

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Саратовский государственный университет
генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова»**

На правах рукописи

Горюнов Дмитрий Геннадьевич

**НАУЧНО ОБОСНОВАННЫЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ
ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕМОНТА И РЕКОНСТРУКЦИИ
ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
д-р техн. наук, доцент
Соловьев Д.А.

Саратов - 2026

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	7
1	СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ....	17
1.1	Состояние и перспективы развития мелиоративного комплекса	17
1.1.1	Становление и развитие мелиоративного комплекса	17
1.1.2	Анализ состояния мелиоративного комплекса	24
1.2	Характеристика и классификация оросительных систем	32
1.2.1	Насосные станции оросительных систем.....	32
1.2.2	Открытые оросительные системы.....	33
1.2.3	Закрытые оросительные системы.....	42
1.3	Работы по эксплуатации, ремонту и реконструкции оросительных систем.....	49
1.4	Технологии и технические комплексы для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем.....	55
1.4.1	Технологии и технические комплексы для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных каналов.....	55
1.4.2	Технологии и технические комплексы для эксплуатации, ремонта и реконструкции напорных трубопроводов.....	67
1.5	Технические комплексы мелиоративного производства.....	79
1.5.1	Структура комплекса технического обеспечения мелиоративного производства.....	79
1.5.2	Анализ состояния парка машин мелиоративного производства.....	84
1.5.2.1	Анализ состояния парка машин для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем.....	84
1.5.2.2	Анализ состояния парка машин для орошения сельскохозяйственных культур.....	88
1.5.3	Повышение эффективности эксплуатации парка машин мелиоративного производства.....	90
1.5.4	Анализ исследований по оптимизации парка машин.....	92
1.6	Постановка проблемы.....	96
1.7	Выводы по главе.....	97

2	ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕМОНТА И РЕКОНСТРУКЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	99
2.1	Совершенствование ресурсосберегающих технологий.....	99
2.1.1	Моделирование технологий.....	99
2.1.2	Рациональное использование кустарника.....	101
2.1.3	Ресурсосберегающая технология эксплуатации оросительных каналов.....	105
2.1.4	Ресурсосберегающая технология ремонта и реконструкции оросительных каналов.....	109
2.1.5	Ресурсосберегающие технологии ремонта и реконструкции напорных трубопроводов.....	115
2.1.6	Технические средства ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем	121
2.1.7	Технология эксплуатации дождевальных машин кругового действия	121
2.2	Оптимизация технических комплексов эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем полива дождеванием.....	136
2.2.1	Оптимизационная математическая модель интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией	136
2.2.2	Оптимизационная математическая модель формирования парка машин.....	142
2.2.3	Оптимизационная математическая модель обновления парка машин.....	149
2.2.4	Оптимизационная математическая модель оперативного распределения парка машин.....	160
2.2.5	Оптимизационная модель компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия.....	167
2.3	Выводы по главе.....	180

3	ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	181
3.1	Программа исследований.....	181
3.2	Методика исследований.....	182
3.2.1	Полевые исследования зарастания и заиления каналов оросительных систем.....	182
3.2.1.1	Полевые исследования зарастания оросительных каналов кустарником.....	182
3.2.1.2	Полевые исследования заиления оросительных каналов.....	186
3.2.2	Производственные испытания ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции каналов и напорных трубопроводов оросительных систем полива дождеванием.....	189
3.2.3	Производственные испытания технологии эксплуатации дождевальных машин кругового действия с определением оптимального местоположения монтажной площадки.....	192
3.2.4	Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией.....	195
3.2.5	Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели формирования парка машин.....	205
3.2.6	Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели обновления парка машин.....	207
3.2.7	Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели распределения машин по объектам...	208
3.2.8	Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия.....	210
3.3	Методика обработки результатов исследований.....	211
4	РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	214
4.1	Результаты полевых исследований зарастания и заиления каналов оросительных систем.....	214
4.1.1	Результаты полевых исследований зарастания оросительных каналов кустарником.....	214

4.1.2	Результаты полевых исследований заиления оросительных каналов.....	226
4.2	Результаты производственных испытаний ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции каналов и напорных трубопроводов оросительных систем полива дождеванием.....	228
4.3	Результаты производственных испытаний технологии эксплуатации дождевальных машин кругового действия с определением оптимального местоположения монтажной площадки.....	232
4.4	Результаты экспериментальной апробации оптимизационной математической модели интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией.....	234
4.5	Результаты экспериментальной апробации оптимизационной математической модели формирования парка машин.....	238
4.6	Результаты экспериментальной апробации оптимизационной математической модели обновления парка машин.....	240
4.7	Результаты экспериментальной апробации оптимизационной математической модели распределения машин по объектам...	247
4.8	Результаты экспериментальной апробации оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия.....	268
4.9	Выводы по главе.....	274
5	ВНЕДРЕНИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	276
5.1	Внедрение результатов научных разработок и исследований.....	276
5.2	Энергетическая оценка технологий.....	276
5.2.1	Энергетическая оценка технологий эксплуатации оросительных каналов.....	277
5.2.2	Энергетическая оценка технологий ремонта и реконструкции оросительных каналов.....	281
5.2.3	Энергетическая оценка технологий ремонта напорного трубопровода.....	286
5.2.4	Энергетическая оценка технологий реконструкции	

	напорного трубопровода.....	288
5.2.5	Энергетическая оценка апробации модели определения оптимальных координат монтажных площадок.....	291
5.3	Энергетическая оценка математических моделей оптимизации технических комплексов.....	292
5.3.1	Энергетическая оценка оптимизационной математической модели интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией.....	292
5.3.2	Энергетическая оценка оптимизационной математической модели формирования парка машин.....	292
5.3.3	Энергетическая оценка оптимизационной математической модели обновления парка машин.....	293
5.3.4	Энергетическая оценка оптимизационной математической модели распределения машин по объектам.....	294
5.3.5	Энергетическая оценка оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия.....	295
5.4	Выводы по главе.....	297
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	298
	РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	300
	ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	301
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	302
	ПРИЛОЖЕНИЯ	338
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	339
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	342
	ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	343
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	346
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	351
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	358
	ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	375
	ПРИЛОЖЕНИЕ З.....	384
	ПРИЛОЖЕНИЕ И.....	387
	ПРИЛОЖЕНИЕ К.....	391
	ПРИЛОЖЕНИЕ Л.....	393
	ПРИЛОЖЕНИЕ М.....	400

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В современном мире, характеризующимся растущим демографическим давлением и климатическими изменениями, производство достаточного объема сельскохозяйственной продукции становится критически важной задачей, тесно связанной с надежным функционированием оросительных систем. В условиях России этот вопрос приобретает критическую важность, так как из-за недостаточного увлажнения под угрозой оказываются более 70 % сельхозугодий и около 80 % пашни, находящихся в зонах рискованного земледелия. Эти территории регулярно страдают от продолжительных засух и разрушительных суховеев, причем в степных и сухостепных районах засухи случаются каждые 2–3 года, что создает серьезные риски для устойчивого производства сельскохозяйственной продукции [131, 192, 199]. Гарантировать стабильные урожаи и продовольственную безопасность страны в таких условиях способна только масштабная и научно обоснованная мелиорация, обеспечивающая продуктивность в 2–4 раза выше, чем на богарных землях.

Стабильная подача воды сельскохозяйственным культурам невозможна без согласованной работы всего технического комплекса, включающего в себя насосные станции, открытые и закрытые оросительные системы, а также дождевальную технику. Это, в свою очередь, достижимо лишь при наличии научно обоснованной системы эксплуатационных мероприятий, основанной на современных ресурсосберегающих технологиях.

Первым звеном такой системы является оптимизация работы насосных станций, позволяющая сократить энергозатраты ресурсоемкого начального этапа водоподачи на 15–25 %. Не менее важным направлением является поддержание в оптимальном состоянии ключевых гидротехнических сооружений – оросительных каналов и напорных трубопроводов, поскольку именно их техническое состояние напрямую определяет объем и качество воды, доставляемой на орошаемые поля. Проблема усугубляется высоким уровнем износа оросительных систем, достигшим в среднем 69,1 %. Данная ситуация требует не только масштабных работ по эксплуатации, ремонту и реконструкции, но и скорейшего внедрения ре-

сурсосберегающих технологий и оптимизации технических комплексов функционирования оросительных систем. При этом принципиально важным представляется подход, в котором оптимизационные мероприятия охватывают не только насосное оборудование и эксплуатационно-ремонтную технику, но и завершающее звено технологической цепи – дождевальные машины, работающие непосредственно на орошаемом поле. Необходима всесторонняя оптимизация производственной цепочки «насосные станции – парк машин для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем – дождевальные машины».

Таким образом, внедрение современных ресурсосберегающих технологий и оптимизация технических комплексов позволят сократить ежегодные экономические потери АПК, оцениваемые более чем 90 млрд рублей, и будут способствовать достижению к 2030 году стратегической цели – увеличению площади орошаемых земель до 10 млн га.

Актуальность темы исследования подтверждена тем, что работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006–2010 годы и на период до 2013 года», Федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы», Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации (на период с 2022 по 2031 г.).

Степень разработанности темы. Исследования ведущих ученых и специалистов мелиоративной отрасли, таких, как Ф.К. Абдразаков (2002), И.П. Айдаров (1999), М.Н. Багров (1988), Л.И. Бадаев (1992), Т.С. Борщов (1985), А.В. Волков (2005), Ю.В. Гуляев (2000), В.С. Егоров (2004), Н.Т. Кавешников (1989), Б.М. Кизяев (2002), А.А. Коршиков (2000), И.П. Кружилин (1988), И.И. Мер (1980), М.Ф. Натальчук (1992), Г.В. Ольгаренко (1998), В.И. Ольгаренко (2006), А.Т. Раимбаев (1979), Д.А. Соловьев (2011), В.Н. Щедрин (2004), В.Г. Ясинецкий (1985) и др., последовательно доказывают актуальность разработки новых и со-

вершенствования существующих технологий и технических комплексов для проведения эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных системах. Их научные труды подчеркивают, что существующие методы и оборудование не в полной мере соответствуют современным требованиям ресурсоэффективности, особенно в условиях высокого уровня износа мелиоративной инфраструктуры.

В рамках другого направления исследования работы Ф.К. Абдразакова (2002), С.С. Атаева (1983), Р.М. Баширова (1990), Б.Д. Докина (1983), Ю.Б. Емелина (1995), С.Е. Канторера (1983), П.К. Кудайбергенова (1981), Э.А. Финна (1985) и других ученых убедительно демонстрируют необходимость оптимизации технических комплексов для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем. Их работы подтверждают, что фрагментарный подход к модернизации отдельных элементов не приносит ожидаемого эффекта, а требует комплексного решения.

В развитие идей, выдвинутых перечисленными авторами, нами предлагается принципиально новый подход – единый комплекс эксплуатационных мероприятий, направленный на оптимизацию всей производственной цепочки «насосные станции – парк машин для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем – дождевальные машины». Такой системный подход позволяет достичь синергетического эффекта за счет согласованного внедрения научно обоснованных ресурсосберегающих технологий и оптимизации технических комплексов на всех этапах водоподачи и полива, что в конечном итоге обеспечит существенное повышение ресурсоэффективности мелиоративных мероприятий.

Цель исследования – повышение ресурсоэффективности эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем на основе совершенствования технологий и оптимизации технических комплексов.

Задачи исследования:

1. Анализ существующих технологий и комплексов технических средств для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем полива дождеванием, в том числе насосных станций, транспортирующей сети и дождевальной техники.

2. Теоретическое обоснование и разработка системы эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем полива дождеванием, обеспечивающей снижение энергозатрат и включающей в себя технологию очистки каналов от кустарниковой растительности и наносов, блоки технологий подготовительных работ, ремонта и реконструкции каналов и напорных трубопроводов на заросших участках трассы, технологию эксплуатации дождевальных машин кругового действия.

3. Разработка и верификация оптимизационной математической модели интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией, работающей на сеть закрытых напорных трубопроводов с широкозахватными дождевальными машинами кругового действия, позволяющей сократить энергопотребление.

4. Разработка и верификация оптимизационных математических моделей формирования, обновления и оперативного распределения парка машин для эксплуатационно-ремонтных работ на транспортирующей сети оросительных систем с обеспечением снижения энергозатрат.

5. Разработка и верификация оптимизационной модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия, позволяющей с учетом интенсивности полива и длин пролетов, применяемых в машине, оптимально адаптировать ее к геометрическим параметрам орошаемого поля, уменьшить массу машины, сократить число самоходных тележек и снизить энергозатраты.

Объект исследования – оросительные системы, технические средства для их эксплуатации, ремонта и реконструкции, дождевальные машины.

Предмет исследования – технологические процессы эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем полива дождеванием.

Научную новизну работы представляют:

– научно обоснованные ресурсосберегающие технологии эксплуатации, ремонта и реконструкции каналов и напорных трубопроводов оросительных систем полива дождеванием, позволяющие рационально утилизировать срезанную ку-

старниковую растительность путем переработки в щепу вместо экологически опасного сжигания;

– разработанная технология эксплуатации дождевальных машин кругового действия с определением оптимального местоположения монтажной площадки, позволяющая сократить суммарные энергозатраты на транспортные работы;

– оптимизационная математическая модель интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией, работающей на сеть закрытых напорных трубопроводов с широкозахватными дождевальными машинами кругового действия, минимизирующая энергопотребление за счет ликвидации потерь на дросселирование и работы насосов в неустойчивых режимах;

– оптимизационные математические модели формирования, обновления и оперативного распределения парка машин для эксплуатационно-ремонтных работ на транспортирующей сети оросительных систем полива дождеванием, позволяющие сократить энергозатраты на ключевых этапах жизненного цикла технических комплексов;

– оптимизационная математическая модель компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия, адаптированная к конфигурации орошаемого поля, направленная на снижение массы машины и сокращение энергозатрат при ее эксплуатации.

Научная новизна предложенных технологических и технических решений подтверждена патентами РФ на изобретение № 2258354, 2316206, 2716987, 2801951, 2810574, 2827428, 2864950.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории ресурсосбережения при эксплуатации, ремонте и реконструкции оросительных систем, разработке нового методологического подхода к созданию математических моделей оптимизации технических средств и комплексов функционирования оросительных систем.

Практическая значимость работы определяется комплексным характером предложенных решений, доведенных до уровня готовности к промышленному внедрению и апробированных в реальных производственных условиях.

Предложен комплекс ресурсосберегающих технологий для эксплуатации, ремонта и реконструкции каналов и напорных трубопроводов оросительных систем полива дождеванием, обеспечивающий:

- повышение пропускной способности каналов после очистки на 23–31 %;
- интенсификацию ремонтно-восстановительных работ на 10–45,8 % по сравнению с базовыми методами;
- экологически безопасную утилизацию порубочных остатков.

Разработана оптимизационная математическая модель интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией, позволяющая достичь экономии электроэнергии на 19,5 %.

Разработаны инструменты управления парком машин для эксплуатационно-ремонтных работ на транспортирующей сети оросительных систем полива дождеванием:

- оптимизационная математическая модель формирования парка машин, определяющая оптимальный состав техники (кусторезы КН-3М, экскаватор ЭО-3323М) и снижающая энергозатраты на 15,8–17,3 %;
- оптимизационная математическая модель обновления парка машин, устанавливающая экономически обоснованные сроки службы техники (10–13 лет) и сокращающая энергозатраты на 38,3–39 %;
- оптимизационная математическая модель оперативного распределения техники по производственным объектам, снижающая энергозатраты на 13,1–13,6 %.

Предложена оптимизационная математическая модель компоновки водопроводящего трубопровода дождевальных машин кругового действия, адаптирующая их конструкцию к конфигурации орошаемых полей и обеспечивающая уменьшение массы машин, сокращение числа самоходных тележек и снижение энергозатрат при эксплуатации на 9,3 %.

Результаты исследований апробированы и внедрены в деятельность сельскохозяйственных предприятий Саратовской, Волгоградской, Астраханской и Курской областей, что подтверждает их практическую ценность и обеспечивает

качественно новый, ресурсоэффективный уровень организации мелиоративного производства. Разработанные решения имеют универсальный характер и могут быть тиражированы на мелиоративных системах в других регионах.

Методология и методы исследования. Методология исследований основана на соблюдении принципов объективности, системности и целостности. При проведении исследований учитывалось условие адекватности подходов и средств, позволяющих получать знания об объекте, близкие к их точным значениям. В качестве основных методов исследований в работе применялись: системное исследование, аналитическое описание технологических процессов на основе известных законов и методов математического анализа, а также современные компьютерные методы для обработки данных и оптимизации моделей. Для оценки достоверности и адекватности результатов использовались стандартные вычислительные инструменты и алгоритмы. Экспериментальные исследования и производственные испытания выполнены с использованием хронометража, стандартных методик и приборов. Обработку результатов исследований проводили методами математической статистики с применением современных информационных технологий, включая специализированные программные комплексы и вычислительные средства.

Положения, выносимые на защиту:

1. Комплекс научно обоснованных ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем полива дождеванием, обеспечивающих снижение энергозатрат на 10–45,8 % и экологически безопасную утилизацию порубочных остатков за счет переработки срезанной кустарниковой растительности в щепу.
2. Новая технология эксплуатации дождевальных машин кругового действия с определением оптимального местоположения монтажной площадки, обеспечивающая снижение суммарных энергозатрат на транспортные работы при развертывании машин в полевых условиях на 10,7 %.
3. Оптимизационная математическая модель интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией, работающей на сеть закрытых напорных тру-

бопроводов с широкозахватными дождевальными машинами кругового действия, минимизирующая энергопотребление на 19,5 % за счет ликвидации потерь на дросселирование и исключения работы насосных агрегатов в неоптимальных зонах характеристик.

4. Оптимизационные математические модели формирования, обновления и оперативного распределения парка машин для эксплуатационно-ремонтных работ на транспортирующей сети оросительных систем полива дождеванием, научно обосновывающие оптимальный состав техники (кустореж КН-3М, экскаватор ЭО-3323М), экономически целесообразные сроки ее службы (10–13 лет) и позволяющие сократить совокупные энергозатраты на ключевых этапах жизненного цикла парка машин на 13,1–39 %.

5. Оптимизационная математическая модель компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия, учитывающая геометрические параметры орошаемых полей и позволяющая снизить массу машины, сократить число самоходных тележек и уменьшить энергозатраты на 9,3 %.

Степень достоверности и апробация результатов обеспечены путем публикации статей в научных журналах, новизна подтверждается патентами, научными изданиями, а также апробацией результатов исследований на оросительных системах Саратовской, Волгоградской, Астраханской и Курской областей. Опытные данные научных исследований получены в результате использования общеизвестных методик при проведении полевых экспериментов.

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова, в настоящее время – «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» (2003–2025 гг.); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования» в Самарской ГСХА (Самара, 2005); Международной научно-практической конференции «Агроэкологическое состояние АПК: опыт, поиски, решения» в Саратовском РИППК (Саратов, 2005); Российской научно-

практической конференции «Роль научных и проектных организаций в социальном развитии села России» в ФГУП «НИПИГипропромсельстрой» (Саратов, 2005); Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня рождения проф. А.Г. Рыбалко в Саратовском ГАУ (Саратов, 2006); Научно-практической конференции «Современные проблемы развития АПК» в Волгоградской ГСХА (Волгоград, 2006); Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современного водохозяйственного комплекса» в Омском ГАУ (Омск, 2010); Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения проф. В.Г. Кобы в Саратовском ГАУ (Саратов, 2011); Международной научно-практической конференции «Основные проблемы сельскохозяйственных наук» в Инновационном центре развития образования и науки (Волгоград, 2016); Международной научно-практической конференции «Сельскохозяйственные науки: от вопросов к решениям» (Томск, 2016); Международной научно-практической конференции «Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении» в Саратовском ГАУ (Саратов, 2016); Всероссийской научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность» в Саратовском ГАУ (Саратов, 2017); Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях» в Саратовском ГАУ (Саратов, 2018); Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы инновационной агроэкономики» в Саратовском ГАУ (Саратов, 2020); научно-практической конференции с международным участием «Глобальные вызовы и инновационные решения в мелиоративном комплексе», посвященной 60-летию образования ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» (Энгельс, 2026).

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном исполнении всех этапов работы: анализ технологий и комплексов технических средств для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем полива дождеванием; постановка научной проблемы, цели и задач исследований; теоретическое обоснование и разработка системы эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных

систем полива дождеванием; оптимизационных математических моделей: интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией; моделей формирования, обновления и оперативного распределения парка машин для эксплуатационно-ремонтных работ на транспортирующей сети оросительных систем; модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальнй машины кругового действия; составление программы и методики исследований; проведение и анализ результатов экспериментальных исследований ресурсосберегающих технологий и оптимизационных моделей технических комплексов; подготовка публикаций по теме диссертации; подача заявок на изобретения.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 57 научных работ, в том числе 11 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 монографии, получено 7 патентов на изобретения. Общий объем публикаций составляет 61,5 печ. л., из них на долю автора приходится 31,4 печ. л.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, рекомендаций производству, перспектив дальнейшей разработки темы, списка литературы и приложений. Общий объем составляет 419 страниц компьютерного текста, который включает в себя основной текст и приложения. Основной текст изложен на 337 страницах, содержит 75 таблиц, 91 иллюстрацию. Список литературы включает в себя 327 наименований, в том числе 10 на иностранных языках.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

1.1 Состояние и перспективы развития мелиоративного комплекса

1.1.1 Становление и развитие мелиоративного комплекса

Мелиорация земель продолжает оставаться ключевым элементом аграрного сектора в современных условиях. Как отечественная, так и международная практика подтверждает, что именно мелиорируемые земли способны гарантировать высокую эффективность сельскохозяйственного производства. Борьба с засухой исторически имела стратегическое значение для государства. Развитию мелиорации уделяли особое внимание как в дореволюционной России, так и в советский период [95].

Сельскохозяйственное производство в Российской Федерации осуществляется в разнообразных и зачастую экстремальных природно-климатических условиях. Хотя многие культуры выращиваются в зонах с благоприятными температурными режимами и плодородными почвами, около 70 % пашни расположено в засушливых регионах. При этом 80 % сельхозугодий сталкиваются с острым дефицитом осадков [113, 127, 131, 167, 192, 209, 312].

В степных и сухостепных районах России засухи, сопровождающиеся нехваткой влаги (350–450 мм), случаются каждые 2–3 года. В такие периоды потенциал современных сортов растений и технологий остается нераскрытым, что приводит к значительному падению урожайности и объемов производства.

Мелиорация играет важнейшую роль в обеспечении стабильности аграрного сектора. Продуктивность мелиорируемых земель превышает показатели богарных угодий в 2–4 раза. Кроме того, на таких участках снижаются затраты ресурсов, а производительность труда возрастает в 2–3 раза [209].

Исторические данные свидетельствуют: к 1913 г. в Российской империи насчитывалось 6,8 млн га мелиорированных земель, а к 1970 г. их площадь увеличилась до 21 млн га. После запуска государственной программы в 1967 г. эти территории расширились до 40,5 млн га к 1990 г. в границах СССР (рисунок 1.1) [311].

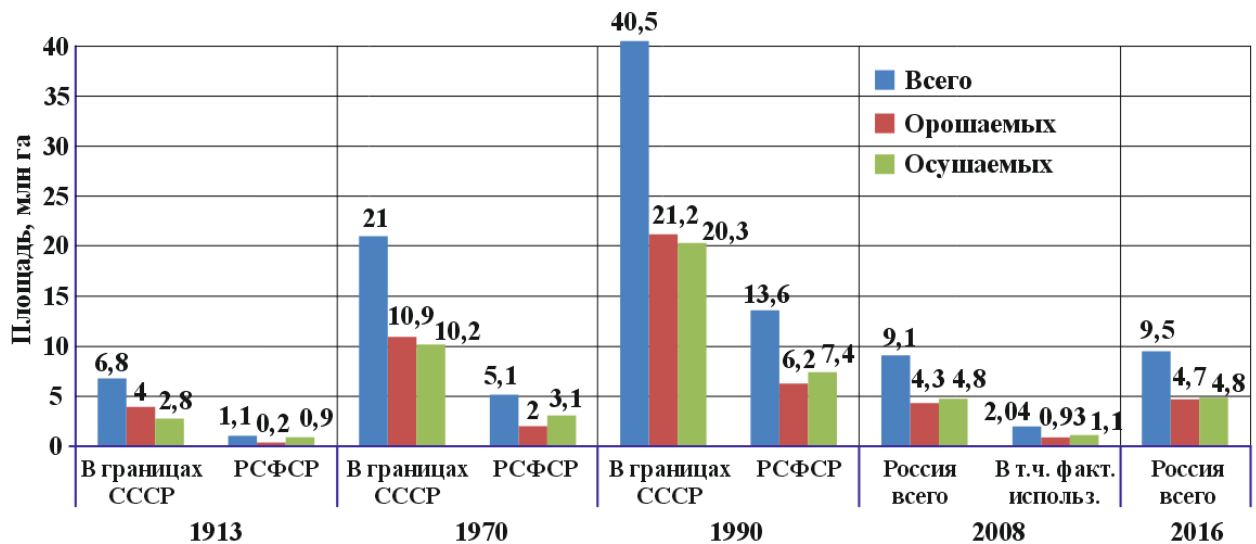


Рисунок 1.1 – Площади мелиорированных земель в России

К 2020 году мелиоративный фонд России составлял 9,45 млн гектаров, из них 4,67 млн га – орошаемые земли, при этом в сельхозпроизводстве фактически использовалось 3,86 млн га. Полив орошаемых площадей обеспечивался двумя основными путями: 1,69 млн га поливались благодаря государственным мелиоративным системам и около 0,75 млн га (по экспертным оценкам) были политы благодаря инициативам сельхозпроизводителей, использовавших локальные методы орошения. При этом значительная часть мелиорированных земель оставалась невостребованной. Общая площадь неиспользуемых угодий составила 2320,6 тыс. га, включая 791 тыс. га орошаемых земель. Из последних 116,6 тыс. га оказались непригодными для сельского хозяйства из-за деградации почв – засоления и заболачивания.

Отдельной проблемой стала техническая изношенность инфраструктуры. Из 4,67 млн га орошаемых земель полив не осуществлялся на 2963,35 тыс. га. Основной причиной (1912,92 тыс. га) стала неисправность оросительных сетей, что указывает на критическую необходимость проведения работ по их эксплуатации, ремонту и реконструкции (таблица 1.1) [209].

Таблица 1.1 – Техничко-эксплуатационное состояние орошаемых земель России

Наименование показателя	Значение показателя
Орошаемые сельхозугодья, млн га	4,67
Из них, тыс. га:	
требуют улучшения земель и повышения технического уровня мелиоративных систем	2545,7
бесхозные и находящиеся на стадии оформления или временно неиспользуемые	737,41
используются в сельхозпроизводстве	3890,281
Состояние земель, млн га:	
хорошее экологическое	2,41
нормативное (удовлетворительное)	1,36
неудовлетворительное	0,9

Данные по использованию орошаемых земель в сельском хозяйстве представлены в таблице 1.2.

Динамика изменения орошаемых площадей в России представлена в таблице 1.3.

Распределение орошаемых земель в России по формам собственности выглядит следующим образом:

- федеральная собственность – 2146,42 тыс. га;
- собственность субъектов РФ – 478,8 тыс. га;
- муниципальные образования, юрлица и граждане – 1216,55 тыс. га;
- бесхозные участки и земли в процессе оформления – 357,35 тыс. га.

Согласно анализу ФГНУ «РосНИИПМ», для устойчивого развития агропромышленного комплекса и гарантии продовольственной безопасности к 2030 г. требуется довести площадь мелиорированных земель до 25 млн га, в том числе, до 10 млн га орошаемых (рисунок 1.2) [311].

Эти меры становятся критически важными на фоне глобального потепления и прогнозируемого опустынивания южных регионов России. Ученые предупреждают: климатические аномалии усилят зависимость растениеводства от погодных условий. В такой ситуации мелиорация становится ключевым инструментом для компенсации рисков и наращивания объемов производства сельхозпродукции.

Таблица 1.2 – Орошаемые земли России, используемые в сельскохозяйственном производстве

Федеральный округ	Орошаемые земли, тыс. га	Орошаемые земли, используемые в сельскохозяйственном производстве, тыс. га
2013 г.		
Центральный	479,03	322,12
Северо-Западный	18,37	13,11
Южный	1111,97	1106,35
Северо-Кавказский	1028,11	677,7
Приволжский	893,2	683,11
Уральский	120,19	100,89
Сибирский	332,92	294,26
Дальневосточный	289,45	203,99
2015 г.		
Центральный	482,57	389,00
Северо-Западный	16,77	13,37
Южный	1506,84	1140,87
Северо-Кавказский	1017,94	883,38
Приволжский	898,51	832,50
Уральский	120,10	111,30
Сибирский	333,19	305,98
Дальневосточный	287,73	199,59
2018 г.		
Центральный	482,81	433,95
Северо-Западный	16,72	14,03
Южный	1513,71	1117,41
Северо-Кавказский	993,66	846,28
Приволжский	901,80	821,79
Уральский	120,06	109,22
Сибирский	331,65	320,12
Дальневосточный	306,89	197,14
2020 г.		
Центральный	484,236	433,05
Северо-Западный	16,467	13,74
Южный	1513,77	1101,35
Северо-Кавказский	983,94	819,52
Приволжский	907,811	831,15
Уральский	120,057	109,58
Сибирский	333,10	324,91
Дальневосточный	305,22	187,27
2023 г.		
Центральный	485,90	427,90
Северо-Западный	16,50	14,00
Южный	1522,20	1173,00
Северо-Кавказский	987,40	863,80
Приволжский	890,90	863,2
Уральский	120,20	112,2
Сибирский	338,20	320,8
Дальневосточный	306,70	185,60

Таблица 1.3 – Площади орошаемых земель в России

Год	Мелиорированные земли, млн. га	Орошаемые земли, %
1985	10,79	53,8
1990	11,54	53,4
1995	9,79	51,1
2000	9,10	49,1
2005	9,35	48,7
2007	9,11	47,6
2010	9,01	47,3
2013	9,05	47,2
2017	9,44	49,4
2018	9,45	49,4
2020	9,45	49,3
2023	9,38	49,8

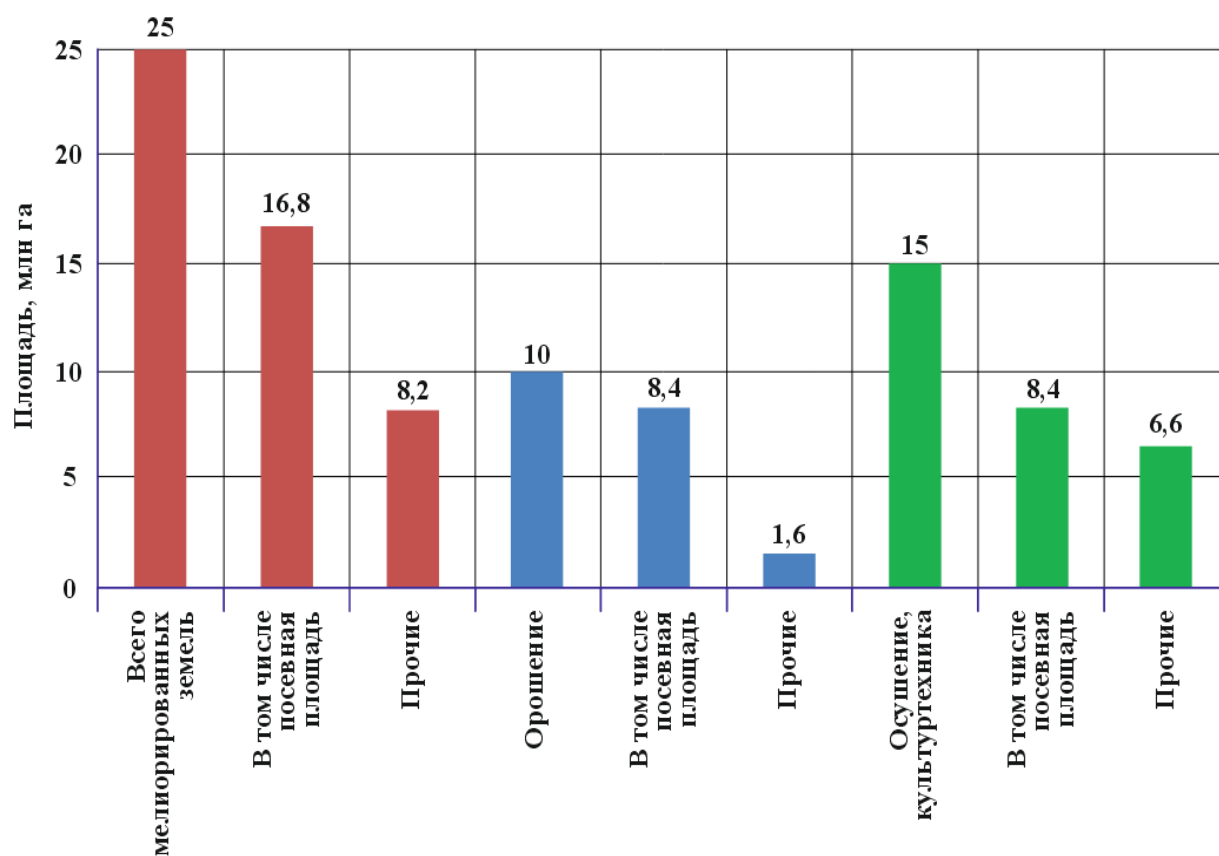


Рисунок 1.2 – Площади земель для обеспечения устойчивого развития АПК (по оценке ФГНУ «РосНИИПМ»)

Увеличение площадей мелиорированных земель, внедрение научно обоснованных подходов к севообороту и зонированию сельхозкультур, а также использование современных технологий орошения и агротехники способны значительно увеличить объемы производства продукции АПК и расширить возможности экспорта. Однако достижение этих целей требует комплексной модернизации: улучшения состояния мелиоративных систем, минимизации потерь воды, повышения пропускной способности открытых каналов, внедрения ресурсосберегающих и энергоэффективных решений, разработки инновационной техники и оптимизации технологических процессов.

Реализация этих мер сопряжена с существенными финансовыми затратами. По оценкам ФГНУ «РосНИИПМ», реконструкция устаревшей инфраструктуры и создание новых систем для достижения целевого показателя в 25 млн га мелиорированных земель потребует около 4,5 трлн рублей. Несмотря на масштабность вложений, эти инвестиции критически важны для устойчивого развития отрасли. Эксперты прогнозируют, что коммерческая окупаемость проектов составит около 11 лет. При этом социальные выгоды (снижение продовольственных рисков, рост занятости) проявятся уже через 5 лет, а возврат бюджетных средств ожидается через 8 лет [311].

Если рассматривать Поволжье, то здесь эксплуатацией государственных оросительных систем занимается ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» – это 11 структурных филиалов, включающих не только Саратовскую область, но и Самарскую, Пензенскую, Ульяновскую области и Республику Мордовия.

Площадь орошения составляет 578,091 тыс. га. Полив сельскохозяйственных культур осуществляется на площади около 160 тыс. га. Всего задействовано более 2000 дождевальных машин. На балансе ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» числится 29,2 млрд руб. основных фондов, в том числе объектов недвижимости 24,7 млрд руб. Из них магистральные и распределительные каналы – 1505,8 км; электрифицированные насосные станции – 386 шт.; ГТС водохранилищ – 101 шт., в том числе декларируемые по безопасности ГТС – 56 шт.

Динамика мелиоративного состояния земель в Саратовской области представлена в таблице 1.4 [17, 50, 57, 58, 142, 199, 248].

Таблица 1.4 – Динамика мелиоративного состояния орошаемых земель Саратовской области

Год	Наличие орошаемых земель, га	Мелиоративное состояние, га		
		Хорошее	Удовлетворительное	Неудовлетворительное
2000	257331	199059	31563	26709
2012	257300	210189	24515	22596
2013	257300	210233	24484	22583
2014	257300	210233	24484	22583
2015	257300	210716	24423	22161
2016	257300	210716	24423	22161
2017	257300	210460	24536	22304
2018	257300	210473	24491	22336
2019	257331	208292	25369	23670
2020	257330	207335	25943	24052
2021	257300	209061	24682	23557
2022	257300	208205	25512	23583

Оросительные системы ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» обеспечивают подачу воды в необходимых объемах и в установленные сроки. Это позволяет сельхозпроизводителям получать на орошаемых землях урожай в объеме 763 тыс. тонн условных единиц, что составляет 28 % от общего объема продукции растениеводства. Средняя урожайность сельскохозяйственных культур достигает 57,2 центнера кормовых единиц с 1 га, что в 7,3 раза превышает показатели богарного земледелия. Таким образом, каждый кубометр поливной воды обеспечивает прирост урожайности на 2 кормовые единицы.

Доля сельскохозяйственной продукции, выращенной на орошаемых землях, в общем объеме валовой продукции растениеводства распределяется следующим образом: кукуруза на силос – 81 %, соя – 89 %, кукуруза на зерно – 83 %, овощи – 100 %, картофель – 72 %. При этом затраты на полив составляют не более 15 % от общей себестоимости продукции.

1.1.2 Анализ состояния мелиоративного комплекса

На сегодняшний день в состав мелиоративного комплекса страны входит свыше 34,3 тыс. инженерных сооружений. Этот фонд представлен 232 водохранилищами, более чем 2 тысячами распределительных гидроузлов, 134 плотинами, 1,8 тыс. насосных станций, сетью магистральных каналов протяженностью 42,3 тыс. км и защитными валами длиной более 3 тыс. км.

Эксплуатацию мелиоративного комплекса обеспечивают 77 специализированных учреждений, работающих в 74 субъектах Российской Федерации.

Государственная мелиоративная инфраструктура включает 38613 сооружений, в том числе 31066 гидротехнических сооружений:

- 286 водохранилищ;
- 200 прудов;
- 27 речных плотин;
- 489 регулирующих гидроузлов;
- 494 водозабора;
- 814 каналов общей протяженностью 23,253 тыс. км;
- 1440 насосных станций;
- 1193 трубопровода общей длиной 4,085 тыс. км;
- 238 дамб протяженностью 1,818 тыс. км;
- 15 мостов;
- 9 521 прочих сооружений;
- 123,185 тыс. га польдерных систем.

Кроме того, в состав инфраструктуры входят 7547 объектов недвижимости, включая:

- 525 административных зданий;
- 222 жилых помещения;
- 706 складов;
- 363 мастерских;
- 765 гаражей;
- 4966 прочих сооружений.

На мелиоративных системах и гидротехнических сооружениях установлено 1564 прибора учета воды [209].

Техническое состояние оросительных систем классифицируется по четырем разрядам (таблица 1.5) [193]. Для систем 1 и 2 разрядов установлены следующие требования:

Водообеспеченность: в течение вегетационного периода система должна обеспечивать 100 %-ную потребность в воде (расчет выполняется для года с 75 %-ной вероятностью превышения стока).

Очистка наносов: объем наносов, подлежащих удалению, не должен превышать 5 м³/га.

Отвод избыточных вод: сбросная и межхозяйственная сеть должна эффективно отводить излишки воды за пределы системы.

Автоматизация: на каналах и сооружениях межхозяйственной сети применяются автоматизированные системы водораспределения и учета воды.

Протяженность каналов: длина постоянных каналов должна составлять не более 20–25 м/га.

Площадь поливных участков: минимальная площадь одного участка – 20 га.

Поливная техника: использование современных технологий, включая дождевальные машины, поливные трубопроводы и шланги.

Оросительная система высокого технического уровня должна гарантировать получение 90 % среднегодовой продукции растениеводства не менее чем за 20-летний период.

Рекомендуемая инфраструктура для обеспечения эффективной эксплуатации орошаемых земель составляет порядка 50–60 и более регулирующих сооружений на каждую 1000 га, а также 1–2 водовыдела на хозяйство. Оптимальная сеть наблюдений и коммуникаций включает 12–15 гидрометрических постов, до 8 км служебных дорог и 8–10 км телефонных линий на ту же площадь. Соблюдение данных нормативов является ключевым условием для оперативного управления водным режимом, проведения планового ремонта и минимизации эксплуатационных потерь [193].

Таблица 1.5 – Техническое состояние оросительных систем

Разряд	Техническое состояние			Мелиоративное состояние			Объем реконструкции
	Отклонение от КИВ	КЗИ	КПД оросительной сети	Площадь засоленных земель, %	Глубина грунтовых вод, м	Минерализация грунтов, г/л	
Хорошее							
1	~ 0,005	0,85; 0,50*	0,8–0,85	нет	более 5	до 5	совершенствование поливной техники
Удовлетворительное							
2	~ 0,005	0,80; 0,50*	0,66–0,75	до 20	3–4 на площади не более 20 %	до 5	до 25 % существующей стоимости
Недостаточное, малоуправляемое							
3	более 0,005	0,50–0,65	0,51–0,65	до 50	2–3 на площади до 30 %	более 5	26–50 % существующей стоимости
Неудовлетворительное							
4	–	–	–	–	–	–	более 50 % существующей стоимости
Примечание: * – для засушливой зоны							

Основные показатели оценки технического состояния оросительных систем в России представлены в таблице 1.6 [209].

Основная часть фондов мелиоративной инфраструктуры была создана в 1980-е годы, что привело к их значительному износу. В среднем по России уровень износа оросительных систем достигает 69,1 %.

Эффективность работы оросительных систем остается низкой:

- на 50 % общей площади орошения коэффициент полезного действия (КПД) составляет менее 0,60;
- на 36 % площади КПД находится в диапазоне 0,60–0,80;
- лишь на 14 % площадь гидромелиоративных систем демонстрирует КПД выше 0,80.

Таблица 1.6 – Техническое состояние оросительных систем в России

Год	Площадь сельхозугодий, на которой необходимо проведение капитальных работ для повышения уровня систем, тыс. га				
	комплексная реконструкция оросительных систем	строительство и переустройство коллекторно-дренажной сети	повышение водообеспеченности	ремонт оросительной сети	ремонт коллекторно-дренажной сети
2002	1869,7	482,6	97,4	—	157,9
2005	1888,5	496,4	106,0	—	201,6
2008	1935,9	466,1	105,3	—	199,0
2010	1968,5	337,6	141,5	—	135,6
2015	1516,2	351,4	133,3	445,4	87,4
2018	1992,9	436,8	102,1	656,4	139,7
2020	2133,4	493,7	122,3	700,8	175,6

Такие показатели свидетельствуют о значительных потерях воды в оросительных сетях – от 25 до 60 % от общего объема водозабора. Это не только снижает эффективность использования ресурсов, но и ухудшает экологическую обстановку на орошаемых землях.

За последние 10 лет площадь земель, не используемых для полива из-за неудовлетворительного состояния инфраструктуры, сократилась с 75 % до 50 %. Однако даже такие улучшения не позволяют в полной мере реализовать потенциал ирригационного фонда страны.

Фактическая урожайность орошаемых земель в России находится на уровне 2,2–3,2 тонны зерновых единиц с гектара, что существенно ниже проектных показателей (7–9 т). При этом из-за разрушения инфраструктуры полив полностью прекращен на 3,3 млн га. Данная ситуация наносит значительный экономический ущерб: агропромышленный комплекс ежегодно недополучает продукции более чем на 90 млрд рублей, а потери федерального бюджета от недополученных налогов оцениваются минимум в 30 млрд рублей ежегодно.

В таблице 1.7 представлены данные о состоянии мелиоративного фонда России [209].

Экологическое состояние орошаемых земель характеризуется следующими данными: в хорошем состоянии находятся 2,41 млн га, в удовлетворительном – 1,38 млн га, а в неудовлетворительном – 0,9 млн га. При этом земли с неудовлетворительным состоянием деградируют преимущественно из-за подъема грунтовых вод (0,4 млн га), засоления почв (0,26 млн га) или комбинации этих двух факторов (0,24 млн га). Таким образом, общая площадь земель, требующих первоочередного внимания и восстановления, значительна и составляет почти пятую часть от всех орошаемых угодий.

Несмотря на некоторое улучшение состояния земель, доля неудовлетворительно мелиорируемых территорий остается высокой. На орошаемых землях этот показатель составляет 17,18 %, или 751,51 тыс. га (таблица 1.8). Столь значительная площадь деградированных земель требует целенаправленных программ по их восстановлению и совершенствованию мелиоративных систем.

Таблица 1.7 – Экологическое состояние мелиоративного фонда России (орошение), %

Федеральный округ	Хорошее	Нормальное	Плохое
Центральный	44	30	26
Северо-Западный	8	54	38
Приволжский	68	28	4
Сибирский	63	29	9
Северо-Кавказский	41	25	34
Южный	60	22	18
Уральский	53	36	11
Дальневосточный	46	21	33

Таблица 1.8 – Экологическое состояние орошаемых земель в России

Год	Обслужи- ваемые земли, тыс. га	Оценка экологического состояния орошаемых земель					
		хорошее	удовлетворительное	неудовлетворительное	в том числе		
					недопустимый уровень грунтовых вод	недопустимая степень засоления почв	недопустимые УГВ и степень засоления почв
2005	4497,0	2558,4	1024,3	914,3	345,5	249,9	318,9
2010	3786,3	1904,2	935,6	946,5	320,6	235,3	129,0
2015	3883,2	2207,5	981,9	693,8	271,1	244,7	165,3
2020	4374,6	2411,7	1211,4	751,5	381,8	269,2	173,1

Базовые приоритеты, цели государственной политики и общие требования к действиям регионов в сфере вовлечения сельхозземель в оборот и развития мелиорации закреплены в нескольких основополагающих документах. К ним относятся:

- Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ до 2030 года (распоряжение Правительства РФ от 12.04.2020 № 993-р);
- Доктрина продовольственной безопасности РФ (Указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20);
- Указ Президента РФ от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития РФ на период до 2030 года».

В указанных документах определены ключевые задачи развития мелиоративно-водохозяйственного комплекса:

- укрепление продовольственной безопасности и повышение эффективности сельскохозяйственного производства;

- гарантированное обеспечение качественными водными ресурсами сельского населения и объектов агропромышленного комплекса;
- поддержание безопасности гидротехнических сооружений;
- защита населения и экономики от наводнений и иного негативного воздействия вод, основанная на сбалансированном учете социально-экономических факторов;
- сохранение благоприятной экологической обстановки и природно-ресурсного потенциала, в том числе через повышение почвенного плодородия и охрану водных объектов [97].

На основании комплексного анализа состояния мелиоративного комплекса России совершенствование и внедрение ресурсосберегающих технологий и технических комплексов для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем является стратегической необходимостью. Критический износ инфраструктуры, достигший в среднем по стране 69,1 %, приводит к колоссальным потерям воды (25–60 % от водозабора) и низкому коэффициенту полезного действия сетей (КПД менее 0,6 на половине площадей). В результате из 4,67 млн га орошаемых земель поливается лишь 3,86 млн га, а агропромышленный комплекс ежегодно недополучает продукции на сумму свыше 90 млрд рублей. Для перелома этой негативной тенденции и достижения целевого показателя в 10 млн га орошаемых земель к 2030 году требуются не просто капиталовложения, а системная техническая модернизация, основанная на принципах ресурсоэффективности.

Ключевым направлением такой модернизации является внедрение интеллектуальных систем управления. В частности, оптимизация работы насосных станций с интеллектуальной системой управления позволит решить проблему энергоемкости водоподачи и неточной диспетчеризации. Автоматизированный контроль и регулирование параметров работы насосных станций обеспечат подачу воды в необходимом объеме точно в срок, минимизировав перерасход электроэнергии и предотвратив холостой прогон мощного оборудования.

Второй критически важный элемент – оптимизация формирования, обновления и оперативного распределения парка машин для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем. Существующий парк техники зачастую морально и физически устарел, а его использование не скоординировано. Создание системы управления парком, основанной на данных мониторинга состояния тысяч километров каналов и сотен гидротехнических сооружений, позволит направлять технику именно на те участки, где риск аварии или степень износа наиболее высоки. Это обеспечит проведение ремонтных и профилактических работ точно в срок, предотвратит переход систем из состояния «удовлетворительного» в «неудовлетворительное» и значительно повысит надежность всей инфраструктуры.

Наконец, для значительного снижения потерь воды непосредственно в поле необходима оптимизация компоновки водопроводящего трубопровода дождевальных машин кругового действия, адаптированной к геометрическим параметрам орошаемых полей. Стандартные машины зачастую не соответствуют конфигурации участков, что приводит к поливу неполных кругов, перекрытиям или, наоборот, пропускам площадей. Оптимизация компоновки водопроводящего трубопровода позволит максимально полно использовать площадь каждого поля, сократив непроизводительные потери воды на 15–25 % и повысив равномерность полива. Это напрямую повлияет на урожайность и состояние земель, замедлив процессы засоления и заболачивания, которые сегодня отмечаются на сотнях тысяч гектаров.

Таким образом, внедрение этих трех взаимосвязанных технических решений создаст основу для качественного скачка в управлении мелиоративным комплексом. Оно позволит перейти от реагирования на аварии к предиктивному обслуживанию, от ручного управления – к автоматизированному, от расточительного использования воды и энергии – к точному и экономному. Реализация данного подхода является обязательным условием для повышения продуктивности орошаемых земель (до проектных 7–9 т зерновых единиц), обеспечения продовольственной безопасности и адаптации сельского хозяйства к климатическим вызовам.

1.2 Характеристика и классификация оросительных систем

1.2.1 Насосные станции оросительных систем

Насосная станция – это сложный инженерный комплекс, включающий гидротехнические сооружения, энергетические установки и гидромеханическое оборудование, предназначенный для забора воды из источника, ее подъема и подачи потребителю.

Классификация насосных станций осуществляется по нескольким признакам:

- по назначению: оросительные, осушительные, водопроводные, канализационные и другие;
- по типу привода: с электродвигателями или двигателями внутреннего сгорания;
- по типу насосов: оснащенные центробежными, лопастными, поршневыми и иными насосами;
- по расположению относительно земли и водоисточника: наземные или заглубленные; береговые или русловые;
- по конструкции здания: водопроводного, камерного или блочного типа;
- по типу управления: с децентрализованным, централизованным, полуавтоматическим или автоматическим управлением;
- по режиму работы: сезонного или круглогодичного действия;
- по мобильности: стационарные и нестационарные (передвижные, плавучие, фуникулерные).

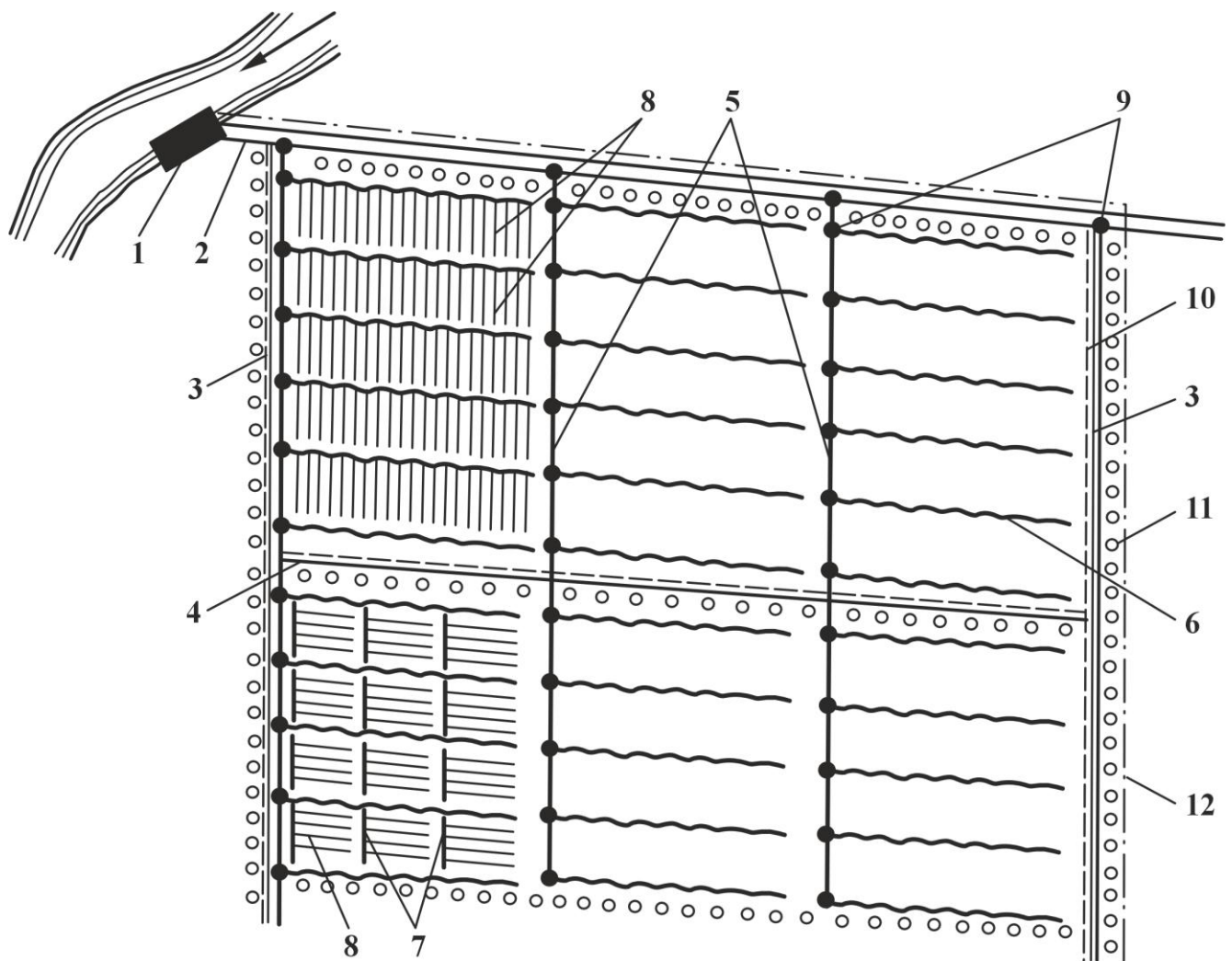
В контексте орошения выделяют также: головные станции (первого подъема): забирают воду непосредственно из открытых водоисточников; зональные (перекачивающие) станции: поднимают воду из одного оросительного канала в другой, расположенный выше; подкачивающие станции: подают воду из оросительного канала в закрытую напорную сеть для систем дождевания.

