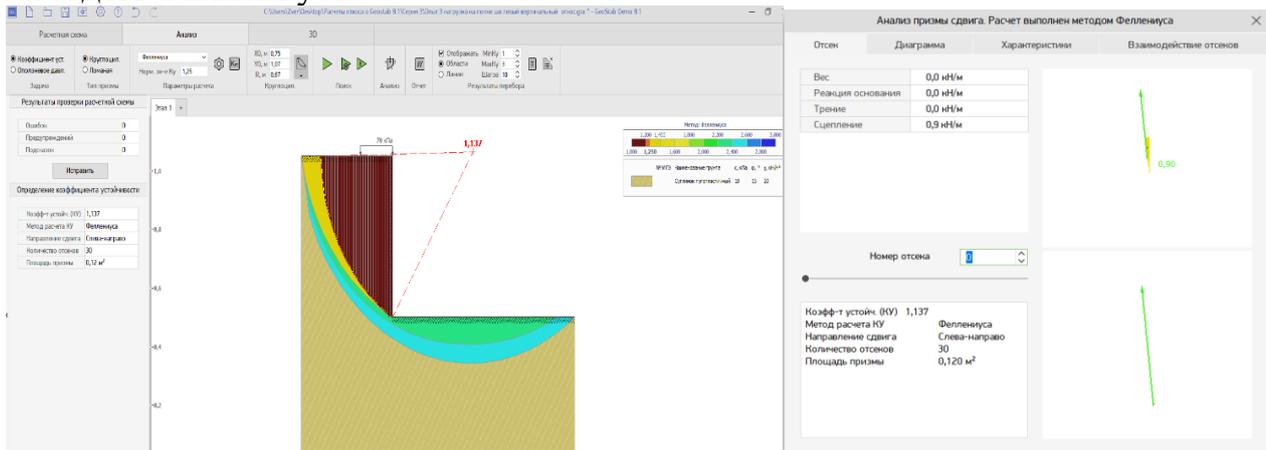


Рисунок 8 – Расчет коэффициента устойчивости правого откоса с распределенной нагрузкой на полке швеллера №14 в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса (Куст=1,137 меньше требуемого значения, нарушение устойчивости)

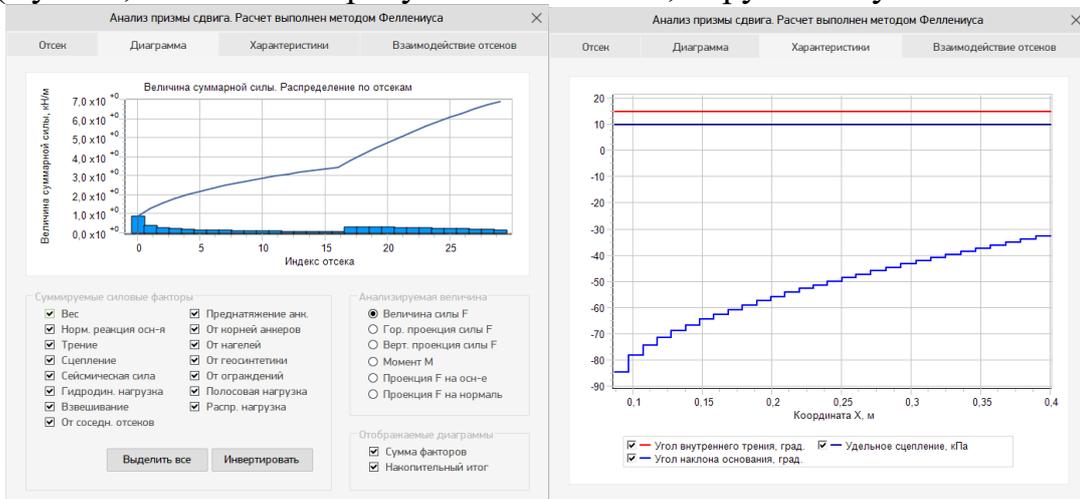


Рисунок 9 – Анализ призмы сдвига при расчете откоса методом Филлениуса

Четвертая серия опытов (задача №4 - определить устойчивость откосов канала при их заложении в 75 градусов при наличии распределенных нагрузок *по ребру* швеллера №14 длиной 2,8 м на кромке бермы)

Опыт №1

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №2

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг. Вся нагрузка 64,144 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №3

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг. Вся нагрузка 91,144 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №4

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг + 27 кг. Вся нагрузка 128,144 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №5

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг + 27 кг + 27 кг. Вся нагрузка 145,144 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №6

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);

3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг + 27 кг + 27 кг + 19,6 кг. Вся нагрузка 164,744 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №7

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг + 27 кг + 27 кг + 19,6 кг + 11 кг. Вся нагрузка 175,744 кг.
5. Состояние откоса – видимых изменений нет.

Опыт №8

1. Влажность грунта – 17–20%;
2. Категория грунта – I (3–4 удара ударника ДорНИИ);
3. Вид грунта – суглинок;
4. Вид нагрузки и ее величина: распределенная на ребре швеллера №14 длиной 2,8 м по кромке бермы правого откоса, масса швеллера 35,644 кг + дополнительная нагрузка 28,5 кг + 27 кг + 27 кг + 27 кг + 19,6 кг + 11 кг + 19 кг + 20 кг. Вся нагрузка 214,744 кг.
5. Состояние откоса – потеря устойчивости (разрушение и выпучивание откоса).