Насосные станции являются основными энергопотребителями на мелиоративных системах, и для решения проблемы повышения ресурсоэффективности мелиоративного производства необходима оптимизация их работы [83, 164, 179, 180, 255].

1.2.2 Открытые оросительные системы

Оросительная система – гидромелиоративная система, предназначенная для орошения земель, включающая комплекс взаимодействующих сооружений и технических средств для гидромелиорации земель (рисунок 1.3) [193].

Оросительные системы можно классифицировать по следующей схеме (рисунок 1.4).



- 1 – водозаборное сооружение; 2 – магистральный канал;
 3 – распределительный и межхозяйственный каналы; 4 – хозяйственные каналы;
 5 – участковые каналы-распределители; 6 – временные оросители;
 7 – выводные борозды; 8 – поливные борозды; 9 – сооружения на сети;
 10 – хозяйственные дороги; 11 – защитные лесополосы;
 12 – линии электропитания и связи

Рисунок 1.3 – Элементы открытой оросительной системы

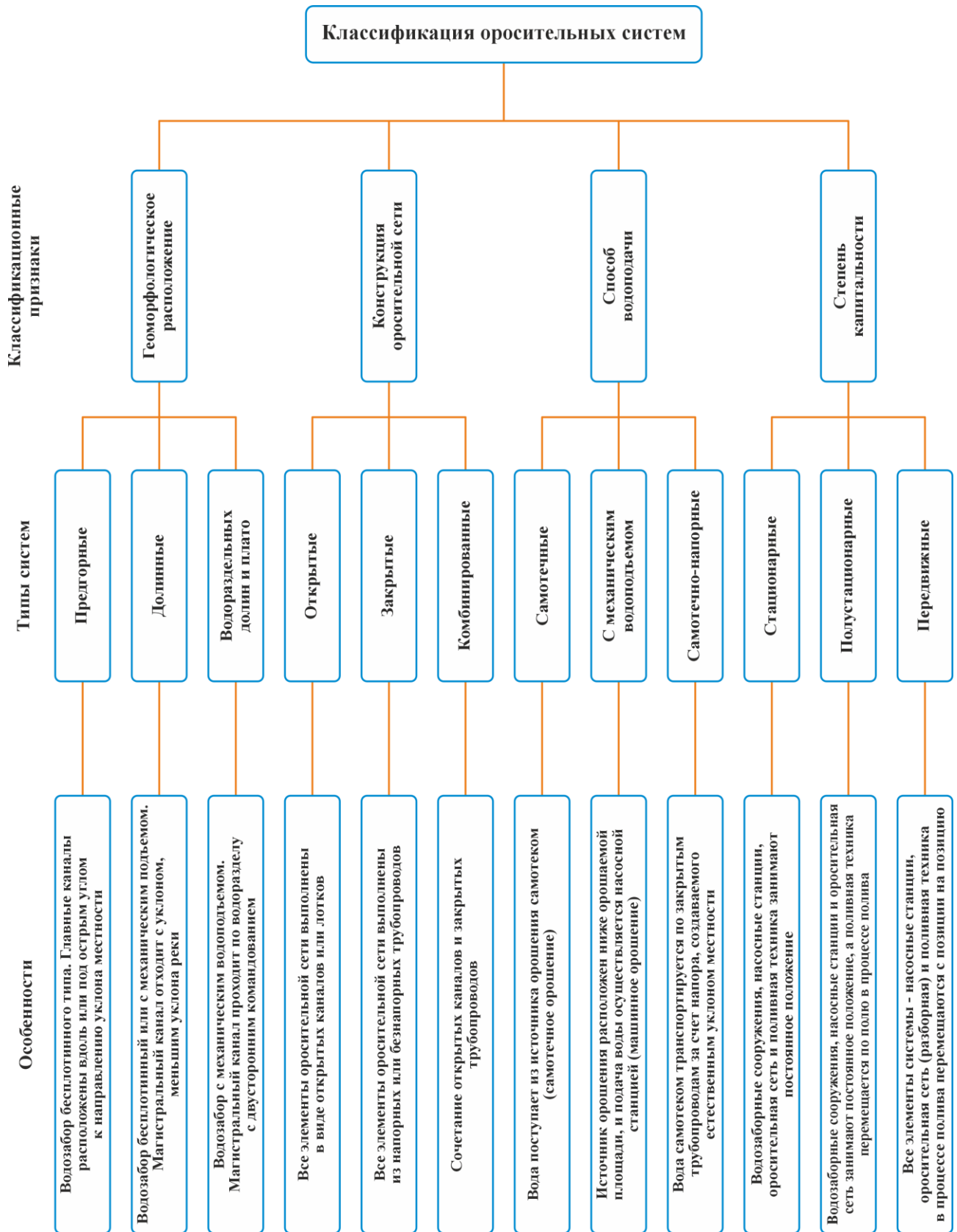


Рисунок 1.4 – Классификация оросительных систем

Оросительная система включает в себя следующие элементы: водохранилища, водозаборные и рыбозащитные сооружения на естественных или искусственных водоисточниках, отстойники, насосные станции, оросительную, водосборно-сбросную и дренажную сети, нагорные каналы, сооружения на сети, поливные и дождевальные машины, установки и устройства, средства управления и автоматизации, контроля мелиоративного состояния земель, объекты электроснабжения и связи, противоэрозионные сооружения, производственные и жилые здания эксплуатационной службы, дороги, лесозащитные насаждения и дамбы [294].

Оросительная сеть состоит из магистрального канала (трубопровода, лотка), его ответвлений, распределителей разных порядков и оросителей. Оросители представляют собой низшее звено сети, которое подает воду к дождевальным (поливным) машинам, аппаратам и устройствам (поливным трубопроводам, лоткам, шлангам).

Планировка оросительной сети разрабатывается с учетом рельефа местности, инженерно-геологических и гидрогеологических условий, требований рациональной организации сельскохозяйственного производства, наличия дорог, подземных и наземных инженерных коммуникаций и других факторов. Важно обеспечить своевременную подачу необходимого объема воды для круглосуточного полива в период пикового водопотребления в соответствии с расчетным режимом орошения.

Оросительная сеть может быть спроектирована как закрытая (в виде трубопроводов) или открытая (в виде каналов и лотков). Выбор оптимальной конструкции сети должен основываться на сравнении технико-экономических показателей различных вариантов.

Оросительные каналы служат основными гидротехническими сооружениями открытых систем, выполняя роль центральных водопроводящих путей. Их бесперебойная работа – главное условие для стабильной подачи качественной воды конечным пользователям. Конструктивно это искусственные русла правиль-

ной геометрической формы, предназначенные для доставки воды на полив сельскохозяйственных угодий, а также для водоснабжения населения и объектов агропромышленного комплекса [6, 244].

По своему устройству оросительные каналы классифицируются на три основных типа: открытые, закрытые и лотковые.

Открытые каналы сооружаются в грунте и могут быть как с облицовкой русла, так и без нее [28, 279, 291].

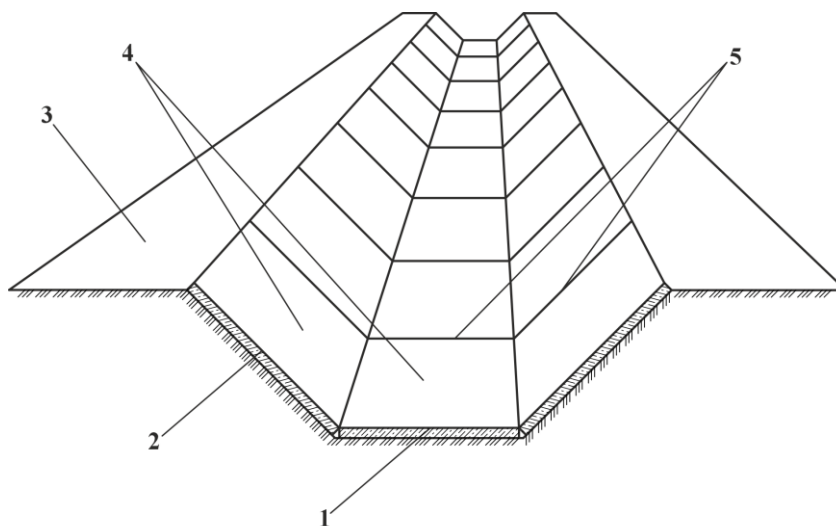
Закрытые каналы монтируются из трубопроводов, которые размещаются открыто на поверхности или в траншее с последующей обратной засыпкой грунтом [6, 279].

Лотковые каналы выполняются из бетона или железобетона, обычно параболического сечения. Их укладывают на сплошное основание, свайные опоры или стойки со стаканными фундаментами. Данный тип наиболее эффективен при расходах воды 100–500 л/с и уклонах местности 0,0005–0,003. Использование лотков на уклонах свыше 0,003 допустимо лишь при технико-экономическом обосновании, если невозможно применить самотечно-напорную закрытую сеть [28, 79, 279, 291].

Открытые оросительные каналы являются наиболее распространенными в мелиоративной практике в силу своей высокой надежности, простоты возведения и сравнительно невысокой стоимости. Подавляющее большинство каналов в открытых сетях выполняется в виде земляного русла либо с облицовкой из сборных железобетонных плит.

Конструкция облицованного канала представлена на рисунке 1.5. Его русло образовано дном (1) и откосами (2), покрытыми железобетонными плитами (4). Плиты разделены стыками (5), где со временем часто появляется травяная растительность. При отсутствии должного обслуживания в этих швах может начаться рост древесно-кустарниковой поросли, что впоследствии приводит к разрушению самой облицовки (4).

Берма (3) – это горизонтальная площадка шириной 3–5 м, прилегающая к бровке откоса (2) по всей длине канала. Ее основное назначение – проезд машин для очистки русла, поэтому на берме недопустимы кустарники, посторонние предметы или неровности (ямы, выемки), препятствующие работе техники. Кроме того, бермы подвержены зарастанию травой, что требует организации их регулярного покоса [91].



1 – дно канала; 2 – откос; 3 – берма; 4 – плиты облицовки; 5 – стыки между плитами

Рисунок 1.5 – Открытый оросительный канал, облицованный железобетонными плитами

Анализ научных и справочных источников [15, 79, 90, 185, 198, 291, 292] показывает, что в настоящее время существует значительное число классификаций оросительных каналов, основанных на таких признаках, как назначение, материал строительства, форма поперечного сечения и другие. Тем не менее, действующие систематизации требуют усовершенствования, конкретизации и расширения, что позволит более точно и структурированно охарактеризовать параметры каналов, имеющие ключевое значение при организации их эксплуатации и ремонта.

Предложенная нами классификация (рисунок 1.6) вводит для открытых оросительных каналов два новых классифицирующих признака: конструкцию (способ устройства) и тип противофильтрационного покрытия. Ведущим критерием при этом выбран способ устройства канала, так как он напрямую определяет выбор специализированной техники для его очистки [273].

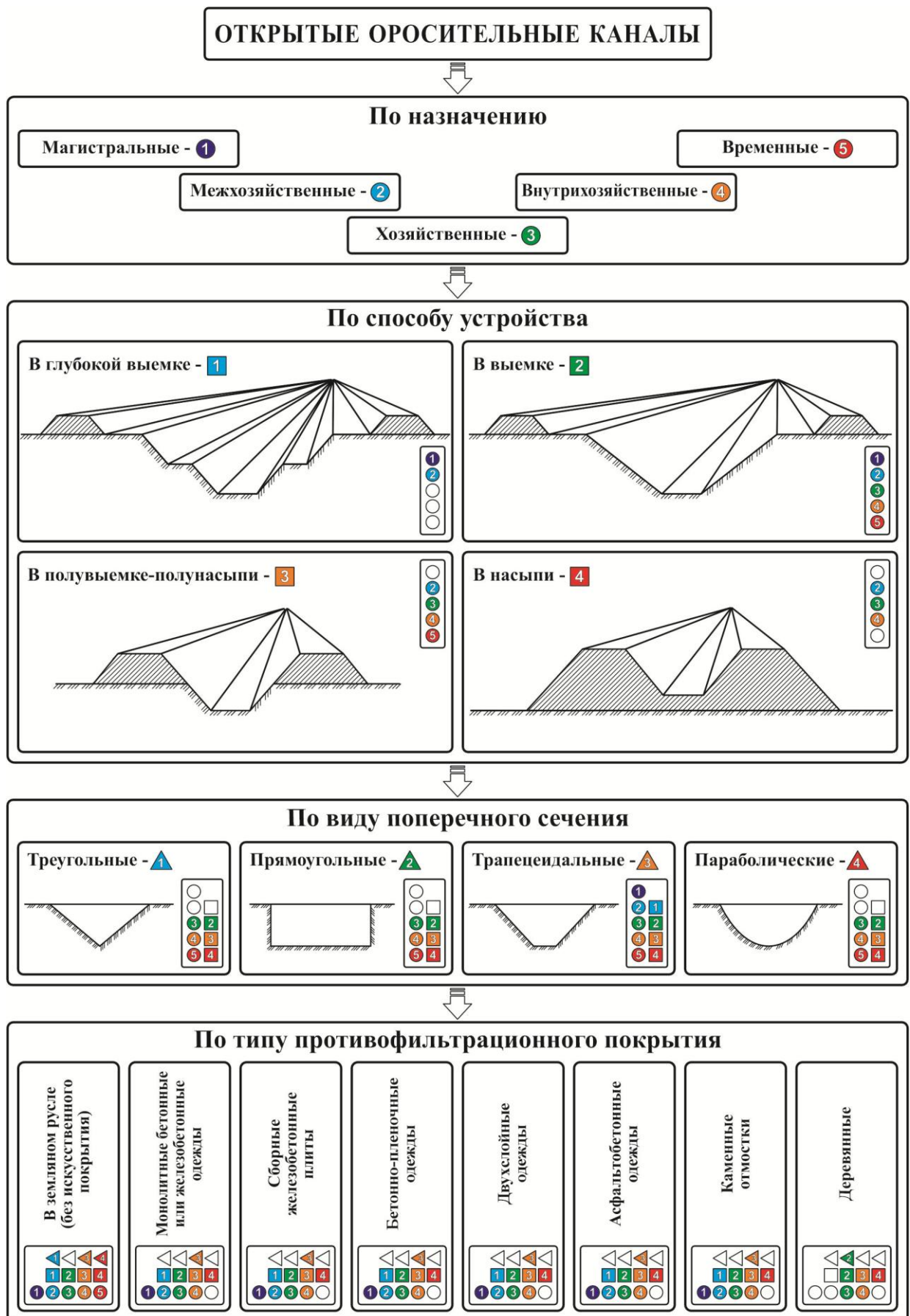


Рисунок 1.6 – Классификация открытых оросительных каналов

По функциональному назначению оросительные каналы классифицируются на магистральные, межхозяйственные, хозяйственные, внутрихозяйственные и временные.

Магистральные каналы подают воду от источника к межхозяйственным распределителям, которые доставляют ее до конкретных хозяйств или севооборотов. В свою очередь, внутрихозяйственные распределители направляют воду непосредственно на поля. Регулирующая сеть системы включает временные оросители и выводные борозды, предназначенные для подачи воды в поливную сеть (борозды, полосы) или для забора дождевальной техникой [198].

В зависимости от рельефа местности различают четыре конструктивных типа каналов: в глубокой выемке, в выемке, в полувыемке-полунасыпи и в насыпи [291]. Чаще всего межхозяйственные и магистральные каналы сооружаются в выемке, тогда как внутрихозяйственные – в полувыемке-полунасыпи [6, 15]. Именно такая конструкция (полувыемка-полунасыпь) является наиболее распространенной при проектировании, поскольку позволяет сократить объем земляных работ. Трассу при этом стремятся проложить вдоль горизонталей или с минимальным уклоном, соблюдая необходимое превышение каналов старшего порядка над младшими [15].

По форме поперечного сечения каналы бывают треугольными, прямоугольными, трапецеидальными или параболическими [6, 15, 279, 291]. Выбор конкретной формы и крутизны откосов определяется устойчивостью русла и возможностями механизации строительства. В мелиоративной практике наибольшее распространение получили каналы трапецеидального сечения из-за простоты их механизированного возведения. Типовые размеры таких каналов приведены в таблице 1.9 [193]. Однако с гидравлической и эксплуатационной точек зрения оптимальной считается параболическая форма, обеспечивающая более высокую пропускную способность и устойчивость откосов. Недостатком параболического профиля является сложность его механизированного строительства [15].

Таблица 1.9 – Размеры поперечных сечений оросительных каналов

Канал	Строительная глубина, м	Ширина канала по дну, м			Заложение откосов		
В земляном русле	0,5–1,0	0,4	–	0,8	1,0	–	1,5
	1,0–2,0	0,8	1,0	1,5	1,0	–	1,5
	2,0–3,0	1,5	2,0	2,5	1,5	–	1,75
С облицовкой монолитным бетоном	0,5–1,0	–	0,8	–	–	1,5	–
	1,0–1,5	–	1,0	–	–	1,5	–
	1,5–2,0	–	1,5	–	–	1,5	–
	2,0–2,5	–	2,0	–	–	1,5	–
	2,5–3,0	–	2,5	–	–	1,5	–
С облицовкой сборным железобетоном	1,0–2,0	1,0	1,5	–	1,0	–	1,5
	2,0–3,0	1,5	2,0	2,5	1,5	–	–

Земляные оросительные каналы обладают серьезными эксплуатационными недостатками, среди которых высокие фильтрационные потери воды, зарастание растительностью, размыв и заиливание русла. Для минимизации этих негативных явлений повсеместно применяются искусственные противофильтрационные покрытия.

Монолитные бетонные и железобетонные покрытия подходят для каналов всех размеров при организации механизированных работ. При их устройстве усадочные швы выполняют каждые 3–4 м, температурные – через 12–16 м, а продольные – вдоль линии сопряжения дна с откосами [291]. Герметизацию швов обеспечивают заполнением специальной мастикой [262]. Сборные железобетонные плиты используют для увеличения срока службы каналов и сокращения сроков строительства. Проекты часто предусматривают комбинированные решения, например, облицовку дна монолитным бетоном, а откосов – сборными плитами [291].

Бетонно-пленочные покрытия представляют собой двухкомпонентную защиту из пленочного экрана (как правило, полиэтиленового толщиной 0,2 мм) и несущего слоя из монолитного или сборного бетона. Двухслойные покрытия используют при необходимости обеспечить повышенную водонепроницаемость и механическую прочность. Их конструкция включает гидроизоляционный слой из полимерной пленки или битумной мастики, поверх которого укладывается бетон или железобетон.

Асфальтобетонные покрытия становятся альтернативой при локальном дефиците качественных щебня и песка. Их выполняют из плотного гидротехнического асфальтобетона, укладываемого в один слой на основание, обработанное гербицидами. Конструкция включает также слой поверхностной обработки горячим битумом с посыпкой песком. Для таких покрытий, как правило, не предусматривают деформационных швов, а армирование выполняют лишь в узлах примыкания к массивным сооружениям [279, 291].

Каменные отмостки экономически оправданы в районах с доступными местными каменными материалами или крупным гравием. Они позволяют увеличить скорость течения воды до 2,5–4 м/с и, как следствие, уменьшить поперечное сечение канала. Деревянные покрытия применяются значительно реже, в основном для каналов прямоугольного сечения [279].

К прочим методам борьбы с фильтрацией относятся экранирование полимерными материалами, уплотнение грунта тяжелыми катками, а также солонцевание, кальматация и нефтевание [291, 292].

Четкой нормативной градации каналов на малые и крупные не установлено [91]. Однако на практике их условно разделяют по технологическому признаку, связанному с очисткой: каналы с глубиной и шириной по дну менее 3 метров относят к малым типоразмерам (I–III по таблице 1.10), а с параметрами более 3 метров – к крупным (IV и V типоразмеры).

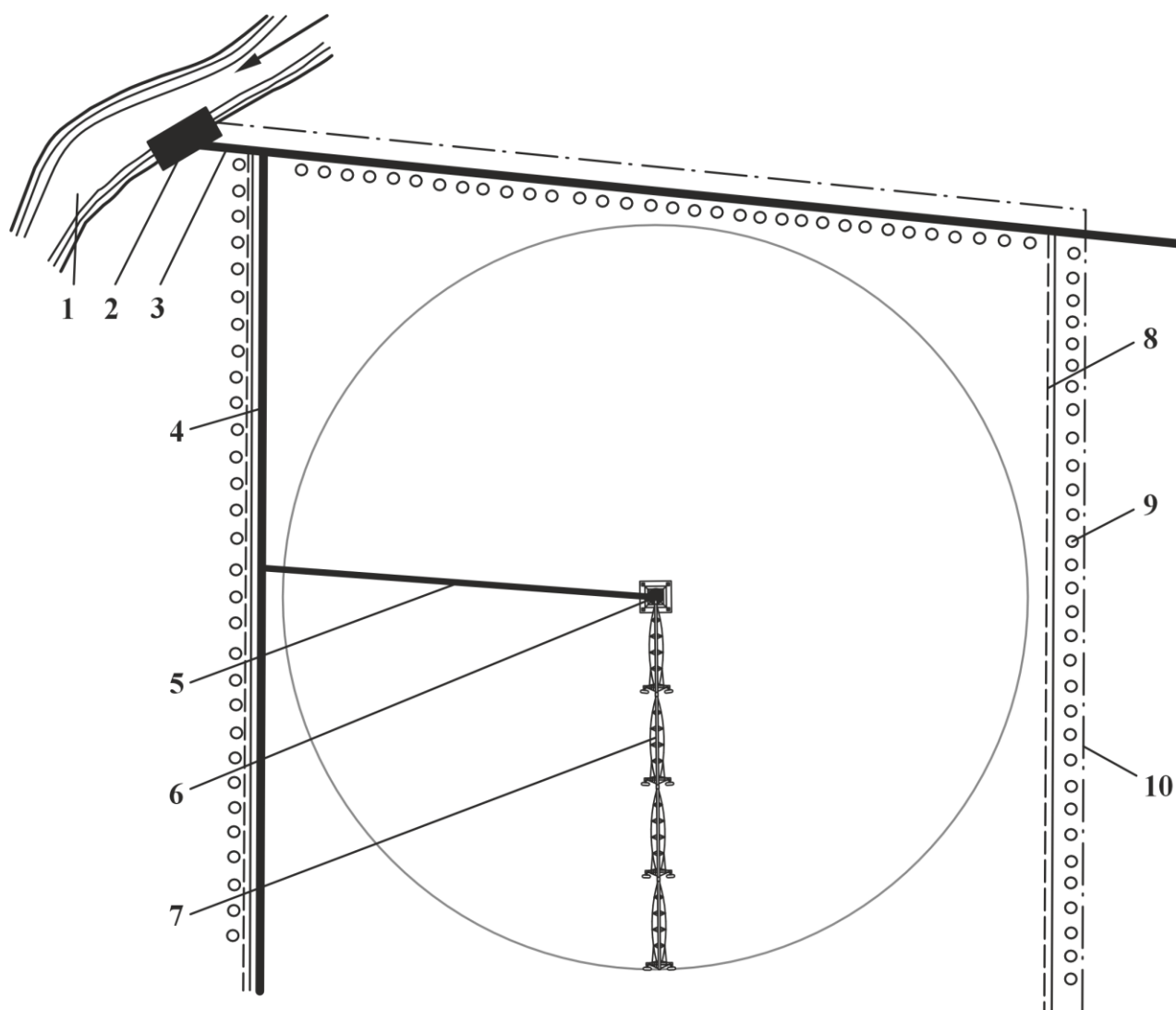
Таблица 1.10 – Классификация оросительных каналов по типоразмерам

Каналы	Типоразмер каналов	Параметры канала		
		глубина, м	ширина по дну, м	коэффициент заложения откосов
Временные оросители, оросители «неинженерного» профиля, каналы для ДМ «Кубань»	I	до 0,6	0,5–1,0	1,0
Участковые распределители, внутрихозяйственные (подводящие) оросительные каналы	II	0,6–1,2	0,8–1,5	1,0–1,5
Хозяйственные и внутрихозяйственные (подводящие) оросительные каналы	III	1,2–3,0	1,0–2,5	1,5–2,0
Распределительные и межхозяйственные оросительные каналы	IV	3,0–5,0	2,0–4,0	1,5–2,5
Магистральные каналы, крупные распределительные и межхозяйственные оросительные каналы	V	более 5,0	более 4,0	2–4

Эксплуатация открытых оросительных каналов сопряжена с такими проблемами, как заиливание дна и зарастание откосов. Это ведет к увеличению шероховатости, изменению профиля русла и, как следствие, к падению пропускной способности. Восстановление исходных характеристик и нормальное функционирование каналов возможны только при проведении плановых работ по их очистке от растительности и наносов.

1.2.3 Закрытые оросительные системы

Закрытая оросительная система включает подводящую и регулирующую внутрихозяйственную сеть, которая состоит из напорных и безнапорных трубопроводов, а также сооружений на них [79, 193, 242]. Общая схема такой системы показана на рисунке 1.7.



1 – источник орошения; 2 – насосная станция; 3 – магистральный трубопровод;
 4 – распределительный трубопровод; 5 – полевой трубопровод; 6 – гидрант;
 7 – дождевальная машина; 8 – хозяйственные дороги; 9 – защитные лесополосы;
 10 – линии электроснабжения и связи

Рисунок 1.7 – Элементы закрытой оросительной системы

Закрытые оросительные системы классифицируются по конструктивным особенностям, способу создания напора и месту его создания (рисунок 1.8). Трубопроводы этих систем также разделяются по назначению и устройству (рисунок 1.9) [193].

В закрытых оросительных системах применяются все способы орошения. Для трубчатой сети, укладываемой в землю, рекомендуется использовать напорные неметаллические трубы, такие как пластмассовые, железобетонные или асбестоцементные.

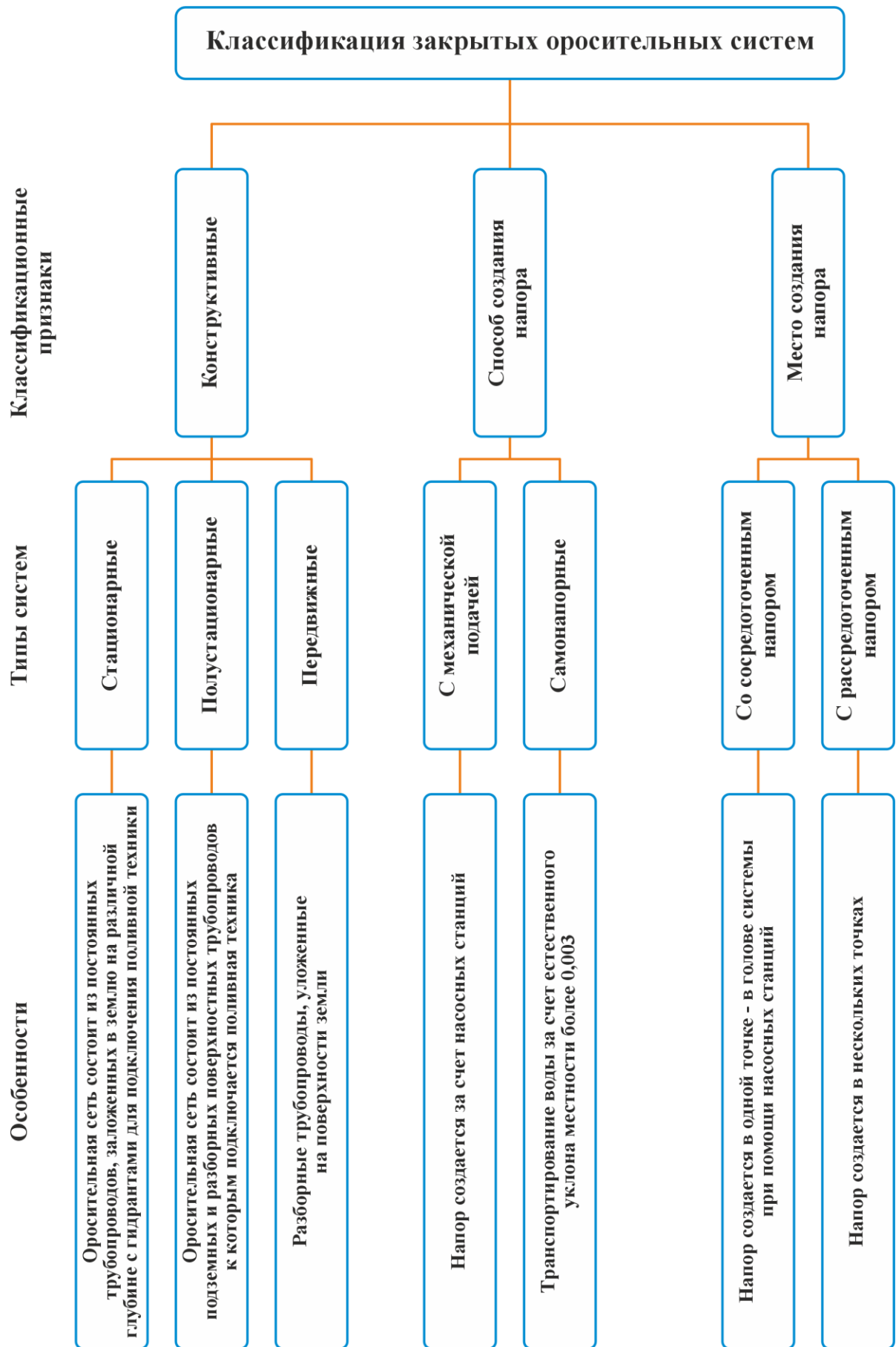


Рисунок 1.8 – Классификация закрытых оросительных систем

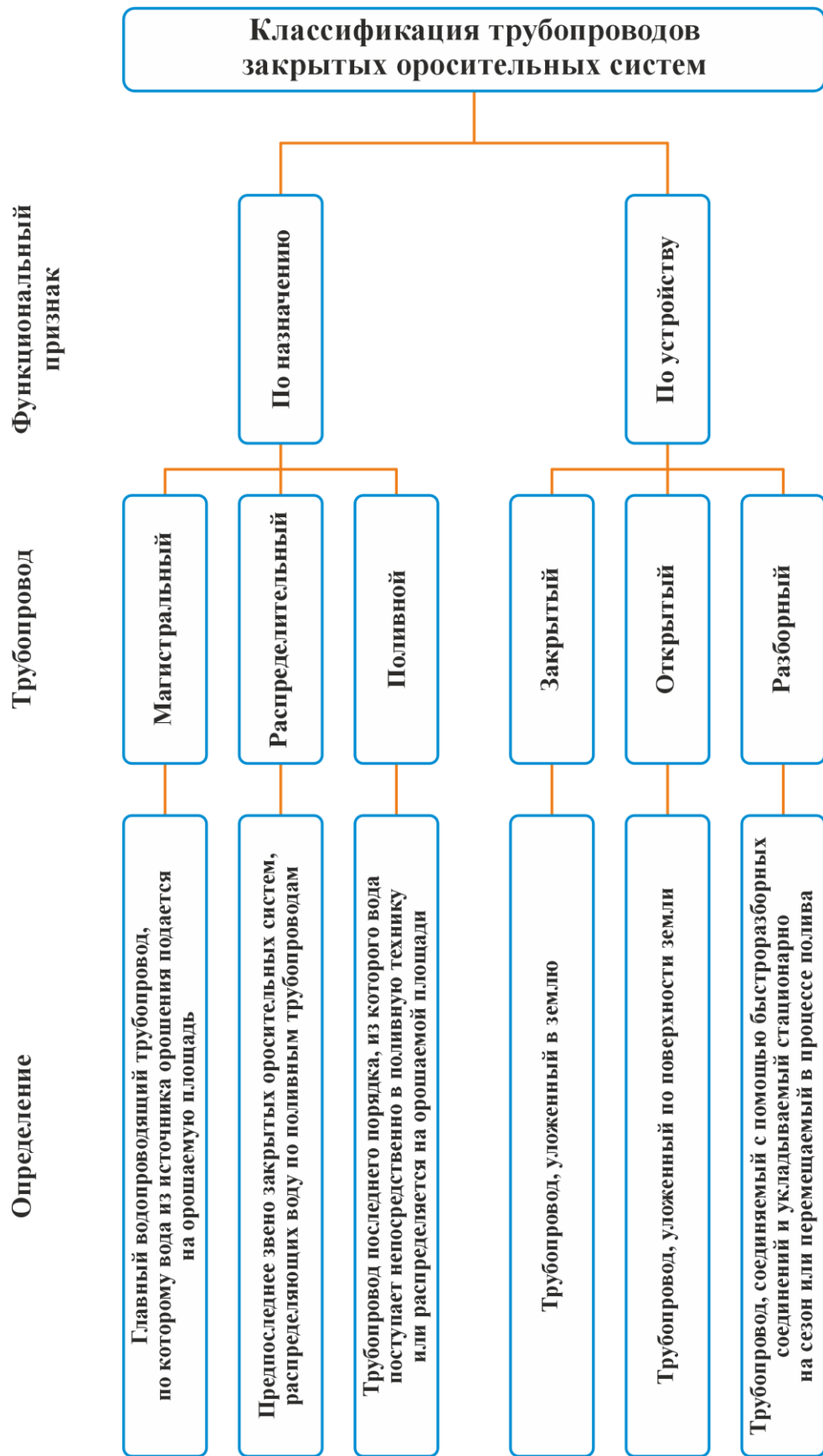


Рисунок 1.9 – Классификация трубопроводов закрытых оросительных систем

Стальные трубы применяются на участках с расчетным внутренним давлением свыше 1,5 МПа, а также при устройстве переходов под железными и автомобильными дорогами, через водные преграды и овраги, при прокладке трубопроводов по мостам, эстакадам или в тоннелях.

Глубина прокладки трубопроводов, измеряемая от верхней части трубы, не должна превышать 2 м. В районах с отрицательными температурами материалы труб и стыковых соединений должны обладать морозостойкостью. Трубопроводы, подверженные нагрузкам от наземного транспорта, следует укладывать на глубину не менее 1 м.

Для стабильной работы закрытой оросительной системы используется запорная, регулирующая и предохранительная арматура. На трубопроводах диаметром 500 мм и более, при наличии технико-экономического обоснования, допускается установка затворов на один типоразмер меньше.

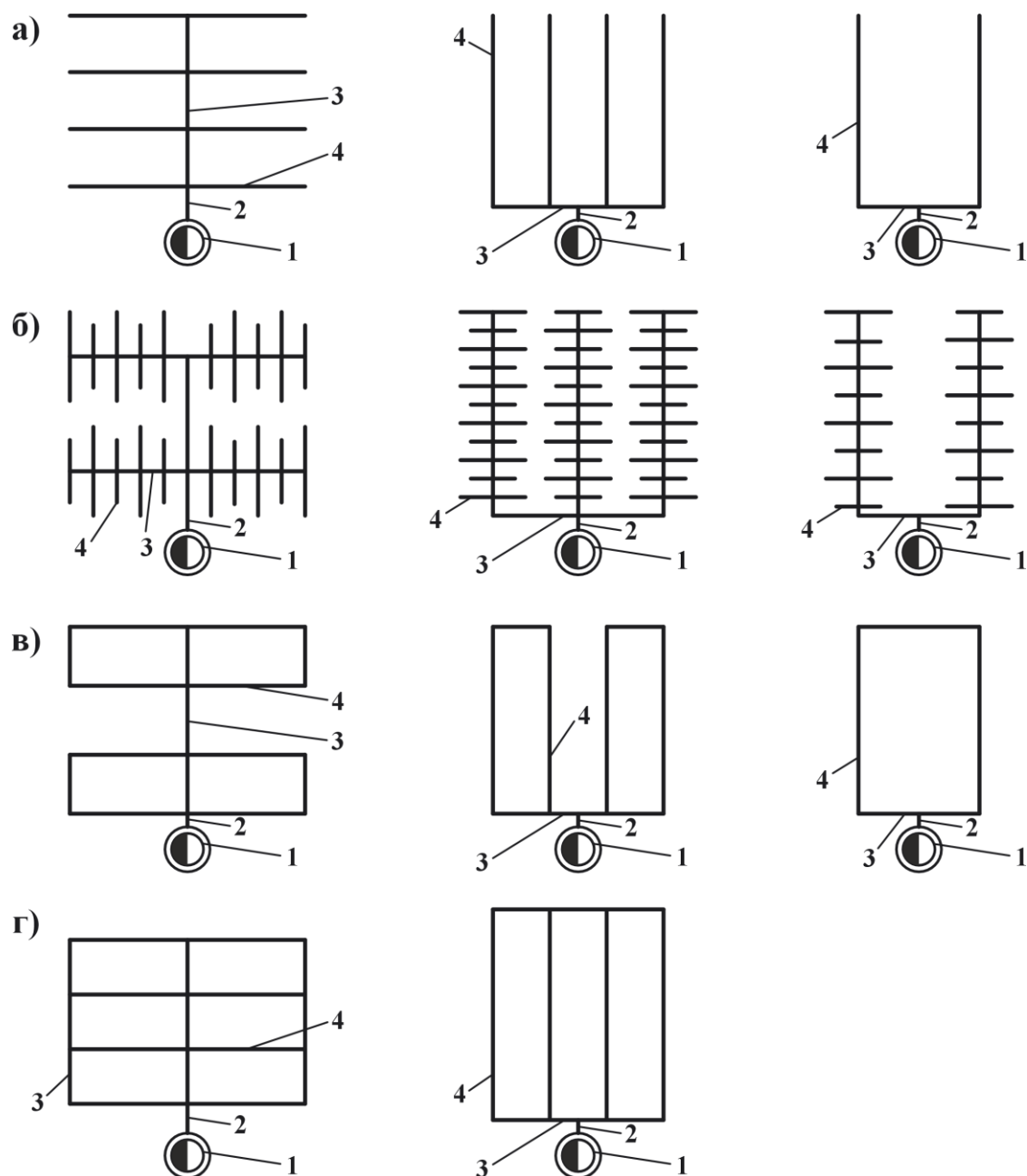
При жестком креплении арматуры на сварных трубопроводах и в условиях возможной просадки грунта вдоль трассы необходимо использовать монтажные компенсаторы (вставки).

При прокладке трубопроводов следует предусмотреть возможность их опорожнения на зимний период самотеком или с помощью механической откачки воды. Уклон трубопроводов к точке опорожнения должен быть не менее 0,001.

В плане расположения подземных трубопроводов выделяют Т-, Ш- и П-образные схемы (рисунок 1.10) [193]. Для участков квадратной или близкой к ней формы наиболее экономичной по расходу труб и капитальным затратам является Т-образная схема, за ней следует Ш-образная, а затем П-образная. Если участок вытянут вдоль водоисточника, наиболее подходящими будут Т- и П-образные схемы.

Оросительная сеть может быть тупиковой, попарно закольцованной или полностью закольцованной. Выбор схемы зависит от методов орошения и техники полива.

Кольцевание сети позволяет уменьшить диаметр трубопроводов и обеспечивает бесперебойную подачу воды в случае аварий. Однако полное кольцевание всех подземных трубопроводов увеличивает их общую длину, количество арматуры и усложняет гидравлические расчеты сети.



а – Т-образная, Ш-образная, П-образная;
б – тупиковая сеть; *в* – попарно-закольцованная сеть;
г – полностью закольцованная сеть; *1* – насосная станция;
2 – магистральный трубопровод; *3* – распределительный трубопровод;
4 – поливной трубопровод

Рисунок 1.10 – Типовые схемы закрытых оросительных систем

Попарное кольцевание трубопроводов значительно снижает затраты материалов, сохраняя при этом преимущества закольцованной сети.

Схему размещения трубопроводов, тип труб и их диаметры определяют на основе технико-экономических, гидравлических и прочностных расчетов. Внутренний диаметр поливных трубопроводов выбирают с учетом пропускной способности, необходимой для работы одной дождевальной машины.

Распределительный трубопровод рассчитывают исходя из суммарного расхода воды, требуемого для максимального числа машин, одновременно работающих на орошаемом участке.

Магистральный трубопровод проектируют с учетом общего объема воды, подаваемой через все одновременно функционирующие распределительные трубопроводы.

Поливные трубопроводы, которые подают воду непосредственно к дождевальным машинам, прокладывают прямолинейно и параллельно друг другу. Если используются широкозахватные машины, поливные трубопроводы должны отходить от распределительных под прямым углом.

Длину поливных трубопроводов определяют с учетом их максимального использования в течение сезона. Сеть проектируют таким образом, чтобы площадь, примыкающая к каждому поливному трубопроводу, была кратной площади, которую может обслужить одна дождевальная машина за сезон. Расстояние между гидрантами на поливных трубопроводах должно соответствовать ширине захвата дождевальной машины с учетом перекрытия поливаемой площади.

Оросительная сеть должна обеспечивать стабильную работу дождевальной техники. При этом свободный напор на самом удаленном гидранте должен соответствовать паспортному значению напора, требуемого для работы дождевальной машины.

1.3 Работы по эксплуатации, ремонту и реконструкции оросительных систем

Со временем гидротехнические сооружения и объекты гидромелиоративных систем подвергаются износу, деформациям, засорению, заилению, коррозии и перестают выполнять свои функции в полном объеме. Для поддержания этих сооружений в исправном и работоспособном состоянии требуется регулярный уход и проведение ремонтных работ. Все мероприятия, осуществляемые в период эксплуатации гидромелиоративных систем, принято разделять на техническое обслуживание, ремонт и реконструкцию (рисунок 1.11) [9, 25, 55, 79, 81, 90, 91, 139, 159, 169, 198, 207, 208, 317].

Техническое обслуживание проводится эксплуатационными организациями своими силами и средствами с целью обеспечения работы всех объектов в соответствии с проектными параметрами. К таким работам относятся: удаление растительности и посторонних предметов, засоряющих каналы; очистка сооружений и подходов к ним от мусора и льда; подготовка к пропуску паводковых вод; консервация сооружений, конструкций и оборудования на зимний период и другие аналогичные мероприятия.

Проведение работ по технической эксплуатации оросительных систем непосредственно затрагивает водные объекты, гидротехнические сооружения и сельскохозяйственные земли, что требует неукоснительного соблюдения природоохранных нормативов, так как вода, почва и природные ландшафты относятся к особо охраняемым компонентам окружающей среды [32].

Основной целью ремонтных работ является поддержание объектов в работоспособном состоянии, а также восстановление их исходных технических параметров. В состав таких работ входят: очистка водохранилищ, русел рек и каналов от наносов и растительности; приведение в проектное состояние поперечных сечений грунтовых сооружений; ремонт креплений и противофильтрационных покрытий; восстановление гидроизоляции и антикоррозионных слоев; замена отработавших свой ресурс элементов, деталей, узлов и оборудования; реставрация бетонных и железобетонных конструкций. Перечисленные мероприятия относятся к категории плановых ремонтов, выполняемых в сезонном, ежегодном или периодическом режиме в зависимости от степени износа и ухудшения эксплуатационных показателей.



Рисунок 1.11 – Классификация эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных системах

Решение о необходимости, конкретном перечне и масштабе ремонтных работ принимается на основании результатов обследований, которые учитывают специфику конкретных объектов и проводятся специальными комиссиями. В ходе этих проверок оценивают: соответствие геометрических параметров земляных насыпных сооружений, состояние откосов каналов, плотин и дамб; работоспособность систем связи, автоматики, гидрометрического оборудования, дорог и иных элементов; фактическую пропускную способность каналов, коллекторов и гидротехнических сооружений; степень заиления и зарастания русел и водохранилищ; наличие размывов и дефектов в бетонных конструкциях; интенсивность фильтрации через тело плотин и дамб или в обход бетонных сооружений; а также факты утечек из напорных трубопроводов и лотковых каналов.

Периодичность плановых осмотров зависит от типа сооружений, режима и условий их эксплуатации:

– сооружения оросительных систем осматривают 2 раза в год – осенью после завершения поливного сезона и весной перед началом вегетационных поливов;

- сооружения, работающие в неблагоприятных условиях, осматривают ежемесячно;
- гидромеханическое оборудование, средства связи и автоматики проверяют ежеквартально;
- крупные гидроузлы и плотины обследуют в соответствии с инструкциями по их эксплуатации.

Помимо плановых ремонтов, могут потребоваться внеплановые или аварийные работы для устранения повреждений, вызванных стихийными бедствиями или неправильной эксплуатацией.

Характеристика видов ремонта гидромелиоративных систем приведена в таблице 1.11.

Таблица 1.11 – Виды ремонта гидромелиоративных систем

Вид ремонта	Цель	Периодичность
Текущий	Устранение незначительных дефектов и повреждений, увеличивающее срок бесперебойной работы системы, ее элементов и оборудования, замена быстроизнашивающихся деталей	Ежегодно и систематически
Капитальный	Исправление крупных повреждений и разрушений, при которых невозможно обеспечить дальнейшую бесперебойную работу системы, ее сооружений и оборудования. Полная или частичная замена изношенных конструкций сооружений и деталей оборудования или его отдельных узлов новыми, более экономичными и повышающими эксплуатационные возможности ремонтируемых объектов. Частичное изменение трасс (канала, водовода и др.)	Примерная периодичность зависит от вида сооружения (например, для каналов, как правило, раз в 5–10 лет)
Аварийный	Восстановление системы, ее сооружений и оборудования, частично поврежденных или разрушенных вследствие стихийных явлений (сель, паводок, заторы, ливень, буря, землетрясение, пожар и др.)	В экстремальном порядке и, как правило, круглосуточно с применением всех необходимых мер по быстрой ликвидации аварии. Повреждения, создающие опасность для жизни людей или приводящие к большим материальным ущербам, устраняют немедленно с привлечением требуемого количества рабочей силы и материально-технических ресурсов

На рисунке 1.12 в виде классификационной схемы представлен полный комплекс работ по технической эксплуатации гидромелиоративных систем. В схему включены операции с учетом специфики основных технологических процессов и применяемых механизмов, за исключением функций общехозяйственного назначения (эксплуатация систем энергоснабжения, связи, автоматики, телемеханики, транспорта, насосных станций, дорог, мостов, зданий и коммунальных сетей).

Под реконструкцией оросительных систем понимается совокупность организационно-технических мероприятий, приводящих к коренному преобразованию всей системы или ее отдельных элементов. Главными целями реконструкции являются: значительное повышение технического уровня и водообеспеченности действующих систем; внедрение прогрессивных технологий управления поливом; улучшение мелиоративного состояния земель; а также снижение негативного воздействия орошения на агроландшафты. Помимо этого, реконструкция направлена на охрану окружающей среды и создание благоприятных условий для жизни и хозяйственной деятельности человека. По своей технологии большинство ремонтных и реконструкционных работ аналогичны строительным и выполняются соответствующими подрядными организациями. Исключение составляют узкоспециализированные операции, такие как очистка каналов от наносов и растительности или промывка закрытых дрен, для проведения которых требуется специальная техника.

Особенность ремонтных и реконструкционных работ заключается в том, что они проводятся на действующих системах и сооружениях. Поэтому сроки выполнения работ должны быть согласованы с графиком использования мелиорированных земель. Как правило, такие работы проводятся в межвегетационный период [317].

Рассмотренные принципы и классификации эксплуатационно-ремонтных работ находят свое практическое воплощение в деятельности конкретных эксплуатационных организаций. Ярким примером является ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз», которое обеспечивает функционирование обширных мелиоративных систем в Саратовской области и за ее пределами.

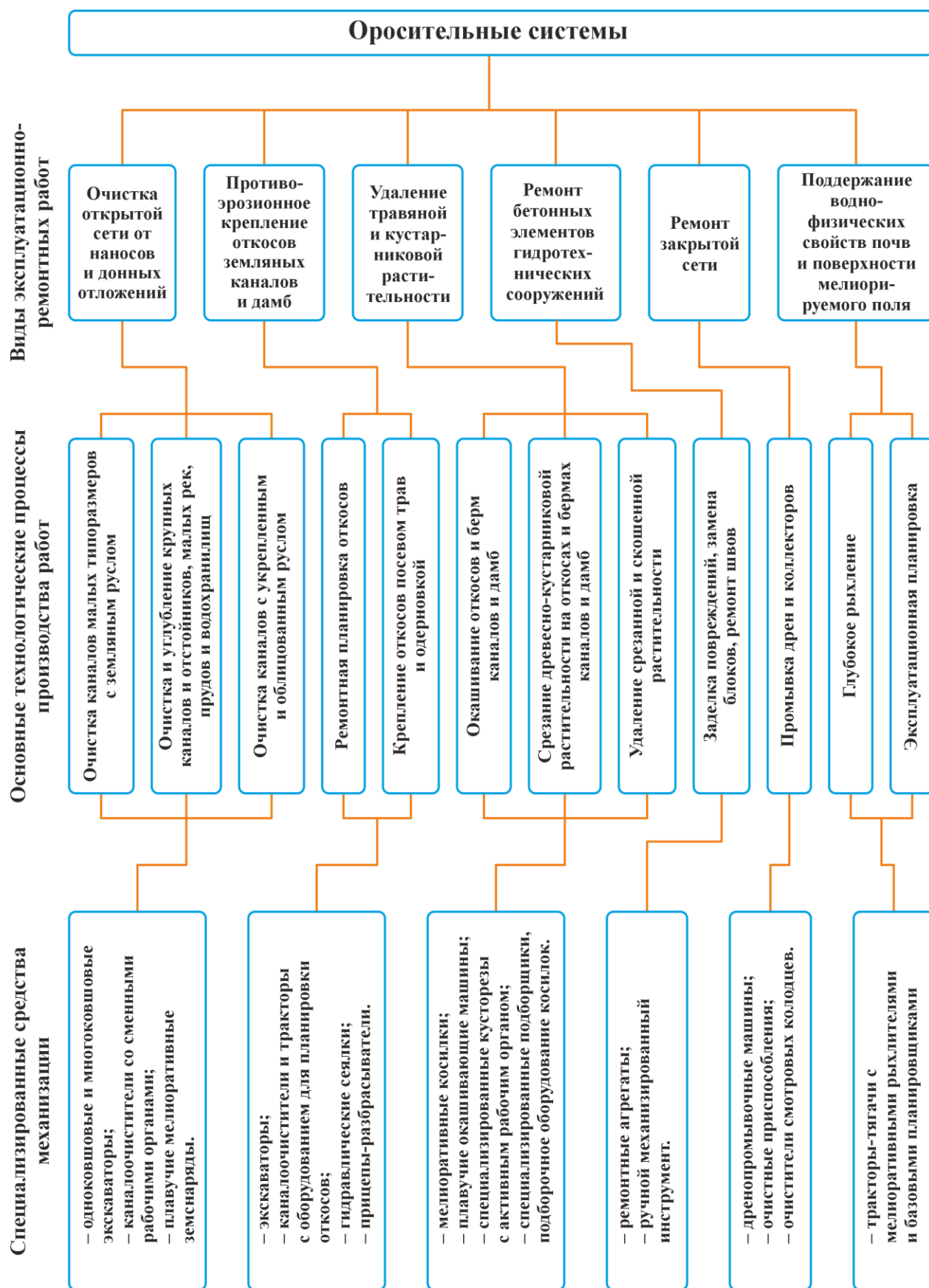


Рисунок 1.12 – Классификационная схема технической эксплуатации

Если рассматривать объемы эксплуатационно-ремонтных работ, то по данным ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» [248] за период 2023–2025 гг. выполнялись следующие объемы работ по эксплуатации и ремонту оросительных систем (таблицы 1.12, 1.13).

Таблица 1.12 – Объемы работ по эксплуатации оросительных систем

Наименование филиала	Ежегодный объем работ на 2023–2025 гг., тыс. га				
	всего	в том числе по кварталам			
		I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.
Балаковский филиал	23,6	3,7	7,9	9,3	2,7
ГГМП	20,1	3,2	6,7	7,9	2,3
Ершовский филиал	53,5	8,4	18,1	21,2	5,8
Калининский филиал	10,5	1,7	3,6	4,1	1,1
Приволжский филиал	58,2	9,3	19,8	23,3	5,8
Саратовский канал	10,7	1,6	3,5	4,3	1,3
Энгельсский филиал	36,4	5,7	12,3	14,3	4,1
Самарский филиал	97,5	14,7	33,2	39,1	10,5
Пензенский филиал	26,6	5,4	7,9	10,2	3,1
Ульяновский филиал	4,177	0,6	1,4	1,7	0,477
Филиал по Республике Мордовия	23,54	3,5	7,8	9,5	2,74
ИТОГО	364,817	57,8	122,2	144,9	39,917

Таблица 1.13 – Объемы ремонтных работ на оросительных системах

№ п/п	Наименование работ	Всего, 2023 г.	в том числе по кварталам			
			I	II	III	IV
1.	Земляные, всего, тыс. м ³	533,82	55	202,754	182,166	93,9
2.	в том числе очистка, тыс. м ³	211,8	15	89,3	75,5	32
3.	Ремонт ГТС, шт.	435	67	170	120	78
4.	Ремонт электрифицированных насосных станций, шт.	257	68	84	58	47
5.	Ремонт трубопроводов, км	71,5	14,5	21,1	20,1	15,8
6.	Окашивание, га	1164,26	0	505,955	625,389	32,92
7.	Вырубка древесно-кустарниковой растительности, га	158	3,1	50,447	85,167	19,286

1.4 Технологии и технические комплексы для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем

1.4.1 Технологии и технические комплексы для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных каналов

Бесперебойное функционирование оросительной сети возможно только при сохранении проектной пропускной способности ее каналов. Нарушения нормативных требований на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации оросительных систем и сооружений ведут к возникновению конструктивных, технологических и эксплуатационных дефектов.

В соответствии с характером и масштабом выполняемых операций [43, 90, 97, 194, 245, 313] работы на оросительных каналах подразделяются на четыре основных вида: технический надзор; техническое обслуживание; ремонт; реконструкция.

Технический надзор преследует цель постоянного контроля состояния каналов, выявления повреждений и определения номенклатуры необходимых работ. В рамках надзора ответственный персонал решает следующие задачи:

- осуществляет плановые и внеплановые осмотры всех элементов каналов и контролирует их работоспособность;
- своевременно фиксирует изношенные и поврежденные компоненты;
- выявляет участки с повышенным риском аварий;
- устанавливает состав, объемы, сроки и вид предстоящих ремонтных работ (текущий, капитальный, аварийный);
- документирует результаты проверок (в виде ведомостей, актов и др.), порядок ведения документации регламентируется местными инструкциями.

Осмотры подразделяются на текущие, плановые, внеплановые и экстренные. Внеплановые проводятся при выявлении неисправностей, а экстренные – после стихийных бедствий (ливней, ураганов, землетрясений) или аварий.

Техническое обслуживание представляет собой комплекс ежедневных работ по поддержанию каналов в исправном состоянии, выполняемых эксплуатационным персоналом (водными объездчиками, ремонтниками, механиками и т.д.). Его цель – обеспечение работы в соответствии с проектными параметрами. В состав обслуживания входят:

- скашивание растительности на откосах и дамбах;
- очистка русел от водорослей, засоров, небольших обвалов и посторонних предметов;
- ликвидация промоин, мелких повреждений откосов, креплений и облицовок;
- консервация сооружений на зимний период;
- уход за прилегающей территорией (восстановление знаков, ограждений, покраска);
- подготовительные мероприятия на случай аварийных ситуаций.

Ремонт необходим для поддержания каналов в работоспособном состоянии и, в зависимости от сложности, подразделяется на текущий, капитальный и аварийный. Состав работ по текущему и капитальному ремонтам приведен в таблице 1.14. Проведение ремонта строго регламентируется и зависит от результатов технического надзора. Своевременное и качественное выполнение ремонтных работ предотвращает развитие дефектов в серьезные аварии и позволяет минимизировать общие эксплуатационные затраты.

Таким образом, для обеспечения долгосрочной исправности и надежности каналов и сооружений мелиоративных систем требуется внедрение комплексного подхода. Этот подход должен включать не только постоянный уход и планомерное проведение ремонтов (текущих, капитальных), но и обязательную профилактику на потенциально аварийных участках, а также оперативное реагирование на возникающие повреждения. Не менее важным является системное выполнение мероприятий по технической модернизации и улучшению состояния сетей, что в конечном итоге определяет их эффективность, продлевает срок службы и минимизирует эксплуатационные риски [91].

Таблица 1.14 – Состав работ при текущем и капитальном ремонте оросительных каналов

Вид русла	Текущий ремонт	Капитальный ремонт
В земляном русле	Окашивание откосов и берм косилками: очистка от наносов землесосными установками и землеройными механизмами. Удаление водной растительности. Проведение работ по сокращению потерь воды на фильтрацию: уплотнение грунта, кольматация, глинистая облицовка ложа, битумизация грунта, инъекция растворов и др. Восстановление проектного профиля и уклона. Перемещение и разравнивание кавальеров	Изменение расположения каналов в плане. Устройство противофильтрационного покрытия – облицовка канала бетонными плитами, монолитным бетоном или другими материалами
В облицованном русле	Расчистка и заделка цементными растворами, полимерными компонентами, клеями стыков, трещин, каверн и выбоин в железобетонных и бетонных облицовках. Заливка поврежденных швов мастикой. Перекладка в нормальное положение сдвинутых плит облицовок сборной конструкции. Торкретирование облицовок и покрытие заделанных мастикой швов. Восстановление каменных, глинистых и других облицовок	Смена облицовки на поврежденных участках. Торкретирование поврежденных облицовок. Восстановление разрушенных призм в основании откосов и дна

Однако необходимо отметить, что на протяжении более десяти лет объем финансирования эксплуатационно-ремонтных работ на каналах и модернизацию техники не превышал трети от фактической потребности. Данная ситуация вызвала резкое сокращение орошаемых площадей и свертывание программ по восстановлению каналов. Следствием стало массовое зарастание русел кустарниковой растительностью (рисунок 1.13) [15, 91, 185, 273, 280, 292].



Рисунок 1.13 – Оросительный канал, заросший кустарниковой растительностью

Разросшаяся вдоль каналов кустарниковая растительность препятствует подъезду техники и проходу персонала для выполнения ремонтных работ. Листо-вой опад и обломки веток засоряют русло, ухудшают качество оросительной воды, провоцируя ее цветение и ускоряя накопление донных отложений. Бесконтрольное распространение растительности разрушает облицовку, а ее развитие на откосах земляных каналов снижает их пропускную способность. Совокупность этих факторов ведет к значительным потерям транспортируемой воды и деградации ее качества [273].

Не менее острой остается проблема очистки каналов и аванкамер от наносов (рисунок 1.14), так как степень заиления русла нередко достигает критических значений [48, 269].

В результате резкого сокращения ремонтной активности свыше 40 % действующих каналов требуют срочного восстановления, а потери оросительной воды на пути к орошаемым участкам составляют от 30 до 50 % от общего объема подачи.



Рисунок 1.14 – Заиленный участок оросительного канала

Объем фактически выполняемых работ по эксплуатации и ремонту каналов на сегодняшний день покрывает лишь 25–40 % от требуемого [195, 248]. Основными причинами этого являются дефицит эффективных и экономически целесообразных технологий, а также недостаток современной высокопроизводительной и универсальной техники.

В рамках оросительных систем более регулярными являются мероприятия по борьбе с растительностью на каналах, которые необходимо проводить не менее двух раз за оросительный сезон. В отличие от них, такие работы, как ремонт облицовки и удаление донных наносов, проводятся эпизодически – только при серьезных повреждениях гидроизоляции или значительном накоплении грунта [89, 91, 159].

В последние годы проблема массового зарастания оросительных каналов кустарниковой растительностью приобрела особую остроту. Сложившаяся практика борьбы с ней, основанная на применении неспециализированной техники и ручного труда в рамках традиционных технологических схем, демонстрирует крайне низкую эффективность.

Из всего спектра методов борьбы с древесной растительностью – термического, механического, химического, взрывного и кинетического – именно механический способ считается наиболее эффективным и широко применяется на практике [103, 273]. Его принцип основан на удалении наземной части растений и подавлении роста новой поросли, что послужило основой для создания комбинированной технологии, включающей скашивание кустарника с последующей обработкой пней для их угнетения.

Внедрение в последние годы специализированных технических средств для механизированной срезки кустарника на бермах и откосах позволило существенно повысить производительность работ. Тем не менее, ряд наиболее трудоемких операций до сих пор выполняется вручную, что влечет за собой высокие затраты времени и ресурсов.

Отсутствие комплексного машинного парка для очистки каналов от древесной растительности не позволяет стандартизировать требования к качеству и срокам выполнения отдельных операций. Кроме того, до сих пор не решен вопрос механизации утилизации срезанной биомассы. Наиболее распространенной практикой остается сжигание, однако для полного уничтожения древесины этим методом необходим многоэтапный процесс: сбор порубочных остатков в кучи, их сжигание, переборка недогоревших остатков, повторное сжигание и распределение золы. На практике такая трудоемкая схема не соблюдается из-за экономической нецелесообразности. В результате после сжигания остается большое количество недожженной древесины (рисунок 1.15), что ведет к захламлению берегов, увеличению площадей под отвалами, распространению сорных растений и вредителей, создавая в целом неблагоприятную экологическую обстановку на объектах [32].

Подобное нерациональное отношение к утилизации срезанной растительности связано с отсутствием экономически обоснованных технологий для хозяйственного использования и переработки низкокачественной древесины.



Рисунок 1.15 – Несгоревшая древесина после сжигания кустарника

Именно экономические ограничения сдерживают научные исследования в этой области, а также препятствуют внедрению существующих методов утилизации кустарниковой растительности в производственных организациях. Однако, как демонстрирует мировой опыт, переработка и использование низкокачественной древесины может стать достаточно прибыльным направлением.

Таким образом, на сегодняшний день возникла острая необходимость в разработке новых и совершенствовании существующих ресурсосберегающих технологий удаления кустарника на каналах. Для этого требуется применение новых технических средств, которые должны отличаться универсальностью, мобильностью, высокой производительностью и доступной для эксплуатационных организаций стоимостью.

Рассмотрим существующие технологии очистки каналов от кустарниковой растительности с последующим их анализом и выявлением ключевых недостатков.

Специализированные технологии комплексной очистки каналов от кустарника в прошлом целенаправленно не создавались, поскольку проблема их массового зарастания не стояла столь остро. Данный вывод подтверждается анализом научно-технической литературы по эксплуатации оросительных систем, изданной в период с 1960-х по 1990-е годы [30, 79, 81, 89, 90, 115, 139, 159–163, 185, 193, 198, 207, 208, 244, 293, 313].

Основной традиционной методикой остается технологическая схема, изображенная на рисунке 1.16, а [6]. В ее рамках срезка растительности производится с привлечением ручного труда и средств малой механизации (бензопил, ручных кусторезов). Скошенная масса затем бульдозерами собирается в кучи и, как правило, сжигается на месте. Лишь в исключительных случаях ее вручную загружают в транспорт и вывозят для утилизации.

Следующим этапом является корчевание пней для подавления роста новой поросли. Однако эта операция сопряжена с неизбежным разрушением поверхности берм и откосов, а также риском повреждения облицовки каналов. Для устранения этих последствий требуются дополнительные работы: подсыпка грунта, планировка берм и откосов, ремонт покрытия, которые выполняются вручную или с использованием строительной техники (бульдозеров, автогрейдеров, экскаваторов).

Завершающими операциями являются очистка русла от донных наносов одноковшовым экскаватором и разравнивание извлеченного грунта бульдозером.

В процессе совершенствования данной технологической схемы в 2000 году учеными Вавиловского университета (г. Саратов) была разработана и внедрена интенсивная технология удаления древесно-кустарниковой растительности (рисунок 1.16, б) [6, 28, 43, 66, 73, 143, 274, 279].

Интенсивная технология очистки состоит из трех последовательных операций.

- 1) Срезание древесно-кустарниковой растительности. Выполняется кусторезами с активным или пассивным рабочим органом как можно ближе к поверхности земли. Это обеспечивает свободный проход последующей техники для очистки и окашивания каналов.

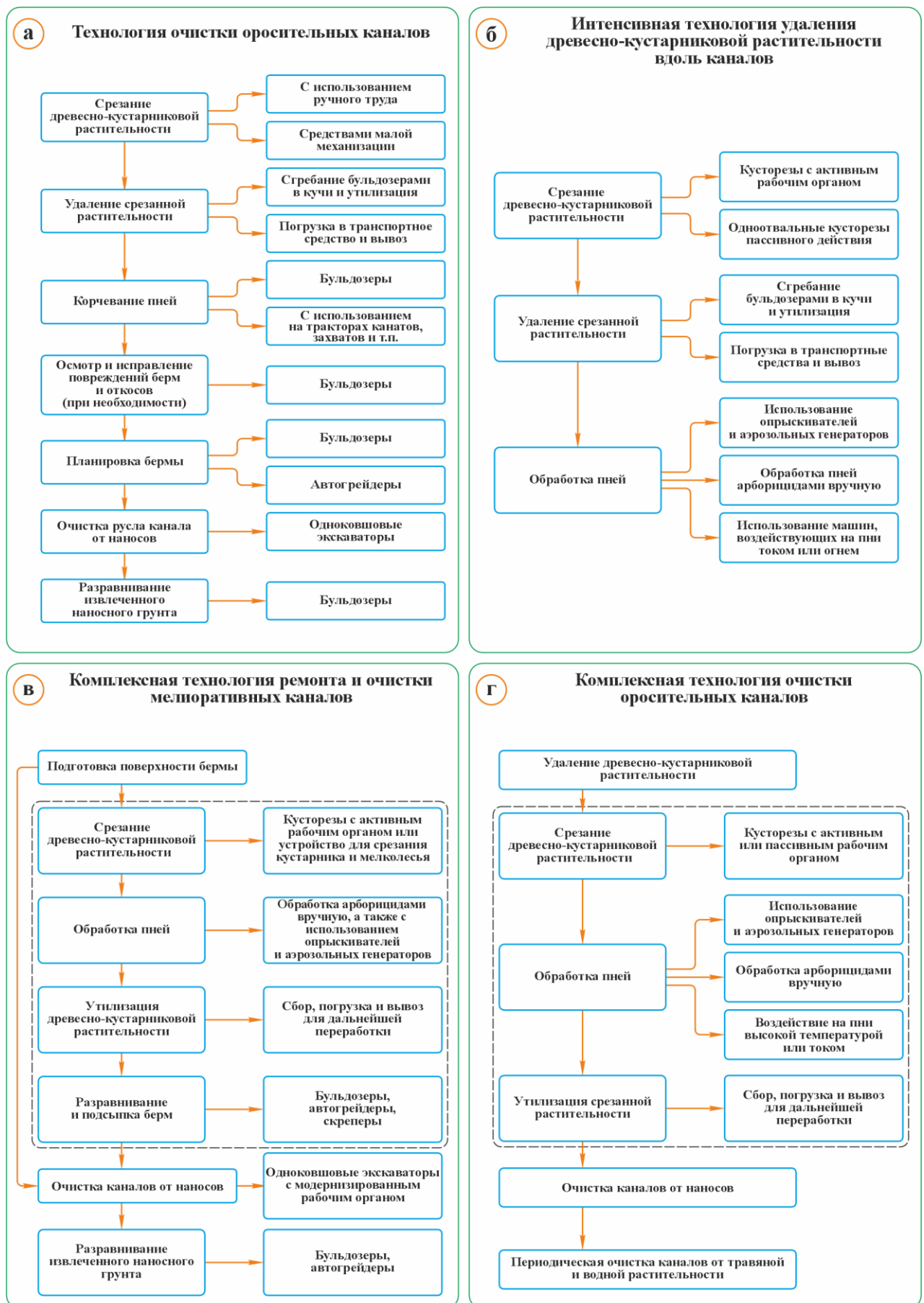


Рисунок 1.16 – Существующие технологические схемы очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности и наносов

2) Удаление срезанной растительности. Порубленная растительность сгребается бульдозерами или автогрейдерами в кучи для последующего сжигания на месте или погрузки в транспорт для вывоза.

3) Обработка пней. Вместо корчевки применяется обработка арборицидами либо термическое или электрическое воздействие специальными машинами. С точки зрения экологии, опрыскивание арборицидами допустимо лишь локально, непосредственно на пень, что делает метод эффективным и безопасным.

Данный блок работ по удалению кустарника также является составной частью двух комплексных технологий, представленных на рисунке 1.16, в, г [53, 54, 143, 251, 275, 283]. Суть операций в них остается аналогичной. Оптимальным считается проведение обработки пней параллельно со срезанием или сразу после уборки растительности.

Также существует технология, разработанная Институтом мелиорации НАН Беларуси по земледелию и применяемая в Белоруссии (рисунок 1.17) [245, 302].

Анализ рассмотренных технологических схем позволил выделить ряд ключевых аспектов, которые необходимо учитывать при разработке новых и совершенствовании существующих ресурсосберегающих технологий очистки каналов от кустарниковой растительности:

1) Разделение операций срезки. Удаление надземной части кустарника и мелколесья должно выполняться в два этапа: сначала на берме, затем на откосах канала. Это обусловлено необходимостью использования разных типов кусторезов для каждого участка, а также тем, что работы на откосах возможны лишь после расчистки бермы.

2) Использование специализированной техники. Наиболее эффективным для срезания кустарниковой растительности является применение высокопроизводительных машин, оборудованных активными дисковыми пильными рабочими органами, что значительно повышает скорость и качество работ.

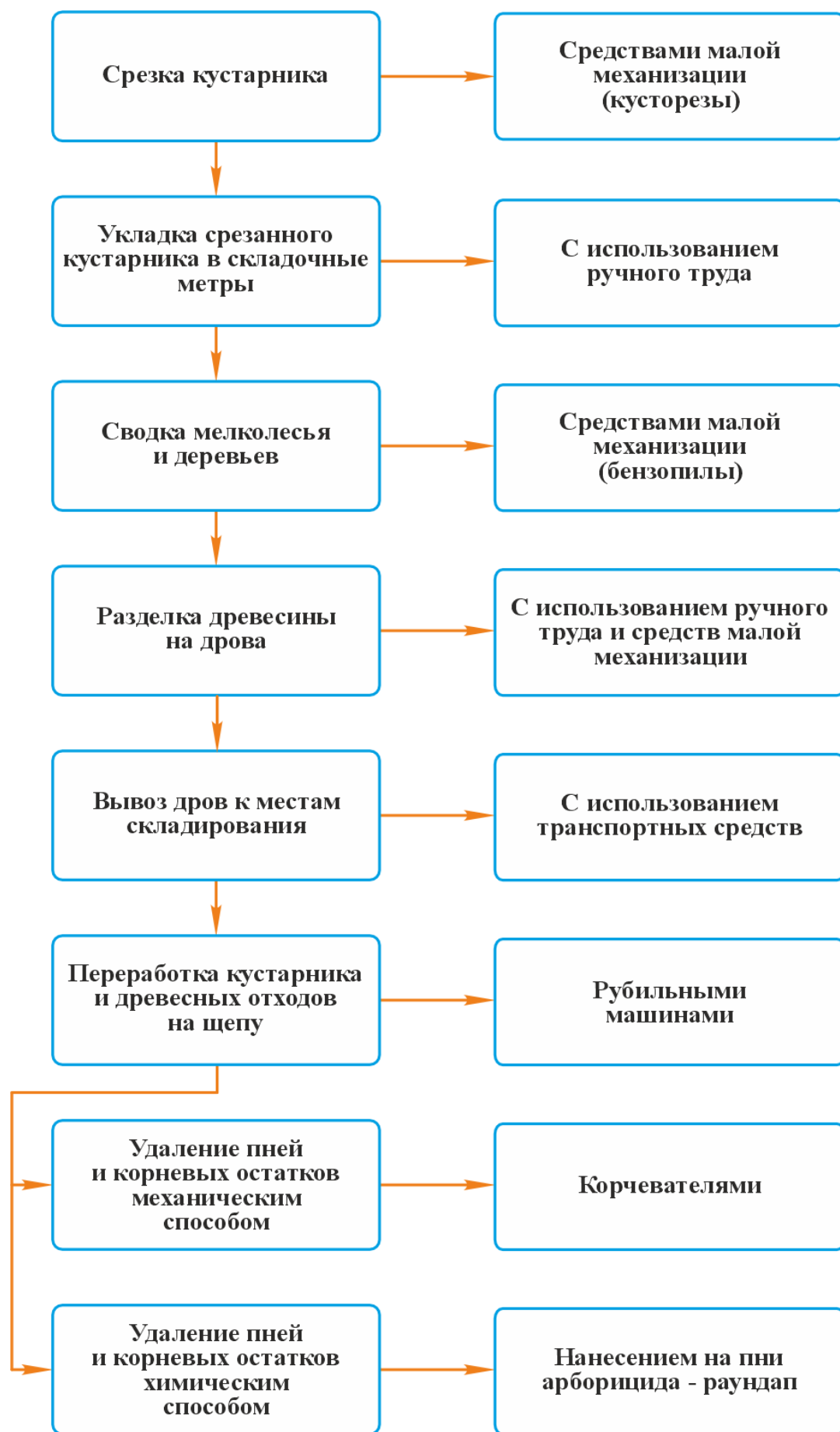


Рисунок 1.17 – Технология очистки каналов от кустарника, применяемая в Республике Беларусь

3) Негативные последствия применения бульдозеров. Использование бульдозеров для сгребания срезанной растительности вызывает частичное корчевание пней, что нарушает целостность поверхности берм и откосов и может привести к повреждению облицовки. Для ликвидации этих последствий требуются дополнительные работы по подсыпке и планировке. При этом следует помнить, что корневая система кустарника укрепляет откосы, выполняя армирующую функцию.

4) Загрязнение порубочных остатков грунтом. При сгребании растительности бульдозерами в порубочную массу попадает большое количество земли, что исключает ее последующее хозяйственное использование. Кроме того, загрязненная грунтом древесина сгорает не полностью, оставляя после себя несгоревшие остатки, которые захламляют территорию.

5) Отсутствие специализированной техники для уборки. На сегодняшний день не существует специальных машин для выполнения наиболее трудоемких операций по удалению срезанного кустарника и мелколесья с территории каналов, что значительно удорожает и усложняет технологический процесс.

6) Неэффективная утилизация отходов. В действующих технологиях не заложены рациональные методы утилизации порубочной биомассы. Ее сжигание является наиболее неэффективным и экологически вредным способом, ведущим к потере потенциального сырья и загрязнению окружающей среды.

7) Нерентабельность транспортировки. Экономическая невыгодность вывоза срезанного кустарника даже на небольшие расстояния обусловлена низкой плотностью и объемностью этой массы, что приводит к неполной загрузке транспорта и высоким транспортным расходам.

8) Совмещение операций при обработке пней. Для экономии ресурсов операцию по подавлению пней целесообразно совмещать со срезкой или уборкой. Для этого кусторезы или уборочные машины должны быть дооснащены устройствами для локального нанесения арборицидов на свежие срезы, что повысит общую эффективность.

На основе выделенных положений следует разрабатывать новые и модернизировать существующие ресурсосберегающие технологии очистки оросительных каналов. Технологические схемы должны предусматривать применение специализированной техники, сокращение доли ручного труда, внедрение рациональных методов утилизации древесины и предотвращение повреждения русла. Такой подход позволит не только повысить производительность, но и снизить себестоимость работ, минимизировав их негативное экологическое воздействие.

1.4.2 Технологии и технические комплексы для эксплуатации, ремонта и реконструкции напорных трубопроводов

Объем работ по ремонту и техническому обслуживанию закрытой оросительной сети определяется материалом труб и типом повреждений.

Техническое обслуживание предусматривает:

- наружный осмотр трасс трубопроводов и запорной арматуры для обнаружения утечек;
- мелкий ремонт арматуры;
- очистку колодцев от загрязнений, воды, снега и наледи;
- проведение смазочных, крепежных и регулировочных работ.

Ремонтные работы на закрытой оросительной сети выполняются в несколько стадий:

- обнаружение дефекта на трубопроводе, отсечение поврежденного участка ближайшей задвижкой и осушение расположенной ниже части сети;
- анализ повреждения, оценка условий для подъезда и доставки техники, оборудования и материалов;
- разработка траншеи экскаватором;
- ручная зачистка траншеи и очистка трубы и стыков от грунта;
- определение типа дефекта и подбор способа его устранения;
- ликвидация повреждения на трубопроводе;
- проведение испытаний трубопровода после ремонта;

– обратная засыпка траншеи грунтом.

Методы ремонта подземных трубопроводов зависят преимущественно от материала труб и характера повреждений (таблица 1.15) [193, 299].

Технологический процесс реконструкции и строительства новых участков напорных трубопроводов состоит из следующих основных операций (рисунки 1.18) [299].

Разметка и нивелирование трассы трубопровода.

Перед началом строительных работ на напорном трубопроводе выполняется инструментальная разметка оси траншеи, ее параметров, границ отвала грунта, зон перемещения техники и складирования материалов с использованием теодолита и нивелира.

Разметка поперечного сечения траншей проводится через каждые 50 м на прямых участках и через 20 м на криволинейных, с фиксацией колышками. Ось траншеи закрепляется вехами, обеспечивающими точность и оперативность выполнения работ.

Требования к разметке трассы:

Временные реперы устанавливаются вдоль трассы и связываются нивелирными ходами с постоянными реперами.

Разметочные оси и вершины углов поворота трассы фиксируются и привязываются к постоянным объектам (зданиям, опорам ЛЭП и др.) или специальным столбам.

Места пересечения трубопровода с подземными сооружениями отмечаются на поверхности особыми знаками.

Расположение сооружений на трассе обозначается столбиками с указанием номера колодца и расстояния до оси.

Результаты разметки оформляются актом с приложением ведомости реперов, углов поворотов и привязок.

Таблица 1.15 – Дефекты на трубопроводах

Причины утечки воды	Методы обнаружения мест утечек	Способы устранения дефектов
В процессе строительства, реконструкции		
Использование бракованных труб и средств соединения	Визуально при предварительном испытании на прочность	Замена труб и средств соединения
Нарушение технологии укладки и соединения труб	Визуально при предварительном испытании на прочность	Демонтаж и повторное соединение труб
Разрушение труб в процессе обратной засыпки траншеи	По методике окончательного испытания трубопроводов на герметичность	Опорожнение трубопровода, раскопка траншеи, замена труб
В процессе эксплуатации		
Отказ в работе средств компенсации гидравлического удара	По разнице в показании манометров в голове и конце трубопровода; по мокрым или размытым местам на поверхности земли; по пузырькам воздуха; по звуку просачивающегося воздуха; по запаху одорированного воздуха; специальными приборами-течеискателями	Отключение участка трубопровода, раскопка траншеи, водоотлив, замена труб, муфт, прокладок, фланцев, накладка бандаж
Внешние разрушающие действия на ж/б трубопроводы, язвенная коррозия стальных труб	Тот же	Отключение участка трубопровода, раскопка траншеи, водоотлив, замена труб, накладка бандаж, проклеивание пластыря, проваривание заплат на свищи, обетонирование трещин и раковин
Разрушение трубопроводов от воздействия агрессивной среды, естественное старение материала труб	Тот же	Частичная или полная замена труб на новые; нанесение на внутреннюю поверхность труб ЦПС, полимерных материалов, приклеивание гибких рукавов, протяжка новых труб меньшего диаметра, строительство нового трубопровода в другом месте или вдоль старого



Рисунок 1.18 – Технологический процесс реконструкции и строительства новых участков напорных трубопроводов

Подготовительные работы.

Подготовка включает расчистку полосы от древесной и кустарниковой растительности, пней, крупных камней, а также демонтаж либо перемещение сооружений, расположенных на трассе.

Срезка растительного слоя.

Растительный слой грунта толщиной 0,5–1,0 м срезается бульдозером поперечными проходами с перемещением во временный кавальер. При этом необходимо сохранять качество плодородного слоя.

Разработка траншеи под трубопровод.

Глубина, ширина по дну и заложение откосов траншеи определяются проектом [290].

Минимальная ширина траншеи по дну при разработке машинами циклического действия принимается равной ширине режущей кромки рабочего органа плюс 0,15 м для песчаных и 0,1 м для глинистых грунтов.

Для рытья траншей до 2 м глубиной целесообразно применять роторные или многоковшовые экскаваторы, а глубже 2 м – одноковшовые экскаваторы с оборудованием «обратная лопата». Допустимый недобор грунта составляет: 5 см – для роторных и многоковшовых машин; 10–15 см – для одноковшовых.

В скальных грунтах основание под трубопроводы разрабатывается на 5–20 см ниже проектной отметки с последующей подсыпкой и выравниванием песчаным или мягким грунтом. При уклонах более 50° применяется крупнозернистый песок или мелкий щебень в смеси с песком.

Траншеи глубиной до 1,5 м, как правило, отрывают с вертикальными стенками, а глубиной 1,5–2,5 м – с откосами (крутизной $m = 0,5$). В грунтах естественной влажности, без устройства креплений, предельная глубина выемки составляет: в песках и гравелистых грунтах – 1,0 м; в супесях – 1,25 м; в суглинках и глинах – 1,5 м; в особо плотных грунтах – 2,0 м.

В связных грунтах разработка без крепления стенок допускается на глубину до 3 м. Заложение откосов для траншей глубже 5 м или при сложных гидрогеологических условиях устанавливается проектом.

Контроль уклона дна траншеи осуществляется: для одноковшовых экскаваторов – по визиркам; для многоковшовых – по лазерному лучу или копирному тросику [6].

При работе роторными или многоковшовыми экскаваторами грунт из отвала размещают с нагорной стороны во избежание стока поверхностных вод, а растительный слой – с противоположной стороны траншеи.

Ручная доработка грунта и устройство прямков.

Обеспечение проектной отметки укладки труб требует ручной зачистки дна траншеи, предварительно разработанной одноковшовым экскаватором. Извлеченный при этом грунт складывается у откосов и впоследствии идет на подбивку пазух трубопровода. В зонах стыковки труб вручную устраиваются рабочие прямки.

Окончательное формирование основания под проектную отметку производится с применением визирок и шаблонов непосредственно в процессе монтажа труб. При отсутствии в проекте искусственного основания трубы монтируются на естественный грунт ненарушенной структуры, обеспечивая плотное прилегание по всей длине.

В устойчивых легких грунтах допускается разработка траншеи с недобором 5–10 см, с последующей ручной доделкой до проектной отметки перед монтажом. В тяжелых, каменистых или неустойчивых грунтах траншею, напротив, разрабатывают с перебором 5–10 см с последующей подсыпкой и уплотнением гравийно-песчаной подушки.

Конфигурация основания должна обеспечивать горизонтальность в поперечном сечении и соответствие проектному уклону в продольном.

Запрещается производить укладку труб на замороженное основание, за исключением случаев, когда оно сложено сухими песчаными, супесчаными, гра-

велистыми или скальными грунтами. Насыпные грунты могут быть использованы только после достижения проектной плотности, подтвержденной испытаниями.

В основании из грунтов I типа по просадочности уплотнение выполняется тяжелыми трамбовками, а для грунтов II типа требуется предварительное замачивание. В скальных грунтах выступы сглаживаются слоем уплотненного легкого грунта толщиной не менее 10 см.

После завершения подготовки основания проводится приемка работ с оформлением акта на скрытые работы с участием представителя заказчика.

Укладка, монтаж и предварительное испытание трубопроводов.

Соединение стальных труб выполняется электродуговой сваркой вручную, полуавтоматическим или автоматическим способом. Сварка может производиться как в траншее, так и на поверхности с последующей укладкой плетей.

Перед сборкой и сваркой концы труб очищаются от грунта, ржавчины и пыли, выравниваются и стыкуются с помощью центраторов и домкратов. Особенностью строительства стальных трубопроводов является нанесение наружной и внутренней гидроизоляции для защиты от коррозии.

Трубопровод укладывается в траншею одним из трех способов:

- 1) Опускание плетей (непрерывной нитки) с бровки траншеи.
- 2) Опускание отдельных секций с последующей сваркой в траншее.
- 3) Опускание сваренных плетей с последовательным наращиванием на бровке траншеи.

При опускании с бровки участок трубопровода, изолированный в течение дня, укладывается в траншею на следующий день рано утром и присыпается грунтом. В летнее время укладка производится в наиболее прохладное время суток.

Длинные плети укладываются с помощью кранов или трубоукладчиков, расположенных на определенном расстоянии друг от друга. Опускание трубопровода должно происходить плавно, без рывков и ударов о стенки траншеи.

Высота подъема плети над землей не должна превышать 1 м при использовании трех и более трубоукладчиков. При опускании отдельных секций трубоукладчики располагаются на расстоянии 15–20 % длины секции от ее концов.

Строительство трубопроводов из пластмассовых труб.

Применяются три метода организации сварочно-монтажных работ: базовый, трассовый и с использованием строительных площадок.

Базовый метод: сварка выполняется на складе, где трубы соединяются в секции длиной 18–24 м и более с помощью передвижных сварочных установок. Секции доставляются на трассу и свариваются в укрупненные плети.

Трассовый метод: трубы раскладываются вдоль траншеи и свариваются в непрерывную нитку методом наращивания.

Строительные площадки: используются для труб диаметром более 160 мм. Трубы свариваются в секции на площадках, расположенных через 1–2 км, и затем укладываются в траншею.

При укладке полиэтиленовых труб необходимо соблюдать следующие условия:

- начинать работы не ранее чем через 24 часа после сварки последнего стыка;
- грунт под трубой не должен содержать камней, кирпича или щебня;
- опускание труб должно происходить плавно, без резких перегибов;
- трубопровод не должен касаться стенок траншеи;
- укладываемый трубопровод должен иметь плавную кривую.

Трубы диаметром 50–160 мм укладываются вручную с использованием канатов или «полотенец», а трубы диаметром 180–315 мм – с помощью двух кранов-трубоукладчиков.

Применяются два метода укладки:

1) Краны приподнимают плеть, задний кран опускает ее на дно траншеи, после чего перемещается вперед и повторяет операцию.

2) Краны приподнимают плеть, задний кран ослабляет грузозахватные приспособления и принимает нагрузку на себя, после чего передний кран перемещается вперед.

Эти методы обеспечивают плавную и безопасную укладку трубопровода.

Обратная засыпка трубопроводов.

Обратная засыпка выполняется в два этапа:

- 1) Частичная засыпка перед проведением предварительного гидравлического испытания.
- 2) Окончательная засыпка после завершения испытания.

Частичная засыпка проводится сразу после укладки труб. Грунт укладывается слоями толщиной 10–15 см и уплотняется вручную пневматическими или электрическими трамбовками до высоты, равной половине диаметра трубы. При этом стыковые соединения остаются незасыпанными для возможности осмотра во время испытания.

После выполнения данных работ траншея заполняется грунтом механизированным способом, без его уплотнения, до отметки на 0,35–0,7 м выше верха трубы. Для предотвращения возможного смещения или деформации трубопровода необходимо выполнить уплотнение грунта в его пазухах. Если работы ведутся в скальных или гравелистых грунтах, стыки труб дополнительно изолируются слоем мягкого грунта толщиной 0,2–0,3 м для защиты от механических повреждений.

Окончательная засыпка траншеи механизированным способом, также без уплотнения, производится после успешного завершения предварительных гидравлических испытаний трубопровода.

Строительство сооружений на трубопроводах.

Устройство колодцев на закрытой оросительной сети включает следующие этапы:

- разработка котлована экскаватором;
- доработка ручным инструментом котлована до проектных параметров;
- устройство и уплотнение трамбовками основания из щебня под плиту днища;
- установка плиты днища с помощью крана и ее выверка;
- монтаж опор из сборного железобетона на плите днища в соответствии с проектной документацией;

- установка арматуры на опоры;
- ручная разработка приямков для стыков труб с патрубками;
- монтаж патрубков с использованием резиновых уплотнительных колец и стыкователя;
- присоединение арматуры к патрубкам с помощью фланцев;
- подготовка отверстий в кольцах колодца в зависимости от диаметра трубопровода;
- устройство по периметру первого кольца на плите днища цементной постели толщиной 2 см;
- установка первого кольца колодца;
- затирка цементным раствором шва между кольцом и днищем;
- установка второго кольца колодца и нанесение цементного раствора на торец первого кольца;
- крепление ходовых скоб на внутренней поверхности колец с шагом 30 см по высоте;
- устройство цементной постели по верху второго кольца;
- установка плиты перекрытия и монтаж люка;
- заделка швов цементным раствором с затиркой поверхности;
- устройство опалубки и заделка бетоном зазоров между трубой и стенками колодца;
- гидроизоляция снаружи стен колодца горячим битумом (в 2 слоя);
- обратная засыпка пазух котлована с применением ручного инструмента и уплотнением трамбовками (толщина слоев 20 см);
- завершающая засыпка котлована до проектной отметки бульдозером;
- планировка поверхности земли вокруг колодца.

Испытания трубопроводов на герметичность.

Проверка герметичности трубопроводов после их монтажа или ремонта осуществляется в строгом соответствии с нормативами [288].

Контроль прочности и герметичности трубопровода может проводиться одним из методов: пневматическим, гидравлическим или их комбинацией (пневмо-гидравлическим).

Испытания напорных трубопроводов независимо от класса производятся в два этапа:

1) Предварительная проверка прочности – организуется после подсыпки грунта в пазухи до уровня половины вертикального диаметра трубы и присыпки труб по нормам [290]. Стыковые соединения при этом оставляют открытыми для визуального контроля.

2) Окончательная проверка герметичности – выполняется после полной обратной засыпки траншеи.

Оба этапа испытаний проводятся до монтажа гидрантов, вантузов и предохранительных клапанов. На время проверок вместо указанной арматуры устанавливаются фланцевые заглушки.

Для напорных трубопроводов длина испытываемого участка не должна превышать 1 км. Если длина участка больше, испытания проводятся по частям, каждая из которых не превышает 1 км. Для стальных трубопроводов при гидравлическом методе допускается испытание участков длиной более 1 км.

Величины внутреннего расчетного давления и испытательного давления определяются в соответствии с требованиями [289].

Выявление дефектов и неплотностей:

- при гидравлическом испытании: утечки определяются по мокрым или размытым местам после снижения давления.
- при пневматическом испытании: по пузырькам воздуха, образующимся в местах утечки при нанесении мыльной эмульсии на стыки;
- по звуку просачивающегося воздуха;
- по запаху одорированного воздуха (аммиак, этилмеркаптан и др.), добавляемого в подаваемый компрессором воздух;
- с помощью галоидных течеискателей при использовании галоидных добавок.

Все выявленные дефекты маркируются на трубопроводе с помощью мела или краски, а их подробная характеристика и точное расположение заносятся в дефектную ведомость. Устранение несоответствий производится исключительно

после сброса давления в системе до атмосферного. После выполнения ремонтных работ испытание на герметичность проводится повторно в полном объеме.

Способы ликвидации конкретных дефектов определяются специальными инструкциями по монтажу трубопроводов, которые регламентируют работы для каждого типа материала труб.

Восстановление растительного слоя.

После завершения засыпки траншей выполняется разравнивание грунта по трассе трубопровода и восстановление растительного слоя. Данная операция является завершающим этапом рекультивации земель и направлена на приведение нарушенной территории в состояние, пригодное для дальнейшего целевого использования. Работы проводятся в соответствии с проектной документацией и требованиями природоохранного законодательства, что обеспечивает восстановление экологических функций почвенного покрова.

Анализ технологий ремонта и реконструкции напорных трубопроводов позволяет выделить следующую ключевую технологическую и организационную особенность их адаптации к условиям мелиоративных систем. В случае прохождения трасс трубопроводов через заросшие кустарником участки требуется принципиальный пересмотр работ подготовительного этапа. Классическая последовательность операций (разметка – разработка траншеи – монтаж) должна быть дополнена обязательным этапом экологической и технической подготовки полосы отчуждения. Для минимизации ущерба конструкциям трубопровода и сохранения целостности грунтового основания рекомендуется применение щадящих методов расчистки с использованием высокопроизводительных кусторезов дискового типа и последующим мульчированием срезанной биомассы. Данный подход позволяет не только обеспечить доступ к объекту, но и решить проблему утилизации растительности, трансформируя ее из отхода в потенциальный ресурс – энергетическую или технологическую древесную щепу.

1.5 Технические комплексы мелиоративного производства

1.5.1 Структура комплекса технического обеспечения мелиоративного производства

В процессе эксплуатации мелиоративных систем и гидротехнических сооружений могут возникать различные проблемы, такие как заиливание, зарастание растительностью, эрозия, а также отклонения от проектных профилей. Эти факторы приводят к снижению пропускной способности, ухудшению технических характеристик объектов и увеличению фильтрации воды. Утечки воды, вызванные фильтрацией и стоком на поверхность, могут стать причиной заболачивания прилегающих территорий и повышения уровня грунтовых вод на орошаемых землях. Это, в свою очередь, может спровоцировать засоление почвы, связанное с подъемом солей к поверхности, что негативно влияет на плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур.

Для предотвращения данных проблем требуется систематическое и высококачественное выполнение эксплуатационных и ремонтных мероприятий на оросительных системах и гидротехнических сооружениях с применением соответствующих технических комплексов. Это обеспечивает поддержание объектов в надлежащем техническом состоянии, гарантирует работоспособность транспортной сети и способствует рациональному и экологически безопасному использованию водных ресурсов.

Рассматривая структуру технического обеспечения мелиоративного производства, можно выделить следующие ключевые направления [162, 171, 184, 213, 263, 303]:

1) Энергетика, транспортные и погрузочные средства.

В этот раздел входят машины и оборудование, используемые во всех комплексах: электростанции, автомобили, прицепы, краны, погрузчики и трубоукладчики.

2) Общестроительные технические средства.

К ним относятся машины для выполнения основных видов мелиоративных работ: одноковшовые и многоковшовые экскаваторы, бульдозеры, скреперы, автогрейдеры, рыхлители, земснаряды, буровые установки, а также базовые средства для агрегатирования с тракторами и самоходными шасси.

3) Машины для строительства оросительных и осушительных систем.

В этом разделе представлены машины, выполняющие ключевые операции в мелиоративном строительстве, такие как каналокопатели, дренаукладчики, планировщики и другие.

4) Машины для культуртехнических работ.

Сюда входят технические средства для очистки земель от древесной растительности и пней, удаления камней и валунов, обработки почвы и строительства дорог.

5) Машины для содержания и ремонта оросительных и осушительных систем.

Этот раздел включает технику для очистки и ремонта мелиоративных каналов, удаления растительности, промывки закрытого дренажа, а также ремонта и обслуживания гидротехнических сооружений.

6) Поливная техника.

Включает оборудование для различных способов орошения: дождевальные машины, системы капельного, внутрипочвенного и мелкодисперсного орошения.

Машины, используемые для строительства и эксплуатационно-ремонтных работ на мелиоративных системах, классифицируются следующим образом (рисунки 1.19) [104, 136, 141, 170, 191, 256, 321].

Строительство и техническая эксплуатация мелиоративных систем характеризуются высокой долей земляных работ. На рисунке 1.20 систематизированы машины, используемые для выполнения данного вида работ [152, 153, 188, 190, 295].

Если рассматривать мелиорацию «от насосной станции – до орошаемого участка», то завершающим звеном этой цепи в большинстве случаев является дождевальная машина. В связи с этим, необходимо привести также классификацию многоопорных широкозахватных дождевальных машин (рисунок 1.21).

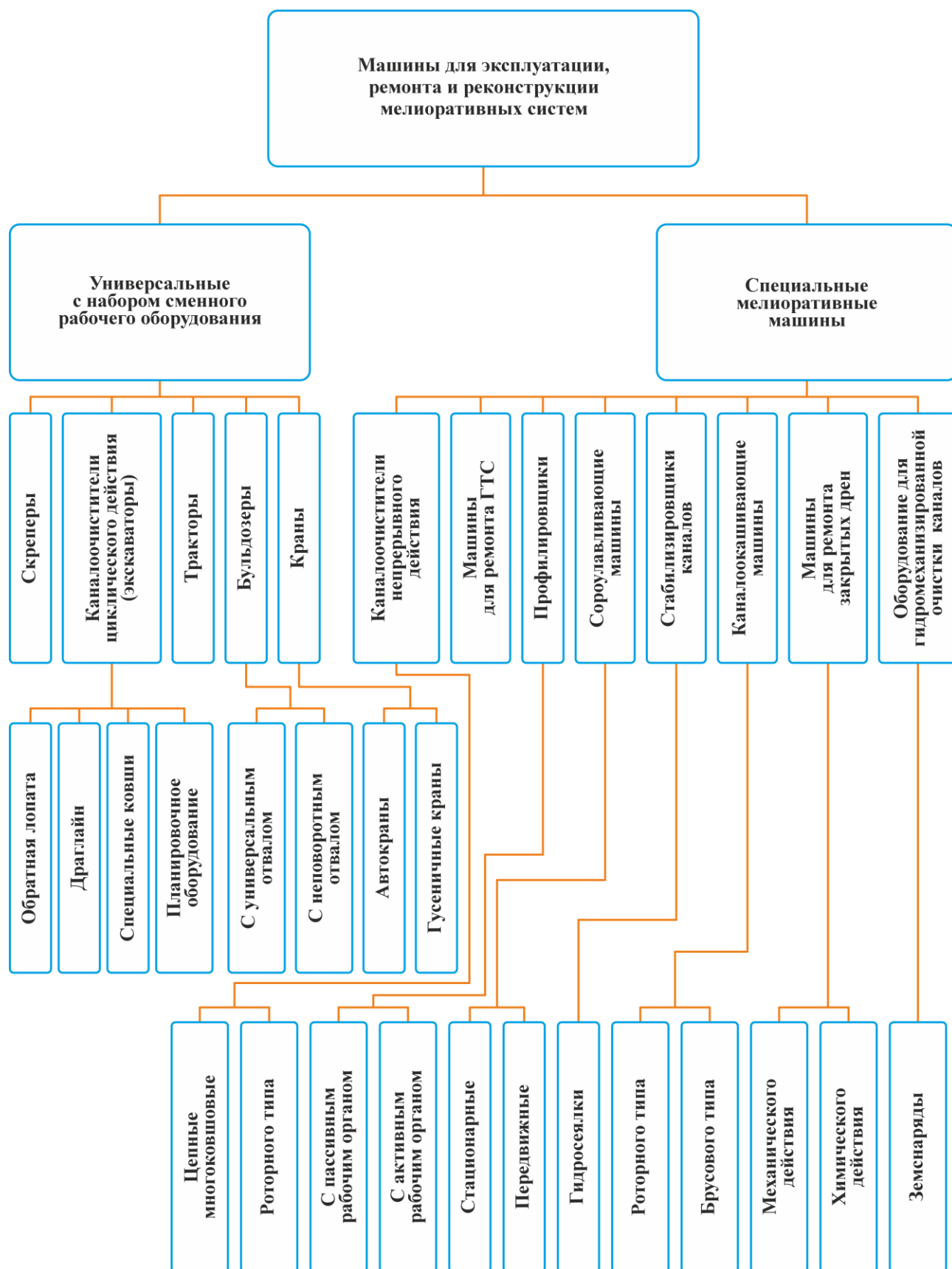


Рисунок 1.19 – Классификация машин для эксплуатации, ремонта и реконструкции мелиоративных систем

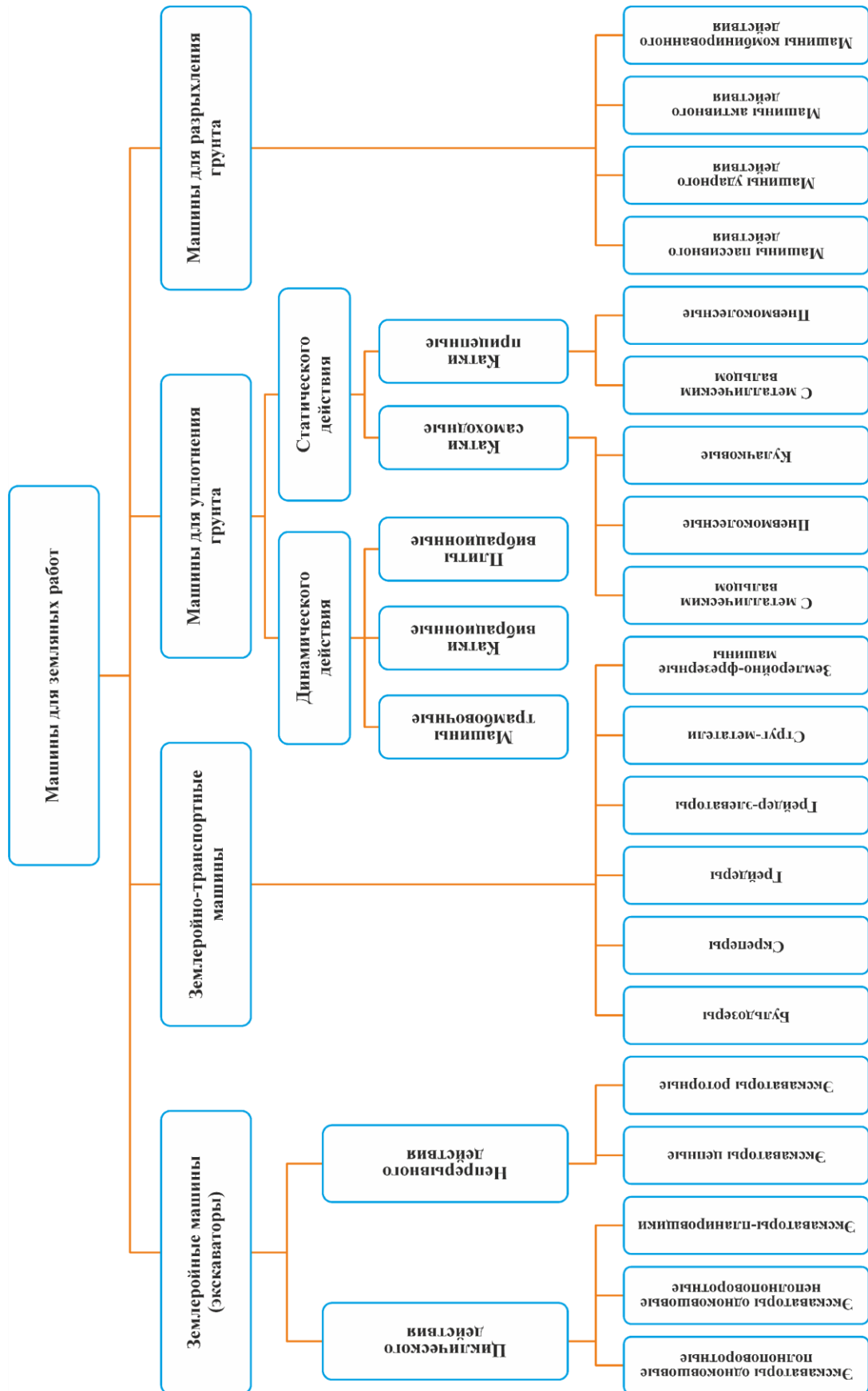


Рисунок 1.20 – Классификация машин для земляных работ

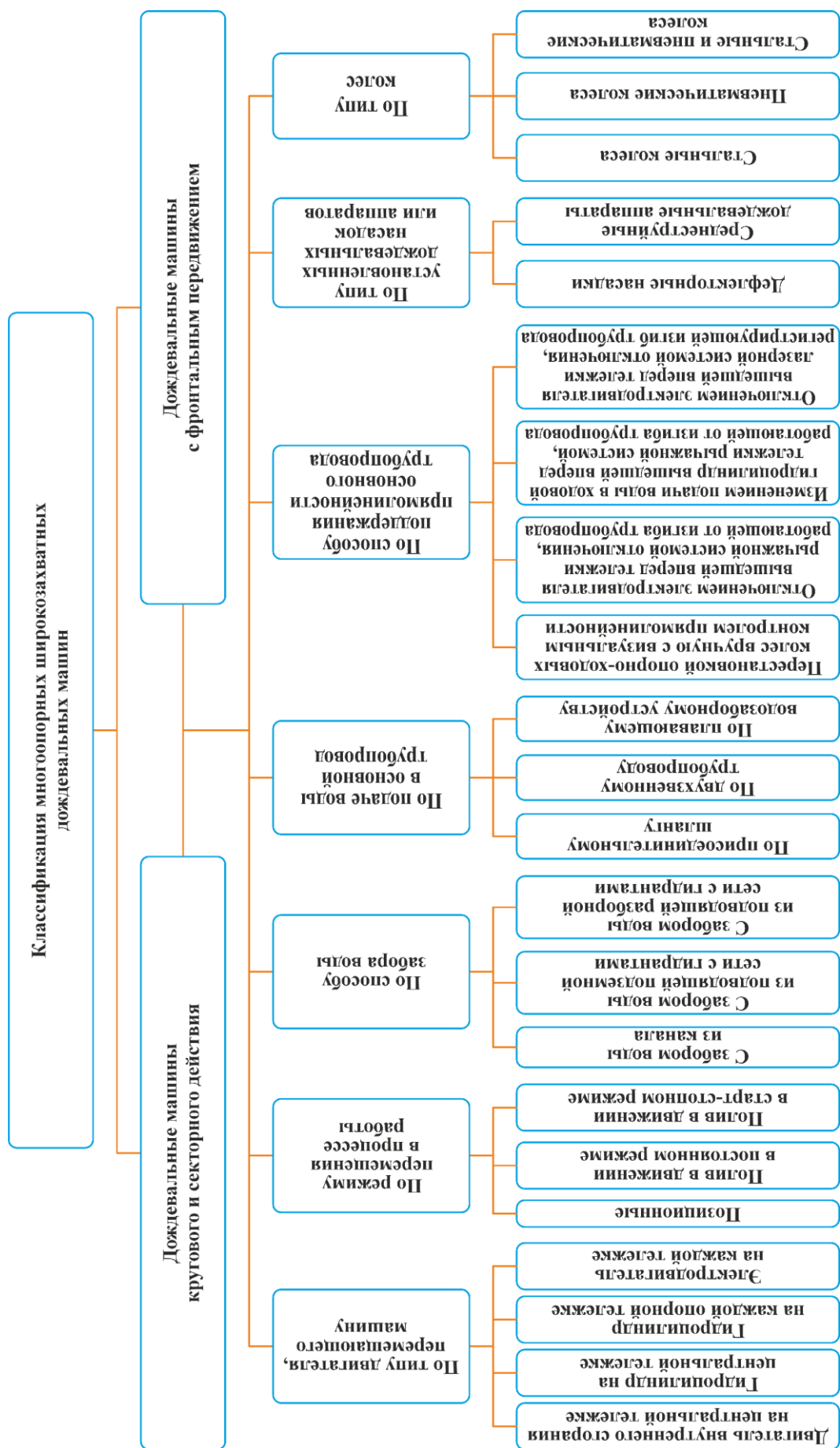


Рисунок 1.21 – Классификация дождевальных машин

1.5.2 Анализ состояния парка машин мелиоративного производства

1.5.2.1 Анализ состояния парка машин для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем

На основе статистики 1975 года [209] для выполнения строительных, ремонтных и эксплуатационных задач на 3,68 млн га орошаемых и 2,99 млн га осушаемых земель в СССР было задействовано 13492 экскаватора, 11978 скреперов, 14122 бульдозера, 21 земснаряд и 4052 автомобильных крана. При переводе на 1000 га мелиорированных площадей обеспеченность предприятий Министерства водного хозяйства РСФСР составляла: 2,02 единицы экскаваторов, 1,79 единицы скреперов, 2,11 единицы бульдозеров, 0,031 единицы земснарядов и 0,607 единицы автомобильных кранов.