Выводы по четвертой серии опытов: при нагружении откоса с заложением 75 градусов по ребру швеллера как показано на фото (рис. 10) до нагрузки величиной 214,744 кг, что составляет $1322,3 \text{ Н/м}^2$ – устойчивость откоса нарушена. Откос не устойчив при данных нагрузках. Подробный расчет приведен в приложении 4.





Рисунок 10 – Откос канала (75°) с распределенной нагрузкой по ребру швеллера
 Результаты расчетов по данному опыту в системе GeoStab 8.1 представлены на рисунке 11. На рисунке 12 представлен анализ призмы сдвига при расчете откоса методом Филлениуса.

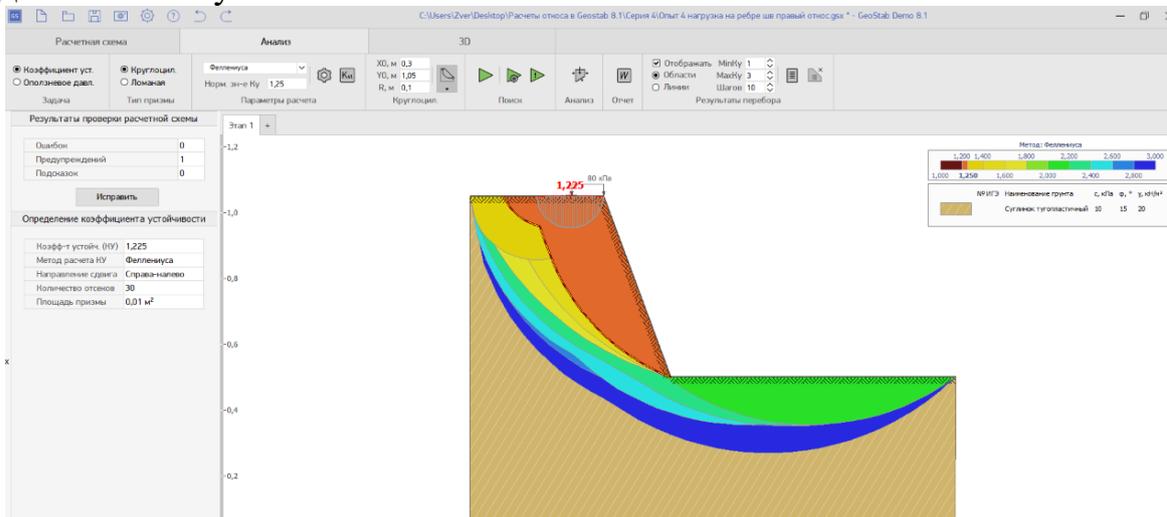


Рисунок 11 – Расчет коэффициента устойчивости правого откоса с распределенной нагрузкой на ребре швеллера №14 (0,058x2,8 м) в системе GeoStab 8.1 по методу Филлениуса (Ку_{ст}=1,225, устойчивость нарушена)

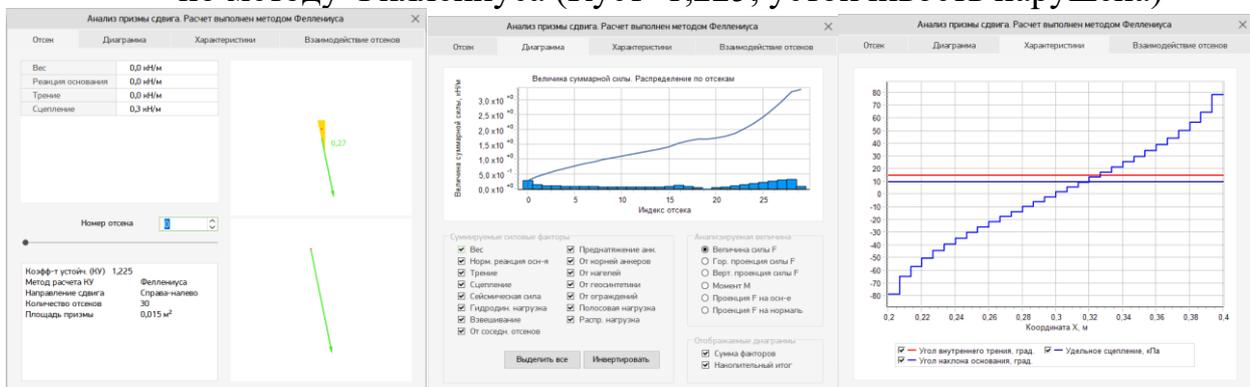


Рисунок 12 – Анализ призмы сдвига при расчете откоса методом Филлениуса

Расчет коэффициента устойчивости GeoStab Demo 8.1

Физико-механические характеристики грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунта	γ , кН/м ³	c , кПа	ϕ , град	γ_{sat} , кН/м ³
	Суглинок тугопластичный	20,0	10,0	15,0	20,3

№ ИГЭ		номер инженерно-геологического элемента
Наименование грунта		описание грунта с учетом вида, консистенции и т.п.
γ	кН/м ³	удельный вес грунта при природной влажности
c	кПа	удельное сцепление грунта при природной влажности
ϕ	град	угол внутреннего трения при природной влажности
γ_{sat}	кН/м ³	удельный вес грунта при полном водонасыщении

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения: $X_c = 0,88$ м, $Y_c = 1,11$ м