В настоящее время машинно-технический парк применяется комплексно для решения задач как текущего ремонта и эксплуатации, так и для строительномонтажной деятельности. Хотя технологический процесс претерпел изменения, а возведение новых мелиоративных объектов практически прекратилось, потребность в обслуживании и поддержании работоспособности существующих систем остается актуальной.

Для выполнения государственных задач федеральные государственные бюджетные учреждения проводят комплекс эксплуатационно-ремонтных работ с использованием мелиоративной, специальной и общестроительной техники. При этом применяется более 42 наименований технических средств, включая мелиоративные косилки, корчеватели, кусторезы, рыхлители и другое оборудование.

По факту парк мелиоративной, общестроительной и автомобильной техники насчитывает 2750 единиц, что соответствует лишь половине от необходимого количества. Его распределение по федеральным округам характеризуется следующими показателями: Центральный – 271 ед., Северо-Западный – 114, Южный – 782, Северо-Кавказский – 502, Приволжский – 722, Сибирский – 259, Уральский – 18, Дальневосточный – 82 ед. Средний уровень износа машинного парка превышает 70 % [209].

Учреждения, находящиеся в ведении Минсельхоза России, располагают 1301 единицей землеройного и специализированного мелиоративного оборудования, включая тракторы, бульдозеры, экскаваторы, косилки и прицепы. Региональное распределение: Центральный округ – 167 ед., Северо-Западный – 66, Южный – 480, Северо-Кавказский – 146, Приволжский – 173, Уральский – 34, Сибирский – 206, Дальневосточный – 29 ед. Структура парка по типам: бульдозеры – 14, косилки – 45, очистители каналов – 22, тракторные прицепы – 131, тракторы – 1025, экскаваторы – 64.

Парк непосредственно мелиоративной техники составляет 250 единиц, при этом уровень ее износа оценивается свыше 75 %, а доля исправных машин не превышает 70 %. Более 50 % данного парка эксплуатируется сверх установленных нормативных сроков, поскольку централизованное обновление не осуществлялось с 2003 года.

Наличие легкового и грузового автотранспорта с уровнем износа не менее 50 % по округам следующее: Центральный – 16 и 64 ед., Северо-Западный – 9 и 21, Южный – 117 и 151, Северо-Кавказский – 89 и 26, Приволжский – 12 и 251, Сибирский – 27 и 83, Уральский – 1 и 3, Дальневосточный – 0 и 29 ед.

Обеспеченность организаций, подведомственных Департаменту мелиорации, техникой для эксплуатационно-ремонтных работ (в расчете на 1 тыс. га мелиорированных земель) составляет: экскаваторы – 0,67 ед., скреперы – 0,098, бульдозеры – 0,35, земснаряды – 0,014 ед.

На основе текущих качественных и количественных показателей парка мелиоративной, общестроительной и автомобильной техники невозможно достичь нормативного уровня технического содержания и безопасной эксплуатации мелиоративных систем и гидротехнических сооружений, находящихся в государственной собственности на площади 3,9 млн га.

Количественные и качественные характеристики машинного парка не отвечают современным мировым требованиям. Фактические эксплуатационные показатели техники значительно уступают паспортным данным, поскольку до 80 %

машин эксплуатируются сверх установленных сроков службы, а свыше 30 % числятся в нерабочем состоянии.

Это привело к снижению ключевых коэффициентов (использования времени, надежности технологического процесса, готовности и эффективности полива) на 30–50 % относительно нормативных значений. Подобная ситуация вызывает нерациональный расход материально-технических, энергетических, водных и земельных ресурсов, ведет к потерям урожая и усугубляет экологические проблемы.

Анализ эксплуатационных показателей и технического состояния машин [59, 60, 119, 209] свидетельствует о следующих тенденциях:

- снижение годовой наработки экскаваторов на 2,3–4,2 %, бульдозеров – на 1,2–2,4 %; уменьшение часовой производительности экскаваторов на 1,0–3,0 %, бульдозеров – на 0,6–1,5 %;
- рост затрат на техническое обслуживание и ремонт на 2–5 %, эксплуатационных расходов – на 1–3,4 %, общих годовых затрат – на 3–8 %;
- увеличение расхода эксплуатационных материалов: топлива – на 0,5–1,5 %, моторного масла и гидравлической жидкости – на 2–10 %.

В структуре условно-постоянных издержек преобладают амортизационные отчисления (15–40 %), а среди переменных затрат наибольшую долю (до 35 %) составляют расходы на техобслуживание и ремонт.

Ресурс и эффективность техники после ремонта также снижаются. Уровень восстановления работоспособности после капремонта достигает лишь 80–90 % от показателей новой машины или предыдущего ремонта. При этом производительность падает на 5–10 % после каждого капитального ремонта, а продолжительность последующих межремонтных циклов сокращается на 10–20 %.

Фактический парк мелиоративной, общестроительной и автотранспортной техники насчитывает 5318 единиц, что покрывает лишь 47 % от потребности для проведения эксплуатационно-ремонтных работ. Распределение техники по федеральным округам следующее: Центральный – 577 ед., Северо-Западный – 257,

Южный – 1538, Северо-Кавказский – 992, Приволжский – 1069, Сибирский – 749, Уральский – 48, Дальневосточный – 88 ед. Средний износ парка превышает 70 %.

При текущем наличии 5318 единиц, потребность для выполнения государственного задания с учетом предложений федеральных учреждений по оптимальной структуре парка оценивается в 6116 единиц.

Если рассматривать Приволжский регион, то по данным ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» [248] парк машин для производства работ по эксплуатации, ремонту и реконструкции оросительных систем состоит из следующей техники (таблица 1.16).

Таблица 1.16 – Парк машин ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз»

Наименование филиала	Грузовые автомобили, шт.	Автобусы вахтовые, шт.	Автокраны, шт.	Экскаваторы одноковшовые, шт.	Бульдозеры, шт.	Скреперы, шт.	Тракторы, шт.	Автогрейдеры, шт.
Балаковский	2	0	1	1	0	3	9	0
ГГМП	6	0	0	2	2	2	6	0
Ершовский	7	0	1	4	4	4	9	1
Калининский	5	0	1	3	1	3	7	1
Приволжский	3	3	2	3	0	2	5	0
Саратовский обводнительный канал	5	5	1	2	2	2	11	0
Энгельсский	4	0	2	3	1	1	7	0
Производственный участок	4	1	2	0	0	0	0	0
Самарский	4	0	2	17	4	1	10	0
Филиал по Республике Мордовия	11	0	1	10	6	0	7	0
Пензенский	2	0	0	0	1	0	2	0
Ульяновский	6	0	2	4	2	0	3	0
ВСЕГО	59	9	15	49	23	18	76	2

1.5.2.2 Анализ состояния парка машин для орошения сельскохозяйственных культур

Парк дождевальных машин России имеет в своем составе около 8756 единиц, из которых (рисунок 1.22): 32 % – «Фрегат»; 1 % – «Кубань»; 3 % – ДДН-70, 100 (устаревшие, разработка 1970 года – производство 1980–2000 гг.); 7 % – ДДА-100, 100М (устаревшие, разработка 1970 г., производство 1980–2000 гг.); 7 % – «Волжанка»; 0,2 % – «Днепр»; 9 % – прочие дождевальные машины (физически и морально устаревшие образцы дождевальной техники – «Сигма», дождевальные шлейфы, шланговые барабанные дождевальные машины); 1 % – дождевальные стационарные установки с аппаратом ДД-30; 40 % – техника зарубежного производства [265, 268].

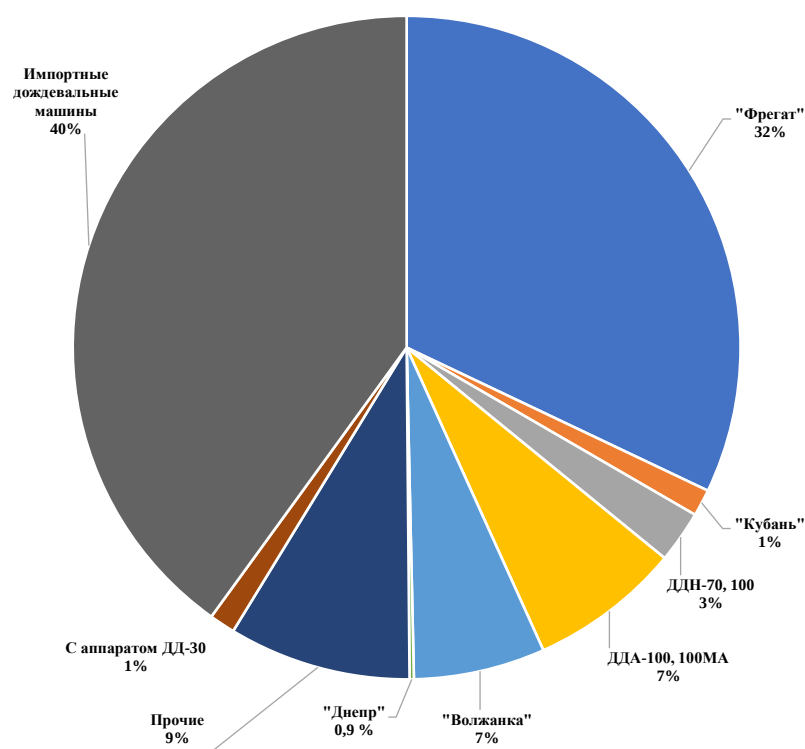


Рисунок 1.22 – Парк дождевальных машин в России

Как можно заметить, 40 % парка дождевальных машин – являются импортными, а отечественные дождевальные установки эксплуатируются за пределами нормативного срока службы и более 80 % из них имеют 100 % износ, связанный с длительным простоем в серийном производстве дождевальных машин, который имел место в 2009–2015 гг.

Примечательно, что после возобновления серийного производства с 2016 г. по 2020 г. было выпущено лишь 350 новых дождевальных машин старого образца («Фрегат», «Кубань», ШБДМ). Выпускаемые ранее в СССР дождевательные машины «Фрегат», «Днепр», «Кубань», физически и морально устарели. Машины импортного производства и запчасти к ним стали более дорогостоящими, а иногда и просто недоступными на Российском рынке.

Парк дождевательной техники (рисунок 1.23) Саратовской области имеет следующую структуру (рисунок 1.24): 82 % – «Фрегат»; 4 % – «Волжанка»; 1 % – «Днепр»; 1 % – ДДА-100М; 12 % – техника зарубежного производства.

На основании представленных данных, можно сделать вывод, что разработка и внедрение новых дождевательных машин отечественного производства в настоящее время является одной из важных задач мелиоративного комплекса Российской Федерации.

Отечественные производители обладают достаточным потенциалом для полного обеспечения потребности в дождевательной технике. Спрос на нее формируется за счет мер государственной поддержки аграриев, в частности субсидий, предоставляемых в соответствии с Ведомственной программой развития мелиорации на 2021–2025 годы.

Количество машин, шт.

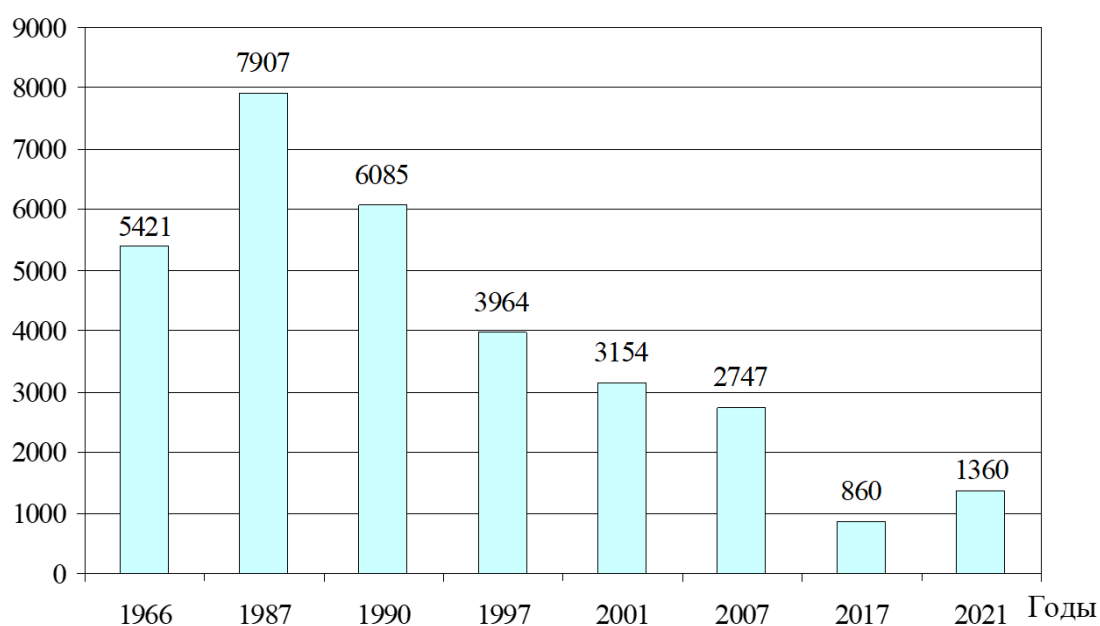


Рисунок 1.23 – Наличие дождевательных машин в Саратовской области

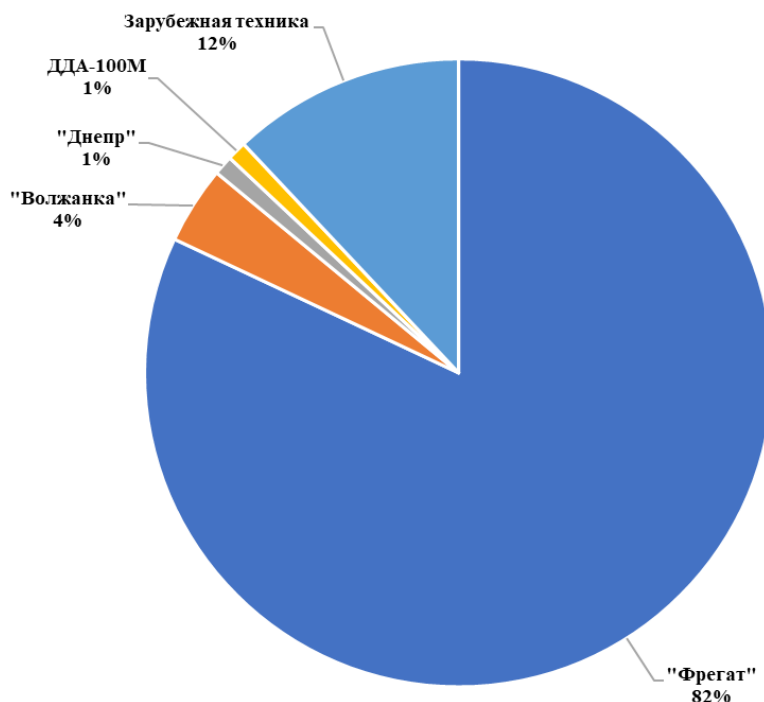


Рисунок 1.24 – Структура парка дождевальных машин в Саратовской области

Для стабильного развития отечественного машиностроения в этой сфере необходима гарантированная загрузка производственных мощностей, что требует дополнительных мер государственного стимулирования в рамках указанной программы. Эффективным механизмом может стать введение в условия предоставления субсидий нормы, согласно которой финансовая поддержка выделяется сельхозтоваропроизводителям исключительно при закупке оросительной техники и оборудования российского производства. Использование импортных аналогов может субсидироваться государством только при документально подтвержденном отсутствии отечественных альтернатив.

1.5.3 Повышение эффективности эксплуатации парка машин мелиоративного производства

Для повышения эффективности использования парка машин в мелиорации необходимо реализовать следующие меры [99, 130, 147, 172, 304]:

- улучшение эксплуатации существующего парка машин с точки зрения времени использования и производительности;

- оптимизация структуры парка и повышение качественных показателей его работы;

- разработка новых и совершенствование существующих технологических схем мелиоративного производства, а также подбор типов машин с учетом технологических особенностей и конкретных условий производства;

- улучшение методов управления и форм эксплуатации машинного парка;

- совершенствование подходов к планированию и учету работы машин;

- внедрение современных технических решений на основе достижений научно-технического прогресса и фундаментальных наук;

- развитие ремонтно-эксплуатационной базы для машинного парка;

- повышение квалификации персонала, обслуживающего технику;

- укрепление трудовой дисциплины и улучшение методов мотивации труда.

Комплексная оптимизация парка машин, охватывающая первые пять направлений, является ключевым фактором повышения эффективности его эксплуатации. Это позволяет оптимально формировать и обновлять парк, распределять технику по объектам производства и составлять рациональные комплекты машин.

Направление, связанное с совершенствованием технических средств на основе достижений науки и техники, включает [155, 156]:

- оснащение машин адаптивными рабочими органами;

- создание машин с высокой единичной мощностью и крупными габаритами;

- применение мини-техники и специализированного рабочего инструмента;

- увеличение рабочих и транспортных скоростей;

- использование гидравлических, пневматических и гидроходных систем;

- автоматизация, роботизация и компьютеризация машин;

- применение методов, снижающих трение;

- использование принципов газовой и гидродинамики;

- термическая, лазерная и плазменная обработка;

– применение высоко- и сверхвысокочастотных колебаний и другие инновации.

Важным условием улучшения эксплуатации техники является повышение ее технической готовности, сокращение простоев из-за ремонтов и аварий, а также совершенствование системы технического обслуживания и ремонта.

Не менее значимым фактором повышения эффективности использования парка машин для мелиорации является человеческий фактор. Он определяется уровнем квалификации персонала, производственным опытом, а также моральной и материальной заинтересованностью работников.

1.5.4 Анализ исследований по оптимизации парка машин

Оптимальный выбор решений в сфере механизации предполагает проведение экономических расчетов для определения наилучших вариантов развития и эксплуатации парка машин с использованием математических методов и компьютерных технологий. В настоящее время как отечественные, так и зарубежные производители предлагают широкий ассортимент мелиоративной и строительной техники различных марок и типоразмеров. Однако предприятия-производители часто сталкиваются с ограниченными финансовыми возможностями и техническими ресурсами. В таких условиях задача оптимизации парка машин становится ключевым фактором повышения эффективности механизации строительных и эксплуатационных работ на оросительных системах.

Обзор научных публикаций по вопросам оптимизации парка технических средств для нужд сельского хозяйства и мелиоративного производства демонстрирует, что фокус исследований традиционно сосредоточен на оптимизации состава машинно-тракторного парка и распределении техники по технологическим операциям. Известны, в частности, работы посвященные решению задач оптимизации парка сельскохозяйственных машин, авторов: Андриянова В.Е., Балашова А.В., Баширова Р.М., Веденяпина Г.В., Докина Б.Д., Еникеева В.В., Жукевича К.И., Лобань В.Г., Малинникова А.Е., Прокопенко Г.М., Родина А.И., Финна Э.А.,

Хабатова Р.Ш., Шахмаева М.В., Шмидта Р.Г., Шкурбы В.В. и др. [82, 93, 96, 111, 137, 138, 144–146, 150, 168, 178, 181, 246, 250, 252, 258, 305–307, 310]. В рассмотренных исследованиях в качестве ключевого критерия оптимизации используется минимизация совокупных приведенных затрат. Для решения поставленных задач в них применяются методы линейного программирования.

В ряде исследований, посвященных оптимизации парка мелиоративной и строительной техники, значительный вклад внесли такие авторы, как Абдразиков Ф.К., Атаев С.С., Анненкова О.С., Балаховский М.С., Зотова Л.В., Канторер С.Е., Крившин А.Г., Петров И.В., Филиппов Б.И., Фролов П.Т., Шейнин А.М. и др. [87, 88, 129, 154, 174, 175, 183, 298, 300, 314, 315].

Согласно исследованиям С.С. Атаева и С.Е. Канторера, оптимальным считается такой вариант распределения машин по производственным объектам, который позволяет выполнить заданные объемы работ с использованием имеющегося парка техники при экстремальном значении определенного технико-экономического показателя. В качестве критериев оптимальности распределения машинного парка могут выступать: общий размер приведенных затрат, себестоимость механизированных работ, суммарная выработка парка, продолжительность выполнения производственной программы и другие показатели.

Атаев С.С. и Канторер С.Е. в качестве целевого критерия оптимизации используют минимизацию совокупных приведенных затрат или общей себестоимости. Базовыми условиями оптимальности в их модели являются:

- гарантированное выполнение полного объема работ на каждом объекте или участке;
- соблюдение агротехнических сроков проведения механизированных работ;
- исключение отрицательного баланса машинного времени.

В случае, когда помимо общего срока устанавливаются ограничения по продолжительности работ на отдельных участках, добавляется условие о невозможности превышения максимально допустимого времени работы техники на

конкретном объекте. Если же производственная программа допускает перевыполнение плана на определенных участках, критерий оптимальности становится комплексным, объединяя минимизацию затрат с максимизацией суммарной производительности машинного парка.

Кроме того, в работах этих авторов рассматриваются задачи по оптимизации структуры парка строительной техники, включая его возрастной и типоразмерный состав.

В работе Зотовой Л.В. задача оптимизации машинного парка для мелиорации формализована с помощью экономико-математической модели, где целевой функцией служит минимизация удельных приведенных затрат. Ключевым ограничением модели выступает обязательное выполнение всего запланированного объема работ.

Анненкова О.С. в своей экономико-математической модели оптимизации парка землеройной техники вводит два критерия оптимальности: минимум совокупных приведенных затрат и минимум общей продолжительности работ. Условия оптимизации в данной модели следующие:

- выполнение всего производственного задания;
- соблюдение нормативных сроков проведения работ;
- выполнение работ в установленные сроки;
- эксплуатация машин строго в пределах их эффективной технологической зоны;
- соответствие типа и мощности техники категории сложности выполняемых земляных работ.

В исследованиях Шейнина А.М. и Крившина А.Г. целевая функция определяется как минимизация удельных приведенных затрат на единицу продукции либо минимум совокупных приведенных затрат. Ограничениями модели выступают: обеспечение полного объема работ на каждом участке, соблюдение сроков механизированных операций и условие неотрицательности переменных.

Фролов П.Т. и Петров И.В. в качестве ключевых технико-экономических критериев для выбора оптимального варианта механизации строительства рассматривают себестоимость и трудоемкость. При их несущественных различиях определяющим показателем становятся удельные капитальные вложения в приобретение техники.

В комплексной экономико-математической модели Абдразакова Ф.К. и Горюнова Д.Г. [5, 7, 22, 26, 27, 33, 40, 46, 49, 68, 69, 121], предназначенной для оптимизации парка землеройной техники в мелиорации, целевая функция направлена на минимизацию приведенных затрат и одновременную максимизацию прибыли. Условиями оптимальности являются:

- обеспечение требуемого качества работ;
- выполнение установленного объема;
- соблюдение заданных сроков производства работ;
- непревышение предельно допустимой продолжительности работы машины на конкретном объекте;
- неотрицательность переменной, характеризующей продолжительность работы машины.

Таким образом, обобщая вышеизложенное, задача оптимизации формально задается множеством допустимых решений X и целевой функцией (критерием оптимальности) f , определенной на этом множестве [78, 109, 187, 202, 210, 308]. Множество X представляет собой множество возможных решений. Цель заключается в выборе среди элементов X решения, оптимального с точки зрения критерия f . Сравнение решений $x_1, x_2 \in X$ осуществляется с помощью этой функции. Если предпочтительность решения x_1 над x_2 определяется неравенством $f(x_1) < f(x_2)$, то задача является задачей минимизации функции f на множестве X . Если же предпочтительность соответствует неравенству $f(x_1) > f(x_2)$, то поиск оптимального решения представляет собой задачу максимизации функции f на множестве X .

Для решения задачи минимизации функции f на множестве X требуется найти такой вектор $x_o \in X$ и соответствующее ему значение функции $f(x_o)$, чтобы для всех $x \in X$ выполнялось неравенство $f(x_o) \leq f(x)$. Вектор x_o называют оптимальным решением, а значение $f(x_o)$ – оптимумом (или оптимальным значением).

Оптимальное решение x_o , которое минимизирует функцию f на множестве X , формально записывается в следующем виде:

$$f(x_o) = \min_{x \in X} f(x). \quad (1.1)$$

Постановка задачи оптимизации:

$$f(x) \rightarrow \min_{x \in X}. \quad (1.2)$$

Если решается задача максимизации, то ее запись будет следующей:

$$f(x_o) = \max_{x \in X} f(x); \quad (1.3)$$

$$f(x) \rightarrow \max_{x \in X}. \quad (1.4)$$

1.6 Постановка проблемы

В мелиоративной отрасли сложилась следующая проблемная ситуация: с одной стороны, необходима эффективная работа насосных станций, транспортирующей сети оросительных систем и дождевальных машин, с другой – имеющаяся система эксплуатационных мероприятий и существующая техническая база не может в полной мере обеспечить данный процесс. Выходом из создавшегося положения является совершенствование ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем и оптимизация их технических комплексов.

На этом основании в диссертационной работе была поставлена и решена научная проблема, которая заключается в необходимости разработки комплекса научно-обоснованных решений, обеспечивающих переход от фрагментарных, не отвечающих текущим требованиям, подходов к целостной ресурсосберегающей системе эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем, что позволит преодолеть дисбаланс между растущими требованиями к эффективности эксплуатационно-ремонтных мероприятий и ограниченными возможностями существующей технологической и технической базы.

1.7 Выводы по главе

1. Проведенный анализ подтвердил стратегическую важность мелиоративного комплекса для обеспечения продовольственной безопасности России в условиях нарастающей засушливости климата и наличия значительных площадей сельхозугодий в зонах рискованного земледелия, где 70 % пашни и 80 % сельхозугодий страдают от дефицита осадков, а в сухостепных регионах засухи случаются каждые 2–3 года. При этом установлено, что потенциал мелиорируемых земель, чья продуктивность превышает богарные угодья в 2–4 раза, используется не в полной мере из-за системного кризиса в отрасли, характеризующегося сокращением мелиоративного фонда, высоким уровнем износа систем (69,1 %), низкой эффективностью (КПД менее 0,6 на 50 % площадей) и значительными потерями воды (25–60 % от водозабора), что приводит к неиспользованию 0,79 млн га орошаемых земель и ежегодным экономическим потерям АПК свыше 90 млрд рублей.

2. Для обеспечения подачи оросительной воды сельскохозяйственным культурам необходима бесперебойная работа насосных станций, открытых и закрытых оросительных систем, а также дождевальная техника. Ключевыми элементами данной инфраструктуры выступают каналы и напорные трубопроводы, обеспечивающие водоподачу в засушливые районы. Их техническое состояние и соответствие проектным характеристикам напрямую определяют количество и качество поступающей воды, что критически важно для 4,67 млн га фонда орошаемых земель.

3. Оросительные системы имеют высокую степень износа (в среднем 69,1%) и требуют выполнения значительных объемов работ по их эксплуатации, ремонту и реконструкции, что подтверждается необходимостью комплексной реконструкции на площади 2,13 млн га. Это, в свою очередь, требует совершенствования и внедрения ресурсосберегающих технологий для выполнения данных видов работ.

4. Проведенный анализ показал, что применяемые в настоящее время технологии и технические средства для проведения эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных системах являются малоэффективными и ресурсозатратными. Они основаны на применении неспециализированной техники и ручном труде, что увеличивает трудозатраты на 30–40 % по сравнению с механизированными

ми аналогами. Особую проблему представляет отсутствие утилизации срезаемой кустарниковой растительности, которая либо сжигается с экологическим ущербом, либо складывается на берегах, усугубляя заиливание и снижая пропускную способность каналов на 15–25 %.

5. Эффективная работа насосных станций, оросительных систем и дождевальной техники возможна только на основе научно-обоснованной оптимизации технических комплексов. Оптимизировав систему эксплуатационных мероприятий производственной цепочки «насосные станции – парк машин для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем – дождевальные машины» можно решить проблему ресурсоэффективности мелиоративной отрасли, что является обязательным условием для достижения стратегической цели – увеличения площади орошаемых земель до 10 млн га к 2030 году.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕМОНТА И РЕКОНСТРУКЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

2.1 Совершенствование ресурсосберегающих технологий

2.1.1 Моделирование технологий

Все работы по эксплуатации, ремонту и реконструкции оросительных систем должны выполняться на основе заранее утвержденной технологической схемы. Разработка и последующее внедрение ресурсосберегающих технологий в этой области предполагает последовательное решение следующих задач:

- проведение всестороннего анализа существующих технологий и применяемого оборудования;
- определение наиболее рационального порядка выполнения технологических операций;
- подбор высокопроизводительной техники, отвечающей заданным технологическим требованиям;
- разработку и внедрение системы контроля качества на всех этапах работ;
- проведение опытно-производственной проверки технологий с последующей их корректировкой;
- оптимизацию состава и взаимодействия технических комплексов;
- проведение технико-экономического обоснования применяемых технологий и технических комплексов [273].

На рисунке 2.1 представлена общая схема моделирования технологий в мелиоративном производстве. Данный подход является универсальным и применим для проектирования и совершенствования большинства мелиоративных технологий. В ходе дальнейших исследований использовалась предложенная схема моделирования, а также данные из научных публикаций, посвященных российскому и зарубежному опыту в области мелиорации [80, 103, 105–107, 116, 117, 128, 133, 182, 189, 216, 254, 266, 286, 301, 323].

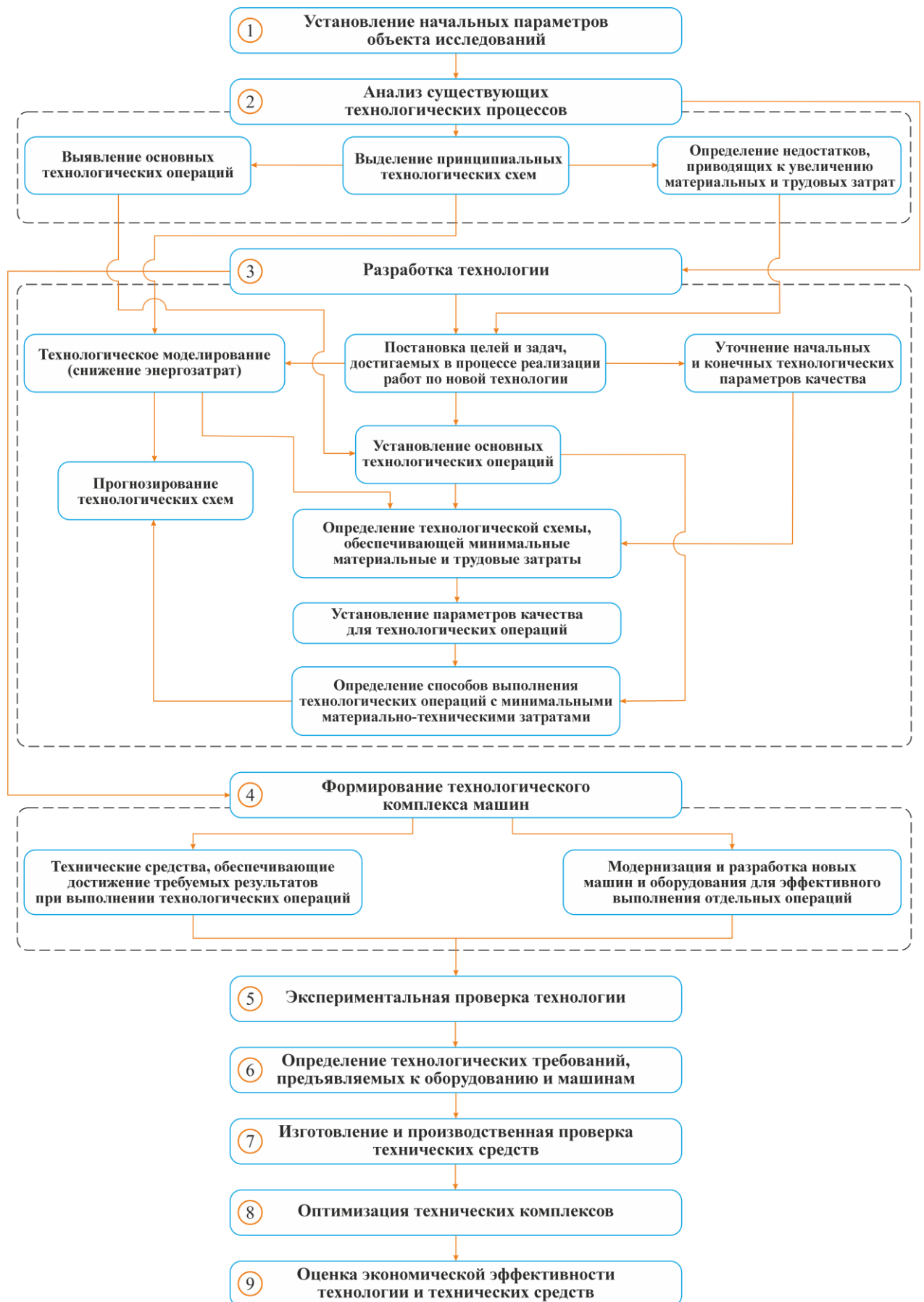


Рисунок 2.1 – Схема моделирования технологий мелиоративного производства

Основным побочным продуктом существующих технологий по эксплуатации, ремонту и реконструкции оросительных систем является срезанная кустарниковая растительность. Раньше ее сжигали прямо на каналах, что приводило к загрязнению окружающей среды и образованию несгоревших остатков. Однако при правильной переработке этот ресурс может стать источником дополнительного дохода.

2.1.2 Рациональное использование кустарника

Учитывая значительные объемы кустарника на заросших каналах, а также постоянный рост стоимости лиственной древесины в связи с дефицитом ресурсов в европейских регионах России [128], наиболее целесообразным направлением является разработка новых и модернизация действующих способов переработки кустарниковой растительности. Рациональная технология утилизации обязана гарантировать максимальную экономическую отдачу при снижении трудозатрат и одновременном уменьшении негативного воздействия на экологию.

Согласно литературным источникам [80, 103, 105, 106, 116, 128, 133, 254, 317, 323, 326] к известным методам переработки кустарника относятся: биологическая утилизация, заготовка деловой стволовой древесины и тонкомера, а также производство дров. Кроме того, мелкий кустарник может быть использован для изготовления фашин, метел и плетневых щитов, применяемых для снегозадержания, строительства загонов, навесов и простейших запруд [3, 36, 71, 259].

Отдельные части кустарниковой растительности пригодны для использования в животноводстве, например, побеги лиственных пород (диаметром до 6 мм) идут на заготовку веников и силоса [114].

Для удобства транспортировки сырья применяются: прессование и пакетирование [36, 103].

Анализ отечественных и зарубежных исследований, включая собственные изыскания [2, 3, 12, 28, 32, 36, 42, 51, 55, 71, 80, 103, 107, 114, 116, 117, 125, 128, 133–135, 151, 157, 176, 177, 182, 196, 201, 243, 249, 264, 301, 316, 317–320, 323–325, 327], показал, что основным способом переработки низкокачественной древесины является ее измельчение в щепу.

Из одного кубометра древесины кустарника выход технологической щепы составляет до 0,85 м³ [80, 176]. Учет этого объема ведется в насыпных метрах с последующим переводом в плотные кубометры по коэффициентам полндревесности 0,36 – для щепы на месте производства; 0,4 – при транспортировке на дистанцию до 50 км; 0,42 – при перевозке на расстояние более 50 км [103, 107].

Производство щепы из кустарника имеет значительные преимущества по сравнению с альтернативными способами утилизации. Во-первых, в качестве сырья подходит практически любой кустарник, за исключением некоторых твердолиственных пород. Данный метод обеспечивает полную переработку всего объема удаленной растительности, а также допускает комплексную механизацию технологического процесса.

Получаемая щепа широко используется в различных секторах экономики для выпуска многообразной продукции. Экономическая целесообразность метода заключается в том, что выручка от ее продажи способна частично компенсировать расходы на эксплуатацию и содержание оросительных систем. Экологическое преимущество состоит в предотвращении загрязнения среды продуктами горения и полном устранении проблемы захламления территории древесными отходами.

Дальнейшее использование щепы напрямую зависит от ее качественных показателей. Основными критериями качества являются фракционный состав, а также степень загрязнения корой, гнилью и минеральными примесями. Выбор оборудования для ее изготовления определяется специфическими требованиями к конечному продукту, которые, в свою очередь, диктуются сферой его применения. На практике выделяют несколько видов щепы по целевому назначению: технологическую, кровельную, кусковую (топливную), тонкомерную (кормовую) и энергетическую, что представлено на рисунке 2.2 [3, 12, 28, 36, 42, 55, 80, 103, 114, 116, 128, 133, 196, 197, 201, 211, 247, 317, 322, 323].



Рисунок 2.2 – Способы утилизации щепы, полученной при переработке кустарника

Получение энергетической щепы из кустарника является одним из наиболее важных направлений ее использования, поскольку данный продукт может применяться непосредственно в качестве топлива или служить сырьем для производства древесных брикетов [103, 114, 116, 133, 157, 165, 177, 211, 212, 247, 296, 302, 318-320, 322, 324, 325, 327]. С целью определения оптимальных методов и техники для механизации работ по удалению и переработке подобной растительности был проведен сравнительный анализ технологий, применяемых в культуртехнике, при освоении закустаренных земель, а также в лесном хозяйстве для расчистки вырубок под лесовосстановление [61, 80, 103, 105–107, 116, 117, 128, 133, 182, 189, 216, 254, 323].

Проведенный анализ позволил установить, что операции по срезке и последующему сбору кустарника следует организовать поточным методом с интервалом не более трех дней [194]. Продолжительное нахождение кустарниковой массы на месте недопустимо, так как появляющаяся молодая поросль, переплетаясь с ней, резко осложняет последующую уборку территории.

Наиболее рентабельным признан метод производства щепы путем переработки кустарника на месте его заготовки с помощью мобильных рубильных машин. Транспортировка необработанной древесной массы к стационарным установкам экономически невыгодна, а процессы ее предварительного пакетирования или прессования требуют значительных энергозатрат.

Экономическая эффективность такого производства достигается в первую очередь тогда, когда оно является сопутствующим процессом при выполнении основных работ по содержанию систем [245, 302].

Перед измельчением рекомендуется выдержка сырья для его подсушки. Длительность этой технологической паузы может составлять от одной недели до двух месяцев в зависимости от сезонных и погодных условий [105, 116, 323].

Перевозку готовой щепы к потребителю или на склад оптимально организовать параллельно с процессом измельчения, используя для этого специализированный транспорт – автощеповозы или самосвалы с наращенными бортами.

2.1.3 Ресурсосберегающая технология эксплуатации оросительных каналов

Результатом анализа традиционных технологий очистки оросительных каналов [11, 16, 20, 21, 29, 37, 38, 43, 56, 62, 67, 76, 77, 140, 166, 270, 281, 282, 284] и учета их выявленных недостатков стала разработка ресурсосберегающей технологии. Она предназначена для удаления кустарниковой растительности на бермах и откосах с одновременным угнетением оставшихся пней и реализуется в течение двух поливных сезонов (рисунки 2.3, 2.4).

Технологический процесс состоит из нескольких последовательных этапов.

На подготовительном этапе выполняется визуальный осмотр поверхностей берм и откосов с целью обнаружения и удаления посторонних предметов, которые могут вывести из строя рабочее оборудование машин.

Операции блока основных работ рекомендуется проводить в период с мая по июль, хотя возможен и апрельский вариант выполнения при отсутствии листвы и воды в каналах. Этот этап включает комплекс технологических операций, начиная со срезания растительности на бермах с использованием навесных кусторезов различных типов – маятниковых, телескопических или комбинированных, а также универсальных кусторезов на базе одноковшовых экскаваторов.

Следующей операцией является сбор срезанной массы в кучи с применением специализированных подборщиков-собирателей, адаптированных для работы с кустарниковым материалом. Аналогичные операции выполняются и для растительности на откосах, где особенно эффективны телескопические кусторезы с дисковыми пилами, обеспечивающие доступ к труднодоступным участкам. Срезанную растительность необходимо полностью удалить из русла и переместить в заранее сформированные кучи с использованием подборщиков на базе грейферных захватов.

Параллельно проводятся работы по угнетению пней: на бермах – с помощью навесных опрыскивателей для локального внесения арборицидов, на откосах – методом ручного инъектирования.

I. Поливной сезон

1. Блок подготовительных работ

- время проведения: апрель-май

1.1

Визуальный осмотр поверхностей берм и откосов канала, удаление из зоны выполнения работ посторонних предметов

2. Блок основных работ

- время проведения: май-июль
- метод проведения работ: поточный
- разрыв между операциями: 1-3 дня

2.1

Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на бермах канала

Навесные кусторезы с активными рабочими органами

2.2

Сбор срезанного на берме кустарника в кучи

Подборщики-собиратели срезанной кустарниковой растительности

2.3

Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на откосах канала

Кусторезы с телескопическими рабочими органами

2.4

Извлечение срезанной растительности из русла канала с последующим ее перемещением в сформированные кучи

Подборщики-собиратели срезанной кустарниковой растительности

- параллельное выполнение операций

2.5

Угнетение пней на бермах канала

Навесное оборудование опрыскивателя с локальным внесением арборицида

2.6

Угнетение пней на откосах канала

Инъекторы с локальным внесением арборицида

Рисунок 2.3 – Ресурсосберегающая технология эксплуатации оросительных каналов

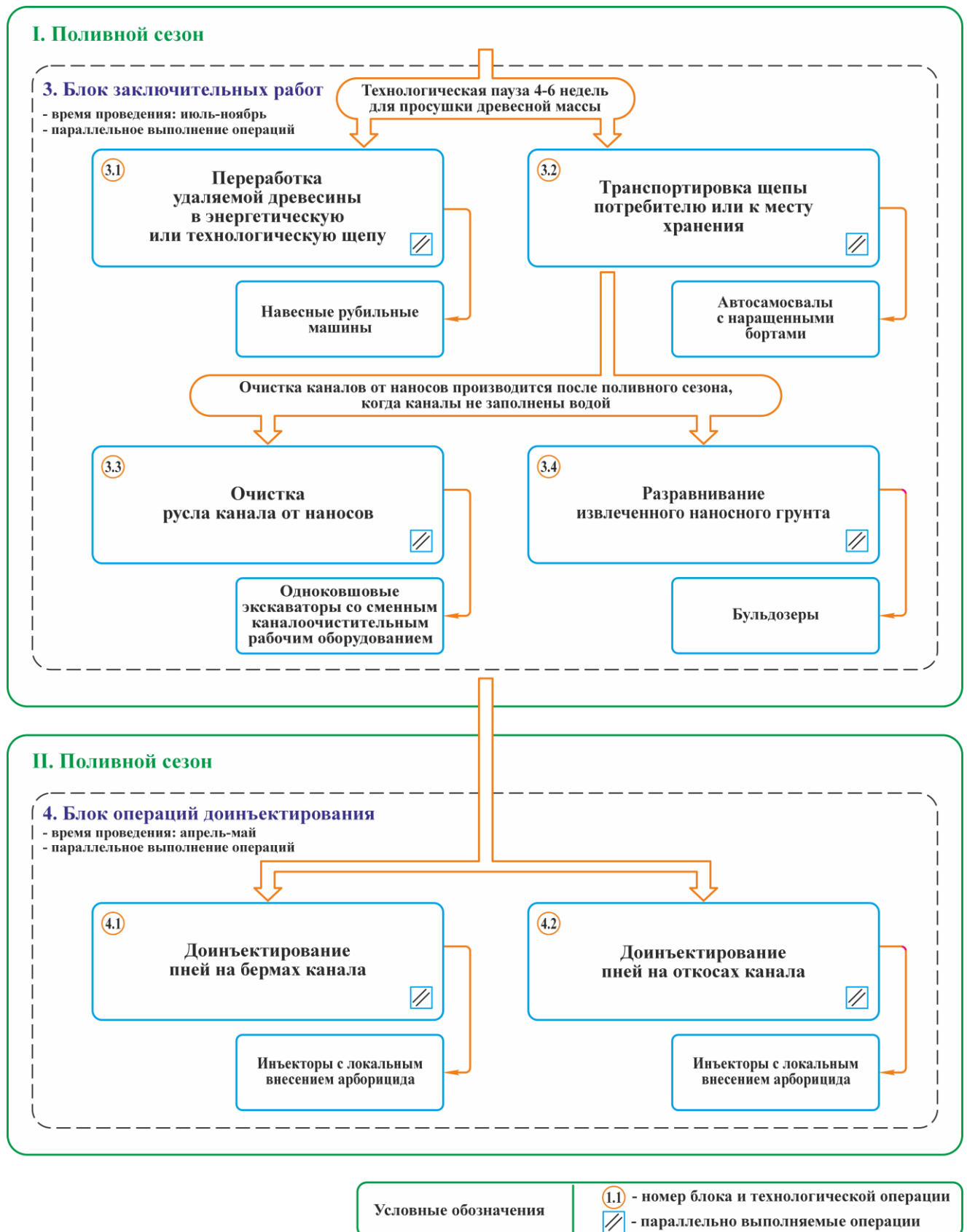


Рисунок 2.4 – Ресурсосберегающая технология эксплуатации оросительных каналов (окончание)

Между основными операциями предусмотрена технологическая пауза продолжительностью 1–3 суток, способствующая подсушиванию растительной массы.

Заключительный этап реализуется после технологической паузы продолжительностью 4–6 недель. Он включает переработку собранной древесины в энергетическую или технологическую щепу с применением навесных рубильных машин. Одновременно производится погрузка и транспортировка готовой продукции к пунктам назначения или на склады автосамосвалами специальной конструкции.

Очистку каналов от донных отложений следует планировать на межполивной период, когда русла освобождены от воды. В это время выполняются две основные операции: очистка русла от наносов одноковшовым экскаватором со специализированным каналочистительным оборудованием и последующее планирование извлеченного грунта бульдозером.

В начале следующего поливного сезона (апрель – май) требуется провести контроль эффективности угнетения растительности. Поскольку полностью исключить прорастание новой поросли из пней невозможно, выполняется дополнительный цикл работ – доинъектирование. Эта операция предполагает обработку оставшихся пней как на бермах, так и на откосах с помощью ручного оборудования, предназначенного для локального инъектирования.

Согласно исследованиям, представленным в источнике [6], структурную модель ресурсосберегающей технологии эксплуатации оросительных каналов можно представить следующим образом:

$$T_{\text{оч.кан.}} = (\{O_{1.1}\} \rightarrow \{O_{2.1} \rightarrow O_{2.2} \rightarrow O_{2.3} \rightarrow O_{2.4} \rightarrow (O_{2.5} \parallel O_{2.6})\} \rightarrow \rightarrow \{(O_{3.1} \parallel O_{3.2}) \rightarrow (O_{3.3} \parallel O_{3.4})\} \rightarrow \{(O_{4.1} \parallel O_{4.2})\})C_R, \quad (2.1)$$

где $T_{\text{оч.кан.}}$ – ресурсосберегающая технология эксплуатации оросительных каналов; $O_{1.1}, \dots, O_{4.2}$ – технологические операции; $\{ \}$ – границы блока работ; $\parallel$ – параллельное выполнение операций; C_R – контроль качества.

Вероятность безотказной работы технологического процесса может быть выражена математической зависимостью [6, 128]:

$$P_{\text{оч.кан.}} = P_{1.1} \cdot \prod_{x=1}^4 P_{2.x} \cdot [1 - (1 - P_{2.5})(1 - P_{2.6})] \cdot [1 - (1 - P_{3.1})(1 - P_{3.2})] \cdot [1 - (1 - P_{3.3})(1 - P_{3.4})] \cdot [1 - (1 - P_{4.1})(1 - P_{4.2})] \quad (2.2)$$

где $P_{\text{оч.кан.}}, P_{1.1}, \dots, P_{4.2}$ – вероятности безотказной работы технологии и ее операций.

2.1.4 Ресурсосберегающая технология ремонта и реконструкции оросительных каналов

Как отмечалось в ходе анализа, оросительные системы в России отличаются высоким уровнем физического износа основных фондов, что требует проведения масштабных работ по их восстановлению и модернизации. Для решения этой задачи была создана ресурсосберегающая технология ремонта и реконструкции оросительных каналов (рисунки 2.5, 2.6).

Работы по предложенной технологии начинаются с подготовительного этапа, стартовой операцией, которого является детальное техническое обследование канала. Для очистки русла и прилегающих берм от посторонних предметов и мусора используется специализированный погрузчик-собирающий. Данное техническое средство, оснащенное фронтальными граблями-собирающими и грейферным захватом, позволяет выполнить уборку территории быстро и качественно.

Следующим важным этапом является расчистка подходов к каналу путем удаления кустарниковой растительности. Для этих целей наиболее эффективны активные кусторезы телескопического типа, оснащенные дисковыми пильными рабочими органами. Их конструктивное преимущество заключается в возможности безопасной и точной срезки кустарника на различной высоте и в труднодоступных местах без необходимости заезда тяжелой техники на откосы канала.

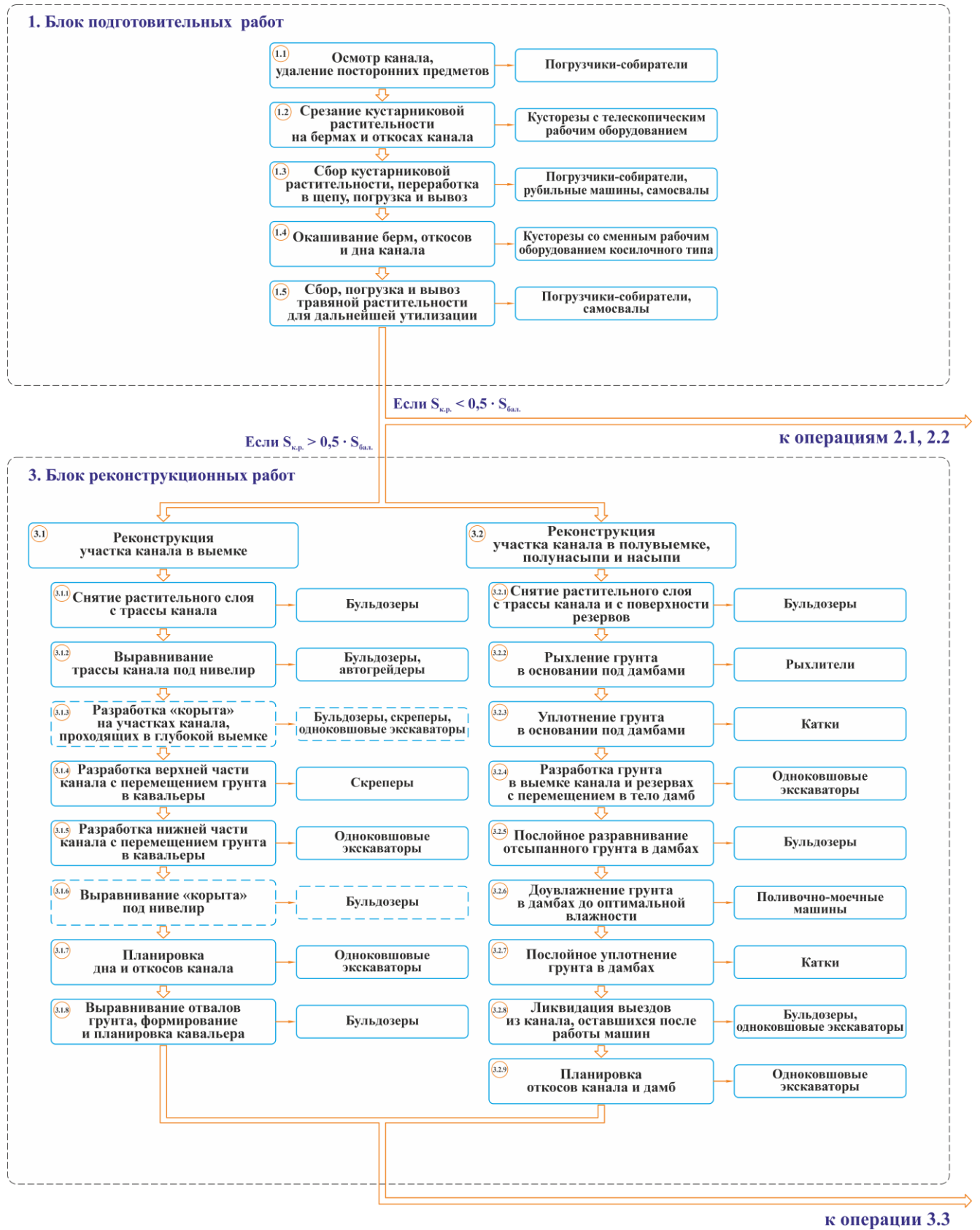


Рисунок 2.5 – Ресурсосберегающая технология ремонта и реконструкции оросительных каналов

от операции 1.5

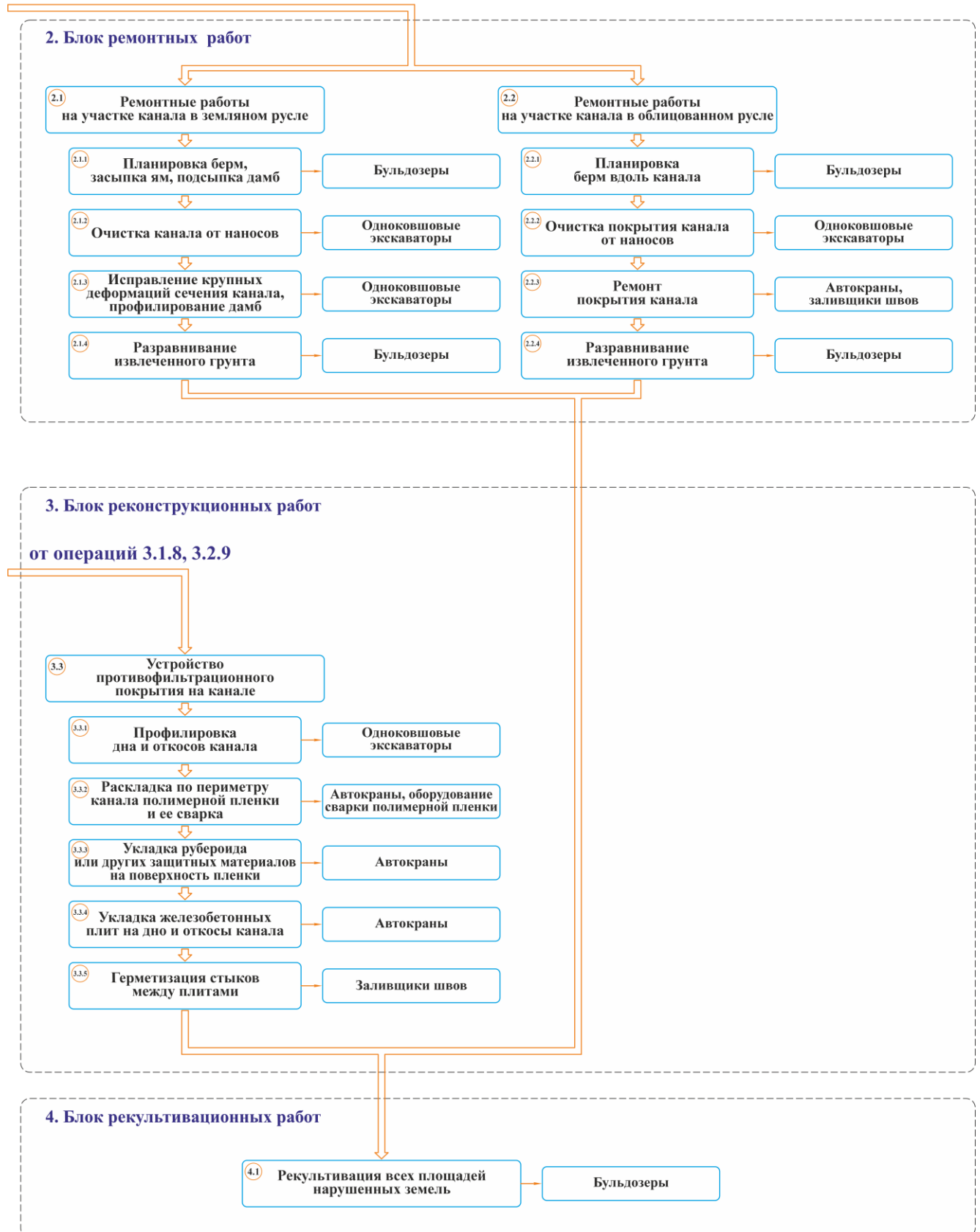


Рисунок 2.6 – Ресурсосберегающая технология ремонта и реконструкции оросительных каналов (окончание)

Удаленная растительность не подвергается традиционному сжиганию или фрезерованию, а собирается специализированным погрузчиком, после подсушивания перерабатывается в щепу навесной рубильной машиной и вывозится самосвалами. Такой подход принципиально отличается от общепринятой практики и позволяет рационально использовать древесную массу.

Завершающей операцией подготовительного этапа является скашивание травяного покрова с использованием косилочного оборудования, установленного на кусторезе. Скошенная растительная масса аналогичным образом собирается и транспортируется для последующей переработки, что обеспечивает комплексный подход к утилизации всех видов растительных отходов.

После завершения подготовительных мероприятий следует произвести оценку стоимости капитального ремонта:

$$S_{к.р.} \leq 0,5 \cdot S_{бал.}, \quad (2.3)$$

где $S_{к.р.}$, $S_{бал.}$ – соответственно стоимость капитального ремонта и балансовая стоимость канала, руб.

В случае выполнения условия (2.3) переходят к ремонтным работам, в противном случае – к реконструкции.

Ремонт каналов в земляном русле выполняется по строгой технологической схеме. Первой операцией является выравнивание берм, засыпка ям и укрепление дамб, осуществляемое бульдозером. Затем экскаватор, оснащенный телескопическим оборудованием, производит очистку русла от донных наносов и отложений. На следующем этапе тем же экскаватором ликвидируются крупные деформации русла и выполняется профилирование дамб. Финальной операцией служит выравнивание извлеченного грунта с использованием бульдозера.

Ремонт облицованных каналов также начинают с выравнивания берм бульдозером. Затем экскаватор с телескопической стрелой очищает облицовку от наносных отложений. Следующий этап включает ремонт покрытия с использованием автокрана и специализированной техники для заливки швов, после чего отвал наносного грунта вывозится за пределы канала.

Состав реконструкционных работ определяется типом участка канала (в выемке, полувыемке, полунасыпи или насыпи).

Для каналов в выемке последовательность включает: снятие растительного слоя, нивелировку трассы, при необходимости устройство «корыта», разработку верхнего и нижнего ярусов русла с отвалом грунта в кавальеры, планировку дна и откосов, а также выравнивание кавальеров.

Для участков в полувыемке, полунасыпи и насыпи технологический цикл состоит из: удаления растительного слоя, рыхления и уплотнения основания под дамбы, выемки грунта с его последующей отсыпкой в тело дамб, послойного выравнивания и увлажнения грунта, уплотнения, ликвидации технологических выездов из канала и финальной планировки откосов и дамб.

Учитывая высокие фильтрационные потери в земляных руслах и их негативное воздействие на уровень грунтовых вод, реконструкция должна включать в себя устройство комбинированных противофильтрационных облицовок. Этот комплекс работ подразумевает: профилирование русла, раскатку и сварку полимерной пленки по всему периметру, монтаж защитных слоев, укладку железобетонных плит на дно и откосы с последующей герметизацией швов.

Обязательным завершающим этапом комплексной реконструкции является полноценная рекультивация всех земель, нарушенных в ходе работ. Мероприятия по восстановлению должны быть тщательно спланированы с учетом будущего целевого использования каждого участка.

Для обводненных резервов предусматривается несколько вариантов биологической рекультивации: создание водоемов комплексного назначения, которые могут одновременно выполнять природоохранные функции (поддержание биоразнообразия, регулирование микроклимата), использоваться для орошения близлежащих сельхозугодий или организации товарного рыбоводства. Сухие участки целесообразно трансформировать в высокопродуктивные сенокосные угодья и культурные пастбища с подбором оптимальных травосмесей, либо закладывать на них защитные лесопосадки из быстрорастущих и устойчивых пород деревьев, что особенно актуально в засушливых регионах.

Особое внимание уделяется рекультивации поверхностей кавальеров и дамб, где создаются многоярусные лесозащитные полосы с комбинацией древесных и кустарниковых пород, а также формируются устойчивые задернованные участки с использованием местных видов трав, что способствует укреплению склонов и предотвращению эрозионных процессов. При этом все рекультивационные мероприятия должны выполняться с учетом ландшафтно-экологических принципов и обеспечивать восстановление нарушенных экосистем до состояния, максимально приближенного к естественному.

Структурные модели ресурсосберегающей технологии ремонта и реконструкции оросительных каналов, в зависимости от возможных вариантов, можно записать в виде формул:

$$T_{\text{рем.кан.зем.рус.}} = (\{O_{1.1} \rightarrow O_{1.2} \rightarrow O_{1.3} \rightarrow O_{1.4} \rightarrow O_{1.5}\} \rightarrow \rightarrow \{O_{2.1.1} \rightarrow O_{2.1.2} \rightarrow O_{2.1.3} \rightarrow O_{2.1.4}\} \rightarrow \{O_{4.1}\})C_R, \quad (2.4)$$

$$T_{\text{рем.кан.обл.рус.}} = (\{O_{1.1} \rightarrow O_{1.2} \rightarrow O_{1.3} \rightarrow O_{1.4} \rightarrow O_{1.5}\} \rightarrow \rightarrow \{O_{2.2.1} \rightarrow O_{2.2.2} \rightarrow O_{2.2.3} \rightarrow O_{2.2.4}\} \rightarrow \{O_{4.1}\})C_R, \quad (2.5)$$

$$T_{\text{рек.кан.выем.}} = (\{O_{1.1} \rightarrow O_{1.2} \rightarrow O_{1.3} \rightarrow O_{1.4} \rightarrow O_{1.5}\} \rightarrow \rightarrow \{O_{3.1.1} \rightarrow O_{3.1.2} \rightarrow O_{3.1.3} \rightarrow O_{3.1.4} \rightarrow O_{3.1.5} \rightarrow O_{3.1.6} \rightarrow O_{3.1.7} \rightarrow O_{3.1.8}\} \rightarrow \rightarrow \{O_{3.3.1} \rightarrow O_{3.3.2} \rightarrow O_{3.3.3} \rightarrow O_{3.3.4} \rightarrow O_{3.3.5}\} \rightarrow \{O_{4.1}\})C_R, \quad (2.6)$$

$$T_{\text{рек.кан.пв.пн.нас.}} = (\{O_{1.1} \rightarrow O_{1.2} \rightarrow O_{1.3} \rightarrow O_{1.4} \rightarrow O_{1.5}\} \rightarrow \rightarrow \{O_{3.2.1} \rightarrow O_{3.2.2} \rightarrow O_{3.2.3} \rightarrow O_{3.2.4} \rightarrow O_{3.2.5} \rightarrow O_{3.2.6} \rightarrow O_{3.2.7} \rightarrow O_{3.2.8} \rightarrow O_{3.2.9}\} \rightarrow \rightarrow \{O_{3.3.1} \rightarrow O_{3.3.2} \rightarrow O_{3.3.3} \rightarrow O_{3.3.4} \rightarrow O_{3.3.5}\} \rightarrow \{O_{4.1}\})C_R, \quad (2.7)$$

где $T_{\text{рем.кан.зем.рус.}}$ – ресурсосберегающая технология ремонта оросительного канала в земляном русле; $T_{\text{рем.кан.обл.рус.}}$ – ресурсосберегающая технология ремонта оросительного канала в облицованном русле; $T_{\text{рек.кан.выем.}}$ – ресурсосберегающая технология реконструкции оросительного канала в выемке; $T_{\text{рек.кан.пв.пн.нас.}}$ – ресурсосберегающая технология реконструкции оросительного канала в полувыемке, полунасыпи и насыпи; $O_{1.1}, \dots, O_{4.1}$ – технологические операции; $\{ \}$ – границы блока работ; C_R – контроль качества.

Вероятности безотказной работы каждого технологического процесса записываются в следующем виде:

$$P_{\text{рем.кан.зем.рус.}} = \prod_{x=1}^5 P_{1.x} \cdot \prod_{x=1}^4 P_{2.1.x} \cdot P_{4.1}, \quad (2.8)$$

$$P_{\text{рем.кан.обл.рус.}} = \prod_{x=1}^5 P_{1.x} \cdot \prod_{x=1}^4 P_{2.2.x} \cdot P_{4.1}, \quad (2.9)$$

$$P_{\text{рек.кан.выем.}} = \prod_{x=1}^5 P_{1.x} \cdot \prod_{x=1}^8 P_{3.1.x} \cdot \prod_{x=1}^5 P_{3.3.x} \cdot P_{4.1}, \quad (2.10)$$

$$P_{\text{рек.кан.пв.пн.нас.}} = \prod_{x=1}^5 P_{1.x} \cdot \prod_{x=1}^9 P_{3.2.x} \cdot \prod_{x=1}^5 P_{3.3.x} \cdot P_{4.1}. \quad (2.11)$$

где $P_{\text{рем.кан.зем.рус.}}$, $P_{\text{рем.кан.обл.рус.}}$, $P_{\text{рек.кан.выем.}}$, $P_{\text{рек.кан.пв.пн.нас.}}$, $P_{1.x}$, ..., $P_{4.1}$ – вероятности безотказной работы соответствующих ресурсосберегающих технологий и составляющих их операций.

2.1.5 Ресурсосберегающие технологии ремонта и реконструкции напорных трубопроводов

Первым блоком ресурсосберегающей технологии ремонта напорных трубопроводов (рисунок 2.7) являются подготовительные мероприятия. Они включают визуальное обследование трассы, локализацию дефектов на трубопроводе и расчистку территории от посторонних предметов. В случае расположения аварийного участка на закустаренной местности дополнительно выполняются следующие операции: срезка растительности, ее сбор, переработка в энергетическую или технологическую щепу и последующая транспортировка продукта потребителю или к месту хранения. Далее производят отключение поврежденного участка трубопровода от сети, исследуют дефект, условия подъезда машин и возможности доставки оборудования и материалов к месту проведения работ. Следующей операцией, посредством бульдозеров, производят снятие растительного слоя грунта и его складирование для дальнейшей рекультивации земель. И в завершение подготовительного блока работ осуществляют завоз оборудования и материалов, необходимых для производства ремонтных работ.

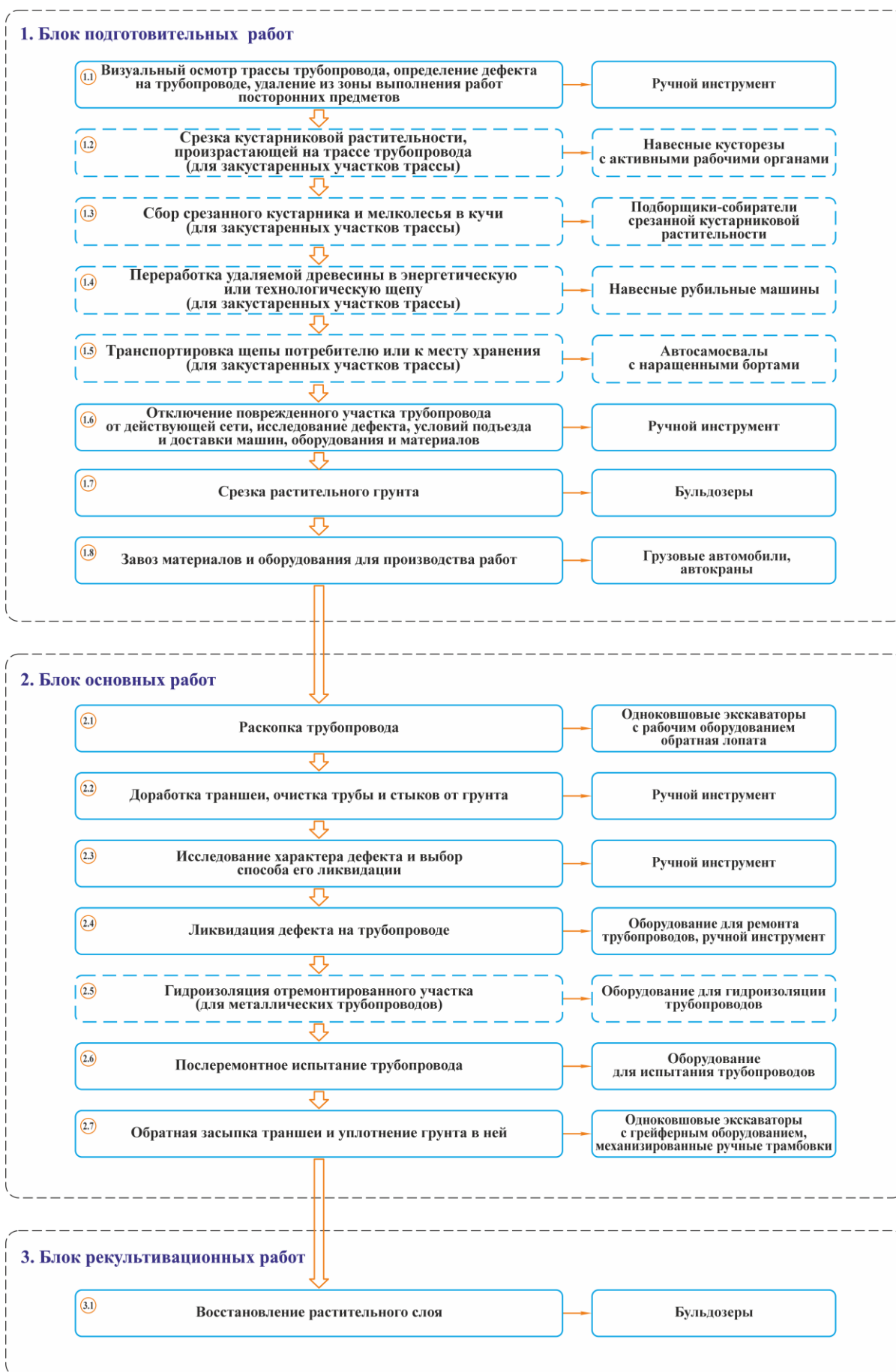


Рисунок 2.7 – Ресурсосберегающая технология ремонта напорных трубопроводов

Блок основных работ начинается с раскопки трубопровода одноковшовыми экскаваторами с рабочим оборудованием обратная лопата. Далее, ручным инструментом, производится доработка траншеи, очистка трубы и стыков от грунта и исследование характера дефекта с определением способа его ликвидации. Затем ликвидируется сам дефект на трубопроводе с применением оборудования для ремонта трубопроводов и ручного инструмента.

Если ремонтируется участок с металлическим трубопроводом, то следующей операцией производится гидроизоляция отремонтированного участка при помощи специализированного оборудования для проведения гидроизоляционных работ. Далее осуществляется послеремонтное испытание трубопровода с применением испытательного оборудования. После успешных испытаний производится засыпка траншеи грунтом одноковшовыми экскаваторами с грейферным рабочим оборудованием с последующим его уплотнением механизированными ручными трамбовками.

Завершается технологический процесс ремонта напорных трубопроводов блоком рекультивационных работ, который заключается в восстановлении растительного слоя грунта, который был нарушен во время производства ремонтных работ. Работы по рекультивации производятся с использованием ранее снятого в блоке подготовительных работ и складированного растительного грунта при помощи бульдозеров.

Реконструкция напорных трубопроводов по ресурсосберегающей технологии (рисунок 2.8), аналогично ремонту, стартует с подготовительного этапа. Первой операцией является геодезическая разбивка трассы с использованием специального оборудования. После этого выполняют визуальный осмотр поверхности вдоль трассы и производят ручную очистку рабочей зоны от всех посторонних предметов. Тщательная подготовка рабочей полосы позволяет исключить риски повреждения техники и обеспечивает безопасные условия производства работ.

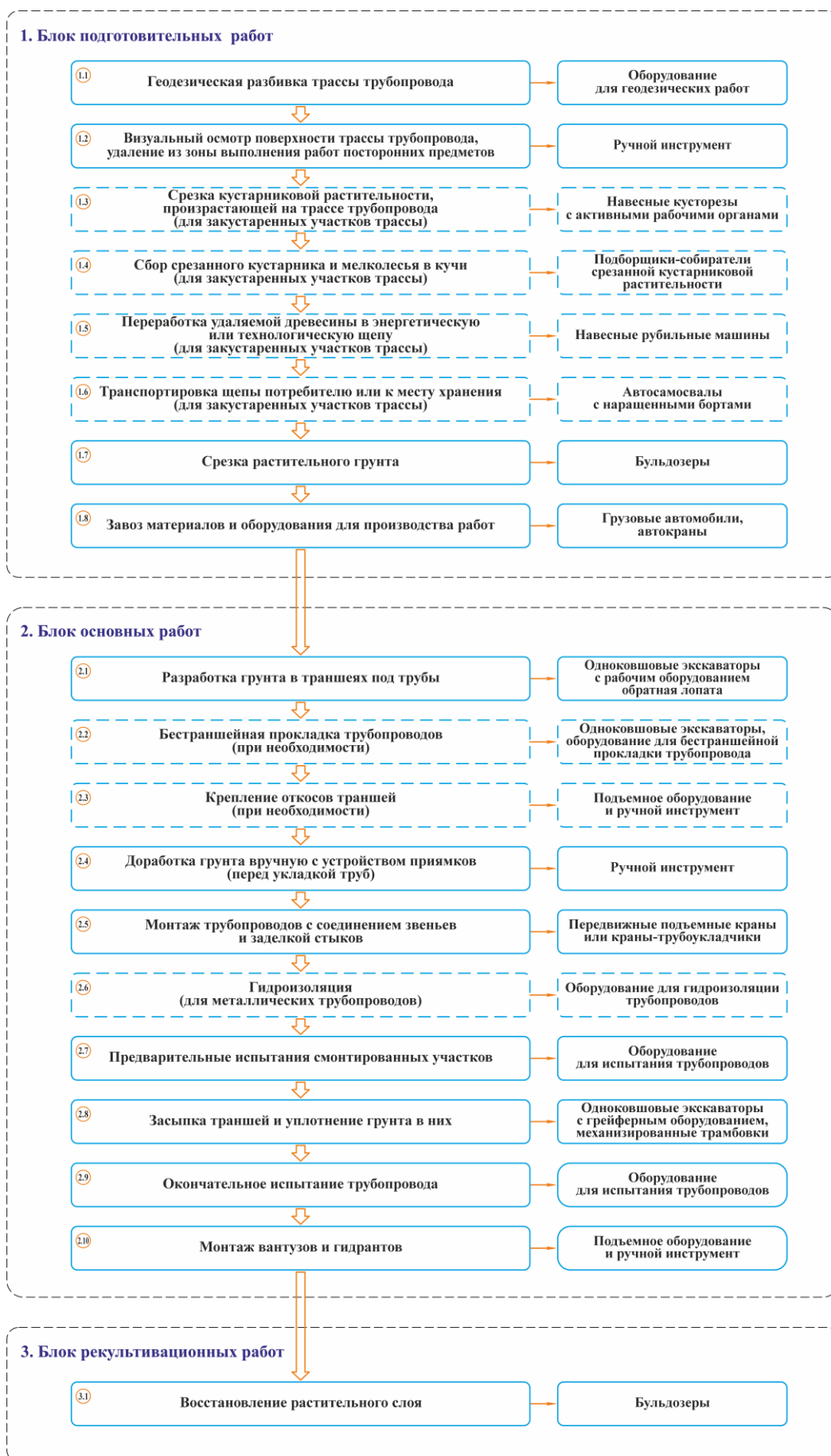


Рисунок 2.8 – Ресурсосберегающая технология реконструкции напорных трубопроводов

При прохождении трассы трубопровода по закустаренной территории требуется произвести срезку растительности с использованием навесных кусторезов, оснащенных активными дисковыми рабочими органами. Затем необходимо собрать порубочные остатки подборщиками-собираателями в кучи и измельчить их навесными рубильными машинами в энергетическую или технологическую щепу. Финальной операцией является транспортировка полученной щепы автосамосвалами к потребителю или к месту хранения.

Следующей операцией, производят снятие растительного слоя грунта бульдозерами и его складирование для дальнейшей рекультивации земель. И в завершение подготовительного блока работ, при помощи грузовых автомобилей и автокранов, осуществляют завоз оборудования и материалов необходимых для производства работ по реконструкции напорных трубопроводов.

Блок основных работ начинается с операции разработки грунта в траншеях под трубы посредством одноковшовых экскаваторов с рабочим оборудованием обратная лопата.

Если на отдельных участках трассы, необходима бестраншейная прокладка трубопроводов, то ее осуществляют при помощи одноковшовых экскаваторов и специализированного оборудования для бестраншейной прокладки.

При необходимости, с применением различного подъемного оборудования и ручного инструмента осуществляют крепление откосов траншей.

Далее при помощи ручного инструмента перед укладкой труб производят доработку грунта в траншее и устройство прямков.

Затем передвижными подъемными кранами или кранами-трубоукладчиками выполняют монтаж трубопроводов с соединением звеньев и заделкой стыков.

В случае прокладки металлических трубопроводов, после их монтажа, производят операцию гидроизоляции с применением специализированного оборудования для гидроизоляции.

Далее, с применением испытательного оборудования, производят предварительные испытания смонтированных участков трубопровода. Если испытания проходят успешно, следующей операцией выполняют засыпку траншей и уплотнение в них грунта. Для этого применяют одноковшовые экскаваторы с грейферным рабочим оборудованием и механизированные ручные трамбовки. После чего, посредством испытательного оборудования, выполняют окончательное испыта-

ние трубопровода, и затем, при помощи подъемного оборудования и ручного инструмента, осуществляют монтаж вантузов и гидрантов.

Завершается технологический процесс реконструкции напорных трубопроводов рекультивацией бульдозерами растительного слоя грунта, нарушенного в процессе производства работ.

Структурная модель ресурсосберегающей технологии ремонта напорных трубопроводов, запишется в следующем виде:

$$T_{\text{рем.нап.тр.}} = (\{O_{1.1} \rightarrow O_{1.2} \rightarrow O_{1.3} \rightarrow O_{1.4} \rightarrow O_{1.5} \rightarrow O_{1.6} \rightarrow O_{1.7} \rightarrow O_{1.8}\} \rightarrow \rightarrow \{O_{2.1} \rightarrow O_{2.2} \rightarrow O_{2.3} \rightarrow O_{2.4} \rightarrow O_{2.5} \rightarrow O_{2.6} \rightarrow O_{2.7}\} \rightarrow \{O_{3.1}\})C_R, \quad (2.12)$$

где $T_{\text{рем.нап.тр.}}$ – ресурсосберегающая технология ремонта напорных трубопроводов; $O_{1.1}, \dots, O_{3.1}$ – технологические операции; $\{ \}$ – границы блока работ; C_R – контроль качества.

Вероятность безотказной работы технологического процесса:

$$P_{\text{рем.нап.тр.}} = \prod_{x=1}^8 P_{1.x} \cdot \prod_{x=1}^7 P_{2.x} \cdot P_{3.1}, \quad (2.13)$$

где $P_{\text{рем.нап.тр.}}, P_{1.x}, \dots, P_{3.1}$ – вероятности безотказной работы технологии ремонта напорных трубопроводов и составляющих ее операций.

Структурная модель ресурсосберегающей технологии реконструкции напорных трубопроводов, будет представлена формулой:

$$T_{\text{рек.нап.тр.}} = (\{O_{1.1} \rightarrow O_{1.2} \rightarrow O_{1.3} \rightarrow O_{1.4} \rightarrow O_{1.5} \rightarrow O_{1.6} \rightarrow O_{1.7} \rightarrow O_{1.8}\} \rightarrow \rightarrow \{O_{2.1} \rightarrow O_{2.2} \rightarrow O_{2.3} \rightarrow O_{2.4} \rightarrow O_{2.5} \rightarrow O_{2.6} \rightarrow O_{2.7} \rightarrow O_{2.8} \rightarrow O_{2.9} \rightarrow O_{2.10}\} \rightarrow \rightarrow \{O_{3.1}\})C_R, \quad (2.14)$$

где $T_{\text{рек.нап.тр.}}$ – ресурсосберегающая технология реконструкции напорных трубопроводов; $O_{1.1}, \dots, O_{3.1}$ – технологические операции; $\{ \}$ – границы блока работ; C_R – контроль качества.

Вероятность безотказной работы технологического процесса:

$$P_{\text{рек.нап.тр.}} = \prod_{x=1}^8 P_{1.x} \cdot \prod_{x=1}^{10} P_{2.10} \cdot P_{3.1}, \quad (2.15)$$

где $P_{\text{рек.нап.тр.}}, P_{1.1}, \dots, P_{3.1}$ – вероятности безотказной работы технологии реконструкции напорных трубопроводов и составляющих ее операций.

2.1.6 Технические средства ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем

С целью механизации технологических процессов при эксплуатации, ремонте и реконструкции оросительных систем учеными Вавиловского университета (г. Саратов) предложен эффективный комплекс технических средств (рисунок 2.9), который мы рекомендуем применять для ресурсосберегающих технологий [4, 8, 10, 13, 14, 18, 24, 34, 39, 41, 44, 47, 52, 63-65, 84, 85, 214, 215, 217–232, 237–240, 260, 271–273, 276, 285].

На рисунке приняты следующие обозначения: а) – кусторез маятниково-телескопического типа МК-2, патент РФ на изобретение 2251836; б) – кусторез навесной КН-1, патент РФ на изобретение 2161399; в) – кусторез навесной КН-2, патент РФ на изобретение 2258354; г) – кусторезы навесные КН-3 и КН-3М, патенты РФ на изобретения 2309579, 2316206, патент РФ на полезную модель 84666; д) – подборщик-собиратель ПС-2, патенты РФ на изобретения 2258355, 2308186, 2308411, 2308185, 2321249, 2324330, 2335888, патенты РФ на полезные модели 45724, 52664, 52838; е) – каналоочистительное рабочее оборудование одноковшового экскаватора патент РФ на изобретение 2344240, патент РФ на полезную модель 20917; ж) – устройство для локального внесения арборицидной смеси на пни ЛВА-1.

2.1.7 Технология эксплуатации дождевальных машин кругового действия

Завершающим элементом производственной цепочки «насосные станции – парк машин для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем – дождевальные машины», является поливная техника, которая, для эффективного функционирования, требует проведения качественных работ по ее монтажу, эксплуатации и ремонту.

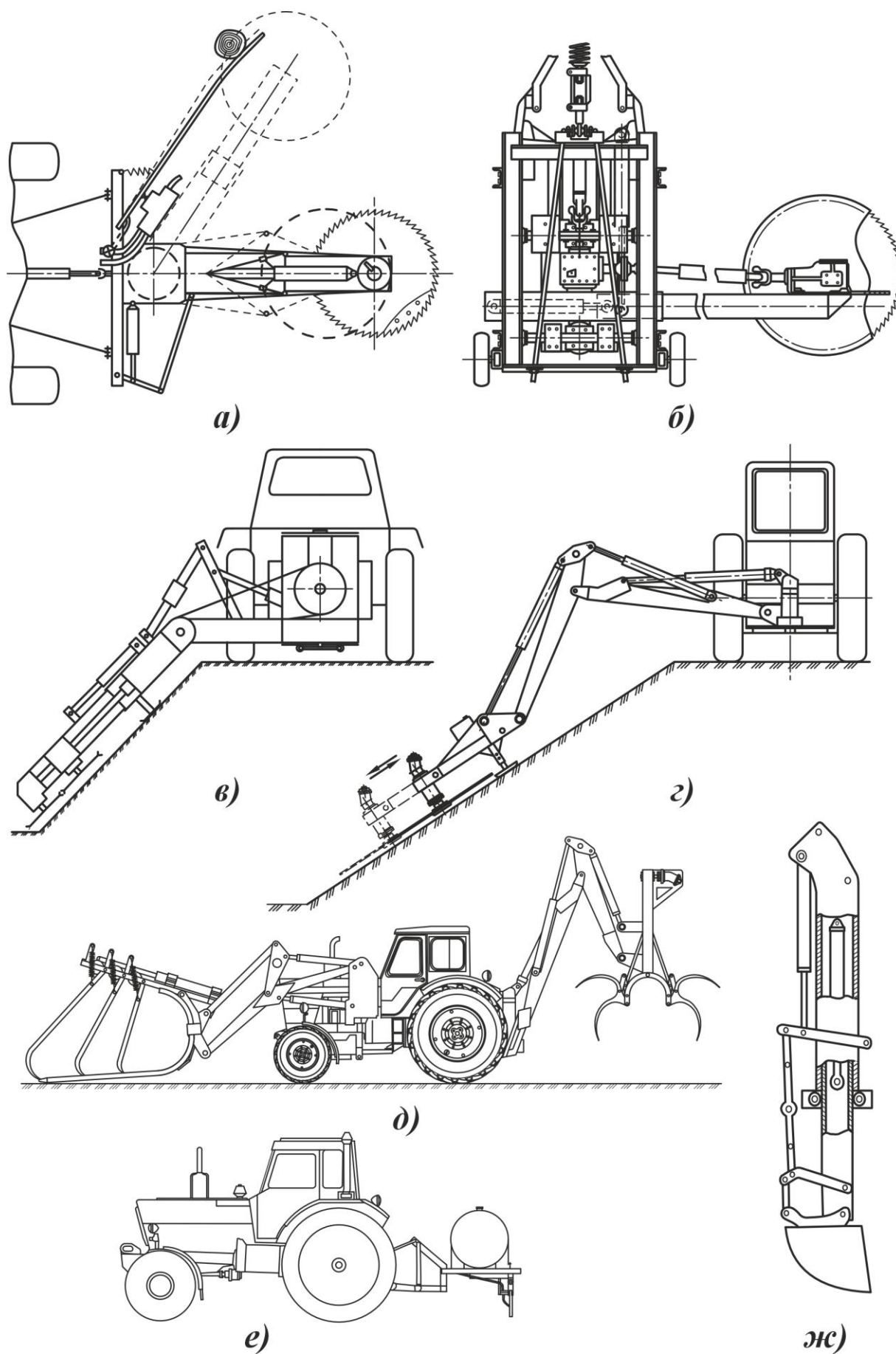


Рисунок 2.9 – Технические средства ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем

Рассмотрим технологию подготовки к эксплуатации современной российской дождевальная машины ДМ «Каскад» [297]. Необходимо отметить, что данная технология будет справедлива и для других дождевальных машин аналогичной конструкции. Технология основана на применении блочно-модульного принципа монтажа и заключается в следующем: сборка основных модулей дождевальной машины осуществляется на специализированной площадке, последующий монтаж дождевальной машины производится после доставки модулей непосредственно на месте ее постоянной эксплуатации.

Технологический процесс подготовки к эксплуатации дождевальной машины кругового действия состоит из следующих операций (рисунок 2.10).

Структурная модель технологии подготовки к эксплуатации, запишется в виде формулы:

$$T_{сб.д.м.} = (O_1 \rightarrow O_2 \rightarrow O_3 \rightarrow O_4 \rightarrow O_5 \rightarrow O_6 \rightarrow O_7 \rightarrow O_8 \rightarrow O_9)C_R, \quad (2.16)$$

где $T_{сб.д.м.}$ – технология подготовки к эксплуатации дождевальной машины кругового действия; $O_1, O_2, \dots, O_9$ – технологические операции; C_R – контроль качества.

Вероятность безотказной работы технологического процесса:

$$P_{сб.д.м.} = \prod_{x=1}^9 P_x, \quad (2.17)$$

где $P_{сб.д.м.}, P_x$ – вероятности безотказной работы технологии подготовки к эксплуатации дождевальной машины кругового действия и составляющих ее операций.

Операции 1–5 необходимо осуществлять на специализированной сборочной площадке, на которой фактически производится основной объем сборочных работ. Место расположения площадки выбирается исходя из минимальных технико-экономических затрат на дальнейшую транспортировку блоков дождевальных машин к месту окончательной сборки.

Элементами специализированной сборочной площадки являются:

- зона разгрузки комплектующих;
- зона раскладки комплектующих;
- площадка для установки автомобильного крана;
- пункт сборки центральной опоры дождевальной машины;
- площадки сборки пролетов.



Рисунок 2.10 – Технология подготовки к эксплуатации дождевальной машины кругового действия ДМ «Каскад»

На специализированной сборочной площадке можно производить одновременную сборку двух и более пролетов. Количество одновременно собираемых пролетов, зависит прежде всего от количества монтажных бригад и их квалификации.

На рисунке 2.11 представлена схема специализированной монтажной площадки сборки основных модулей одновременно двух пролетов дождевальных машин.

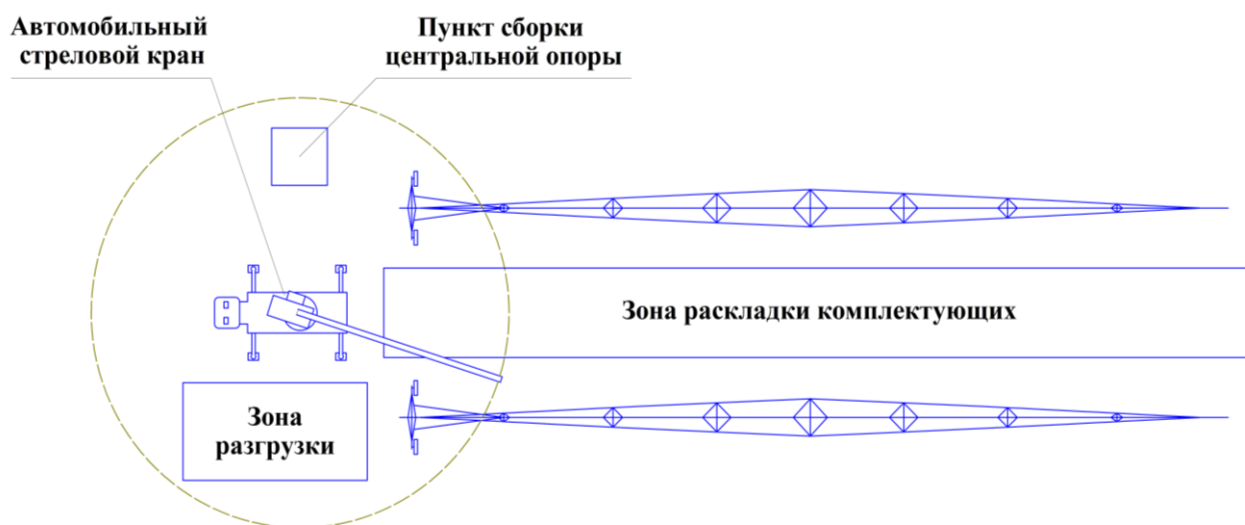


Рисунок 2.11 – Схема специализированной монтажной площадки для сборки двух пролетов

Одной из возможных конфигураций является «лучевая» схема расположения монтажных площадок для сборки пролетов (рисунок 2.12). Она предусматривает перемещение узла сборки центральной опоры в рабочую зону крана перед кабиной, что расширяет пространство для монтажа и позволяет одновременно собирать большее число пролетов.

Важной задачей, с целью сокращения затрат и оптимизации технологического процесса сборки дождевальных машин кругового действия, является правильный выбор варианта расположения специализированной монтажной площадки. Эта задача является классической логистической проблемой размещения склада, решение которой заключается в поиске такого местоположения площадки относительно зон эксплуатации машин, при котором суммарные логистические затраты становятся минимальными.

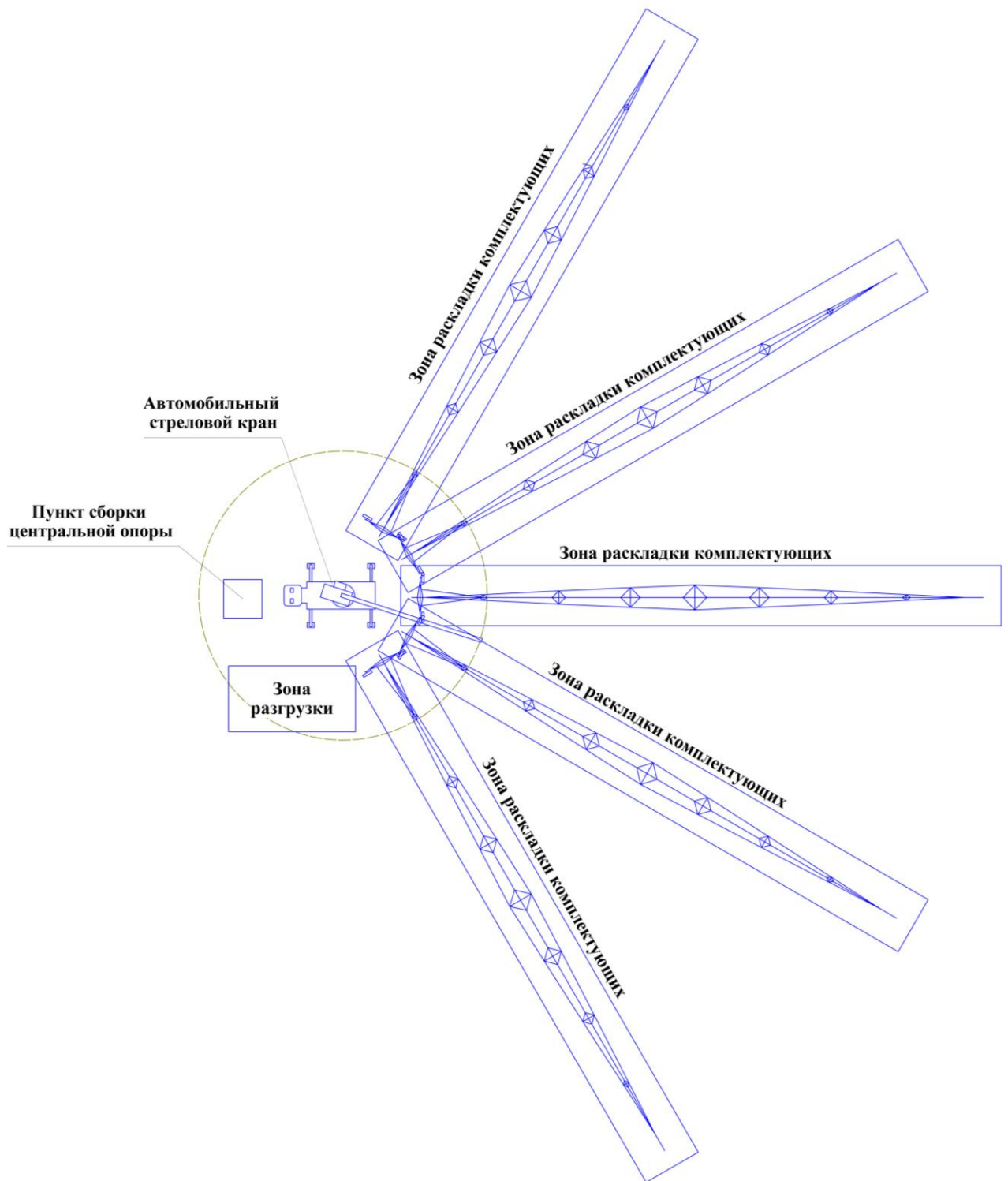


Рисунок 2.12 – Схема специализированной монтажной площадки для сборки нескольких пролетов («лучевая» схема)

Решение задачи «определения местоположения склада» может быть выполнено с помощью следующих подходов [257]:

1. Метод полного перебора. Оптимальное размещение распределительных центров определяется путем перебора и анализа всех потенциальных вариантов с

использованием методов математического программирования. Подход отличается высокой трудоемкостью, при этом число переменных возрастает экспоненциально с расширением масштабов сети.

2. Эвристический метод. Основан на предварительном исключении заведомо неподходящих вариантов. Эксперт, обладающий опытом, анализирует задачу и отсеивает неприемлемые решения. По оставшимся, вызывающим сомнения вариантам, проводятся полномасштабные расчеты. Методы, дающие субоптимальные или приближенные к оптимальным результаты, менее ресурсозатратны и опираются на практический опыт и интуицию специалиста.

3. Метод центра тяжести логистической системы. Предполагает определение точки тяготения склада к ключевым потребителям – распределительный центр размещается ближе к наиболее крупным заказчикам. Для реализации метода необходимо нанести координатную сетку на карту обслуживаемой территории и определить координаты расположения всех потребителей материального потока.

Для определения координат оптимального размещения специализированных монтажных площадок используется метод центра тяжести системы распределения. Оценка варианта расположения будущей площадки по критерию минимизации энергозатрат рассчитывается как суммарные затраты энергии $\mathcal{E}_{\text{д.нр.}j}$ (кВт) на транспортировку пролетов и выражается формулой:

$$\mathcal{E}_{\text{д.нр.}j} = \sum_{i=1}^n L_{ij} \cdot \mathcal{E}_{\text{уд.}i}, \quad (2.18)$$

где L_{ij} – расстояние между монтажной площадкой и дождевальная машиной, м; $\mathcal{E}_{\text{уд.}i}$ – удельные энергозатраты на доставку пролета дождевальной машины от монтажной площадки к месту постоянной эксплуатации, кВт/м.

Габаритная длина дождевальной машины напрямую зависит от количества пролетов, что, в свою очередь, влияет на объем транспортных затрат по доставке всех элементов к месту финального монтажа и дальнейшей эксплуатации. Коор-

динаты самой машины задаются положением центральной опоры на участке постоянной работы. Учитывая значительную протяженность конструкций, финальную сборку целесообразно выполнять по направлению к специализированной монтажной площадке. Данный подход позволяет сократить расстояние транспортировки для каждого последующего пролета.

Критерий выбора определяется следующим условием:

$$\mathcal{E}_{o.np.j} \rightarrow \min, j = 1, 2, \dots, n, \quad (2.19)$$

Расстояние между объектами L_{ij} (м), представляющее собой расстояние между точками на плоскости, рассчитывается по формуле Евклида [98]:

$$L_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}. \quad (2.20)$$

где $(X_i; Y_i)$ $(X_j; Y_j)$ – координаты точек.

При сравнении вариантов размещения площадок оптимальным признается тот, который обеспечивает минимальные суммарные энергозатраты.

Местоположение монтажной площадки, обеспечивающее минимизацию транспортных расходов на доставку пролетов, определяется по формулам условного центра масс:

$$X_{nl} = \frac{\sum_{i=1}^n \ell_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n \ell_i}, \quad (2.21)$$

$$Y_{nl} = \frac{\sum_{i=1}^n \ell_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n \ell_i}, \quad (2.22)$$

где: X_{nl} и Y_{nl} – искомые координаты монтажной площадки, м; X_i и Y_i – координаты места постоянной эксплуатации дождевальной машины, м; ℓ_i – длина дождевальной машины, м; n – общее количество дождевальных машин, шт.

После завершения сборки дождевальной машины и выполнения пуска-наладочных работ начинается этап ее непосредственной эксплуатации. Бесперебойное и надежное функционирование дождевальной машины обеспечивается своевременным проведением технического обслуживания и ремонтных мероприятий [123].

При выполнении технических обслуживаний машины следует учитывать, что многопроходные поливы увеличивают наработку элементов привода кратно числу проходов (оборотов) машины. В машинах кругового действия происходит неравномерное распределение наработки у привода тележек вследствие того, что тележки проходят разное расстояние, совершая полный оборот вокруг неподвижной опоры (рисунок 2.13).

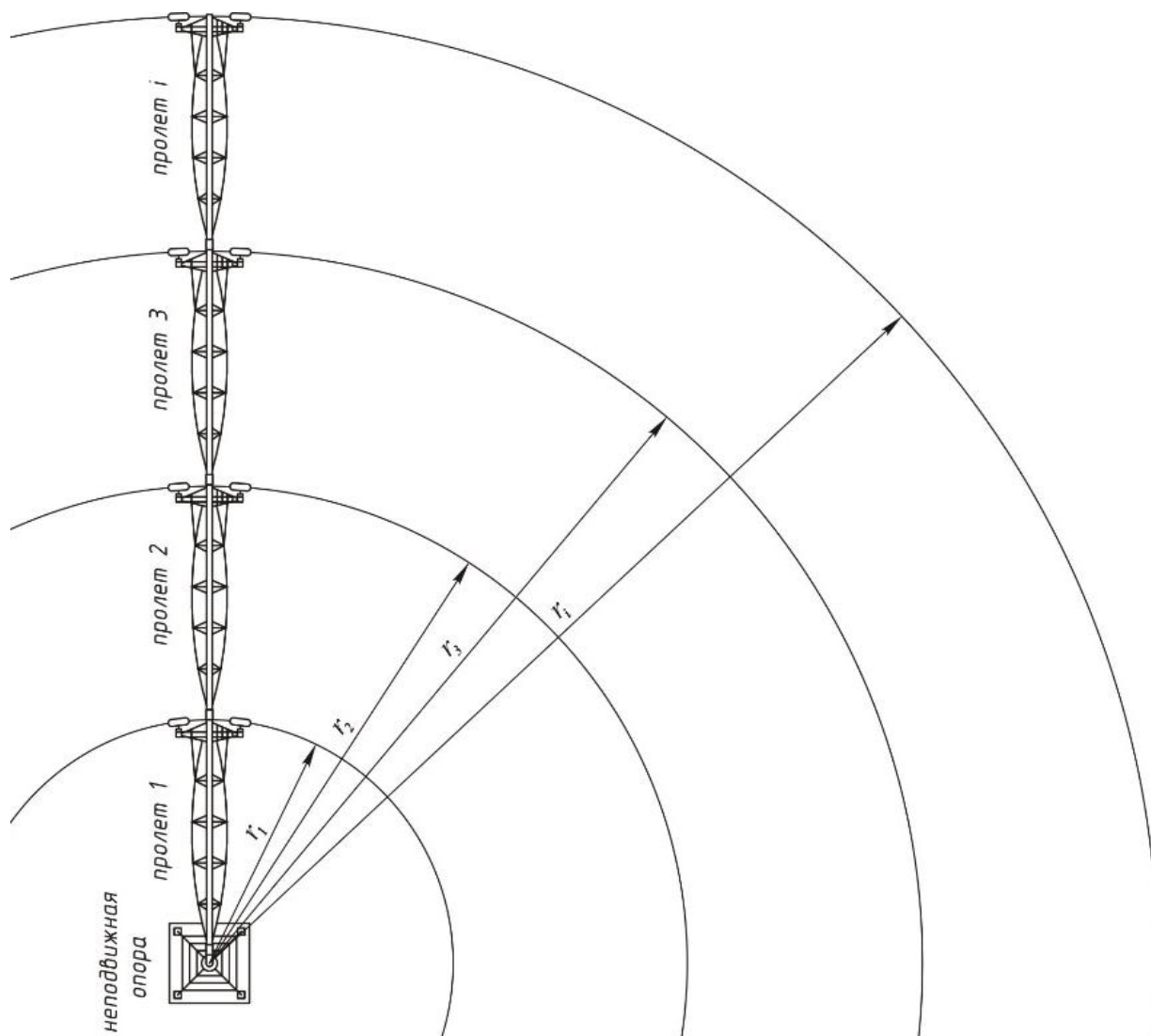


Рисунок 2.13 – Радиусы колеи самоходных тележек

Наработка машины определяется наработкой привода крайней тележки, которую можно определить по формуле:

$$H_k = n_o T_{\min}, \quad (2.23)$$

где n_o – число полных оборотов машины вокруг неподвижной опоры; $T_{\min}$ – минимальная продолжительность полного оборота, час.

Тогда, наработка привода i -ой тележки определится из выражения:

$$H_i = \frac{2H_k r_i \pi}{T_{\min} v_k}, \quad (2.24)$$

где H_k – наработка привода крайней тележки, моточасы; r_i – радиус колеи i -ой тележки, м; v_k – скорость движения последней тележки, м/час.

С учетом результатов, полученных из опыта эксплуатации дождевальная машина «Каскад», построен график распределения наработки привода самоходных тележек (рисунок 2.14).

Также для машины установлены виды периодического обслуживания, указанные в таблице 2.1.