Радиус поверхности скольжения: $R = 0,62$ м

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,25

Результаты расчета:

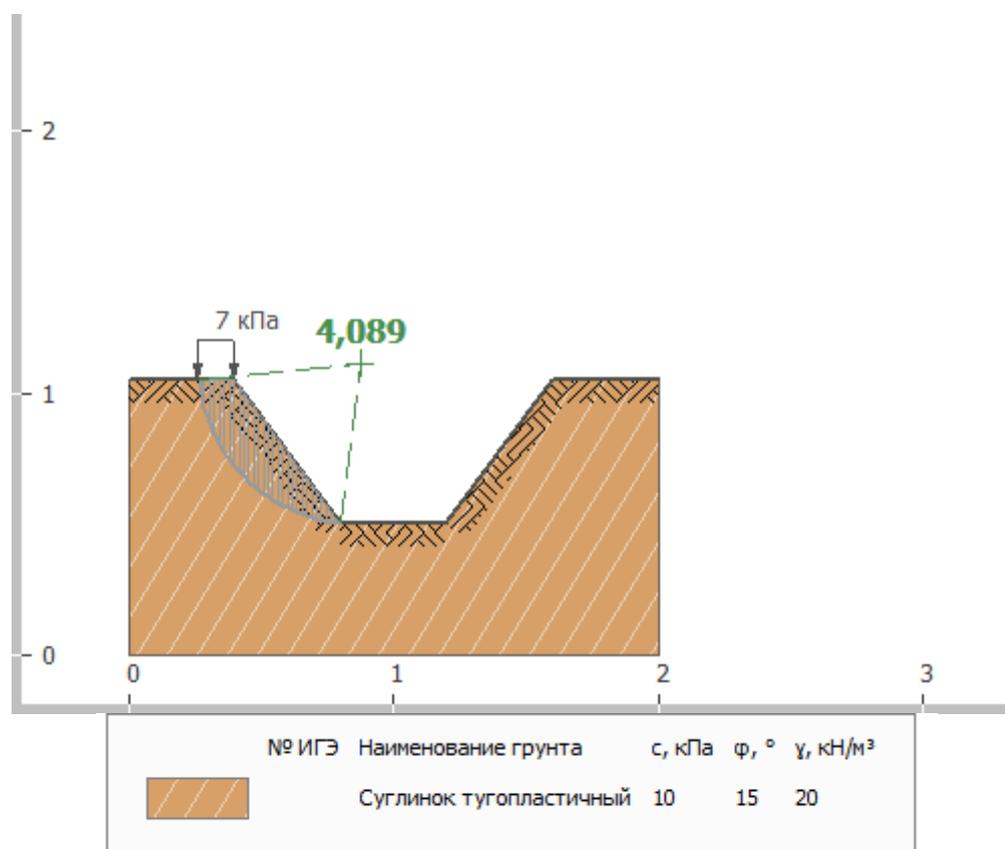
Метод расчета: Метод Филлениуса

Коэффициент устойчивости: 4,089

Площадь призмы: 0,11 м²

Число элементарных призм: 29

Сдвиг призмы: слева направо



Базовые свойства отсеков призмы

i	γ_i , кН/м ³	c_i , кПа	ϕ_i , град	$\text{tg}\phi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
0	20,0	10,0	15,0	0,268	0,10	0,00	-79,4
1	20,0	10,0	15,0	0,268	0,06	0,00	-71,8
2	20,0	10,0	15,0	0,268	0,05	0,00	-66,7
3	20,0	10,0	15,0	0,268	0,04	0,00	-62,6
4	20,0	10,0	15,0	0,268	0,04	0,00	-58,9
5	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,01	-55,6
6	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,01	-52,6
7	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,01	-49,8
8	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,01	-47,3
9	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,01	-44,9
10	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,01	-42,5
11	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,01	-40,3
12	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,01	-38,1
13	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,01	-36,0
14	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-33,9
15	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-31,9
16	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-29,9
17	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-28,0
18	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-26,1
19	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-24,2
20	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-22,4
21	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-20,6
22	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-18,8
23	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-17,0
24	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-15,3
25	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-13,5
26	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-11,8
27	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-10,1
28	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-8,4
Итого:					0,83	0,11	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
γ_i	кН/м ³	осредненное значение удельного веса грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
ϕ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$\text{tg}\phi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\phi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\phi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\phi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\phi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
1	0,0	0,2	0,1	-0,1	0,0	0,6	0,6
2	0,1	0,2	0,1	-0,1	0,0	0,5	0,5
3	0,1	0,2	0,1	-0,1	0,0	0,4	0,4
4	0,1	0,2	0,1	-0,1	0,0	0,4	0,4
5	0,1	0,2	0,1	-0,1	0,0	0,3	0,4
6	0,1	0,2	0,2	-0,2	0,0	0,3	0,4
7	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,3	0,3
8	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,3	0,3
9	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,3	0,3
10	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,3
11	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,3
12	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,3
13	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
14	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
15	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
16	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
17	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
18	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
19	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
20	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
21	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
Итого:	2,1	2,1			0,5	8,3	8,8

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
G_i	кН/м	вес i-го отсека. $G_i = A_i \cdot \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i \cdot \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i \cdot \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i \cdot \text{tg}\phi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека
$c_i \cdot l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека
$N_i \cdot \text{tg}\phi_i + c_i \cdot l_i$	кН/м	касательная реакция основания i-го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i-го отсека без учета влияния армирующих элементов.

Таблица расчета коэффициента устойчивости.

Метод Филлениуса.

i	$M_{\text{акт } i}$, кН*м/м	$M_{\text{реак } i \text{ тр./сцепл.}}$, кН*м /м	$M_{\text{реак } i \text{ арм.}}$, кН*м /м	$M_{\text{реак } i}$, кН*м /м
0	0,1	0,6	0,0	0,6
1	0,1	0,4	0,0	0,4

i	$M_{акт\ i}$ кН*м/м	$M_{реакт\ i\ тр./сцепл.}$ кН*м /м	$M_{реакт\ i\ арм.}$ кН*м /м	$M_{реакт\ i}$ кН*м /м
2	0,1	0,3	0,0	0,3
3	0,1	0,3	0,0	0,3
4	0,1	0,2	0,0	0,2
5	0,1	0,2	0,0	0,2
6	0,1	0,2	0,0	0,2
7	0,1	0,2	0,0	0,2
8	0,1	0,2	0,0	0,2
9	0,0	0,2	0,0	0,2
10	0,0	0,2	0,0	0,2
11	0,0	0,2	0,0	0,2
12	0,0	0,2	0,0	0,2
13	0,0	0,2	0,0	0,2
14	0,0	0,1	0,0	0,1
15	0,0	0,1	0,0	0,1
16	0,0	0,1	0,0	0,1
17	0,0	0,1	0,0	0,1
18	0,0	0,1	0,0	0,1
19	0,0	0,1	0,0	0,1
20	0,0	0,1	0,0	0,1
21	0,0	0,1	0,0	0,1
22	0,0	0,1	0,0	0,1
23	0,0	0,1	0,0	0,1
24	0,0	0,1	0,0	0,1
25	0,0	0,1	0,0	0,1
26	0,0	0,1	0,0	0,1
27	0,0	0,1	0,0	0,1
28	0,0	0,1	0,0	0,1
Итого:	1,3	5,4	0,0	5,4

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
$M_{акт\ i}$	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
$M_{реакт\ i\ тр./сцепл.}$	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
$M_{реакт\ i\ арм.}$	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
$M_{реакт\ i}$	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{реакт\ i} / \Sigma M_{акт\ i}$$

$$K_y = 5,4 / 1,3 = 4,089$$

24.07.2023

_____ / (_____)

Расчет коэффициента устойчивости GeoStab Demo 8.1

C:\Users\Zver\Desktop\Расчеты откоса в Geostab 8.1\Опыт 2\Опыт 2 нагрузка на ребре шв. правый откос.gsx

Физико-механические характеристики грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунта	γ , кН/м ³	c, кПа	ϕ , град	γ_{sat} , кН/м ³
	Суглинок тугопластичный	20,0	10,0	15,0	20,3

№ ИГЭ		номер инженерно-геологического элемента
Наименование грунта		описание грунта с учетом вида, консистенции и т.п.
γ	кН/м ³	удельный вес грунта при природной влажности
c	кПа	удельное сцепление грунта при природной влажности
ϕ	град	угол внутреннего трения при природной влажности
γ_{sat}	кН/м ³	удельный вес грунта при полном водонасыщении

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения: $X_c = 1,12$ м, $Y_c = 1,11$ м

Радиус поверхности скольжения: $R = 0,62$ м

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,25

Результаты расчета:

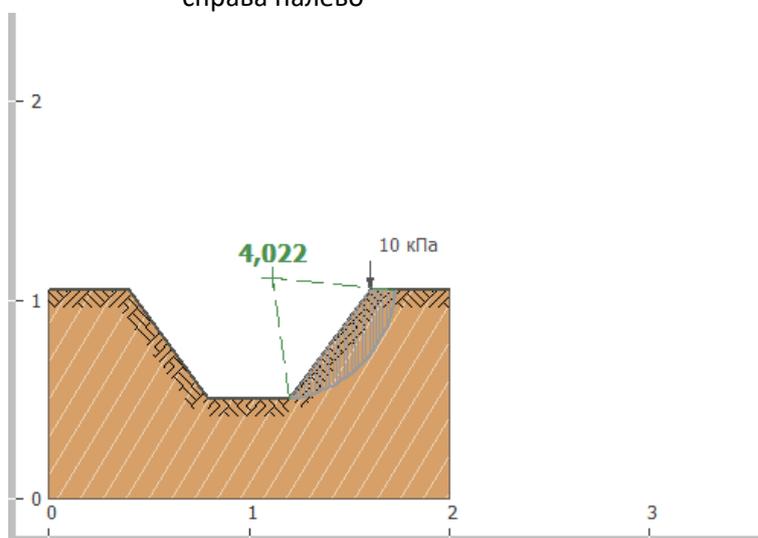
Метод расчета: Метод Филлениуса

Коэффициент устойчивости: 4,022

Площадь призмы: 0,11 м²

Число элементарных призм: 30

Сдвиг призмы: справа налево



№ ИГЭ	Наименование грунта	c, кПа	ϕ , °	γ , кН/м ³
	Суглинок тугопластичный	10	15	20