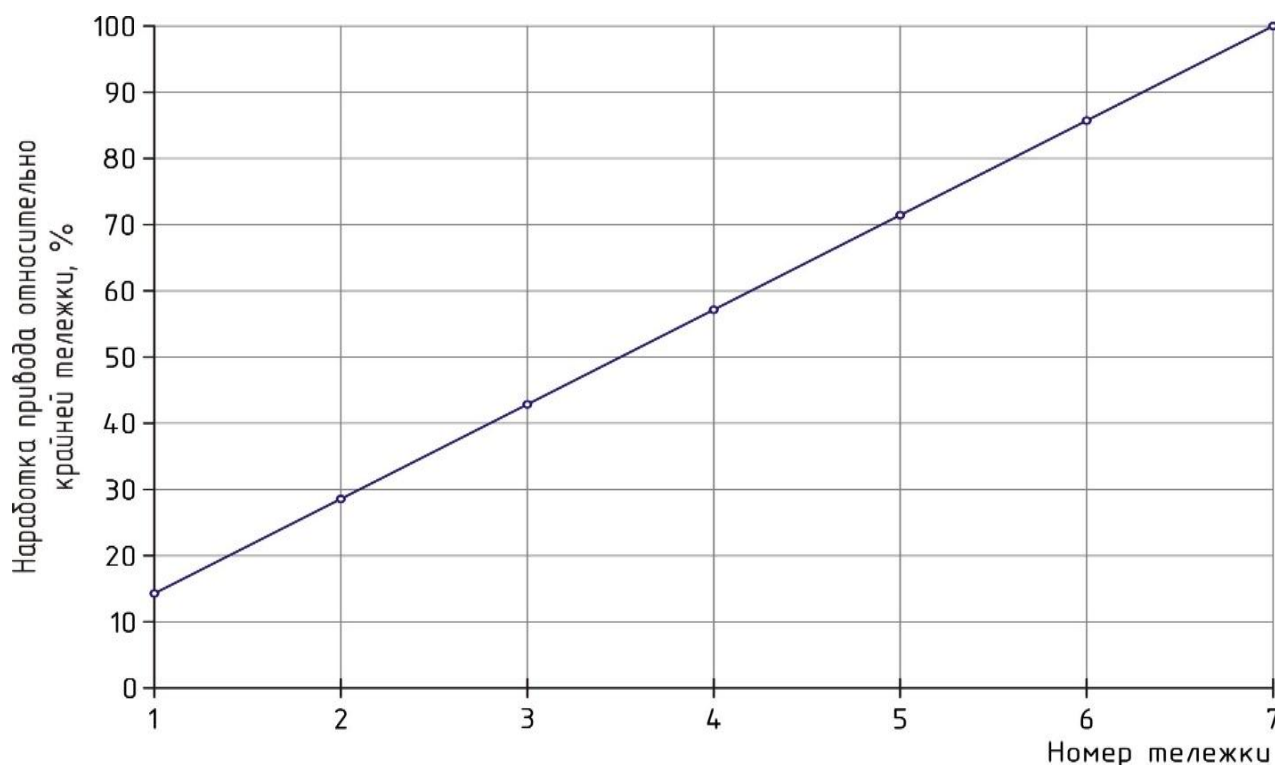


Рисунок 2.14 – График распределения наработки привода самоходных тележек ДМ «Каскад»

Таблица 2.1 – Виды периодического технического обслуживания ДМ «Каскад»

Виды технического обслуживания и ремонта	Обозначение	Периодичность, моточасы	Примечание
Техническое обслуживание по окончанию эксплуатационной обкатки	ТО-0	100	Производится один раз в первый год эксплуатации
Сезонное	СТО-1	–	Производится перед началом поливных работ
Ежесменное	ЕТО	20	Производится визуально без остановки машины
Первое техническое обслуживание	ТО-1	60	Проводится на остановленной машине
Второе техническое обслуживание	ТО-2	240	Совмещается с очередной остановкой машины
Третье техническое обслуживание	ТО-3	960	Совмещается с очередной остановкой машины
Сезонное	СТО-2	–	После окончания полевых работ

Рассмотрим технологический процесс эксплуатации дождевальных машин ДМ «Каскад» (рисунки 2.15, 2.16).

Блок операций ввода дождевальной машины в эксплуатацию начинается с промывки трубопровода, при которой открываются краны отстойников на консоли машины. Затем производится один круг технологической обкатки машины на непрерывном холостом ходу без полива. Далее вторым кругом идет технологическая обкатка на быстром непрерывном ходу с поливом.

Завершающей операцией блока ввода машины в эксплуатацию является техническое обслуживание ТО-0 (производится один раз в первый год эксплуатации), которое включает следующие работы: контроль работы манометров; проверку отсутствия протечек в местах установки прокладок, манжет и резиновых муфт; проверку отсутствия подтеков масла на элементах привода самоходных тележек; контроль давления в шинах; проверку болтовых соединений; проверку натяжения тросов консоли и правильность их установки.

Ввод машины в эксплуатацию

Годовой цикл эксплуатации машины

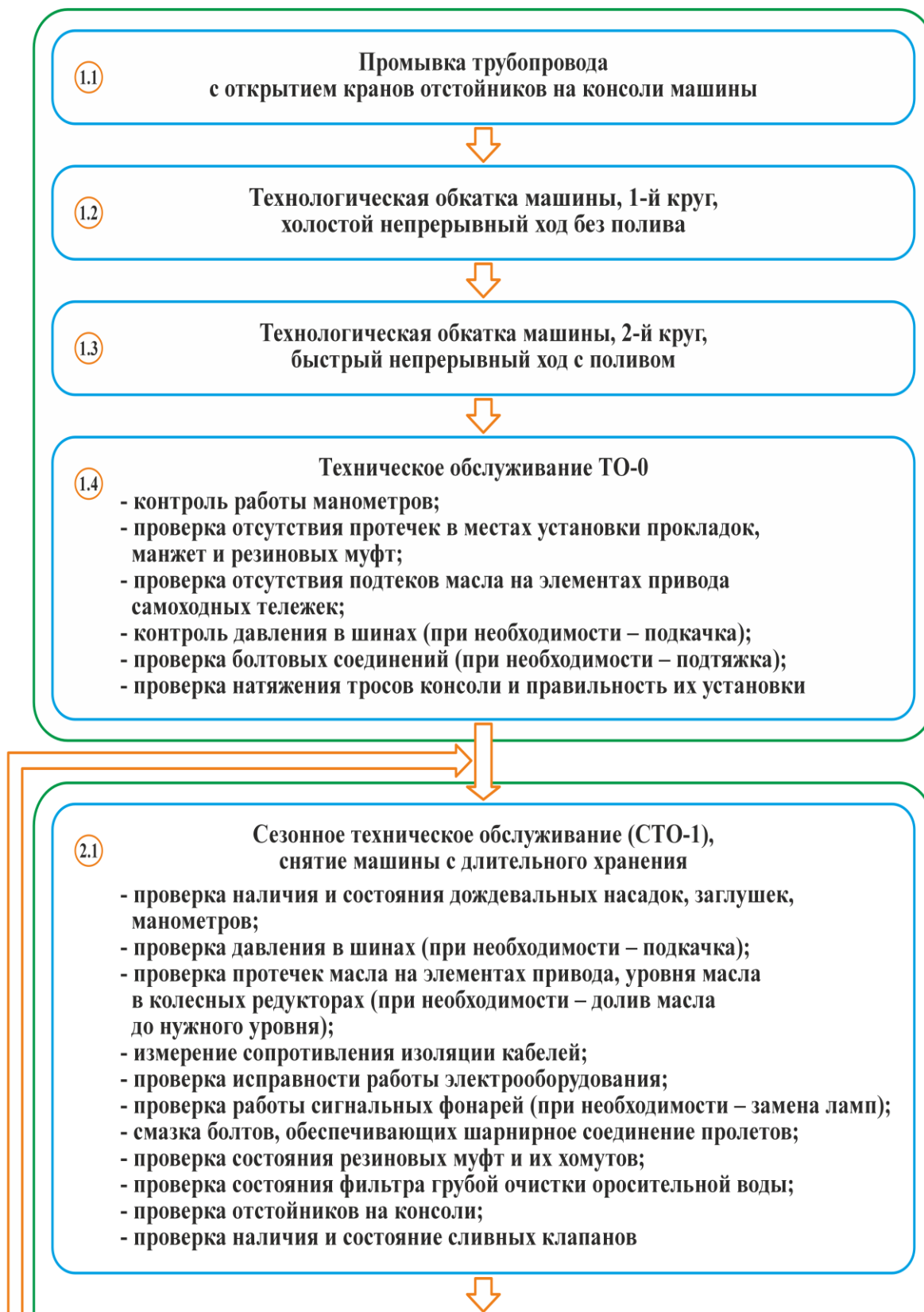


Рисунок 2.15 – Технология эксплуатации ДМ «Каскад»

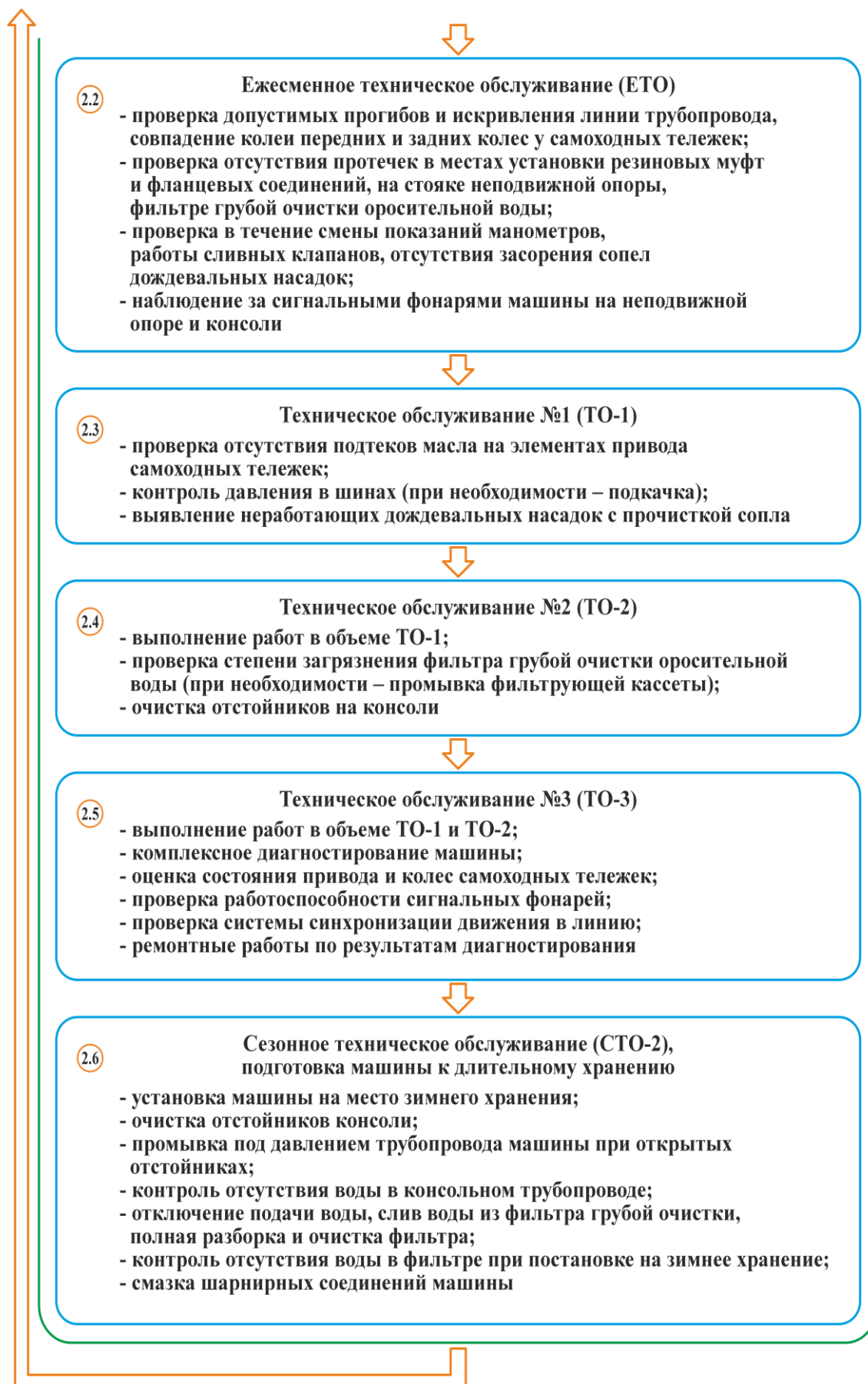


Рисунок 2.16 – Технология эксплуатации ДМ «Каскад» (окончание)

Блок операций годового цикла эксплуатации дождевальной машины начинается с сезонного технического обслуживания СТО-1 (производится перед началом поливных работ), которое включает следующий комплекс работ: проверку наличия и состояния дождевальных насадок, заглушек, манометров; проверку давления в шинах; проверку протечек масла на элементах привода, уровня масла в колесных редукторах; измерение сопротивления изоляции кабелей; проверку исправности работы электрооборудования; проверку работы сигнальных фонарей; смазку болтов, обеспечивающих шарнирное соединение пролетов; проверку состояния резиновых муфт и их хомутов; проверку состояния фильтра грубой очистки оросительной воды; проверку отстойников на консоли; проверку наличия и состояния сливных клапанов.

Для обеспечения эффективной работы дождевальной машины предусмотрено ежесменное техническое обслуживание ЕТО (производится визуально без остановки машины), которое включает: проверку допустимых прогибов и искривления линии трубопровода, совпадение колеи передних и задних колес у самоходных тележек; проверку отсутствия протечек в местах установки резиновых муфт и фланцевых соединений, на стояке неподвижной опоры, фильтре грубой очистки оросительной воды; проверку в течение смены показаний манометров, работы сливных клапанов, отсутствия засорения сопел дождевальных насадок; наблюдение за сигнальными фонарями машины на неподвижной опоре и консоли.

Первое техническое обслуживание ТО-1 проводится через 60 моточасов на остановленной машине, в ходе которого проверяется отсутствие подтеков масла на элементах привода самоходных тележек, давление в шинах, выявляются неработающие дождевальные насадки и производятся работы по устранению выявленных недостатков.

Второе техническое обслуживание ТО-2 производится через 240 моточасов с совмещением очередной остановки машины. Комплекс работ ТО-2 включает: выполнение работ в объеме ТО-1; проверку степени загрязнения фильтра грубой очистки оросительной воды; очистку отстойников консоли.

Третье техническое обслуживание ТО-3 выполняется через 960 моточасов, также с совмещением очередной остановки машины. В ТО-3 входят следующие

работы: выполнение работ в объеме ТО1, ТО-2; комплексное диагностирование машины; оценку состояния привода и колес самоходных тележек; проверку работоспособности сигнальных фонарей; проверку системы синхронизации движения в линию; ремонтные работы по результатам диагностирования.

Сезонное техническое обслуживание СТО-2 проводится после окончания полевых работ и включает следующее: установку машины на место зимнего хранения; очистку отстойников консоли; промывку под давлением трубопровода машины при открытых отстойниках; контроль отсутствия воды в консольном трубопроводе; отключение подачи воды, слив воды из фильтра грубой очистки, полную разборку и очистку фильтра; контроль отсутствия воды в фильтре при постановке на зимнее хранение; смазку шарнирных соединений машины.

Структурные модели технологии эксплуатации ДМ «Каскад» имеют следующий вид:

$$T_{э.нов.д.м.} = (\{O_{1.1} \rightarrow O_{1.2} \rightarrow O_{1.3} \rightarrow O_{1.4}\} \rightarrow \rightarrow \{O_{2.1} \rightarrow O_{2.2} \rightarrow O_{2.3} \rightarrow O_{2.4} \rightarrow O_{2.5} \rightarrow O_{2.6}\})C_R, \quad (2.25)$$

где $T_{э.нов.д.м.}$ – технология эксплуатации ДМ «Каскад» со вводом в эксплуатацию машины; $O_{1.1}, \dots, O_{2.6}$ – технологические операции; $\{ \}$ – границы блока работ; C_R – контроль качества.

$$T_{э.год.д.м.} = (O_{2.1} \rightarrow O_{2.2} \rightarrow O_{2.3} \rightarrow O_{2.4} \rightarrow O_{2.5} \rightarrow O_{2.6})C_R, \quad (2.26)$$

где $T_{э.год.д.м.}$ – технология годовой эксплуатации ДМ «Каскад»; $O_{2.1}, \dots, O_{2.6}$ – технологические операции; C_R – контроль качества.

Вероятности безотказной работы технологических процессов:

$$P_{э.нов.д.м.} = \prod_{x=1}^4 P_{1.x} \cdot \prod_{x=1}^6 P_{2.x}, \quad (2.27)$$

$$P_{э.год.д.м.} = \prod_{x=1}^6 P_{2.x}, \quad (2.28)$$

где $P_{э.нов.д.м.}, P_{э.год.д.м.}, P_{1.x}, \dots, P_{2.x}$ – вероятности безотказной работы технологий и составляющих их операций.

2.2 Оптимизация технических комплексов эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем полива дождеванием

2.2.1 Оптимизационная математическая модель интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией

Современные оросительные системы представляют собой сложные гидромеханические комплексы, эффективность работы которых зависит от слаженного взаимодействия трех основных элементов: насосной станции, трубопроводной сети и дождевальных машин. Однако на практике это взаимодействие часто сопровождается серьезными проблемами, связанными с возникновением гидроударов и вибраций, которые существенно снижают надежность всей системы. Решение этих проблем возможно благодаря внедрению интеллектуальных систем управления, которые обеспечивают комплексный контроль и оптимизацию работы всех компонентов оросительной системы.

Насосная станция, являясь «сердцем» дождевальной оросительной системы, задает основные параметры работы – давление и расход воды. При этом каждый пуск или остановка насосных агрегатов, изменение частоты их вращения или переключение между рабочими режимами создает гидродинамические возмущения. Эти возмущения в виде волн давления распространяются по всей трубопроводной сети, оказывая влияние на работу конечных потребителей – дождевальных машин. Интеллектуальные системы управления минимизируют эти негативные эффекты за счет плавного пуска и остановки насосов, автоматической регулировки частоты вращения в зависимости от текущей нагрузки и динамического распределения работы между несколькими насосными агрегатами. Это позволяет поддерживать стабильные параметры системы даже при изменяющихся условиях эксплуатации.

Трубопроводная система в этом процессе играет роль не просто пассивного проводника воды, а сложной динамической системы. Ее геометрические параметры – длина, диаметр, наличие поворотов и ответвлений – существенно влияют на характер распространения волн давления. Интеллектуальная система управления непрерывно отслеживает давление в различных точках системы и оперативно корректирует работу насосов, предотвращая возникновение опасных перепадов.

Кроме того, система способна прогнозировать возможные гидродинамические возмущения и заранее адаптировать режимы работы, что особенно важно для протяженных трубопроводов со сложной конфигурацией.

Дождевальные машины, в свою очередь, также вносят свой вклад в динамику системы. Их работа характеризуется периодическим изменением расхода воды при включении и выключении отдельных секторов или изменении скорости движения. Эти изменения создают обратные гидродинамические волны, которые взаимодействуют с волнами от насосной станции, создавая сложную картину распределения давления в системе. Интеллектуальная система управления решает эту проблему за счет синхронизации работы насосов и дождевальных машин, автоматически подстраивая параметры системы при изменении количества активных секторов или скорости перемещения машин. Это обеспечивает стабильность давления во всех точках системы независимо от текущего режима полива.

Гидроудары представляют собой одно из наиболее опасных явлений в гидравлических системах. Они возникают при резком изменении скорости потока воды, например при аварийной остановке насосов или быстром закрытии запорной арматуры. Возникающая при этом ударная волна может распространяться по трубопроводу со скоростью звука, достигая значений давления, в несколько раз превышающих рабочее. Последствия таких гидроударов могут быть катастрофическими – от разрывов трубопроводов до разрушения насосного оборудования. Интеллектуальная система управления оснащена специальными алгоритмами антигидроударной защиты, которые обеспечивают плавное изменение режимов работы, а в случае аварийных ситуаций – максимально быстрое и безопасное отключение системы. Датчики давления, установленные в критических точках, позволяют системе мгновенно реагировать на опасные колебания и принимать корректирующие меры.

Не менее серьезной проблемой являются вибрации, которые возникают как следствие нескольких факторов. Во-первых, это механическая вибрация самих насосных агрегатов, особенно заметная при работе на неоптимальных режимах. Во-вторых, турбулентные потоки в трубопроводах, возникающие при высоких скоростях движения воды или неидеальной геометрии труб. В-третьих, вибрации

от работы подвижных элементов дождевальных машин. Длительное воздействие вибраций приводит к усталостным разрушениям металла, ослаблению фланцевых соединений и другим повреждениям. Интеллектуальная система управления решает эту проблему за счет постоянного мониторинга вибрационного состояния оборудования и автоматической корректировки режимов работы для минимизации вредных колебаний. Система способна выявлять ранние признаки повышенной вибрации и либо плавно снижать обороты, либо перераспределять нагрузку между насосами, предотвращая развитие опасных процессов.

Изменение режимов работы оросительных насосных станций с целью их адаптации к конкретным условиям и возможным случайным возмущениям традиционно осуществляется различными методами: дросселированием, изменением числа и состава работающих агрегатов, регулированием оборотов насосных агрегатов, изменением характеристик насоса путем поворота лопастей рабочего колеса или направляющего аппарата, а также комбинированными способами [74, 83, 164, 179, 180, 255]. Однако все эти методы требуют либо постоянного вмешательства оператора, либо использования относительно простых систем автоматизации, не способных комплексно учитывать все факторы работы системы. Интеллектуальная система управления представляет собой принципиально новый подход к управлению дождевальными оросительными системами, объединяя все эти методы в единый интеллектуальный алгоритм, который в реальном времени анализирует состояние системы и выбирает оптимальный способ регулирования. При этом особое внимание уделяется энергоэффективности – система автоматически подбирает такие режимы работы, которые обеспечивают минимальное энергопотребление при заданных параметрах полива, что позволяет снизить эксплуатационные затраты по сравнению с традиционными методами управления.

Рассмотрим оптимизационную математическую модель интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией для дождевальных машин типа «Каскад» [126].

Цель создания модели – минимизировать энергопотребление насосной станции при обеспечении требуемого давления и расхода воды для всех дождевальных машин.

Основные переменные и параметры модели следующие.

Входные данные:

$Q_i(t)$ – расход воды для i -й машины в момент времени t , л/с;

$P_i(t)$ – требуемое давление на входе i -й машины, МПа;

N – количество машин, шт.;

$H_{сети}$ – гидравлическое сопротивление трубопроводной сети (зависит от диаметра, длины, материала);

$\eta_{насоса}$ – коэффициент полезного действия насоса (0,7–0,9);

P_{min} , P_{max} – допустимые пределы давления в системе, МПа.

Управляемые параметры:

$Q_{нас}(t)$ – суммарный расход насосной станции, л/с;

$P_{нас}(t)$ – давление на выходе насосной станции, МПа;

$n_{нас}(t)$ – количество работающих насосов, шт.

Математическая модель, в нашем случае, будет включать в себя.

Уравнение баланса расхода:

$$Q_{нас}(t) = \sum_{i=1}^N Q_i(t) + Q_{потерь}(t), \quad (2.29)$$

где $Q_{потерь}$ – потери на утечки (обычно 5-10 % от Q_i).

Уравнение давления:

$$P_{нас}(t) = \max(P_i(t) + \Delta P_{сети}(Q_{нас})), \quad (2.30)$$

где $\Delta P_{сети}$ – потери давления в сети (рассчитываются по формуле Дарси-Вейсбаха).

Энергопотребление насосной станции:

$$\mathcal{E}_{нс}(t) = \frac{Q_{нас}(t) \cdot P_{нас}(t)}{\eta_{насоса}} \cdot \rho \cdot g, \quad (2.31)$$

где ρ – плотность воды (1000 кг/м³); g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²).

Ограничения:

$$\begin{cases} P_{\min} \leq P_{\text{нас}}(t) \leq P_{\max} \\ Q_{\min} \leq Q_{\text{нас}}(t) \leq Q_{\max} , \\ n_{\min} \leq n_{\text{нас}}(t) \leq n_{\max} \end{cases} \quad (2.32)$$

Оптимизационная задача имеет целевую функцию минимизации суммарного энергопотребления за время T :

$$\sum_{t=1}^T \mathcal{E}_{\text{нс}}(t) \cdot \Delta t \rightarrow \min . \quad (2.33)$$

При соблюдении условий:

- давление и расход соответствуют требованиям всех машин;
- насосы работают в допустимом режиме (без перегрузок).

Если учесть интеллектуальную систему управления, то следует добавить:

- датчики давления и расхода в реальном времени $\rightarrow Q_i(t), P_i(t)$;
- алгоритм адаптивного управления насосами (ПИД-регуляторы);
- совершенствование управления переходными процессами пуска и останова насосов для минимизации износа.

Дополнительное уравнение для автоматизации будет иметь следующий вид (функция подбирает оптимальное число работающих насосов):

$$n_{\text{нас}}(t) = f(Q_{\text{нас}}(t), P_{\text{нас}}(t)). \quad (2.34)$$

Далее необходимо раскрыть назначение ПИД-регулятора в системе. ПИД-регулятор (пропорционально-интегрально-дифференциальный) используется для динамической стабилизации давления в трубопроводной сети при изменяющейся нагрузке (включение/выключение дождевальных машин, колебания расхода).

Цель регулирования – поддержание $P_{\text{факт}}(t) \approx P_{\text{зад}}(t)$ с минимальными колебаниями и перерегулированием.

Математическая модель ПИД-регулятора для насосной станции будет иметь следующий вид.

Управляющий сигнал $u(t)$ (например, частота вращения насоса или число работающих насосов) вычисляется по формуле:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t) dt + K_d \cdot \frac{d_e(t)}{dt}, \quad (2.35)$$

где $e(t) = P_{\text{зад}}(t) - P_{\text{факт}}(t)$ – ошибка регулирования (разница между заданным и фактическим давлением); K_p – коэффициент пропорционального усиления; K_i – коэффициент интегрального усиления; K_d – коэффициент дифференциального усиления.

Рассмотрим физический смысл компонентов ПИД-регулятора.

Пропорциональная составляющая $K_p \cdot e(t)$ реализует реакцию на текущую ошибку – увеличивает или уменьшает мощность насоса пропорционально отклонению давления. Обеспечивается быстрое устранение ошибки, но возможны статистические остаточные отклонения.

Интегральная составляющая $K_i \cdot \int e(t)dt$ позволяет учесть накопленную ошибку – компенсирует долговременные отклонения (например, из-за утечек). Происходит устранение «статистической ошибки», но существует риск перерегулирования.

Дифференциальная составляющая $K_d \cdot \frac{d_e(t)}{dt}$ осуществляет реакцию на скорость изменения ошибки – подавляет резкие скачки давления (например, при внезапном отключении машины). Позволяет сглаживать колебания и повысить устойчивость системы регулирования.

В практике применения интеллектуальных систем управления целесообразно применять дискретную реализацию ПИД-регулятора с шагом времени Δt :

$$u[n] = K_p \cdot e[n] + K_i \cdot \sum_{k=0}^n e[k] \cdot \Delta t + K_d \cdot \frac{e[n] - e[n-1]}{\Delta t}, \quad (2.36)$$

где $u[n]$ – управляющий сигнал на n -м шаге; $e[n]$ – текущая ошибка; $\sum e[k]$ – накопленная сумма ошибок (интеграл); $\frac{e[n] - e[n-1]}{\Delta t}$ – оценка производной.

Преимущества предлагаемой модели:

- снижение энергозатрат за счет точного соответствия подачи воды потребностям машин;
- автоматизированное управление через интеллектуальную систему уменьшает влияние человеческого фактора;
- гибкость, так как модель адаптируется к изменению количества машин, рельефа поля и других переменных.

2.2.2 Оптимизационная математическая модель формирования парка машин

Формирование парка машин является одной из основных задач мелиоративного производства. Именно на этом этапе закладывается потенциальная возможность его оптимальной эксплуатации. Парк машин, состоящий из устаревшей и маломощной техники, при всем желании производителя, не сможет выполнить производственную программу качественно и своевременно, поэтому его необходимо формировать из современных высокоэффективных машин.

Выявить наиболее эффективную машину для конкретного вида работ – очень важная задача, и ее необходимо решать для каждого производственного объекта с учетом условий производства. При выборе эффективных машин критерием служит минимум энергозатрат [5, 31, 70, 309].

Выбору машин должно предшествовать углубленное изучение отечественного и зарубежного опыта, а также анализ работы предприятий (организаций) мелиоративного комплекса за несколько лет. На основании анализа и существующего опыта можно сделать технико-экономические сравнения и определить коэффициент применения различных машин $K_{прим.i}$:

$$K_{прим.i} = \sum_{\tau=1}^n V_{i\tau} / V_{об\tau}, \quad \tau = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (2.37)$$

где $V_{i\tau}$ – объем работ, выполненный i -м видом машин в τ году; $V_{об\tau}$ – общий объем механизированных работ данного вида в τ году.

Коэффициент применения машин, по которым учитывается не объем выполненных работ, а отработанное время, можно определить по формуле:

$$K_{\text{прим.}i}^{\wedge} = \sum_{\tau=1}^n (m_{i\tau} \Pi_{\text{э}i\tau} T_{i\tau}) / V_{\text{об}\tau}, \quad \tau = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (2.38)$$

где $m_{i\tau}$ – число машин данного вида, применяемых в τ году; $\Pi_{\text{э}i\tau}$ – среднечасовая эксплуатационная производительность машины в τ году; $T_{i\tau}$ – число часов работы машины в τ году; $V_{\text{об}\tau}$ – общий объем работ данного вида в τ году.

Сопоставление коэффициентов применения дает информацию о целесообразности производства конкретного вида работ тем или иным видом машин.

Чтобы решить задачу оптимизации формирования парка машин для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем нами разработана оптимизационная математическая модель [309]. При построении математической модели задействованы элементы теории множеств, так как именно этот научный раздел позволяет перейти от объектов реальности к математическим абстракциям и дает возможность наиболее точно описать ситуационную задачу и метод отбора.

Каждой единице техники поставлены в соответствие элементы множества M обозначенные, как m_i .

При первоначальном отборе i , будет изменяться от 1 до n , то есть:

$$M = \{m_i\}_{i=1}^n = \{m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_n\}. \quad (2.39)$$

Обозначениями M и m_i также оперировали при наглядной демонстрации алгоритма отбора элементов, отвечающих требованиям ситуационной задачи (рисунк 2.17).

Дополнительно было введено множество характеристик для машин множества M (2.39):

$$\chi = \{\chi_j\}_{j=1}^s = \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_j, \dots, \chi_s\}. \quad (2.40)$$

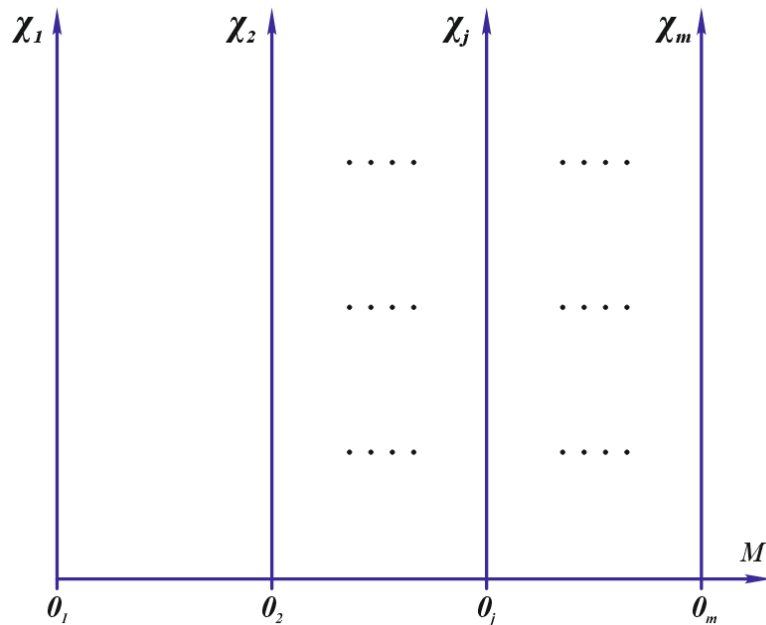


Рисунок 2.17 – Демонстрация алгоритма отбора элементов m_i , расположенных на оси $O_j M$ с учетом критериев χ_j и значений χ_{j0} в системах координат $\chi_j O_j M$

Алгоритм выбора машины для общего случая будет следующим:

- определение характеристики или результата, являющимися целевой функцией χ_j^z ;
- определение набора характеристик χ_j , влияющих на конечный выбор машины по результату целевых функций χ_j^z ;
- целевая функция находится по определенному правилу, учитывающему специфику характеристик χ_j .

Для общего случая подсчета целевых функций с учетом характеристик машины целесообразно использовать таблицу 2.2.

При этом целевая функция для каждой машины m_i рассчитывается с учетом данных таблицы 2.2 по формуле:

$$\chi_j^z = f(\chi_j)_{j=1}^s. \quad (2.41)$$

На рисунке 2.17 показана геометрическая интерпретация соответствия машин m_i выбранным характеристикам.

Таблица 2.2 – Таблица соответствия машины ее выбранным характеристикам и соответствующей целевой функции

M	χ	χ_1	χ_2	...	χ_j	...	χ_s	χ_j^z
m_1		χ_{11}	χ_{12}	...	χ_{1j}	...	χ_{1s}	χ_1^z
m_2		χ_{21}	χ_{22}	...	χ_{2j}	...	χ_{2s}	χ_2^z
...		...	...	...	...	...	...	...
m_i		χ_{i1}	χ_{i2}	...	χ_{ij}	...	χ_{is}	χ_i^z
...		...	...	...	...	...	...	...
m_n		χ_{n1}	χ_{n2}	...	χ_{nj}	...	χ_{ns}	χ_n^z

На рисунке 2.17 каждая ось χ_j соответствует определенной характеристике, соответствующей требованиям для единицы техники m_i и χ_{j0} – это определенное значение характеристики χ_j , что отражено в координатах точек $\chi_j(m_i, \chi_{j0})$.

Далее, на основании данных таблицы 2.2 и рисунка 2.17 необходимо сделать вывод об оптимальности выбора той или иной машины. Для этого введен коэффициент оптимальности k^* , который, в свою очередь, определяется по формуле:

$$k^* = \min \left\{ k_i^* \right\}_{i=1}^n, \quad (2.42)$$

где k_i^* – коэффициент оптимальности (%), для каждой из исследуемых единиц техники, который находится по формуле:

$$k_i^* = \frac{\chi_j^z}{\chi_j} \cdot 100\%. \quad (2.43)$$

Формула (2.43) позволила перейти к множеству K_i^* :

$$K_i^* = \{k_1^*, k_2^*, \dots, k_i^*, \dots, k_n^*\}. \quad (2.44)$$

Выбирая минимальное значение коэффициента оптимальности k^* , по предложенной методике, можно определить наиболее подходящую по функциональности машину m_i из множества (2.39).

В процессе построения модели задача конкретизирована сужением выбора до единиц техники, осуществляющих эксплуатацию, ремонт и реконструкцию оросительных систем. В рассматриваемом случае в качестве характеристик были выбраны:

$N_{\partial\partial}$ – мощность двигателя машины, кВт;

$\Pi_{\text{э}}$ – эксплуатационная производительность машины, ед.изм./ч (размерность зависит от вида работ);

V – объем работ, ед.изм.;

Φ – фонд рабочего времени машины, ч;

$\mathcal{E}_{\text{раб}}$ – энергозатраты на производство работ, кВт·год/ед.изм.

Таким образом, получено подмножество χ_{α} множества χ , причем:

$$\chi_{\alpha} \subset \chi, \alpha = \overline{1;4}, \quad (2.45)$$

при $\alpha = 1, \chi_1 \leftrightarrow N_{\partial\partial}$;

при $\alpha = 2, \chi_2 \leftrightarrow \Pi_{\text{э}}$;

при $\alpha = 3, \chi_3 \leftrightarrow V$;

при $\alpha = 4, \chi_4 \leftrightarrow \Phi$.

После введенных выше обозначений, можно показать элементы множества χ_{α} в следующем виде:

$$\chi_{\alpha} = \{\chi_{\alpha}\}_{\alpha=1}^4 = \{\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4\} = \{N_{\partial\partial}, \Pi_{\text{э}}, V, \Phi\}. \quad (2.46)$$

Графически это также можно изобразить при помощи кругов Эйлера (рисунок 2.18).

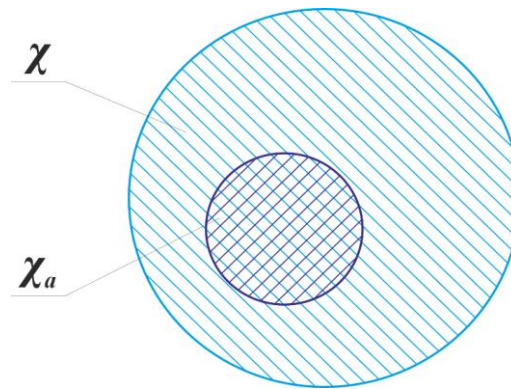


Рисунок 2.18 – Изображение при помощи кругов Эйлера
вхождение подмножества χ_α в множество χ

На рисунке 2.19 продемонстрирован принцип отбора единиц техники по указанным выше характеристикам.

Так, в системе координат $MO_1N_{\text{дв}}$ на оси O_1M расположены значения m_i , а по оси $O_1N_{\text{дв}}$ значения мощности $N_{\text{дв}i}$ соответствующие указанным видам машин. Таким образом, были получены в системе координат $MO_1N_{\text{дв}}$ точки $N_i(m_i, N_{\text{дв}i})$.

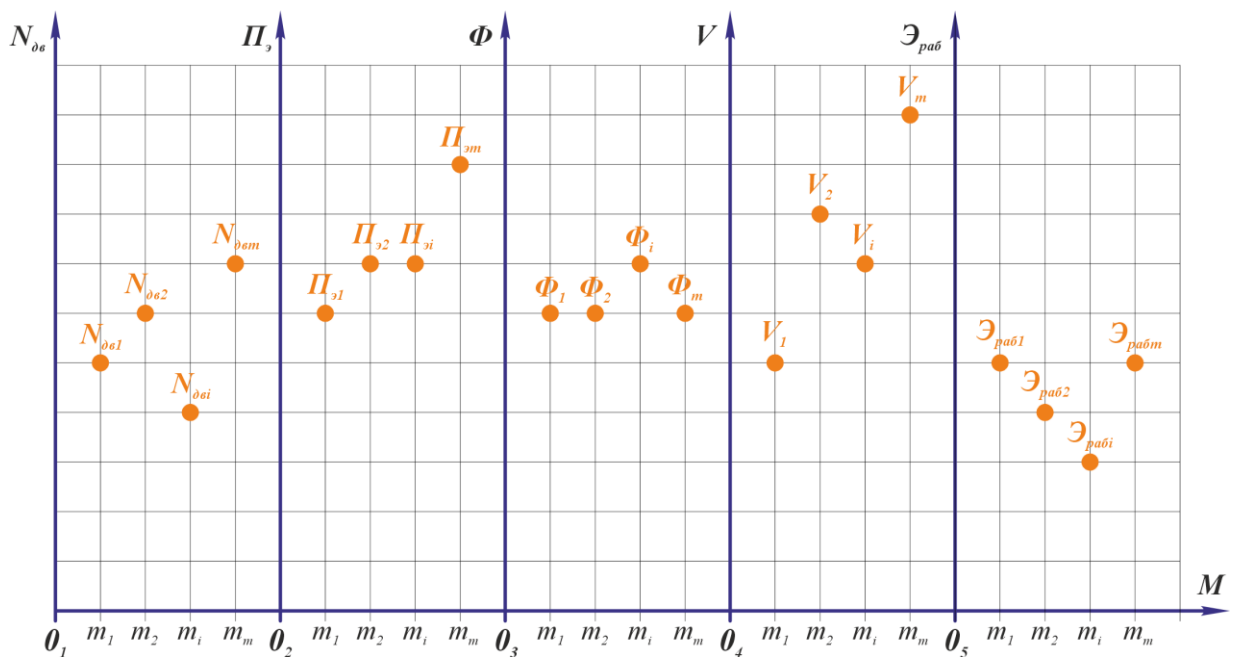


Рисунок 2.19 – Демонстрация принципа отбора элементов m_i , расположенных на общей оси O_iM с учетом критериев $N_{\text{дв}}$, Π_ε , Φ , V , $\mathcal{E}_{\text{раб}}$

Аналогично, на рисунке 2.19 показаны системы координат $MO_2\Pi_\varepsilon$, $MO_3\Phi$, MO_4V и $MO_5\mathcal{E}_{\text{раб}}$. В них были отмечены точки $\Pi_{\varepsilon i}(m_i, \Pi_{\varepsilon i})$, $\Phi_i(m_i, \Phi_i)$, $V_i(m_i, V_i)$ и $\mathcal{E}_{\text{раб}i}(m_i, \mathcal{E}_{\text{раб}i})$ соответственно.

В системе координат $MO_1N_{\partial\delta}$ получили множество точек:

$$N_{\partial\delta} = \{N_{\partial\delta i}\}_{i=1}^n = \{N_{\partial\delta 1}, N_{\partial\delta 2}, \dots, N_{\partial\delta i}, \dots, N_{\partial\delta n}\}. \quad (2.47)$$

Также в системе координат $MO_2\Pi_{\partial}$ получили множество точек:

$$\Pi_{\partial} = \{\Pi_{\partial i}\}_{i=1}^n = \{\Pi_{\partial 1}, \Pi_{\partial 2}, \dots, \Pi_{\partial i}, \dots, \Pi_{\partial n}\}. \quad (2.48)$$

Множество точек:

$$\Phi = \{\Phi_i\}_{i=1}^n = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_i, \dots, \Phi_n\}, \quad (2.49)$$

было отмечено в системе координат $MO_3\Phi$.

Далее, в системе MO_4V было получено множество точек:

$$V = \{V_i\}_{i=1}^n = \{V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_n\}. \quad (2.50)$$

Следующее множество точек было получено в системе координат $MO_5\mathcal{E}_{\text{раб}}$:

$$\mathcal{E}_{\text{раб}} = \{\mathcal{E}_{\text{раб } i}\}_{i=1}^n = \{\mathcal{E}_{\text{раб } 1}, \mathcal{E}_{\text{раб } 2}, \dots, \mathcal{E}_{\text{раб } i}, \dots, \mathcal{E}_{\text{раб } n}\}. \quad (2.51)$$

В качестве целевой функции выбраны энергозатраты на производство работ $\mathcal{E}_{\text{раб}}$.

$$\mathcal{E}_{\text{раб}} = f(N_{\partial\delta}, \Pi_{\partial}, V, \Phi). \quad (2.52)$$

Целевая функция $\mathcal{E}_{\text{раб}}$ зависит от переменных, заявленных ранее в формулах (2.47–2.50). Переходя к пределу в формуле (2.52) с использованием (2.51), получено представление $\mathcal{E}_{\text{раб}}$ формулой (2.54), в которой каждая из переменных стремится к своему заданному значению:

$$N_{\partial\delta} \rightarrow N_{\partial\delta 0}, \Pi_{\partial} \rightarrow \Pi_{\partial 0}, \Phi \rightarrow \Phi_0, V \rightarrow V_0. \quad (2.53)$$

Таким образом, формула (2.52) позволила определить энергозатраты на производство работ, как целевую функцию:

$$\mathcal{E}_{\text{раб}} = \lim_{\substack{N_{\partial\delta} \rightarrow N_{\partial\delta 0} \\ \Pi_{\partial} \rightarrow \Pi_{\partial 0} \\ \Phi \rightarrow \Phi_0 \\ V \rightarrow V_0}} f(N_{\partial\delta}, \Pi_{\partial}, V, \Phi). \quad (2.54)$$

При формировании парка машин для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем, необходимо стремиться к тому, чтобы он был сформирован из эффективной техники, имеющей наилучший коэффициент оптимальности и, следовательно, наименьшие энергозатраты при эксплуатации.

2.2.3 Оптимизационная математическая модель обновления парка машин

Обновление парка машин является неотъемлемой частью комплексного процесса технического перевооружения и основой прогрессивного развития мелиоративного производства и обусловлено тем, что в процессе эксплуатации машины подвергаются воздействиям физического и морального износа, в результате чего ухудшаются их технико-экономические показатели и происходит снижение технического состояния парка в целом [23, 120].

Обновление парка машин может быть полным и частичным. Полное обновление подразумевает поступление новых машин для замены списанных или с целью расширения парка; частичное – капитальный ремонт и модернизацию имеющейся техники.

Классификация форм обновления парка машин представлена на рисунке 2.20 [25].

Основная роль в процессе обновления парка машин принадлежит замене, так как в этом случае в парк поступают новые машины, имеющие более высокие технико-экономические показатели, чем капитально отремонтированные и модернизированные машины. Замена подразумевает выбытие устаревших машин и ввод в эксплуатацию новых. При этом если машина выбыла, а вместо нее не введена новая машина, то происходит сокращение размеров парка (за исключением случаев, когда вместо нескольких устаревших машин вводится одна, заменяющая их общую выработку в совокупности). Если же в парк вводится машина без выбытия устаревшей, то происходит расширение парка.

Частным случаем обновления парка машин является приобретение техники ранее бывшей в эксплуатации, которая имеет несколько меньший ресурс, но более выгодна за счет меньшей стоимости.

Оптимальный срок замены – это период эксплуатации машины до списания, в течение которого обеспечивается соответствие результатов эксплуатации установленному критерию.

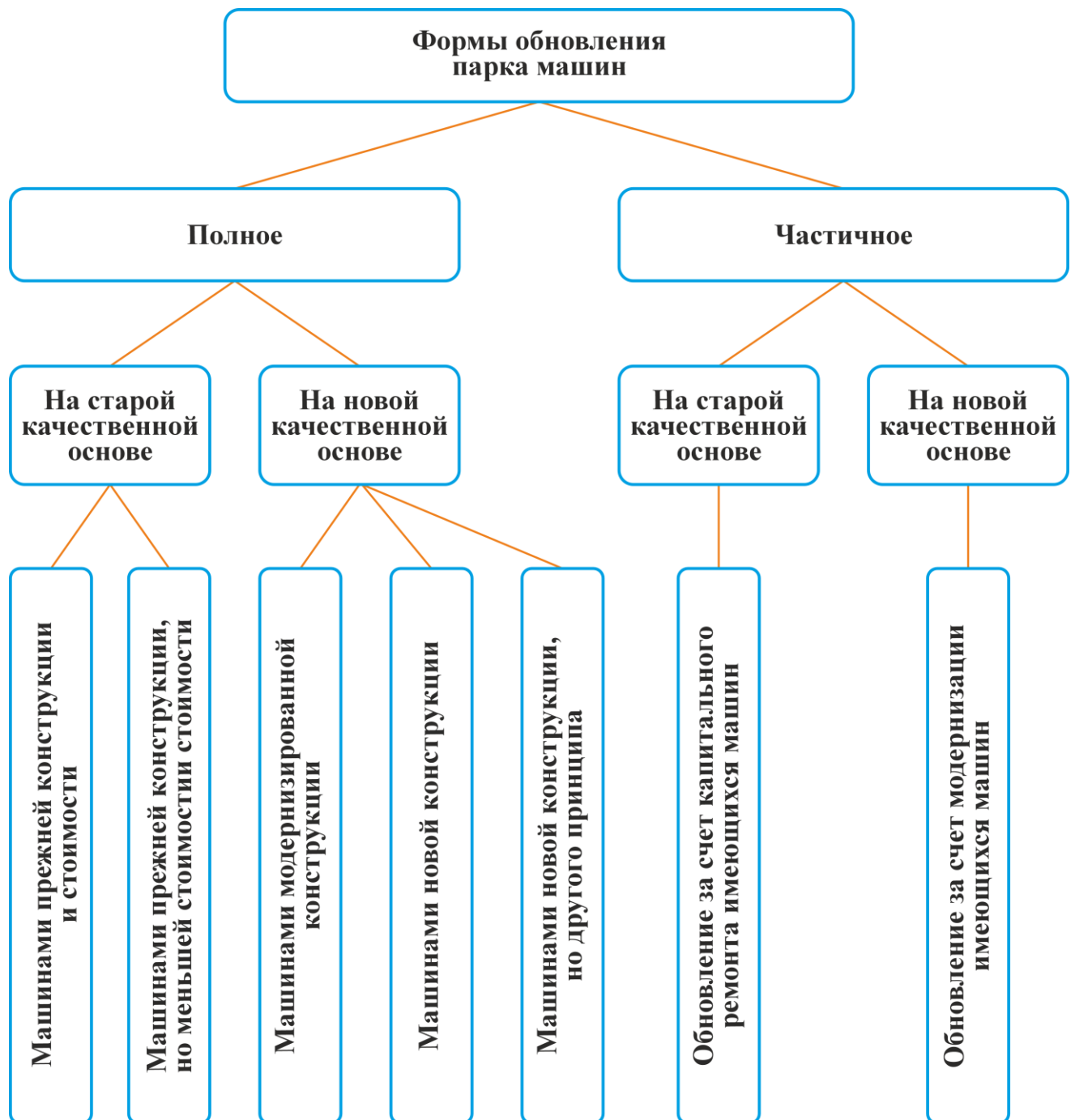


Рисунок 2.20 – Формы обновления парка машин

При одинаковом нормативном сроке службы оптимальный срок замены определенной машины для различных условий эксплуатации может быть различным.

Эксплуатационные факторы, оказывающие влияние на сроки замены технических средств, можно разделить на четыре группы, которые характеризуют: состояние производства; финансовое состояние, наличие фондов и лимитов; организацию эксплуатации машин; состояние ремонтно-эксплуатационной базы.

Капитальный ремонт является методом частичного обновления парка машин. Качественно выполненный ремонт позволяет индивидуальные затраты по действующим машинам довести до уровня затрат новых машин аналогичной конструкции. К повышению технического уровня ремонтируемых машин он не приводит, а способствует поддержанию на прежнем уровне количественного состава парка. Качественно выполненный капитальный ремонт равносителен поступлению в парк новых машин тех же моделей, но с более коротким сроком службы. К обновлению парка машин приводит капитальный ремонт, но не текущий. Затраты на текущий ремонт не содержатся в первоначальной стоимости машины и покрываются за счет эксплуатационных расходов, в то время как затраты на капитальный ремонт покрываются за счет перенесенной на готовый продукт части стоимости машины, аккумулированной в амортизационном фонде.

Модернизация машин представляет собой совершенствование их конструктивных и технологических параметров, в результате которого базовые машины по технико-экономическим показателям достигают уровня новых машин (а иногда и превосходят их), обеспечивают повышение качества производства работ, а также расширение области применения. Переделка конструкций, узлов и деталей с целью приведения машины к первоначальным конструктивным параметрам (например, устранение недоработок и дефектов машиностроительного производства) модернизацией не является. Модернизация, которая частично устраняет влияние морального износа или улучшает вспомогательные узлы и приспособления является частичной. Полная модернизация происходит при полном устранении морального износа и достижении машиной на данный момент уровня новой модели. Однако модернизируемые машины имеют определенный физический износ, пол-

ностью устранить который практически невозможно. В то же время, имеющийся физический износ до известного предела не снижает работоспособности находящихся в эксплуатации машин, и они, по данному показателю, почти не отличаются от новых машин. Поэтому полная модернизация таких машин может обеспечить достижения уровня новой модели аналогичного назначения.

Модернизацию машин при обновлении машинного парка можно рассматривать как:

- поступление новых машин с лучшими технико-экономическими параметрами по сравнению с новыми машинами, но имеющих меньший срок службы;
- поступление новых или практически новых машин с меньшим сроком службы;
- поступление новых машин с расширенной или измененной областью применения, но имеющих, меньший срок службы по сравнению с машинами, эксплуатируемыми в той или иной области.

Обновление парка машин можно проанализировать, используя, в частности, показатели их энергозатрат в процессе выполнения работ.

Оптимизация обновления парка машин заключается в определении оптимальных сроков замены, ремонта и модернизации техники в соответствии с определенным экономическим критерием.

Обновление парка машин происходит на определенном этапе, по прошествии определенного отрезка времени, следовательно, процесс является динамическим.

С учетом изложенных условий, одним из подходов к обеспечению непрерывной работы парка машин выступает построение математической модели данного процесса, которая позволяет упорядочить возникающие задачи во временной последовательности и эффективно их решать.

В основе математической модели, предназначенной для поиска оптимального решения при обновлении парка машин, лежит временной ряд, дающий возможность интерпретировать эмпирические статистические данные как динамическую систему [1]. При этом вся совокупность машин парка рассматривается в виде множества элементов:

$$M = \{M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_n\}. \quad (2.55)$$

Также введено множество, элементы которого соответствуют определенному временному значению, τ_{ij} :

$$\theta = \{\tau_{ij}\}, i = \overline{1;n}, j = \overline{1;m}. \quad (2.56)$$

Жизненные циклы, которых описываются временными интервалами:

$$\theta_{ij} = \{\theta_{ij}\}, i = \overline{1;n}, j = \overline{1;m}, \quad (2.57)$$

причем,

$$\theta_{ij} = [\tau_{i-1,j-1}; \tau_{ij}]. \quad (2.58)$$

При прогнозировании продолжительности жизненного цикла машин можно учитывать различные характеристики или их совокупность, описываемые множеством:

$$\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_l\}, l = \overline{1;\infty}. \quad (2.59)$$

В данном случае одной из характеристик (2.59) являются показатели энергозатрат на производство работ машиной, так как они являются одними из основополагающих критериев в формировании и оценке ее жизненного цикла:

$$\mathcal{E}_{рабij} = \{\mathcal{E}_{рабij}\}, i = \overline{1;n}, j = \overline{1;m}, \quad (2.60)$$

где $\mathcal{E}_{рабij}$ – энергозатраты на производство работ машиной, кВт/ед.изм (единицы измерения зависят от вида машин и выполняемых ими работ, например, для одноковшового экскаватора при разработке грунта – м³).