Базовые свойства отсеков призмы

i	γ_i , кН/м ³	c_i , кПа	ϕ_i , град	$\text{tg}\phi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
0	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	8,4
1	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	10,1
2	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	11,8

i	γ_i , кН/м ³	c_i , кПа	ϕ_i , град	$\text{tg}\phi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
3	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	13,5
4	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	15,3
5	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	17,0
6	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	18,8
7	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	20,6
8	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	22,4
9	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	24,2
10	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	26,1
11	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	28,0
12	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	29,9
13	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	31,9
14	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	33,9
15	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,01	36,0
16	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,01	38,1
17	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,01	40,3
18	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,01	42,5
19	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,01	44,9
20	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,01	47,3
21	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,01	49,8
22	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,01	52,4
23	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,00	55,0
24	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,00	57,9
25	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,00	60,9
26	20,0	10,0	15,0	0,268	0,04	0,00	64,3
27	20,0	10,0	15,0	0,268	0,04	0,00	68,1
28	20,0	10,0	15,0	0,268	0,06	0,00	72,8
29	20,0	10,0	15,0	0,268	0,09	0,00	79,9
Итого:					0,83	0,11	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
γ_i	кН/м ³	осредненное значение удельного веса грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
ϕ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$\text{tg}\phi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\phi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\phi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\phi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\phi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
7	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
8	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
9	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
10	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
11	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
12	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
13	0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
14	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
15	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
16	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,3
17	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,3
18	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,3
19	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,3	0,3
20	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,3	0,3
21	0,1	-0,1	0,1	-0,1	0,0	0,3	0,3
22	0,1	-0,2	0,2	-0,2	0,0	0,3	0,3
23	0,1	-0,2	0,2	-0,2	0,0	0,3	0,3
24	0,1	-0,2	0,1	-0,1	0,0	0,3	0,3
25	0,1	-0,2	0,1	-0,1	0,0	0,3	0,4
26	0,1	-0,2	0,1	-0,1	0,0	0,4	0,4
27	0,1	-0,2	0,1	-0,1	0,0	0,4	0,5
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6
29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9
Итого:	2,1	-2,2			0,6	8,3	8,8

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
G_i	кН/м	вес i-го отсека. $G_i = A_i \cdot \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i \cdot \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i \cdot \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i \cdot \text{tg}\phi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека
$c_i \cdot l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека
$N_i \cdot \text{tg}\phi_i + c_i \cdot l_i$	кН/м	касательная реакция основания i-го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i-го отсека без учета влияния армирующих элементов.

Таблица расчета коэффициента устойчивости.

Метод Филлениуса.

i	$M_{\text{акт } i}$, кН*м/м	$M_{\text{реакт } i \text{ тр./сцепл.}}$, кН*м /м	$M_{\text{реакт } i \text{ арм.}}$, кН*м /м	$M_{\text{реакт } i}$, кН*м /м
0	0,0	0,1	0,0	0,1
1	0,0	0,1	0,0	0,1
2	0,0	0,1	0,0	0,1
3	0,0	0,1	0,0	0,1
4	0,0	0,1	0,0	0,1
5	0,0	0,1	0,0	0,1

i	$M_{акт\ i}$ кН*м/м	$M_{реакт\ i\ тр./сцепл.}$ кН*м /м	$M_{реакт\ i\ арм.}$ кН*м /м	$M_{реакт\ i}$ кН*м /м
6	0,0	0,1	0,0	0,1
7	0,0	0,1	0,0	0,1
8	0,0	0,1	0,0	0,1
9	0,0	0,1	0,0	0,1
10	0,0	0,1	0,0	0,1
11	0,0	0,1	0,0	0,1
12	0,0	0,1	0,0	0,1
13	0,0	0,1	0,0	0,1
14	0,0	0,1	0,0	0,1
15	0,0	0,2	0,0	0,2
16	0,0	0,2	0,0	0,2
17	0,0	0,2	0,0	0,2
18	0,0	0,2	0,0	0,2
19	0,0	0,2	0,0	0,2
20	0,1	0,2	0,0	0,2
21	0,1	0,2	0,0	0,2
22	0,1	0,2	0,0	0,2
23	0,1	0,2	0,0	0,2
24	0,1	0,2	0,0	0,2
25	0,1	0,2	0,0	0,2
26	0,1	0,3	0,0	0,3
27	0,1	0,3	0,0	0,3
28	0,0	0,4	0,0	0,4
29	0,0	0,6	0,0	0,6
Итого:	1,4	5,4	0,0	5,4

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
$M_{акт\ i}$	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
$M_{реакт\ i\ тр./сцепл.}$	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
$M_{реакт\ i\ арм.}$	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
$M_{реакт\ i}$	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{реакт\ i} / \Sigma M_{акт\ i}$$

$$K_y = 5,4 / 1,4 = 4,022$$

24.07.2023

_____ / (_____)

Расчет коэффициента устойчивости GeoStab Demo 8.1

C:\Users\Zver\Desktop\Расчеты откоса в Geostab 8.1\Серия 3\Опыт 3 нагрузка на полке шв. левый вертикальный откос.gsx

Физико-механические характеристики грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунта	γ , кН/м ³	c, кПа	ϕ , град	γ_{sat} , кН/м ³
	Суглинок тугопластичный	20,0	10,0	15,0	20,3

№ ИГЭ		номер инженерно-геологического элемента
Наименование грунта		описание грунта с учетом вида, консистенции и т.п.
γ	кН/м ³	удельный вес грунта при природной влажности
c	кПа	удельное сцепление грунта при природной влажности
ϕ	град	угол внутреннего трения при природной влажности
γ_{sat}	кН/м ³	удельный вес грунта при полном водонасыщении

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения: $X_c = 0,75$ м, $Y_c = 1,07$ м

Радиус поверхности скольжения: $R = 0,67$ м

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,25

Результаты расчета:

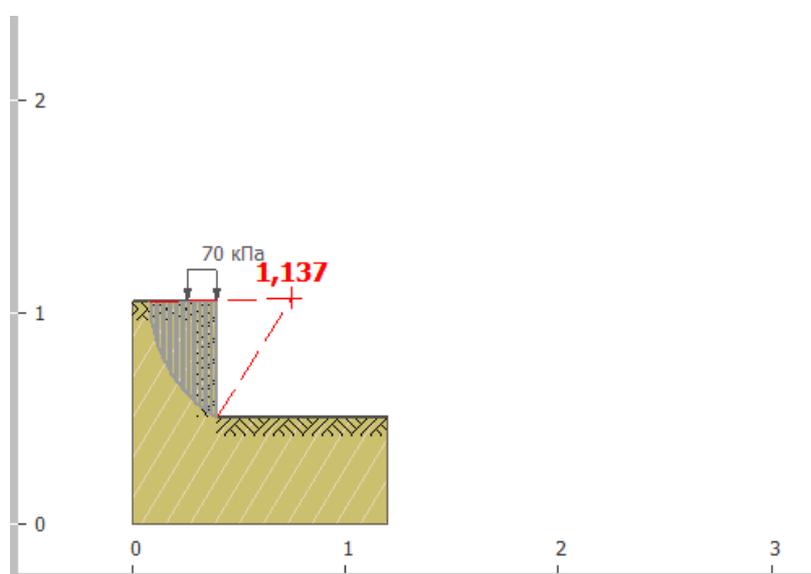
Метод расчета: Метод Филлениуса

Коэффициент устойчивости: 1,137

Площадь призмы: 0,12 м²

Число элементарных призм: 30

Сдвиг призмы: слева направо



№ ИГЭ	Наименование грунта	c, кПа	ϕ , °	γ , кН/м ³
	Суглинок тугопластичный	10	15	20

Базовые свойства отсеков призмы

i	γ_i , кН/м ³	c_i , кПа	ϕ_i , град	$\text{tg}\phi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
0	20,0	10,0	15,0	0,268	0,10	0,00	-84,3
1	20,0	10,0	15,0	0,268	0,05	0,00	-77,8

i	γ_i , кН/м ³	c_i , кПа	ϕ_i , град	$\text{tg}\phi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
2	20,0	10,0	15,0	0,268	0,04	0,00	-74,1
3	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,00	-71,2
4	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,00	-68,6
5	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,00	-66,3
6	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-64,2
7	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-62,3
8	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-60,4
9	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-58,7
10	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-57,0
11	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-55,5
12	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-53,9
13	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-52,5
14	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-51,1
15	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-49,7
16	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-48,3
17	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-47,0
18	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-45,7
19	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-44,4
20	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,01	-43,1
21	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,01	-41,8
22	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,01	-40,6
23	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,01	-39,4
24	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,01	-38,2
25	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,01	-37,0
26	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,01	-35,9
27	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,01	-34,7
28	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,01	-33,6
29	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,01	-32,5
Итого:					0,66	0,12	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
γ_i	кН/м ³	осредненное значение удельного веса грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
ϕ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$\text{tg}\phi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\phi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\phi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \text{tg} \phi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \text{tg} \phi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3
6	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
7	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
8	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
9	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
10	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
11	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
12	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
13	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
14	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
15	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
16	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,2	0,2
17	0,1	0,6	0,6	-0,6	0,2	0,2	0,3
18	0,1	0,6	0,6	-0,6	0,2	0,2	0,3
19	0,1	0,6	0,6	-0,6	0,2	0,2	0,3
20	0,1	0,6	0,6	-0,6	0,2	0,1	0,3
21	0,1	0,6	0,6	-0,6	0,2	0,1	0,3
22	0,1	0,6	0,7	-0,7	0,2	0,1	0,3
23	0,1	0,5	0,7	-0,7	0,2	0,1	0,3
24	0,1	0,5	0,7	-0,7	0,2	0,1	0,3
25	0,1	0,5	0,7	-0,7	0,2	0,1	0,3
26	0,1	0,5	0,7	-0,7	0,2	0,1	0,3
27	0,1	0,5	0,7	-0,7	0,2	0,1	0,3
28	0,1	0,5	0,7	-0,7	0,2	0,1	0,3
29	0,1	0,5	0,7	-0,7	0,2	0,1	0,3
Итого:	2,4	7,9			2,4	6,6	9,0

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
G_i	кН/м	вес i-го отсека. $G_i = A_i \cdot \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i \cdot \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i \cdot \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i \cdot \text{tg} \phi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека
$c_i \cdot l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека
$N_i \cdot \text{tg} \phi_i + c_i \cdot l_i$	кН/м	касательная реакция основания i-го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i-го отсека без учета влияния армирующих элементов.