На рисунке 2.21, в качестве примера, изображены жизненные циклы машин M_1 и M_2 на временном промежутке:

$$\theta_{ij} = \{\theta_{ij}\} = \{[\tau_{i-1,j-1}; \tau_{ij}]\}, i = \overline{1;2}, m = \overline{1;2k}. \quad (2.61)$$

В рассматриваемом случае множество θ_{ij} содержит, в частности, два подмножества:

$$\theta_{1j} = \{\tau_{1,0}, \dots, \tau_{1,k+1}\} \text{ и } \theta_{2j} = \{\tau_{2,0}, \dots, \tau_{2,k+1}\}. \quad (2.62)$$

Элементы указанных подмножеств располагаются на оси времени τ .

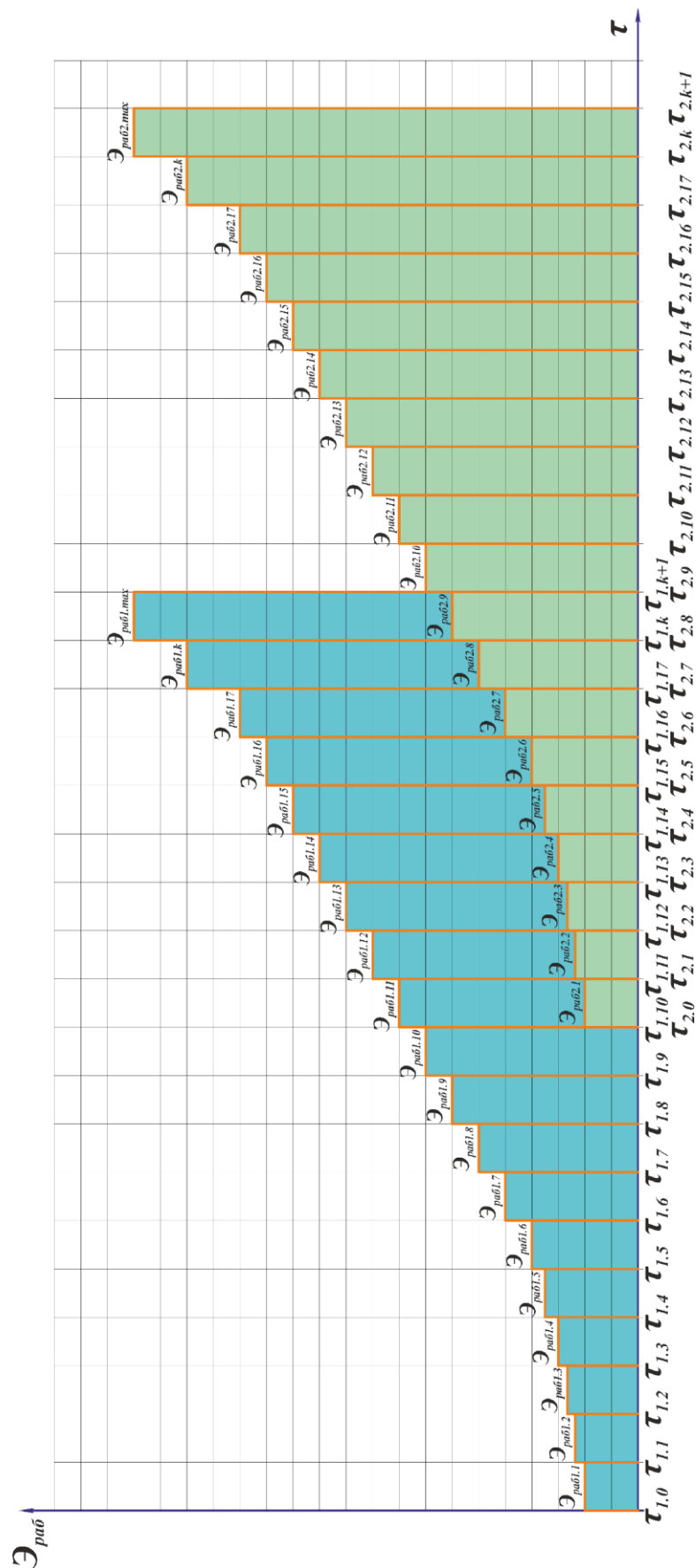


Рисунок 2.21 – Графическое представление жизненных циклов машин при переходе машины $M_i(M_1)$ к варианту ее замены на новую машину $M_{i+1}(M_2)$

Для построения графика функции, отражающего жизненный цикл машины, были взяты оси τ и $\mathcal{E}_{раб}$, в рамках которых построена ступенчатая функция:

$$\mathcal{E}_{раб} = \mathcal{E}_{раб}(\tau). \quad (2.63)$$

На оси $\mathcal{E}_{раб}$ находятся значения функции энергозатрат, соответствующих временным промежуткам $[\tau_{i-1,j-1}; \tau_{ij}]$.

Элементы множеств $\mathcal{E}_{рабij}$ и θ_{ij} определяются, опираясь на эмпирические данные, и функциональная зависимость между этими множествами находится следующим образом:

$$\mathcal{E}_{рабij} = \mathcal{E}_{рабij}(\theta_{ij}), \quad (2.64)$$

или, с учетом формул 2.55–2.63:

$$\mathcal{E}_{рабij} = \begin{cases} 0, \tau_{ij} \leq 0 \\ \mathcal{E}_{рабij}, \tau \in [\tau_{i-1,j-1}; \tau_{ij}] \\ \mathcal{E}_{раб \max}, \tau_{ij} \geq \tau_{ik+1} \end{cases} \quad (2.65)$$

Оценка энергозатрат машиной M_i отражена при подсчете площади S_{M_i} : ось $O\tau$, ось $O\mathcal{E}_{раб}$, функция $\mathcal{E}_{рабij}$, и машиной M_{i+1} площадь $S_{M_{i+1}}$: ось $O\tau$, ось $O\mathcal{E}_{раб}$, функция $\mathcal{E}_{раб i+1,j}$.

Машина M_{i+1} может быть получена при различных вариантах:

$$URM = \begin{cases} \text{новая машина } (URM_1), \\ \text{капитально отремонтированная машина } (URM_2) \\ \text{модернизированная машина } (URM_3) \\ \text{машина бывшая ранее в эксплуатации } (URM_4) \\ \text{машина без изменений } (URM_5) \end{cases} \quad (2.66)$$

Фактически, варианты (2.66) представляют множество управляющих решений URM .

Главной характеристикой при выборе вариантов является наличие более низких энергозатрат при выполнении одинаковых видов работ, то есть:

$$S_{M_i} \geq S_{M_{i+1}}, \theta_{1j} = \theta_{2j}. \quad (2.67)$$

При этом затраты, связанные с машиной M_{i+1} отражаются в приращении по оси энергозатрат на интервале $[\tau_{i,k+1}, \tau_{i+1,0}]$:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{раб } i, i+1} = \mathcal{E}_{\text{раб } i+1} - \mathcal{E}_{\text{раб } i} \cdot \quad (2.68)$$

Также существует взаимосвязь между энергозатратами $\mathcal{E}_{\text{раб } ij}$, фондом рабочего времени Φ и управляющим решением, как для отдельно взятой единицы техники, так и для парка машин в целом, что отражено графически (рисунок 2.22). При этом, фонд рабочего времени также служит характеристикой из множества (2.59).

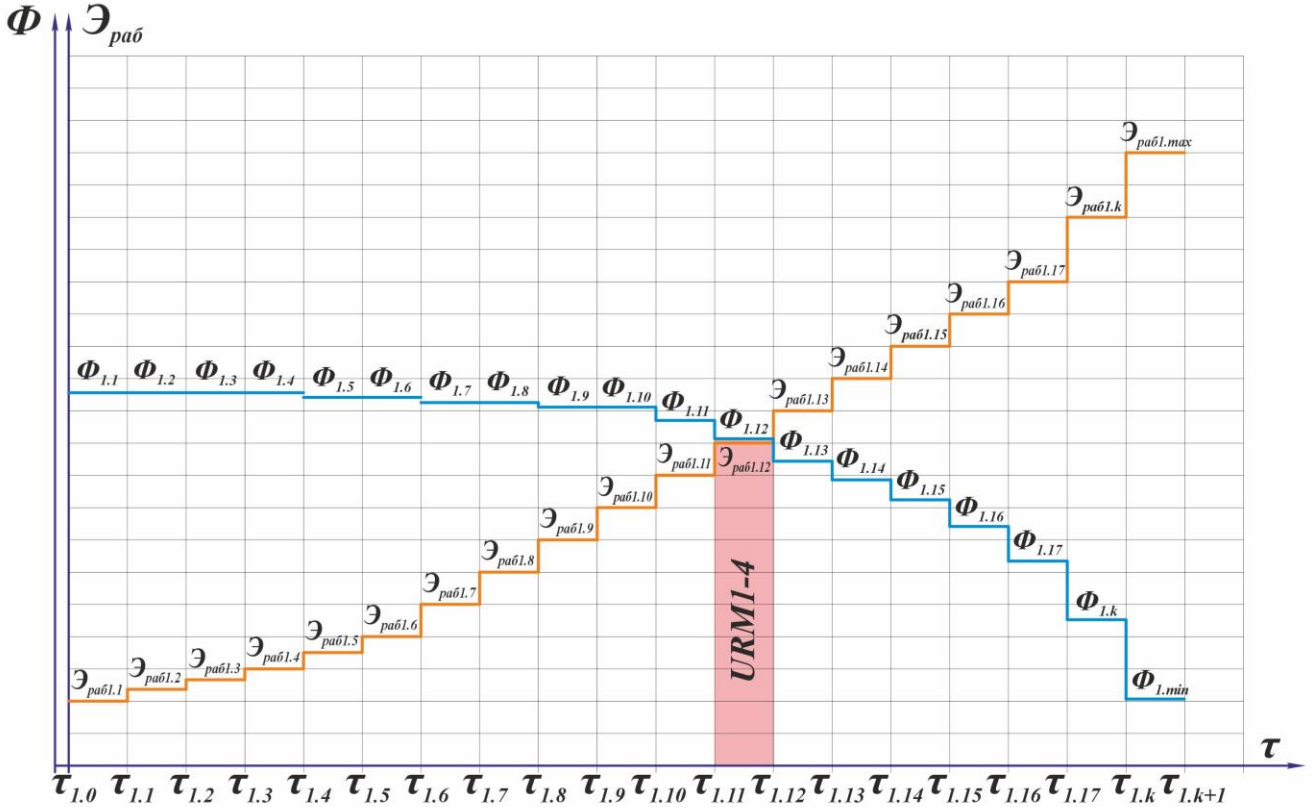


Рисунок 2.22 – Графическое представление взаимосвязи энергозатрат и фонда рабочего времени для машины и их критические значения для принятия решения *URM*

Общий вид функциональной взаимосвязи между задействованными величинами имеет следующий вид:

$$\Upsilon_{ij} = \begin{cases} 0, & X_{ij} = 0 \\ \Upsilon_{ij}, & X_{ij} \neq 0, \Upsilon_{\text{раб } ij} = \frac{1}{X_{ij}}, \tau_{ij} > \tau_{ij}^*, \end{cases} \quad (2.69)$$

где τ_{ij}^* – критическое значение, при котором $\Upsilon_{ij} = X_{ij}$, определяющее сроки принятия управляющего решения (2.66) по поводу проведения мероприятий минимизирующих энергозатраты с сохранением фонда рабочего времени.

Для наглядного изображения зависимостей одной величины от другой удобно использовать системы координат, использующие соответствующие обозначения осей (рисунки 2.21, 2.22).

В функциональном плане зависимость между энергозатратами и фондом рабочего времени выглядит следующим образом:

$$\mathcal{E}_{раб\bar{ij}} = \begin{cases} 0, \Phi_{ij} = 0 \\ \mathcal{E}_{раб\bar{ij}}, \Phi_{ij} \neq 0, \mathcal{E}_{раб\bar{ij}} = \frac{1}{\Phi_{ij}}, \tau_{ij} > \tau_{ij}^*, \end{cases} \quad (2.70)$$

где τ_{ij}^* – критическое значение, при котором $\mathcal{E}_{раб\bar{ij}} = \Phi_{ij}$, определяющее сроки принятия управляющего решения (2.66) по поводу проведения мероприятий минимизирующих энергозатраты с сохранением фонда рабочего времени.

Так как зависимость энергозатрат и фонда рабочего времени носит функциональный характер, то ее графическое изображение можно представить в системах координат с осями $(\mathcal{E}_{раб}, \tau)$ и (Φ, τ) , объединенных в один рисунок 2.22 для наглядного изображения их совместимости. Пересечение графиков указанных функций, являющихся взаимнообратными, на рисунке 2.22 отражают критические значения для выбора управляющего решения из возможных вариантов, перечисленных в системе (2.66). Также следует отметить вид графиков, и с учетом временных промежутков, рассматриваемые функции являются ступенчатыми.

Множество критических значений τ_{ij}^* определяется выражением:

$$\tau_{ij}^* = \{\tau_{ij} : \mathcal{E}_{раб\bar{ij}} = \Phi_{ij}\}. \quad (2.71)$$

Фактически является решением алгебраической системы:

$$\begin{cases} \mathcal{E}_{раб} = k_{мэ} \mathcal{E}_{раб}(\tau), \\ \Phi = k_{мф} \Phi(\tau) \end{cases}. \quad (2.72)$$

В системе (2.72) $k_{мэ}$ и $k_{мф}$ являются коэффициентами соответствия и введены для приведения графиков к единому масштабу.

Дальнейшие исследования соотношения энергозатрат и фонда рабочего времени для машины M_i имеют смысл после достижения ими критического значения в точке пересечения графиков, соответствующей значению τ_{ij}^* .

Введенный коэффициент $k_{\circ}^*$, показывает оптимальность выбора при различных условиях (2.66):

$$k_{\circ}^* = \frac{S_{M_i}}{S_{M_{i+1}}}, \quad (2.73)$$

где $k_{\circ}^*$ – коэффициент, демонстрирующий оптимальность перехода от варианта машины M_i к варианту машины M_{i+1} , то есть является критерием для выбора оптимального управляющего решения (2.66).

При наличии выбора вариантов (от 1 до r) обновления парка машин, решающим является максимальное значение коэффициента $k_{\circ \max}^*$ из возможных $k_{\circ}^* = \{k_{\circ 1}^*, \dots, k_{\circ r}^*\}$.

Если вернуться к рисунку 2.21, то на нем рассмотрен случай для $i=1$ и $j=0$; $k+i$ тогда, $M_i = M_1$, $M_{i+1} = M_2$ и $\theta_{1j} = [\tau_{1,0}, \tau_{1,k+1}]$, $\theta_{2j} = [\tau_{2,0}, \tau_{2,k+1}]$. Аналогично могут быть построены графики для вариантов: капитального ремонта, модернизации и замены машиной ранее бывшей в эксплуатации (рисунки 2.23–2.25).

Теоретически установлен оптимальный временной промежуток эксплуатации машины M_i и переход ее на другой уровень технических характеристик, то есть, на машину M_{i+1} , а именно: критическим становится тот элемент временного ряда τ_{ij}^* , при котором выполняется условие (2.71) и находится решение системы (2.72). В этом случае возможен переход к формуле (2.66), позволяющий определить наиболее рациональное управляющее решение.

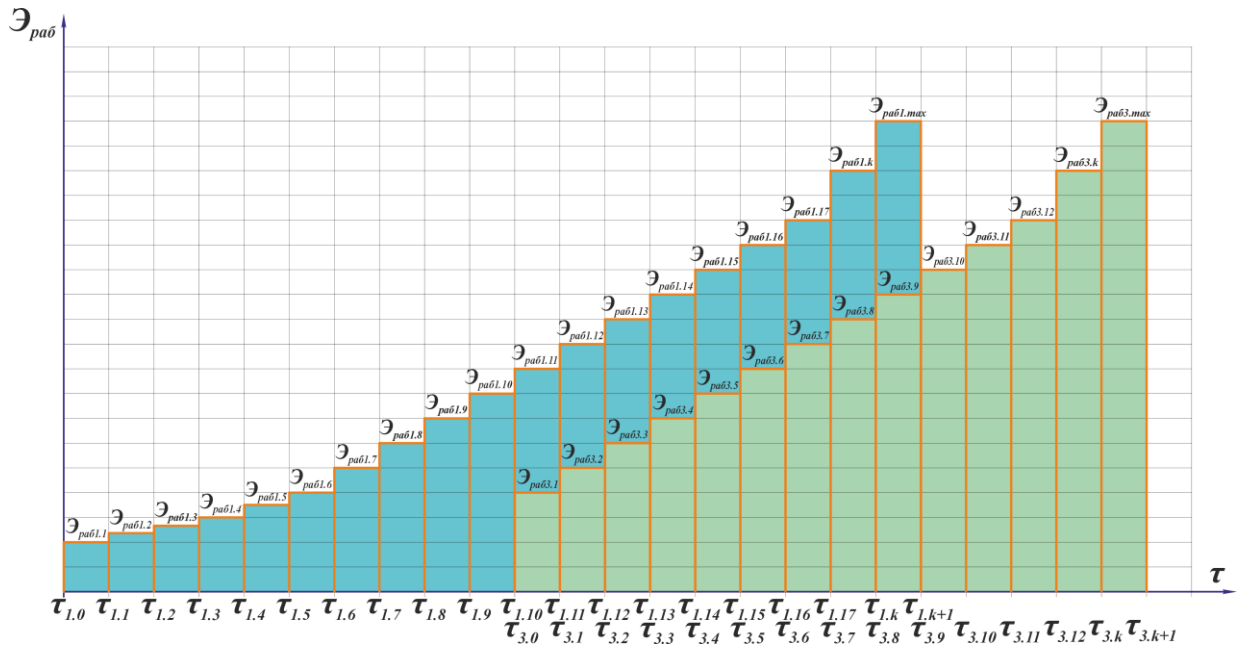


Рисунок 2.23 – Графическое представление жизненных циклов машин при переходе машины $M_i(M_1)$ к варианту ее замены на машину $M_{i+1}(M_2)$, бывшую ранее в эксплуатации

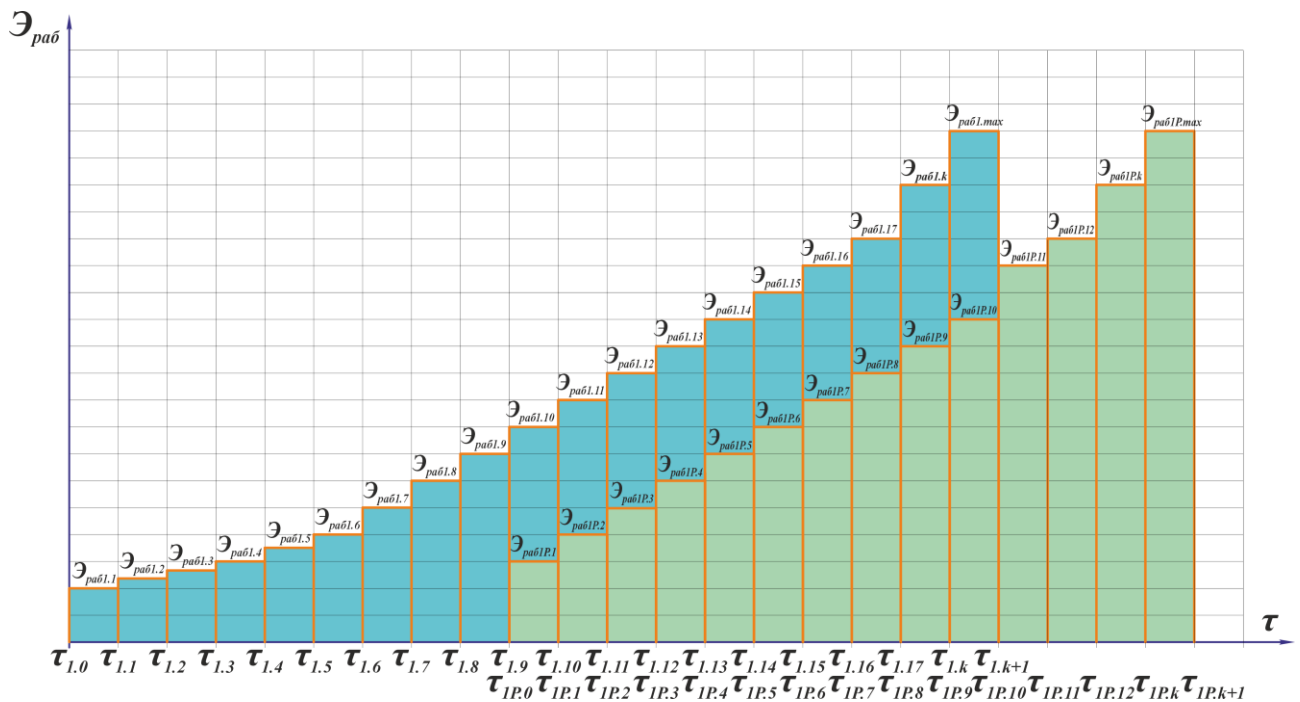


Рисунок 2.24 – Графическое представление жизненных циклов машин при переходе машины $M_i(M_1)$ к варианту $M_{i+1}(M_2)$ при капитальном ремонте машины $M_i(M_1)$

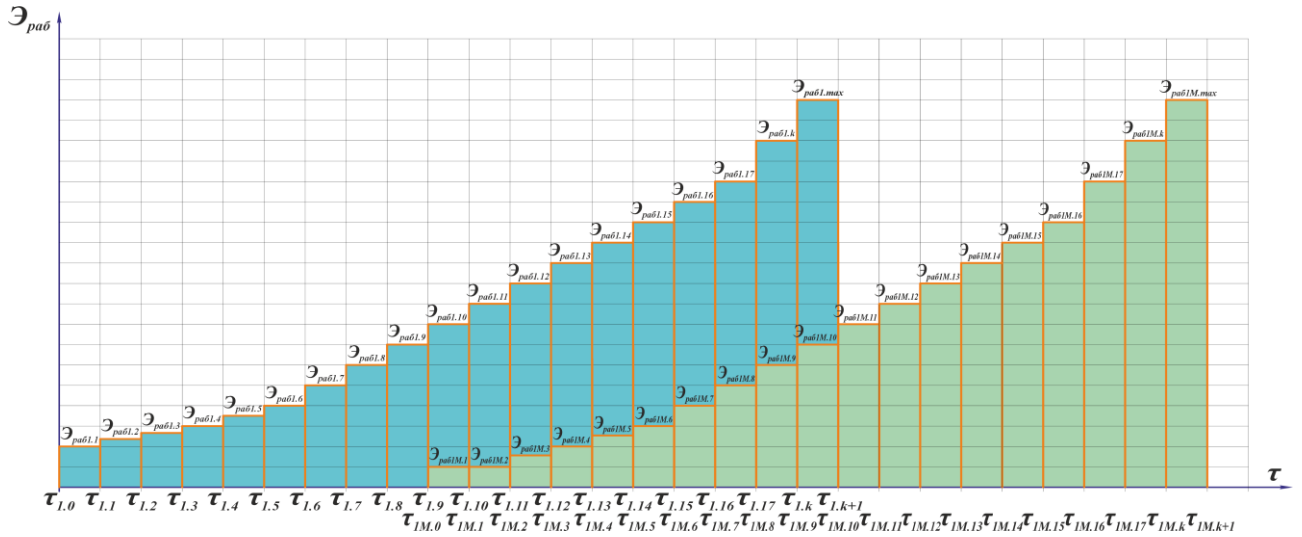


Рисунок 2.25 – Графическое представление жизненных циклов машин при переходе машины $M_i(M_1)$ к варианту $M_{i+1}(M_2)$ в результате модернизации машины $M_i(M_1)$

Формулы 2.55–2.73 в совокупности дают решение задачи относительно определения времени принятия управляющего решения и его содержания, что отображено алгоритмом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{ij}^* = \{ \tau_{ij} : \mathcal{E}_{рабij} = \Phi_{ij} \}, \\ URM = \left\{ URM : \left\{ \begin{array}{l} 0 < k_j^* < 1, (URM_5) \\ k_j^* > 1, URM_1 - URM_4 \end{array} \right\} \right\} \end{array} \right\}. \quad (2.74)$$

Учитывая представленные выше теоретические положения состояние машин в течение всего срока службы может быть представлено в виде схемы (рисунок 2.26).

2.2.4 Оптимизационная математическая модель оперативного распределения парка машин

Одной из главных задач при эксплуатации парка машин для ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем является распределение техники по объектам или участкам производства работ [35, 45, 75, 122, 124]. Распределение должно осуществляться в соответствии с конкретными производственными условиями на основании технико-экономических расчетов, поскольку эксплуатация машин на том или ином объекте без учета его специфики может привести к снижению качества, повышению энергозатрат и увеличению стоимости работ.

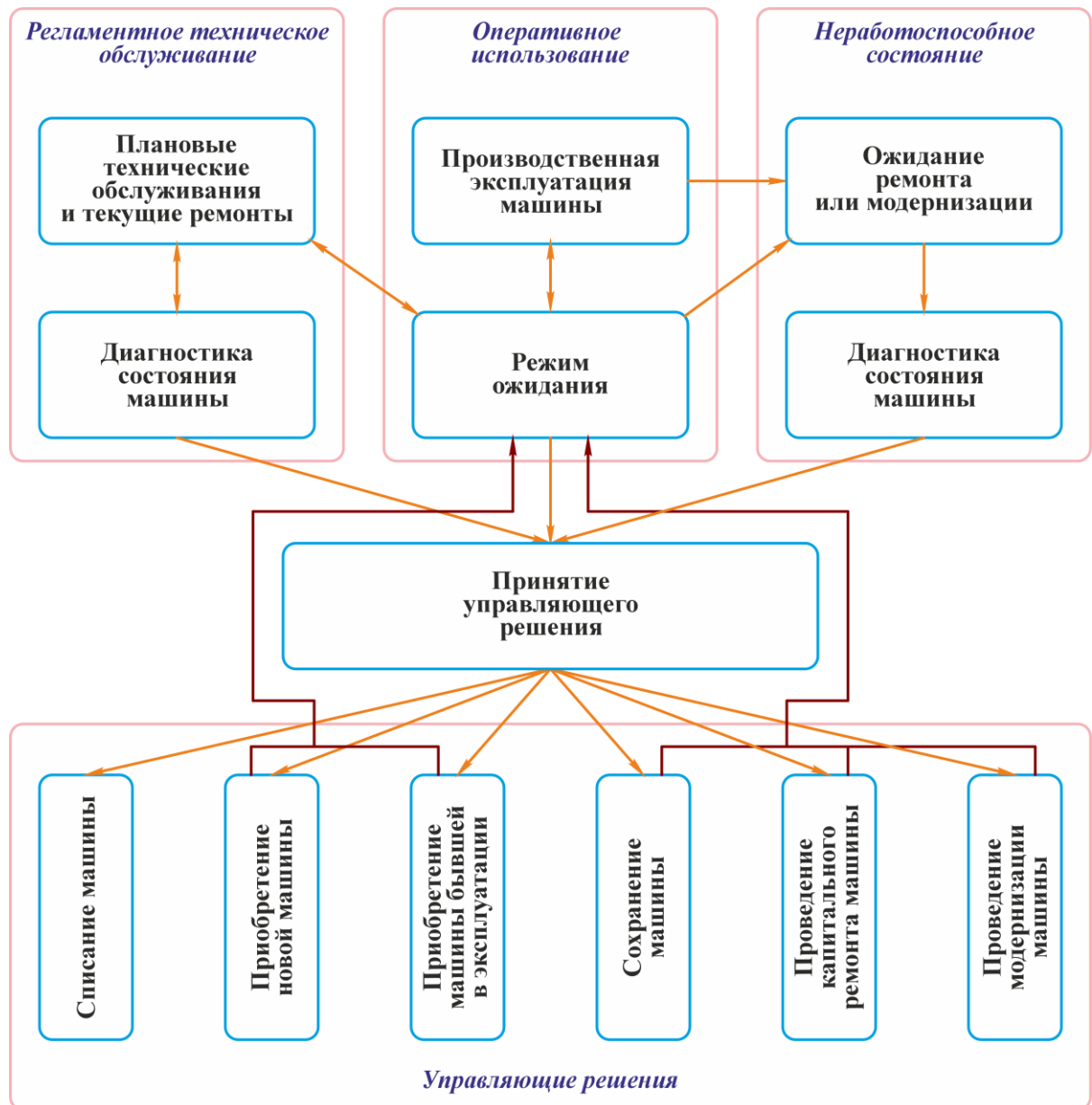


Рисунок 2.26 – Схема состояний машин для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем в течение срока службы

В качестве критерия оптимальности в современных рыночных условиях целесообразно использовать минимум энергозатрат, так как этот показатель отличается наибольшей стабильностью. Тогда целевая функция математической модели принимает следующий вид:

$$\mathcal{E}_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{\text{уд}ij} X_{ij} \rightarrow \min, \quad (2.75)$$

где $\mathcal{E}_{\text{сум}}$ – суммарные энергозатраты на производство работ, кВт·год/ед.изм. (размерность зависит от вида выполняемых работ, например для кусторезов –

кВт·год/м²; для землеройной техники – кВт·год/м³); $\mathcal{E}_{y\partial ij}$ – удельная энергоемкость работы i -ой машины на j -м производственном объекте, кВт·ч/ед.изм.; X_{ij} – продолжительность работы i -й машины на j -м объекте, ч.

Следует учитывать, что эксплуатационная производительность машин одной марки варьируется в зависимости от объекта, поскольку условия работы на разных объектах не являются идентичными. Для каждого объекта эксплуатационная производительность может быть рассчитана с использованием коэффициента местных условий, отражающего специфику производственной среды:

$$P_{\partial ij} = P_{mi} \cdot K_{\text{усл}j}, \quad (2.76)$$

где P_{mi} – техническая производительность i -й машины, ед.изм./ч; $K_{\text{усл}j}$ – коэффициент местных условий на j -м объекте (может иметь значения от 0 до 1).

Тогда, формула (2.75) запишется в следующем виде:

$$\mathcal{E}_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{N_{\partial i}}{P_{mi} \cdot K_{\text{усл}j}} \right) \cdot X_{ij} \rightarrow \min. \quad (2.77)$$

Условия оптимизации математической модели:

1) Условие соответствия типа машины характеру выполняемых работ на объекте.

Так, при сооружении каналов с большим поперечным сечением и значительными объемами работ рационально использовать скреперы либо экскаваторы непрерывного действия. Напротив, при малых объемах, например в ходе ремонта закрытой оросительной сети, предпочтение отдается одноковшовым экскаваторам.

В математической форме данное условие выражается следующим образом:

$$m_i \leq a_{ij}, \quad a_{ij} \in \{0, 1\}, \quad (2.78)$$

где $a_{ij} = 1$ при соответствии машины i виду работ на объекте j .

При практической реализации решения задачи оптимизации распределения данное условие учитывается следующим образом: в случае несоответствия маши-

ны виду работ соответствующая позиция X_{ij} исключается из рассмотрения путем введения ограничения $X_{ij} = 0$.

2) Качественное выполнение работ на объекте.

Данное условие необходимо вследствие того, что в современном мелиоративном производстве особое внимание уделяется качеству выполняемых работ, поэтому все применяемые машины должны отвечать качественным требованиям, указанным в нормативных документах.

Качество работы любой машины можно оценить, применив коэффициент качества:

$$K_{\kappa} = \kappa_{\phi} / \kappa_{\partial}, \quad (2.79)$$

$$K'_{\kappa} = \kappa_{\partial} / \kappa_{\phi}, \quad (2.80)$$

где K_{κ} – коэффициент качества (для показателя требующего уменьшения); κ_{ϕ} – фактический показатель качества; κ_{∂} – допустимый показатель качества; K'_{κ} – коэффициент качества (для показателя требующего увеличения).

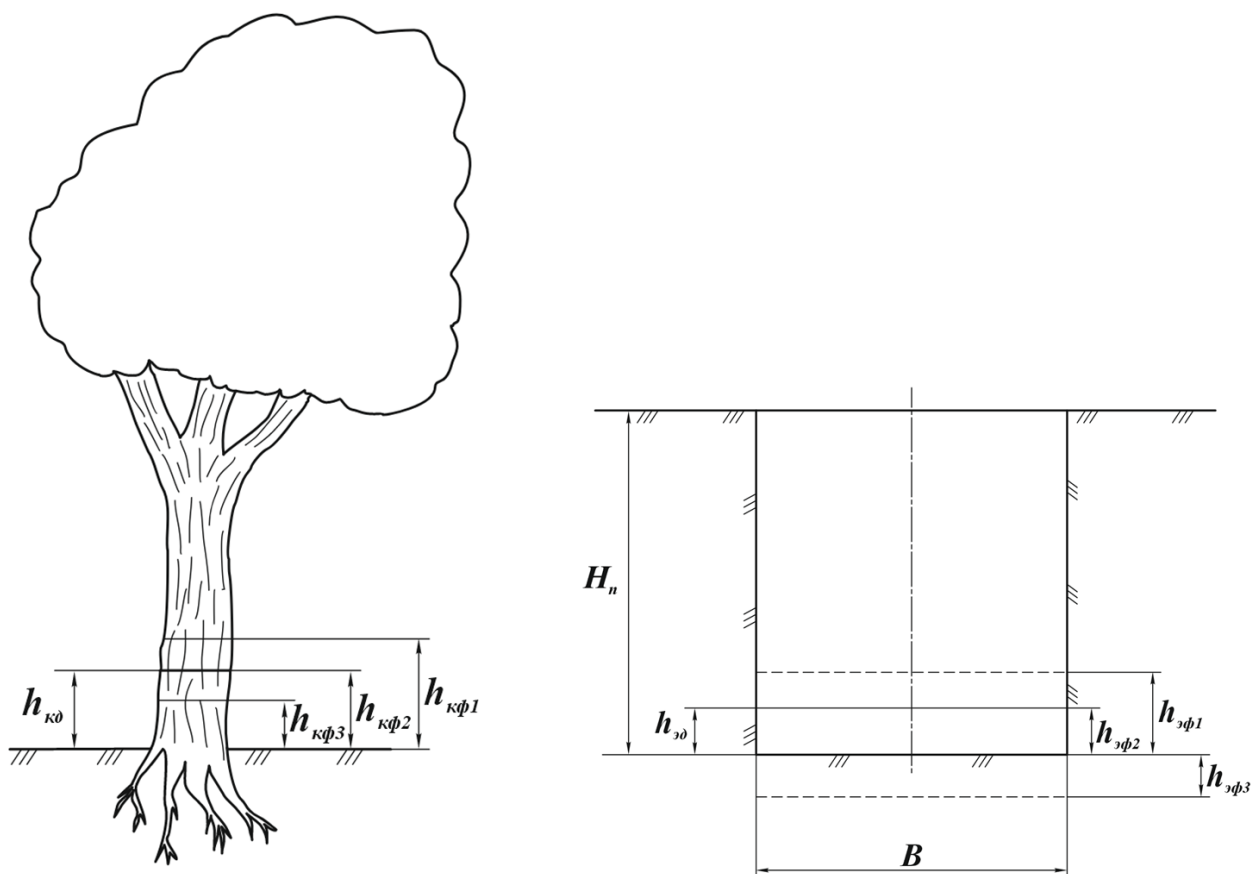
Согласно формулам (2.79, 2.80) качественной работе будут соответствовать коэффициенты качества со значениями близкими к нулю.

Применительно к работе кусторезов, показателем качества выполнения операции служит высота оставшихся пней после среза кустарника (рисунок 2.27).

Выбор минимальной высоты среза обоснован необходимостью обеспечения беспрепятственной работы машин, предназначенных для сбора срезанного кустарника. Высота пней не должна превышать 5–6 см [143]. Тогда с учетом формулы 2.79 и рисунка 2.27 коэффициент качества работ по срезанию кустарника ($K_{\kappa\kappa}$) можно определить по формуле:

$$K_{\kappa\kappa} = h_{\kappa\partial} / h_{\kappa\phi}, \quad (2.81)$$

где $h_{\kappa\partial}$ – допустимая высота срезания кустарника, мм; $h_{\kappa\phi}$ – фактическая высота срезания кустореза, мм.



$h_{кд}$ – допустимая высота срезания кустарника;
 $h_{кф1}, h_{кф2}, h_{кф3}$ – фактическая высота срезания кустореза;
 $h_{э0}$ – допустимые недоборы грунта в основании сооружения;
 $h_{эф1}, h_{эф2}, h_{эф3}$ – фактические недоборы (переборы) грунта

Рисунок 2.27 – Схема для определения коэффициента качества

Одним из основных параметров, контролируемых при проведении земляных работ, являются недоборы грунта в основании сооружений [25]. В нормативных документах приводятся значения допустимых недоборов, которым должны соответствовать фактические недоборы грунта при производстве работ каждой машиной. Для учета недоборов грунта следует ввести коэффициент качества земляных работ ($K_{кз}$). Согласно схеме сооружения, представленной на рисунке 2.27, этот коэффициент можно определить по формуле:

$$K_{кз} = h_{э0} / h_{эф} , \quad (2.82)$$

где $h_{э0}$ – допустимые недоборы грунта, см; $h_{эф}$ – фактические недоборы грунта, см.

Для работ по срезанию кустарника коэффициент качества $K_{\text{кк}}$ может принимать значения в интервале $(0, 1]$. Значение $K_{\text{кк}} = 0$ недопустимо, и означает, что срезание не произведено. Если $K_{\text{кк}} > 1$ это показывает, что работы не соответствуют качественным требованиям. Отрицательные значения коэффициента $K_{\text{кк}}$ недопустимы, поскольку в этом случае пила работает ниже уровня земли, что неизбежно приведет к ее поломке. Оптимальными считаются значения $K_{\text{кк}} \rightarrow 1$.

Аналогично для земляных работ коэффициент качества $K_{\text{кз}}$ может находиться в интервале $(0, 1]$ и оптимальные значения соответствуют $K_{\text{кз}} \rightarrow 1$.

Условие качества при оптимизации распределения машин по производственным объектам можно записать следующими формулами:

– для кусторезов:

$$0 < K_{\text{кк}ij} \leq 1, K_{\text{кк}ij} \rightarrow 1; \quad (2.83)$$

– для землеройных машин:

$$0 < K_{\text{кз}ij} \leq 1, K_{\text{кз}ij} \rightarrow 1. \quad (2.84)$$

3) Объем работ должен быть выполнен полностью:

$$V_j = \sum_{i=1}^m (P_{\text{э}ij} \cdot K_{\text{усл}ij}) \cdot X_{ij}; \quad (2.85)$$

где V_j – планируемый объем работ на объекте j , ед.изм.; $P_{\text{э}ij}$ – эксплуатационная производительность машины i на объекте j , ед.изм./ч; X_{ij} – продолжительность работы машины i на объекте j , ч; m, n – соответственно количество машин и объектов.

4) Планируемый объем работ на производственных объектах должен быть выполнен в установленные сроки, с учетом располагаемого фонда рабочего времени машин. Данное условие выражается следующим образом:

$$\Phi_i \geq \sum_{j=1}^n X_{ij}, \quad (2.86)$$

где Φ_i – фонд рабочего времени машины i , ч.

5) Учитывая значительную удаленность мелиоративных объектов друг от друга, частое перемещение техники между ними нецелесообразно. Опираясь на практический опыт планирования распределения машин, рациональным считается вариант, при котором техника задействована на одном объекте не менее 5 % от своего планового фонда рабочего времени. Это позволяет избежать излишне частых перебазировок. Данное ограничение можно записать в следующем виде:

$$X_{ij} \geq 0,05 \cdot \Phi_i . \quad (2.87)$$

6) Продолжительность работы машины не может принимать отрицательные значения. Данное условие выражается следующим ограничением:

$$X_{ij} \geq 0 . \quad (2.88)$$

С учетом перечисленных ограничений оптимизационная математическая модель оперативного распределения парка машин по производственным объектам принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{сум}} &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{N_{\text{дв}i}}{\Pi_{mi} \cdot K_{\text{усл}j}} \right) \cdot X_{ij} \rightarrow \min \\ &\left\{ \begin{aligned} V_j &= \sum_{i=1}^m (\Pi_{mi} \cdot K_{\text{усл}j}) \cdot X_{ij}; j = 1, 2, \dots, n \\ \Phi_i &\geq \sum_{j=1}^n X_{ij}; i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \right. ; \quad (2.89) \end{aligned}$$

$$m_i \leq a_{ij}, a_{ij} \in \{0, 1\}; 0 < K_{\text{к}ij} \leq 1, K_{\text{к}ij} \rightarrow 1; X_{ij} \geq 0,05 \cdot \Phi_i ;$$

$$X_{ij} \geq 0; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n,$$

где $K_{\text{к}ij}$ – коэффициент качества работы машины i на объекте j .

Распределение техники согласно оптимальному производственному плану, сформированному на основе разработанной математической модели, обеспечит качественное, своевременное и полное выполнение годовой производственной программы при минимальных энергозатратах.

2.2.5 Оптимизационная модель компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия

Эффективное орошение сельскохозяйственных культур дождевальными машинами возможно только при условии правильного подбора их параметров в соответствии с особенностями орошаемого поля. Данная проблема решается оптимизацией водопроводящего трубопровода. Водопроводящий пояс дождевальной машины содержит основной трубопровод и консоль, которая дополнительно может быть установлена в конце машины. Основной водопроводящий трубопровод машины состоит из последовательно шарнирно соединенных пролетов, перемещаемых вокруг неподвижной опоры с помощью самоходных тележек. Ферменные пролеты дождевальных машин могут иметь различную длину. Как правило, у каждого производителя дождевальных машин под конкретный диаметр трубопровода существует несколько типоразмеров пролетов по длине. При этом наибольшую длину могут иметь пролеты с трубопроводом, выполненным из труб Ø168 мм или Ø159 мм. Так длина пролета, снабженного трубопроводом Ø168 мм, может составлять до 72,15 м, а максимальная длина пролета, оснащенного трубопроводом Ø159 мм, может достигать 77 м. Возможность использования в составе машины пролетов той или иной длины определяется рельефом и уклонами поля, а также несущей способностью почвы на орошаемом участке [152, 235, 277].

Для подбора оптимальной длины дождевальной машины под размер орошаемого участка, а также с целью увеличения площади орошения, на крайнем пролете машины дополнительно может быть смонтирован консольный трубопровод. Длина консоли в зависимости от производителя дождевальной машины может составлять от 3 до 32 м. Кроме того, в конце водопроводящего пояса дождевальной машины может быть установлен концевой аппарат или концевой дождеватель, или же в конце трубопровода размещают крайнюю дождевальную насадку. Необходимо отметить, что в зависимости от геометрии орошаемого участка дождевальная машина не всегда может быть оснащена консольным трубопроводом.

В большинстве случаев водопроводящий трубопровод машины выполнен из стальных тонкостенных оцинкованных труб, соединенных между собой посредством фланцев.

Для трубопроводов дождевальных машин используются следующие диаметры труб (мм): Ø114,3; Ø127; Ø133; Ø141,3; Ø152,4; Ø159; Ø168; Ø177,8; Ø193; Ø203; Ø219; Ø245; Ø254.

Толщина стенок водопроводящих труб в зависимости от производителя варьируется от 2,5 до 3,2 мм.

В конце дождевальной машины объем транспортируемой для полива воды снижается и с целью уменьшения ее массы и металлоемкости основной водопроводящий трубопровод выполняют с переменным рабочим сечением. В большинстве случаев, основной трубопровод машины состоит из двух участков, отличающихся диаметром водопроводящих труб. Первый участок, расположенный в начале машины, выполнен из труб с большим рабочим сечением.

В круговых дождевальных машинах, служащих для орошения полей большой площади, первый участок основного трубопровода машины изготавливается из труб Ø193 мм, Ø203 мм, Ø219 мм, Ø245 мм или Ø254 мм, при этом ферменные пролеты, оснащенные такими трубами, более короткие и тяжелые. В свою очередь, увеличение числа таких пролетов в составе дождевальной машины приводит к росту ее массы и металлоемкости, а также увеличивает число самоходных тележек, повышает энергозатраты на перемещение машины по полю и приводит к большему отчуждению орошаемой площади под колею.

Таким образом, актуальной задачей является определение минимальной длины первого участка водопроводящего трубопровода дождевальной машины.

При определении длины второго участка основного трубопровода, также необходимо стремиться к уменьшению массы машины. Для достижения данной цели длину второго участка трубопровода необходимо подбирать таким образом, чтобы в конце машины можно было установить консольный трубопровод как можно большей длины.

При определении длин участков основного трубопровода дождевальной машины необходимо учитывать интенсивность, с которой машина осуществляет полив. В зависимости от почвенно-климатических характеристик орошаемых участков, таких как водопроницаемость почвы, потери воды на испарения и снос ветром, дождевальные машины обеспечивают разную интенсивность полива. Показателями интенсивности полива являются гидромодуль подачи или выдаваемый

среднесуточный слой осадков (выдаваемая среднесуточная норма полива, мм/сут). При этом, чем выше интенсивность полива, тем меньшую максимальную площадь орошения и соответственно меньший предельный радиус полива может обеспечить дождевальная машина при одном и том же рабочем сечении ее водопроводящего трубопровода.

Необходимо отметить, что для трубопроводов низконапорных дождевальных машин рекомендуемая средняя скорость потока воды составляет $v \leq 3,5$ м/с.

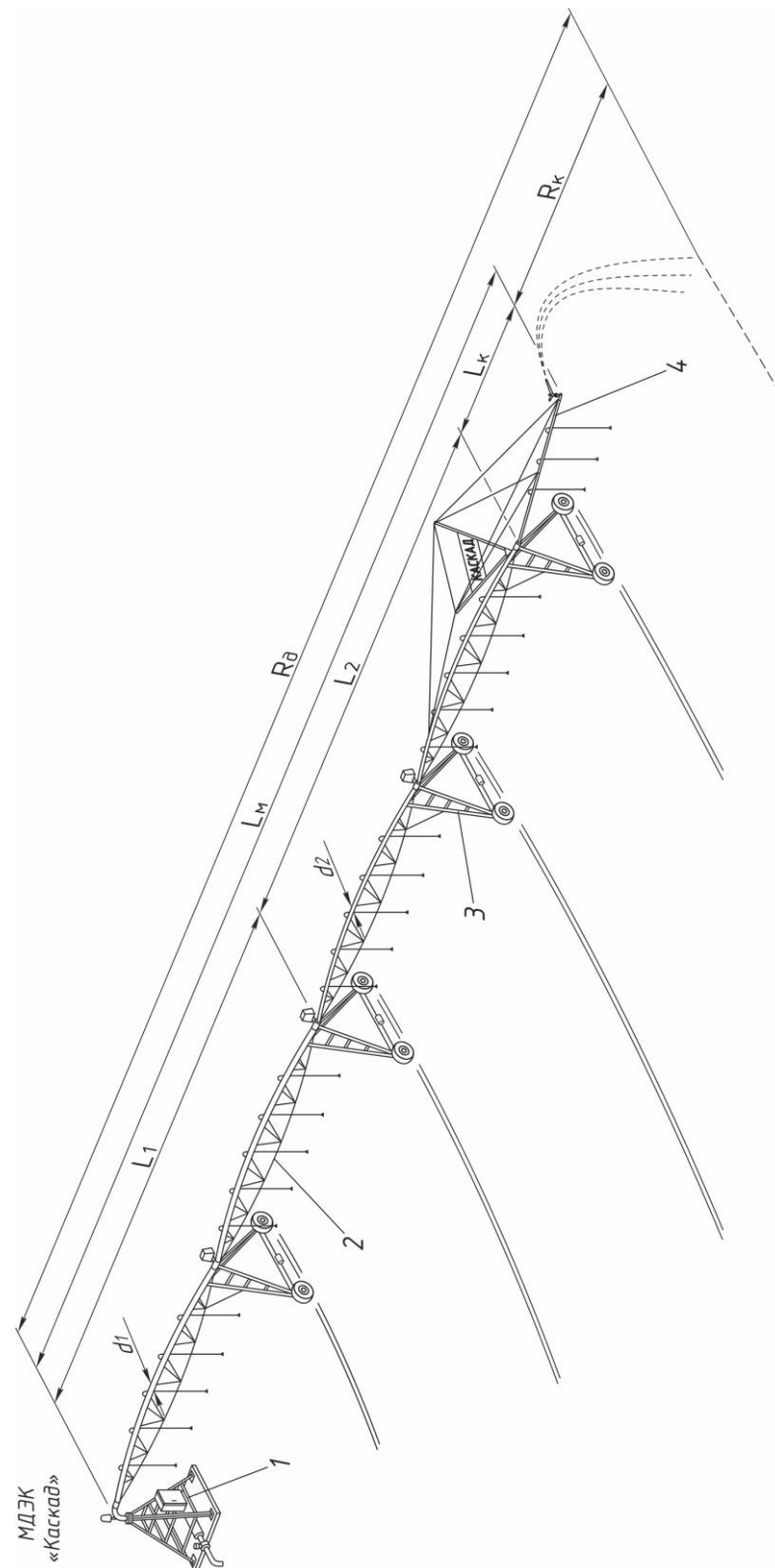
В трубопроводах круглого сечения скорость воды по центру трубы будет принимать наибольшие значения, а у стенок она будет практически равна нулю, поэтому для водопроводящих трубопроводов принято определять именно среднюю скорость движения воды.

Зарубежные производители определяют максимальную пропускную способность трубопроводов низконапорных дождевальных машин при скорости потока воды 3,5 м/с.

Превышение рекомендуемой средней скорости потока ведет к резкому возрастанию гидравлического сопротивления и к значительным энергетическим потерям, в этом случае даже незначительное приращение машины по длине или по радиусу полива потребует существенного увеличения давления на входе в машину. Причем с практической точки зрения высокое давление на входе в машину оправдано, только лишь в целях компенсации напора при наличии перепадов высот на орошаемом участке.

Задачей оптимизации водопроводящего трубопровода дождевальных машин кругового действия является разработка способа определения длин участков трубопровода, позволяющего с учетом интенсивности полива и длин пролетов, применяемых в машине, минимизировать длину участков данного трубопровода, что, в свою очередь, позволит снизить массу и металлоемкость машины, уменьшить энергозатраты на ее перемещение и сократить число самоходных тележек.

Низконапорная дождевальная машина кругового действия представляет собой перемещаемый вокруг неподвижной опоры 1 водопроводящий трубопровод, состоящий из последовательно шарнирно соединенных между собой пролетов 2, каждый из которых снабжен самоходной тележкой 3 (рисунок 2.28) [233, 234, 236, 241, 253].



1 – неподвижная опора; 2 – пролет; 3 – самоходная тележка; 4 – консольный трубопровод
 R_0 – радиус полива дождевальной машины, м; L_m – длина дождевальной машины кругового действия, м; L_1 – длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины, м; L_2 – длина второго участка основного водопроводящего трубопровода машины, м; L_k – длина консольного трубопровода, м; R_k – радиус действия концевой аппаратуры или концевой дождевателя или крайней дождевальной насадки, м

Рисунок 2.28 – Схема для определения длин участков водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия

На крайнем пролете 2 дождевальной машины дополнительно монтируется консольный трубопровод 4. Также в конце трубопровода машины может быть установлен концевой аппарат или концевой дождеватель или же в конце трубопровода размещают крайнюю дождевальную насадку [148, 149].

Водопроводящий пояс машины включает основной трубопровод, состоящий из пролетов 2, и консольный трубопровод 4.

В конце дождевальной машины объем транспортируемой для полива воды снижается и с целью уменьшения ее массы и металлоемкости основной водопроводящий трубопровод выполняют из двух участков, отличающихся диаметром водопроводящих труб, причем первый участок, расположенный в начале машины, выполнен из труб с большим рабочим сечением.

Длина дождевальной машины кругового действия принимается равной длине ее водопроводящего пояса и определяется по формуле:

$$L_m = L_o + L_k, \quad (2.90)$$

где L_m – длина дождевальной машины кругового действия, м; L_o – длина основного водопроводящего трубопровода машины, м; L_k – длина консольного трубопровода, м.

При отсутствии у дождевальной машины консоли $L_k = 0$.

Длина основного водопроводящего трубопровода машины, имеющего переменное рабочее сечение и состоящего из двух участков, отличающихся диаметром водопроводящих труб, равна:

$$L_o = L_1 + L_2, \quad (2.91)$$

где L_1 – длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины, м; L_2 – длина второго участка основного водопроводящего трубопровода машины, м.

Таким образом, на основании выражений (2.90) и (2.91) длина круговой машины, имеющей основной водопроводящий трубопровод, состоящий из двух участков, равна:

$$L_m = L_1 + L_2 + L_k. \quad (2.92)$$

Радиус полива дождевальной машины определяется следующим образом:

$$R_o = L_m + R_k = L_1 + L_2 + L_k + R_k, \quad (2.93)$$

где R_o – радиус полива дождевальной машины, м; R_k – радиус действия концевой аппаратуры или концевой дождевателя или крайней дождевальной насадки, м.