Таблица расчета коэффициента устойчивости.
Метод Филлениуса.

i	$M_{\text{акт } i}$, кН*м/м	$M_{\text{реакт } i \text{ тр./сцепл.}}$, кН*м /м	$M_{\text{реакт } i \text{ арм.}}$, кН*м /м	$M_{\text{реакт } i}$, кН*м /м
0	0,0	0,7	0,0	0,7
1	0,0	0,3	0,0	0,3
2	0,0	0,2	0,0	0,2
3	0,0	0,2	0,0	0,2
4	0,0	0,2	0,0	0,2
5	0,0	0,2	0,0	0,2

i	$M_{акт\ i}$ кН*м/м	$M_{реакт\ i\ тр./сцепл.}$ кН*м /м	$M_{реакт\ i\ арм.}$ кН*м /м	$M_{реакт\ i}$ кН*м /м
6	0,0	0,2	0,0	0,2
7	0,0	0,2	0,0	0,2
8	0,0	0,1	0,0	0,1
9	0,0	0,1	0,0	0,1
10	0,0	0,1	0,0	0,1
11	0,0	0,1	0,0	0,1
12	0,0	0,1	0,0	0,1
13	0,0	0,1	0,0	0,1
14	0,0	0,1	0,0	0,1
15	0,0	0,1	0,0	0,1
16	0,0	0,1	0,0	0,1
17	0,4	0,2	0,0	0,2
18	0,4	0,2	0,0	0,2
19	0,4	0,2	0,0	0,2
20	0,4	0,2	0,0	0,2
21	0,4	0,2	0,0	0,2
22	0,4	0,2	0,0	0,2
23	0,4	0,2	0,0	0,2
24	0,4	0,2	0,0	0,2
25	0,3	0,2	0,0	0,2
26	0,3	0,2	0,0	0,2
27	0,3	0,2	0,0	0,2
28	0,3	0,2	0,0	0,2
29	0,3	0,2	0,0	0,2
Итого:	5,3	6,0	0,0	6,0

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
$M_{акт\ i}$	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
$M_{реакт\ i\ тр./сцепл.}$	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
$M_{реакт\ i\ арм.}$	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
$M_{реакт\ i}$	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{реакт\ i} / \Sigma M_{акт\ i}$$

$$K_y = 6,0 / 5,3 = 1,137$$

25.07.2023

_____ / (_____)

Расчет коэффициента устойчивости GeoStab Demo 8.1

C:\Users\Zver\Desktop\Расчеты откоса в Geostab 8.1\Серия 4\Опыт 4 нагрузка на ребре шв. правый откос.gsx

Физико-механические характеристики грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунта	γ , кН/м ³	c, кПа	ϕ , град	γ_{sat} , кН/м ³
	Суглинок тугопластичный	20,0	10,0	15,0	20,3

№ ИГЭ		номер инженерно-геологического элемента
Наименование грунта		описание грунта с учетом вида, консистенции и т.п.
γ	кН/м ³	удельный вес грунта при природной влажности
c	кПа	удельное сцепление грунта при природной влажности
ϕ	град	угол внутреннего трения при природной влажности
γ_{sat}	кН/м ³	удельный вес грунта при полном водонасыщении

Параметры расчета:

Тип поверхности скольжения: кругло-цилиндрическая

Координаты центра поверхности скольжения: $X_c = 0,30$ м, $Y_c = 1,05$ м

Радиус поверхности скольжения: $R = 0,10$ м

Допустимый коэффициент устойчивости = 1,25

Результаты расчета:

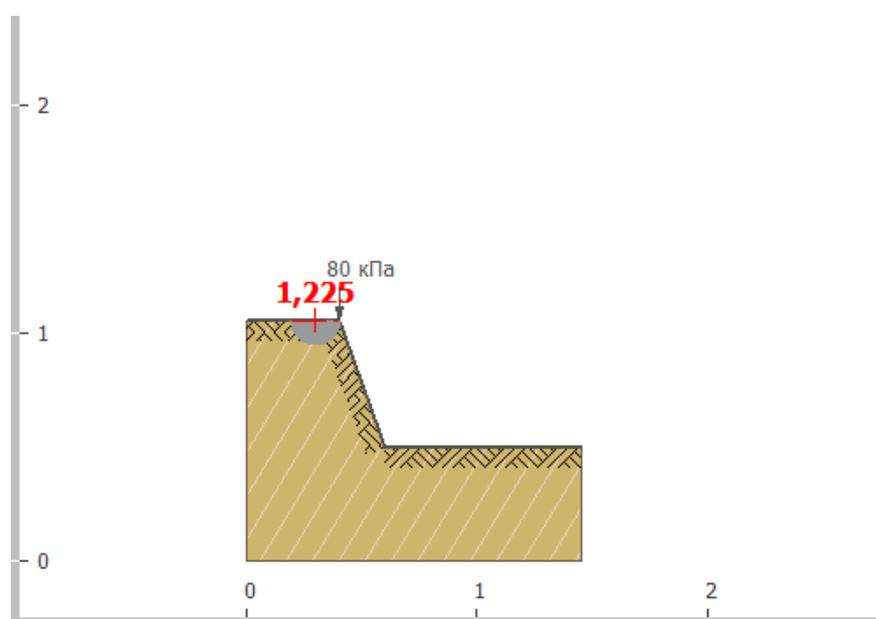
Метод расчета: Метод Филлениуса

Коэффициент устойчивости: 1,225

Площадь призмы: 0,01 м²

Число элементарных призм: 30

Сдвиг призмы: справа налево



№ ИГЭ	Наименование грунта	c, кПа	ϕ , °	γ , кН/м ³
	Суглинок тугопластичный	10	15	20

Базовые свойства отсеков призмы

i	γ_i , кН/м ³	c_i , кПа	ϕ_i , град	$\operatorname{tg}\phi_i$	l_i , м	A_i , м ²	α_i , град
0	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,00	-78,5
1	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	-64,5
2	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-56,6
3	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-50,1
4	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-44,5
5	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-39,3
6	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-34,5
7	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-30,0
8	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-25,7
9	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-21,5
10	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-17,5
11	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-13,5
12	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-9,6
13	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-5,7
14	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	-1,9
15	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	1,9
16	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	5,7
17	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	9,6
18	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	13,5
19	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	17,5
20	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	21,5
21	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	25,7
22	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	30,0
23	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	34,5
24	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	39,3
25	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	44,5
26	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	50,1
27	20,0	10,0	15,0	0,268	0,01	0,00	56,6
28	20,0	10,0	15,0	0,268	0,02	0,00	64,5
29	20,0	10,0	15,0	0,268	0,03	0,00	78,5
Итого:					0,31	0,01	

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
γ_i	кН/м ³	осредненное значение удельного веса грунта i-го отсека
c_i	кПа	осредненное значение удельного сцепления грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
ϕ_i	град	осредненное значение угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
$\operatorname{tg}\phi_i$	-	осредненное значение тангенса угла внутреннего трения грунта в пределах поверхности скольжения i-го отсека
l_i	м	длина поверхности скольжения в пределах i-го отсека
A_i	м ²	площадь i-го отсека
α_i	град	угол наклона поверхности скольжения в пределах i-го отсека (положительное направление против часовой стрелки)

Базовые силовые факторы отсеков призмы

i	G_i , кН/м	T_i , кН/м	N_i , кН/м	S_i , кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\phi_i$, кН/м	$c_i \cdot l_i$, кН/м	$N_i \cdot \text{tg}\phi_i + c_i \cdot l_i$, кН/м
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
15	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,1	0,1
16	0,0	-0,1	0,5	-0,5	0,1	0,1	0,2
17	0,0	-0,1	0,5	-0,5	0,1	0,1	0,2
18	0,0	-0,1	0,5	-0,5	0,1	0,1	0,2
19	0,0	-0,2	0,5	-0,5	0,1	0,1	0,2
20	0,0	-0,2	0,5	-0,5	0,1	0,1	0,2
21	0,0	-0,2	0,5	-0,5	0,1	0,1	0,2
22	0,0	-0,3	0,5	-0,5	0,1	0,1	0,2
23	0,0	-0,3	0,4	-0,4	0,1	0,1	0,2
24	0,0	-0,3	0,4	-0,4	0,1	0,1	0,2
25	0,0	-0,4	0,4	-0,4	0,1	0,1	0,2
26	0,0	-0,4	0,3	-0,3	0,1	0,1	0,2
27	0,0	-0,5	0,3	-0,3	0,1	0,1	0,2
28	0,0	-0,5	0,2	-0,2	0,1	0,2	0,2
29	0,0	-0,4	0,1	-0,1	0,0	0,3	0,4
Итого:	0,3	-3,8			1,6	3,1	4,7

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с нуля)
G_i	кН/м	вес i-го отсека. $G_i = A_i \cdot \gamma_i$
T_i	кН/м	касательная проекция равнодействующей активных сил к основанию i-го отсека. В простейшем случае $T_i = G_i \cdot \sin(\alpha_i)$
N_i	кН/м	проекция равнодействующей активных сил на нормаль к основанию i-го отсека. В простейшем случае $N_i = G_i \cdot \cos(\alpha_i)$
S_i	кН/м	нормальная реакция основания i-го отсека. В простейшем случае при отсутствии армирующих элементов и сил взаимодействия между отсеками $S_i = -N_i$
$N_i \cdot \text{tg}\phi_i$	кН/м	величина условной осредненной силы трения по основанию i-го отсека
$c_i \cdot l_i$	кН/м	величина силы сцепления по основанию i-го отсека
$N_i \cdot \text{tg}\phi_i + c_i \cdot l_i$	кН/м	касательная реакция основания i-го отсека. Это предельная величина силы сопротивления сдвигу грунта по поверхности скольжения i-го отсека без учета влияния армирующих элементов.

Таблица расчета коэффициента устойчивости.
Метод Филлениуса.

i	$M_{акт\ i}$ кН*м/м	$M_{реакт\ i\ тр./сцепл.}$ кН*м /м	$M_{реакт\ i\ арм.}$ кН*м /м	$M_{реакт\ i}$ кН*м /м
0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0
Итого:	0,4	0,5	0,0	0,5

i	-	порядковый номер отсека (нумерация с ноля)
$M_{акт\ i}$	кН*м/м	суммарный момент внешних сил i-го отсека.
$M_{реакт\ i\ тр./сцепл.}$	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил трения и сцепления i-го отсека
$M_{реакт\ i\ арм.}$	кН*м /м	суммарный момент от армирующих элементов i-го отсека
$M_{реакт\ i}$	кН*м /м	суммарный момент реактивных сил i-го отсека

$$K_y = \Sigma M_{реакт\ i} / \Sigma M_{акт\ i}$$

$$K_y = 0,47 / 0,38 = 1,225$$

25.07.2023

_____/((_____))