Площадь орошения круговой дождевальной машиной составит:

$$S_o = \frac{R_o^2 \cdot \pi}{10000}, \quad (2.94)$$

где S_o – площадь орошения круговой дождевальной машиной, га; π – число Пи.

С учетом величины гидромодуля подачи, расход воды дождевальной машиной кругового действия можно определить по формуле:

$$Q_m = S_o q = \frac{R_o^2 \cdot \pi \cdot q}{10000}, \quad (2.95)$$

где Q_m – расход воды дождевальной машиной кругового действия, л/с; q – гидромодуль подачи, л/(с·га).

Определим максимальную пропускную способность второго участка основного трубопровода машины, которая достигается при максимально рекомендуемом значении средней скорости движения воды:

$$Q_{2\max} = S_{d_2} v_{\max} \cdot 1000, \quad (2.96)$$

где $Q_{2\max}$ – максимальная пропускная способность второго участка основного водопроводящего трубопровода машины, л/с; S_{d_2} – площадь рабочего сечения второго участка основного водопроводящего трубопровода машины, м²; $v_{\max}$ – максимальное значение средней скорости движения воды, рекомендуемое для трубопроводов низконапорных дождевальных машин, м/с ($v_{\max} = 3,5$ м/с).

Площадь рабочего сечения второго участка основного водопроводящего трубопровода машины рассчитывается по формуле:

$$S_{d_2} = \left(\frac{d_2 - 2t_2}{2} \right)^2 \pi, \quad (2.97)$$

где d_2 – внешний диаметр труб второго участка основного водопроводящего трубопровода машины, м; t_2 – толщина стенки труб второго участка основного водопроводящего трубопровода машины, м.

Подставив выражение (2.97) в формулу (2.96), получим:

$$Q_{2\max} = \left(\frac{d_2 - 2t_2}{2} \right)^2 \pi v_{\max} \cdot 1000. \quad (2.98)$$

Существенное снижение массы и металлоемкости машины можно обеспечить за счет минимизации длины первого участка основного водопроводящего трубопровода машины.

При минимально возможной длине первого участка основного водопроводящего трубопровода машины на его втором участке не должно происходить превышение максимального значения средней скорости движения воды, рекомендуемого для трубопроводов низконапорных дождевальных машин. При этом, чем короче первый участок трубопровода, тем меньше расход воды, отбираемый из него для осуществления полива.

Минимальный расход воды, отбираемый для полива из первого участка основного трубопровода, при его минимально возможной длине, составит:

$$Q_{1\min} = Q_m - Q_{2\max}, \quad (2.99)$$

где $Q_{1\min}$ – минимальный расход воды, отбираемый для полива из первого участка основного трубопровода, при его минимально возможной длине, л/с.

В процессе полива первым участком основного водопроводящего трубопровода машины орошается та часть поля, над которой происходит перемещение указанного участка трубопровода. Соответственно, чем меньше длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины, тем меньшая площадь будет им орошаться.

При минимально возможной длине первого участка основного водопроводящего трубопровода машины, данным участком трубопровода будет орошаться наименьшая площадь, которую можно определить по формуле:

$$S_{1\min} = \frac{L_{1\min}^2 \cdot \pi}{10000}, \quad (2.100)$$

$S_{1\min}$ – минимальная площадь, орошаемая первым участком основного водопроводящего трубопровода машины, га; $L_{1\min}$ – минимальная длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины, м.

С учетом величины гидромодуля подачи, минимальный расход воды, отбираемый для полива из первого участка основного трубопровода машины, можно определить следующим образом:

$$Q_{1\min} = S_{1\min} \cdot q. \quad (2.101)$$

Подставив выражение (2.100) в формулу (2.101), получим:

$$Q_{1\min} = \frac{L_{1\min}^2 \cdot \pi \cdot q}{10000}, \quad (2.102)$$

далее, используя формулы (2.99) и (2.102) можно записать следующее равенство:

$$\frac{L_{1\min}^2 \cdot \pi \cdot q}{10000} = Q_{\text{м}} - Q_{2\max}, \quad (2.103)$$

откуда можно определить минимальную длину первого участка основного водопроводящего трубопровода дождевальной машины:

$$L_{1\min} = \sqrt{\frac{(Q_{\text{м}} - Q_{2\max}) \cdot 10000}{\pi \cdot q}}, \quad (2.104)$$

затем подставив в формулу (2.104) выражения (2.95) и (2.98) получим:

$$L_{1\min} = \sqrt{\frac{\left(\frac{R_{\text{д}}^2 \cdot \pi \cdot q}{10000} - \left(\frac{d_2 - 2 \cdot t_2}{2} \right)^2 \pi \cdot v_{\max} \cdot 1000 \right)}{\pi q}} \cdot 10000, \quad (2.105)$$

после преобразования выражения (2.105), формула для определения минимальной длины первого участка основного водопроводящего трубопровода дождевальной машины, примет следующий вид:

$$L_{1\min} = \sqrt{\frac{R_{\text{д}}^2 \cdot q - \left(\frac{d_2 - 2 \cdot t_2}{2} \right)^2 \cdot v_{\max} \cdot 10^7}{q}}. \quad (2.106)$$

Однако формула (2.106) справедлива только при выполнении двух следующих условий.

Во-первых, максимальная пропускная способность первого участка основного водопроводящего трубопровода машины должна быть больше или равна расходу воды дождевальной машины:

$$Q_{1\max} \geq Q_{\text{м}}, \quad (2.107)$$

где $Q_{1\max}$ – максимальная пропускная способность первого участка основного водопроводящего трубопровода машины (при $v_{\max} = 3,5$ м/с), л/с.

Определим максимальную пропускную способность первого участка основного водопроводящего трубопровода машины:

$$Q_{1\max} = S_{d_1} \cdot v_{\max} \cdot 1000, \quad (2.108)$$

где S_{d_1} – площадь рабочего сечения первого участка основного водопроводящего трубопровода машины, м².

Площадь рабочего сечения первого участка основного водопроводящего трубопровода машины определим по формуле:

$$S_{d_1} = \left(\frac{d_1 - 2 \cdot t_1}{2} \right)^2 \cdot \pi, \quad (2.109)$$

где d_1 – внешний диаметр труб первого участка основного водопроводящего трубопровода машины, м; t_1 – толщина стенки труб первого участка основного водопроводящего трубопровода машины, м.

Подставив выражение (2.109) в формулу (2.108), получим:

$$Q_{1\max} = \left(\frac{d_1 - 2 \cdot t_1}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot v_{\max} \cdot 1000, \quad (2.110)$$

далее подставив в нестрогое неравенство (2.107) выражения (2.110) и (2.95) получим:

$$\left(\frac{d_1 - 2 \cdot t_1}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot v_{\max} \cdot 1000 \geq \frac{R_o^2 \cdot \pi \cdot q}{10000}, \quad (2.111)$$

после преобразования неравенства (2.111) первое условие, обеспечивающее справедливость формулы (2.106), примет следующий вид:

$$\left(\frac{d_1 - 2 \cdot t_1}{2} \right)^2 \cdot v_{\max} \cdot 10^7 \geq R_o^2 \cdot q. \quad (2.112)$$

Во-вторых, рабочее сечение первого участка основного водопроводящего трубопровода машины должно быть больше, чем рабочее сечение второго участка данного трубопровода. Данное условие можно записать в следующем виде:

$$d_1 - 2t_1 > d_2 - 2t_2. \quad (2.113)$$

Таким образом, при использовании уравнения (2.106), необходимо задаваться внешним диаметром и толщиной стенок труб для первого и второго участка водопроводящего трубопровода машины, соблюдая при этом выполнения условий, заданных в виде системы неравенств:

$$\begin{cases} \left(\frac{d_1 - 2 \cdot t_1}{2} \right)^2 \cdot v_{\max} \cdot 10^7 \geq R_o^2 \cdot q; \\ d_1 - 2 \cdot t_1 > d_2 - 2 \cdot t_2 \end{cases} \quad (2.114)$$

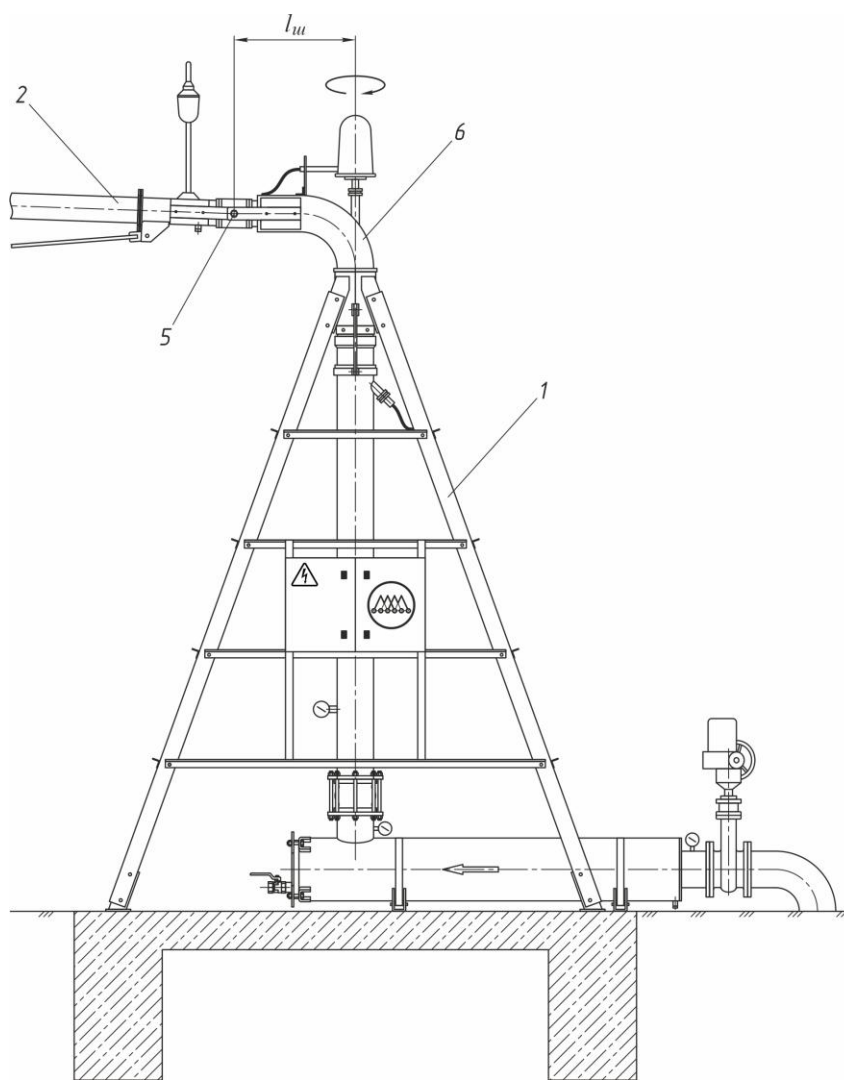
Однако необходимо учитывать, что основной водопроводящий трубопровод машины, как и его участки, состоит из последовательно шарнирно соединенных пролетов, которые, при одном и том же диаметре трубопровода, могут иметь несколько вариантов исполнения по длине. Причем в состав одной машины могут входить пролеты разных длин, оснащенных одним и тем же диаметром трубопровода. Таким образом, фактическую длину первого участка основного водопроводящего трубопровода машины необходимо корректировать с учетом длин пролетов, трубопровод которых может быть выполнен из водопроводящих труб, имеющих внешний диаметр d_1 и толщину стенки t_1 .

В водопроводящем трубопроводе при переходе с трубы, имеющей большее рабочее сечение, на трубу с меньшим рабочим сечением происходит увеличение скорости потока воды. При этом для того, чтобы в начале второго участка основного трубопровода машины не происходило превышения скорости потока $v_{\max}$ фактическая длина первого участка основного водопроводящего трубопровода должна быть больше или равна минимально возможной длине данного участка, определенной по формуле (2.106).

Также, учитывая существенную массу самоходной тележки, оснащенной всеми элементами привода, при определении фактической длины первого участка основного водопроводящего трубопровода машины, приоритет следует отдавать вариантам с минимальным числом пролетов, так как число пролетов соответствует числу самоходных тележек. Кроме того, сокращение числа самоходных тележек, позволит снизить энергозатраты на перемещение машины и уменьшит коэффициент потерь орошаемых земель под колею.

При этом наиболее оптимальное решение будет достигаться, когда при минимальном количестве пролетов, фактическая длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины будет максимально приближена к минимальной длине данного участка, рассчитанной по формуле (2.106).

При определении фактической длины первого участка основного водопроводящего трубопровода машины, также необходимо учитывать расстояние между центром вращения дождевальной машины и центром шарнирного соединения 5 первого пролета 2 с поворотным коленом 6 неподвижной опоры 1 (рисунок 2.29) [278].



1 – неподвижная опора; 2 – первый пролет; 5 – шарнирное соединение;
6 – поворотное колено

l_m – расстояние между центром вращения дождевальной машины и центром шарнирного соединения первого пролета с поворотным коленом неподвижной опоры, м

Рисунок 2.29 – Схема шарнирного соединения первого пролета машины с поворотным коленом неподвижной опоры

Для определения фактической длины первого участка основного водопроводящего трубопровода предлагается следующая математическая модель:

$$\begin{cases} L_1 = l_{uu} + \sum_{i=1}^n l_i \geq L_{1\min} > l_{uu} + \sum_{i=1}^{n-1} l_i; \\ i = 1, 2, \dots, n; \\ n \rightarrow \min; \\ L_1 \rightarrow \min. \end{cases}, \quad (2.115)$$

где L_1 – фактическая длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины, м; n – число пролетов, из которых состоит первый участок основного водопроводящего трубопровода машины, шт.; i – порядковый номер пролета, оснащенного трубопроводом, выполненным из водопроводящих труб с внешним диаметром d_1 и толщиной стенки t_1 ; l_i – длина i -го пролета, м; l_{uu} – расстояние между центром вращения дождевальной машины и центром шарнирного соединения первого пролета с поворотным коленом неподвижной опоры, м.

Далее производится подбор длины второго участка основного водопроводящего трубопровода машины с учетом длин пролетов, оснащаемых трубопроводом, выполненным из труб с внешним диаметром d_2 и толщиной стенки t_2 . При этом подбор длины второго участка основного водопроводящего трубопровода машины осуществляется таким образом, чтобы в конце машины можно было установить консоль как можно большей длины, выполняя при этом следующее равенство:

$$L_2 = \sum_{j=1}^m l_j = R_\partial - L_l - L_k - R_k \pm 0,5, \quad (2.116)$$

где m – число пролетов, из которых состоит второй участок основного водопроводящего трубопровода машины, шт.; j – порядковый номер пролета, оснащенного трубопроводом, выполненным из водопроводящих труб с внешним диаметром d_2 и толщиной стенки t_2 ; l_j – длина j -го пролета, м; L_k – длина консольного трубопровода, м; R_k – радиус действия концевой аппаратуры или концевой дождевателя или крайней дождевальной насадки, м; $\pm 0,5$ – допустимая погрешность,

связанная с подбором радиуса действия концевой аппаратуры или концевой дождевателя или крайней дождевальной насадки, м.

Концевые аппараты, дождеватели и дождевальные насадки рассчитаны на работу при разном давлении и оснащаются сменными соплами, которые могут иметь разную площадь сечения выходного отверстия. Радиус действия концевой аппаратуры или дождевателя невозможно регулировать плавно, его регулируют ступенчато, изменяя рабочее давление и устанавливая сопла с разным диаметром выходного отверстия. Кроме того, на радиус действия концевой аппаратуры или дождевателя влияет высота установки и воздействие ветра. Таким образом, выбор радиуса действия концевой аппаратуры или концевой дождевателя или крайней дождевальной насадки необходимо осуществлять с учетом допустимой погрешности $\pm 0,5$ м.

Установка в конце машины консоли как можно большей длины, также способствует снижению массы и металлоемкости дождевальной машины.

После того как определены длины участков основного водопроводящего трубопровода и установлены параметры консоли и концевой аппаратуры или дождевателя, или же крайней дождевальной насадки, производится гидравлический расчет трубопровода и определяется необходимое давление на входе в машину.

В случае, когда наиболее приоритетной задачей является снижение давления на входе в машину необходимо выполнение следующего условия:

$$L_1 \gg L_{1\min}. \quad (2.117)$$

Предлагаемый способ позволяет определить и минимизировать длину первого и второго участка основного водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия, учитывая при этом интенсивность полива и длину применяемых в машине пролетов. Что в свою очередь снижает массу и металлоемкость машины, уменьшает энергозатраты на ее перемещение и сокращает число самоходных тележек. Таким образом, предлагаемое решение позволяет достичь наиболее оптимальной компоновки водопроводящего трубопровода машины.

2.3 Выводы по главе

1. Разработаны научно обоснованные ресурсосберегающие технологии эксплуатации, ремонта и реконструкции каналов и напорных трубопроводов оросительных систем полива дождеванием, позволяющие рационально утилизировать срезанную кустарниковую растительность путем переработки в щепу, вместо экологически опасного сжигания.

2. Разработана новая технология эксплуатации дождевальных машин кругового действия с определением оптимального местоположения монтажной площадки, позволяющие сократить суммарные энергозатраты на транспортные работы.

3. Разработана оптимизационная математическая модель интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией, работающей на сеть закрытых напорных трубопроводов с широкозахватными дождевальными машинами кругового действия, минимизирующая энергопотребление за счет ликвидации потерь на дросселирование и работы насосов в неоптимальных режимах.

4. Теоретически обоснованы оптимизационные математические модели формирования, обновления и оперативного распределения парка машин для эксплуатационно-ремонтных работ на транспортирующей сети оросительных систем полива дождеванием, позволяющие сократить энергозатраты на ключевых этапах жизненного цикла технологических комплексов.

5. Разработана оптимизационная математическая модель компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия, адаптированная к конфигурации орошаемого поля, направленная на снижение массы машины и сокращение энергозатрат при ее эксплуатации.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа исследований

Цель и задачи диссертационного исследования требуют эмпирической верификации теоретических выводов. Поскольку объектом исследования являются реальные производственно-технологические процессы, их валидное изучение возможно только в условиях естественной эксплуатации. В связи с этим методом экспериментальной проверки были избраны не лабораторные эксперименты, а натурные производственные испытания, проведенные на действующих объектах. Данный подход позволил получить данные, репрезентативные для условий практического применения разработанных решений.

Программа экспериментальных исследований включала два взаимосвязанных блока: натурные (полевые и производственные) исследования и комплекс компьютерного имитационного моделирования. Конкретный перечень решаемых задач представлен ниже:

1. Полевые исследования зарастания и заиления каналов оросительных систем.
2. Производственные испытания ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции каналов и напорных трубопроводов оросительных систем полива дождеванием.
3. Производственные испытания технологии эксплуатации дождевальных машин кругового действия с определением оптимального местоположения монтажной площадки.
4. Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией, работающей на сеть закрытых напорных трубопроводов с широкозахватными дождевальными машинами кругового действия.
5. Экспериментальная апробация оптимизационных математических моделей формирования, обновления и оперативного распределения парка машин для

эксплуатационно-ремонтных работ на транспортирующей сети оросительных систем полива дождеванием.

6. Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия, адаптированной к конфигурации орошаемого поля.

3.2 Методика исследований

3.2.1 Полевые исследования зарастания и заиления каналов оросительных систем

3.2.1.1 Полевые исследования зарастания оросительных каналов кустарником

Полевые обследования оросительных каналов с целью оценки степени их зарастания кустарниковой растительностью и заиления наносами выполнялись в 2018, 2021 и 2024 гг. на объектах ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз».

Для изучения процессов зарастания каналов кустарником было заложено 25 учетных участков шириной 2 м от бровки бермы и протяженностью 50 м, расположенных в различных зонах действующих оросительных каналов (рисунок 3.1).

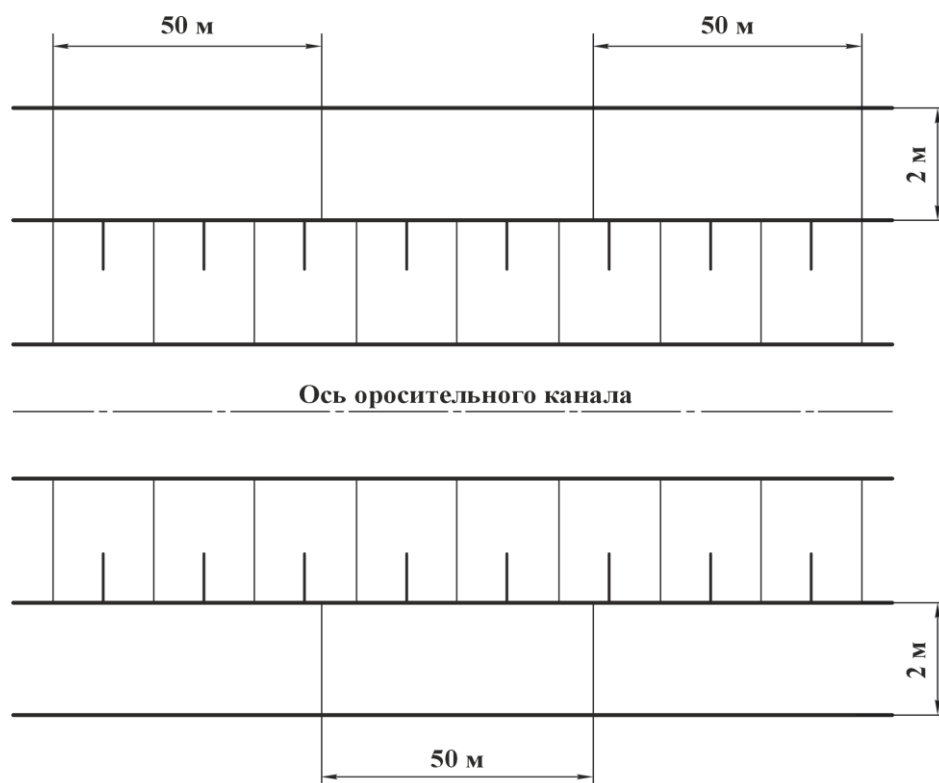


Рисунок 3.1 – Схема экспериментальных участков

В ходе полевых исследований устанавливался видовой состав кустарниковой растительности с последующим составлением гербария [132]. Также определялись численность, встречаемость и густота стояния кустарников [6, 279].

Численность $Z_{числ}$, шт./га, определялась по формуле:

$$Z_{числ} = \frac{Z_{встр}}{S_{общ}}, \quad (3.1)$$

где $Z_{встр}$ – общее количество учтенных стволов кустарника данного вида, шт.; $S_{общ}$ – общая учетная площадь, га.

Встречаемость $R_{встр}$, % рассчитывалась следующим образом:

$$R_{встр} = \frac{n_{уч}}{n_{общ}} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

где $n_{уч}$ – число учетных площадок, на которых отмечен данный вид кустарника, шт.; $n_{общ}$ – общее количество заложённых учетных площадок, шт.

Фиксировались только те экземпляры, корневая система которых находилась в пределах учетной площадки.

Густота стояния кустарника Γ_{ϕ} , шт./га рассчитывалась по формуле:

$$\Gamma_{\phi} = \frac{Z_{числ.пл}}{S_{общ}}, \quad (3.3)$$

где $Z_{числ.пл}$ – суммарное количество стволов на учетной площади, шт.

Высота стволов измерялась рулеткой после среза, мелкая поросль при этом не учитывалась (рисунок 3.2).

Диаметр ствола в основании (в плоскости среза) определялся штангенциркулем (рисунок 3.3).

Для расчета запаса древесины (объем древесины на 1 га) выполнялись замеры диаметра стволов кустарника на высоте 1,3 м от уровня земли.

Полученные данные о видовом составе, численности и густоте стояния кустарниковой растительности послужили основой для последующей оценки степени зарастания оросительных каналов и расчета объемов древесины, подлежащей утилизации.



Рисунок 3.2 – Определение высоты ствола кустарниковой растительности



Рисунок 3.3 – Определение диаметра ствола кустарниковой растительности

При выполнении укрупненных расчетов общих запасов древостоя на оросительных системах допускается использование усредненного видового числа, не зависящего от породного состава кустарниковой растительности. Согласно литературным источникам, его значение составляет 0,472 [103]. Применение данного числа позволяет упростить методику определения запаса древостоя без значительной потери точности. Табличные данные (таблицы 3.1, 3.2) для определения запаса, использованные в работе, основаны на применении данного усредненного

видового числа, что подтверждает их применимость для укрупненной оценки запасов смешанных кустарниковых зарослей.

Методика расчета запаса древостоя включает следующие этапы. На основе измеренных таксационных показателей – среднего диаметра стволов на высоте 1,3 м и средней высоты кустарниковой растительности, с использованием данных таблицы 3.1 осуществляется классификация насаждения по разряду древостоя. Далее, на основании установленного разряда с применением таблицы 3.2, производится определение запаса древостоя, округляемого до ближайшего целого значения в кубических метрах (с точностью до 1 м³).

Таблица 3.1 – Классификация древостоев по разрядам средней высоты

Средний диаметр древостоя на высоте 1,3 м, мм	Средняя высота древостоя по разрядам высоты, м				
	I	II	III	IV	V
20	5,5–4,5	4,5–3,5	3,5–2,5	2,5–1,5	1,5–1,0
30	6,0–5,0	5,0–4,0	4,0–3,0	3,0–2,0	2,0–1,5
40	7,0–5,5	5,5–4,5	4,5–3,5	3,5–2,5	2,5–2,0
50	8,0–6,5	6,5–5,5	5,5–4,5	4,5–3,5	3,5–2,5
60	9,0–7,5	7,5–6,0	6,0–5,0	5,0–4,0	4,0–3,0
70	10,0–8,5	8,5–6,5	6,5–5,5	5,5–4,5	4,5–3,5
80	11–9	9–7	7–6	6–5	5–4
90	12–10	10–8	8,0–6,5	6,5–5,5	5,5–4,5
100	13–11	11–9	9–7	7–6	6–5
120	15–12	12–10	10–8	8–7	7–6
140	17–14	14–11	11–9	9–8	8–7
160	19–15	15–13	13–11	11–9	9–8
180	21–17	17–14	14–12	12–10	10–9
200	22...18	18...15	15...13	13–11	11–9
220	24...19	19...16	16...14	14–12	12–10
240	25...21	21...18	18...15	15–13	13–11

Таблица 3.2 – Таксационные показатели запаса древесины по разрядам высот

Средний диаметр древостоя на высоте 1,3 м, мм	Объем 1000 стволов по разрядам высоты, м³				
	I	II	III	IV	V
20	1	1	1	—	—
30	2	2	2	—	—
40	5	4	4	3	—
50	8	7	6	5	5
60	12	11	9	8	7
70	18	16	14	12	11
80	25	22	19	17	15
90	35	29	25	22	19
100	47	40	34	29	26
120	75	63	53	46	42
140	116	96	79	70	63
160	170	140	120	100	91
180	230	190	160	140	120
200	300	250	220	190	160
220	390	320	280	240	210
240	490	420	360	310	270

3.2.1.2 Полевые исследования заиления оросительных каналов

Программой полевых исследований по оценке заиления оросительных каналов предусматривалось измерение толщины и площади поперечного сечения слоя донных отложений, а также определение пропускной способности каналов до и после проведения очистных работ.

Для выполнения полевых опытов было заложено 20 контрольных участков (створов) оросительных каналов протяженностью 50 м каждый, отличающихся различными характеристиками.

С целью измерения толщины слоя наносов на каждом контрольном участке канал разбивался на пять поперечных сечений, в которых производилась выемка грунта до поверхности облицовки. Контрольный створ разрабатывался перпендикулярно продольной оси канала (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Контрольный створ для измерения толщины слоя донных отложений

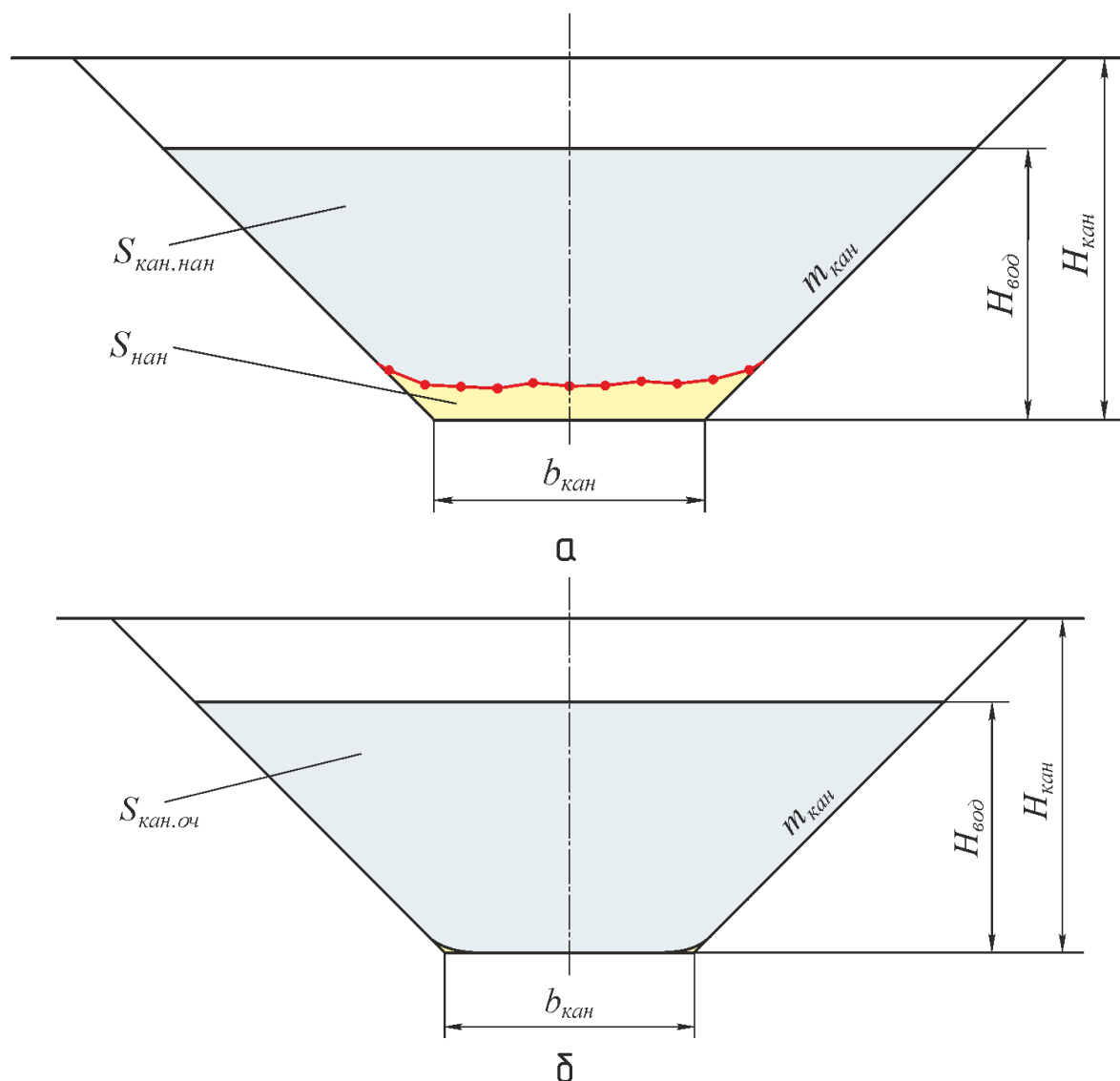
Толщина слоя наносов на каждом из обследуемых участков определялась как расстояние от облицованного дна канала до поверхности отложений (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Замер толщины отложений в русле канала

Измерения выполнялись рулеткой с шагом 0,2 м по ширине канала. Средняя толщина наносов в каждой точке по ширине вычислялась как среднеарифметическое значение выполненных замеров. На основе полученных данных в среде системы автоматизированного проектирования Компас-3D (ЗАО «Аскон») была построена масштабная расчетная схема для определения площади поперечного сечения слоя наносов (рисунок 3.6).

Оценка пропускной способности каналов проводилась в соответствии с [163, 173] по следующей методике.



a – канал с наносами; b – очищенный канал;
 $b_{\text{кан}}$ – ширина канала по дну; $H_{\text{кан}}$ – глубина канала, $m_{\text{кан}}$ – заложение откосов канала;
 $H_{\text{вод}}$ – уровень воды в канале; $S_{\text{кан.нан}}$, $S_{\text{кан.оч}}$ – площади живого сечения канала с наносами и очищенного канала; $S_{\text{нан}}$ – площадь наносов в поперечном сечении канала

Рисунок 3.6 – Схема для определения пропускной способности канала

Площадь поперечного сечения потока (живое сечение) $S_{кан}$, м², и смоченный периметр (линия контакта воды с дном и стенками русла) $\chi_{кан}$, м, определялись с использованием графического калькулятора системы Компас-3D (ЗАО «Аскон»).

Гидравлический радиус канала $R_{кан}$, м, вычислялся по формуле:

$$R_{кан} = S_{кан} / \chi_{кан}. \quad (3.4)$$

Скорость течения воды в канале $v_{кан}$, м/с, определялась следующим образом:

$$v_{кан} = C_{кан} \cdot \sqrt{R_{кан} \cdot i_{кан}}, \quad (3.5)$$

где $C_{кан}$ – скоростной коэффициент; $i_{кан}$ – продольный уклон дна канала.

Пропускная способность канала $Q_{кан}$, м³/с, рассчитывалась по выражению:

$$Q_{кан} = S_{кан} \cdot v_{кан}. \quad (3.6)$$

Расчеты выполнялись для двух состояний канала: с наличием донных отложений и после очистки. Далее проводился сравнительный анализ полученных результатов.

3.2.2 Производственные испытания ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции каналов и напорных трубопроводов оросительных систем полива дождеванием

Экспериментальные исследования ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных каналов и напорных трубопроводов, проводились в 2003-2025 гг. (приложение М) при проведении эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных системах, находящихся на балансе ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз».

С целью оценки эффективности ресурсосберегающих решений на объекте (канал или трасса напорного трубопровода) были определены два участка с аналогичными производственными условиями. На первом из них применялись разработанные ресурсосберегающие технологии (новый вариант), на втором – работы велись по традиционным схемам (базовый вариант).

Рассмотрим экспериментальную проверку ресурсосберегающей технологии применительно к эксплуатации оросительных каналов (приложение Е).

Новый технологический подход (рисунок 2.3) представляет собой комплекс операций, обеспечивающих ресурсосберегающую очистку оросительных каналов.

Энергетическая эффективность данной технологии оценивалась путем сравнения с базовым вариантом (рисунок 1.16, а), который соответствует традиционной технологической схеме.

В состав традиционной технологии (базовый вариант) входят следующие операции:

1. Срезание кустарниковой растительности (с использованием средств малой механизации).
2. Удаление срезанной растительности (сгребание растительности в кучи бульдозером ДЗ-109 и последующее ее сжигание).
3. Корчевание пней (бульдозер ДЗ-109).
4. Осмотр и исправление повреждений берм и откосов (бульдозер ДЗ-109).
5. Планировка бермы (автогрейдер ДЗ-143).
6. Очистка русла канала от наносов (одноковшовый экскаватор ЭО-3323).
7. Разравнивание извлеченного наносного грунта (бульдозер ДЗ-133).

Ресурсосберегающая технология (новый вариант) состоит из следующих операций:

1. Визуальный осмотр поверхностей берм и откосов канала, удаление из зоны выполнения работ посторонних предметов.
2. Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на бермах канала (кусторе́з маятниково-телескопического типа МК-2 на базе трактора МТЗ-80(82)).
3. Сбор срезанного на берме кустарника и мелколесья в кучи (подборщик-собира́тель ПС-2 на базе трактора МТЗ-82.1).
4. Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на откосах канала (универсальный телескопический навесной кусторе́з КН-3 или КН-3М на базе одноковшового экскаватора ЭО-2621 с базовым трактором МТЗ-82.1).

5. Извлечение срезанной растительности из русла канала с последующим ее перемещением в сформированные кучи (подборщик-собираатель ПС-2 на базе трактора МТЗ-82.1).

6. Угнетение пней на бермах канала (устройство для локального внесения арборицидной смеси на пни ЛВА-1 на базе трактора МТЗ-82.1).

7. Угнетение пней на откосах канала (устройство инъекционного типа).

8. Переработка удаляемой древесины в энергетическую или технологическую щепу (навесная рубильная машина МР-160 на базе трактора МТЗ-82.1).

9. Транспортировка щепы потребителю или к месту хранения (грузовой автомобиль ЗИЛ-5301АО с наращенными бортами).

10. Очистка русла канала от наносов (одноковшовый экскаватор с каналочистительным оборудованием ЭО-3323М).

11. Разравнивание извлеченного наносного грунта (бульдозер ДЗ-133).

12. Доинъектирование пней на бермах канала (устройство инъекционного типа).

13. Доинъектирование пней на откосах канала (устройство инъекционного типа).

Технические характеристики МК-2, ПС-2, КН-3, КН-3М, ЭО-3323М представлены в приложении А.

В рамках ресурсосберегающей технологии (новый вариант) для повышения эффективности впитывания арборицидной смеси предусмотрено предварительное механическое воздействие на поверхность пня. В связи с этим операция внесения арборицидов после срезки растительности выделена в самостоятельный этап. На бермах канала она выполняется с помощью устройства локального внесения ЛВА-1, а на откосах – с применением инъекторного оборудования.

Устройство ЛВА-1 представляет собой сменное навесное оборудование, агрегируемое с трактором МТЗ-82.1. Его технические характеристики: мощность двигателя базового трактора – 55 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности – 226 г/кВт·ч, сменный расход топлива – 50 кг/маш.-см., масса трактора

– 4000 кг, масса навесного оборудования – 540 кг, численность обслуживающего персонала – 2 человека.

Выполнение операции доинъектирования позволяет повысить эффективность расчистки каналов за счет подавления жизнеспособности пней, исключая тем самым риск повторного отрастания кустарниковой поросли.

Сравнение базового и нового технологических процессов осуществлялось на основе энергетической оценки в соответствии с методиками [16, 108, 200, 261].

Аналогичные исследования были проведены для ресурсосберегающих технологий, применяемых при ремонте и реконструкции оросительных каналов и напорных трубопроводов. Полученные результаты обобщены в главе 5 и приложениях Ж, З, И.

Энергетическая оценка подтвердила преимущество нового технологического подхода. Применение новых технологий позволило сократить энергозатраты и повысить показатель интенсификации производства, что свидетельствует о практической целесообразности внедрения разработанных ресурсосберегающих технологических решений.

3.2.3 Производственные испытания технологии эксплуатации дождевальных машин кругового действия с определением оптимального местоположения монтажной площадки

Экспериментальные испытания технологии эксплуатации дождевальных машин кругового действия проводились в 2018 г. на орошаемом участке, расположенном в 4 км северо-западнее с. Колос Зоркинского МО Марковского муниципального района. В физико-географическом отношении орошаемый участок расположен на левом берегу реки Волги в 110 км на северо-восток от г. Саратова и в 50 км на восток – северо-восток от г. Маркса.

Расположение мест постоянной эксплуатации дождевальных машин показано на рисунке 3.7.

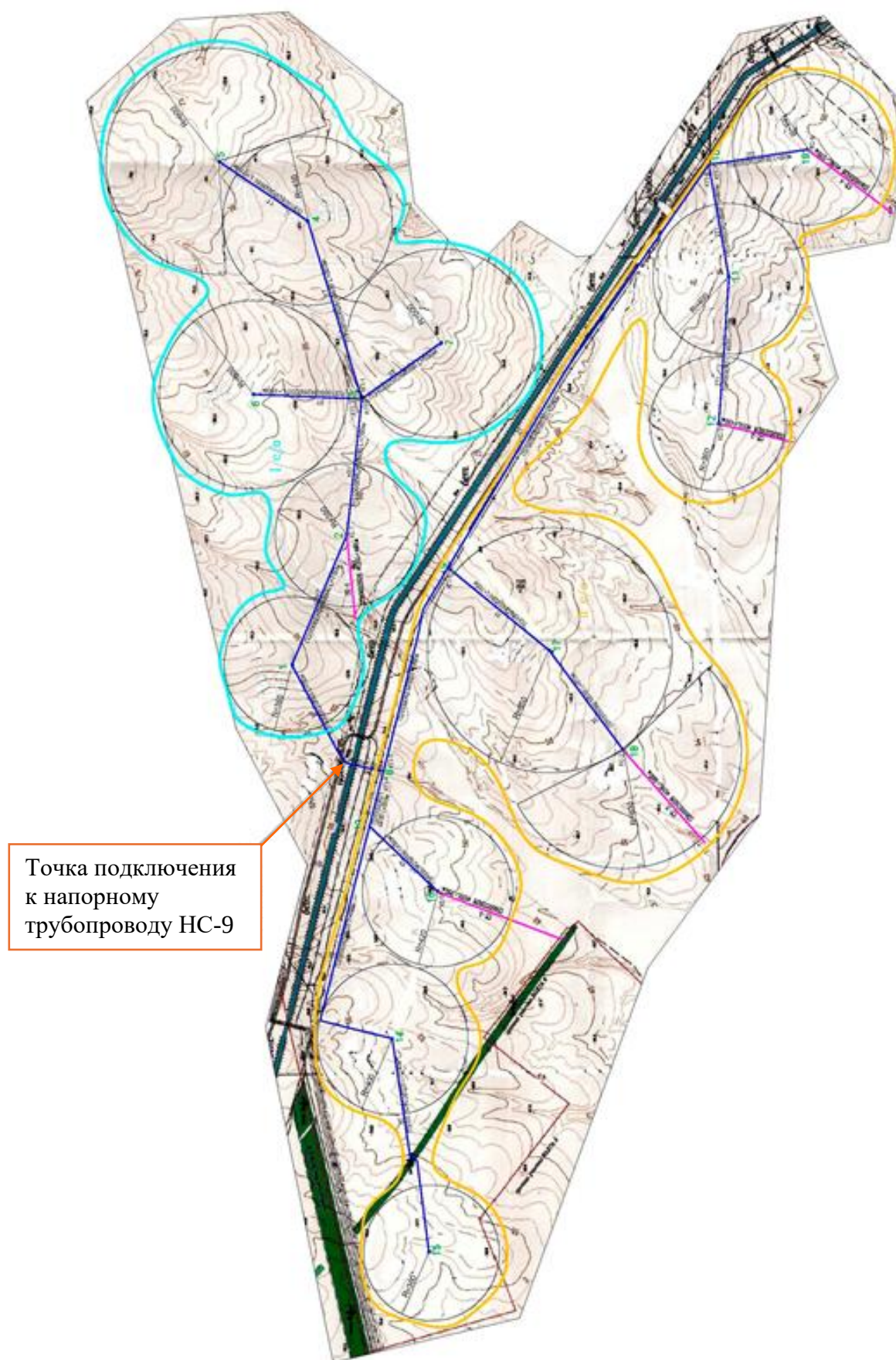


Рисунок 3.7 – План-схема расположения дождевальных машин

Специфика данного участка заключается в наличии магистрального канала и двух оврагов, которые делают невозможной транспортировку пролетов через эти преграды. С учетом анализа рельефа местности, а также расположения лесополос и каналов, орошаемая территория была разделена на четыре самостоятельных монтажных участка. В состав первого вошли площади, обслуживаемые машинами № 1, 2, 4, 5, 6 и 7; второго – машинами № 11, 12 и 19; третьего – машинами № 17 и 18; четвертого – машинами № 14, 15 и 16. За начало координат принята точка подключения оросительной сети к напорному трубопроводу НС-9 (рисунок 3.7). Исходные характеристики по каждой дождевальной машине сведены в таблицу 3.3.

Оптимальное место расположения монтажной площадки определялось по формулам 2.18-2.22. Полученные результаты расчетов приведены в 4 главе.

Таблица 3.3 – Длина дождевальных машин и их координаты

№ п/п	Номер дождевальной машины	Длина дождевальной машины, м	Координата по оси X, м	Координата по оси Y, м
1	1	360	508,19	279,95
2	2	380	1202,99	-7,06
3	4	450	2853,62	199,17
4	5	600	3169,85	673,45
5	6	500	1934,65	486,48
6	7	500	2209,25	-509,24
7	12	360	1780,55	-1961,82
8	19	400	3229,37	-2440,00
9	11	400	2548,23	-2022,53
10	17	650	589,82	-1081,02
11	18	630	51,19	-1477,50
12	14	400	-1468,80	-247,01
13	15	360	-2582,95	-448,48
14	16	420	-670,80	-478,79

3.2.4 Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией

Экспериментальные исследования модели оптимизации управления работой насосной станцией проводились на оросительной системе ФГБУ «Управление «Курскмелиоводхоз», с. Черницыно, Октябрьский район, Курская область. Ситуационный план оросительной системы представлен в приложении Б.

Обеспечение водой оросительной сети предусматривается из пруда накопителя (лагуна) №1, который пополняется дополнительно из пруда накопителя (лагуна) №3 – очищенные воды мясоперерабатывающего комплекса ООО «Мираторг-Курск» и из пруда накопителя (лагуна) №2 – чистая дождевая и паводковая вода.

Вода из прудов накопителей №2 и №3 автоматически смешивается в пруду накопителе №1.

Собственником земли под прудами-накопителями (лагунами) является ООО «Мираторг-Курск» на праве долгосрочной аренды. Пруд расположен в балке Ржавец, правобережной поймы р. Воробжа.

Система подачи воды из пруда-накопителя №1 в оросительную систему построена по двухкаскадной схеме.

Вода из пруда-накопителя поступает в корпус заглубленной ВНС-1 (КНС), 1-го подъема через трубу ПНД, на которой установлен оголовок с решеткой, а также отсечная задвижка с обрезиненным клином и ручным приводом, в отдельном железобетонном колодце (рисунок 3.8).

Насосы ВНС-1 нагнетают воду по подземному трубопроводу к двум фильтрам тонкой очистки с отсечной арматурой, установленным на бетонной площадке в непосредственной близости от блок-контейнера ВНС-2, 2-го подъема. От фильтров тонкой очистки вода поступает на внешний всасывающий коллектор Ду 500 ВНС-2, и от него, по индивидуальным патрубкам подается к насосам 2-го подъема, установленным внутри блок-контейнера ВНС-2 (рисунок 3.9).

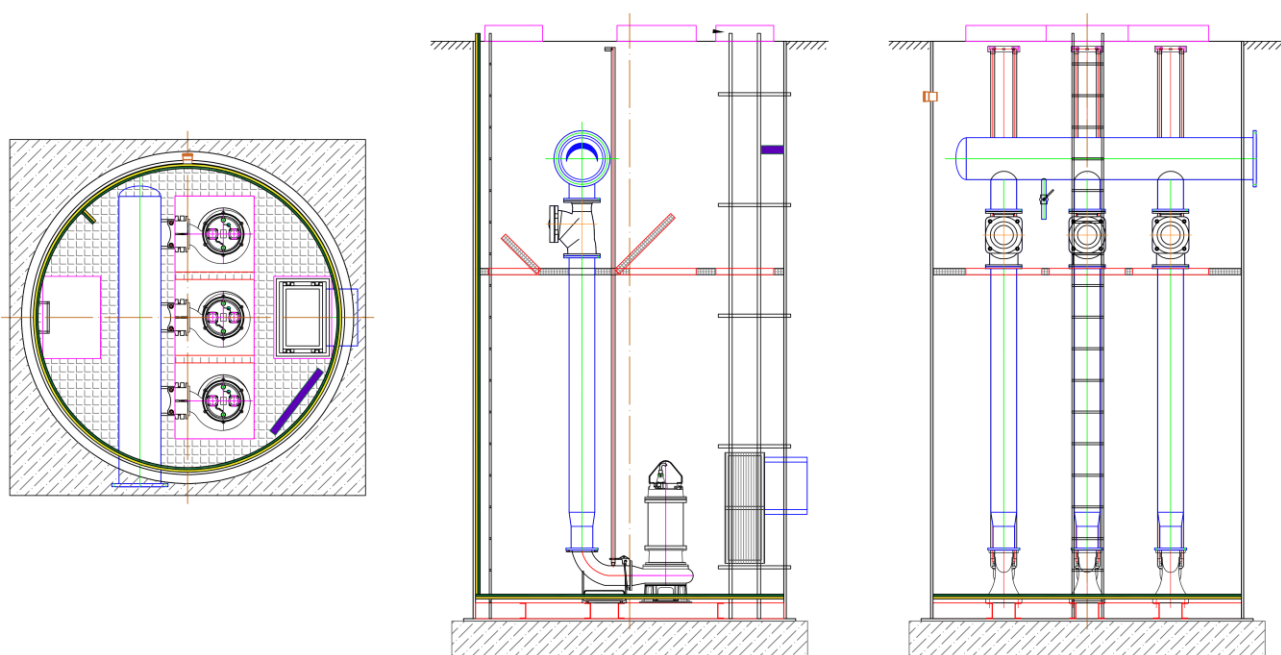


Рисунок 3.8 – Схема насосной станции ВНС-1 (КНС), 1-го подъема

От насосов 2-го подъема вода по индивидуальным патрубкам подается к внешнему напорному коллектору D_y 500 ВНС-2, установленному сверху над всасывающим коллектором, на единой с ним металлоконструкции. Далее, вода подается в трубу ПЭ-100 системы снабжения дождевальных машин.

Электропитание системы осуществляется от существующей трансформаторной станции (ТП), принадлежащей ООО «Мираторг-Курск», расположенной на расстоянии порядка 80 м от насосной станции ВНС-2.

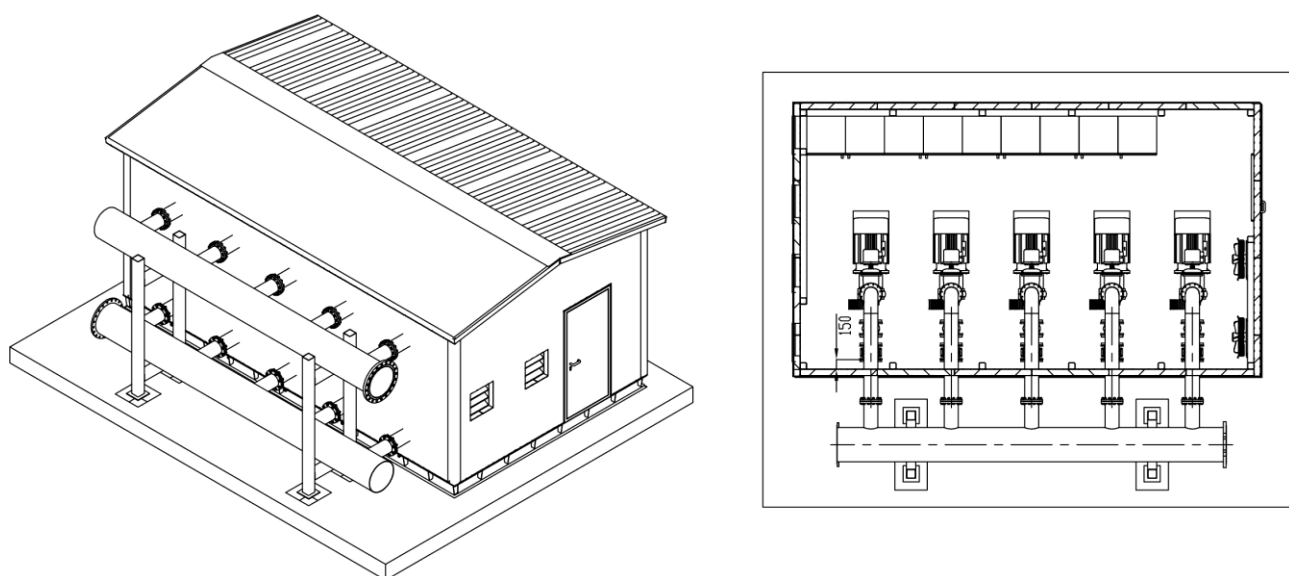


Рисунок 3.9 – Схема насосной станции ВНС-2, 2-го подъема

Насосная станция первого подъема – ВНС-1 (КНС).

Силовые ячейки ВНС-1 и ВНС-2, а также элементы автоматики, управляющей всей системой расположены в блок-контейнере ВНС-2 и подключаются к кабельной линии от ТП через вводное распределительное устройство (ВРУ), также находящееся в блок-контейнере ВНС-2.

Корпус ВНС-1 выполнен из стеклопластика в форме цилиндра с внутренним диаметром 3900 мм и высотой 7300 мм. Общая высота с учетом горловин люков 7500 мм. Корпус ВНС-1 закрепляется анкерами к якорной железобетонной плите с последующей заливкой пригрузочного бетонного пояса.

Входной патрубок ВНС-1 выполнен пластиковой муфтой с внутренним диаметром 720 мм под трубу типа «Корсис».

На входе в корпус ВНС-1, напротив входного патрубка, установлена корзина из нержавеющей стали для защиты от попадания крупных загрязнений. Корзина имеет возможность подниматься вверх по направляющим из нержавеющей стали для ручной очистки. Подъем корзины осуществляется посредством подъемной цепи.

В ВНС-1 установлены 3 центробежных погружных насоса 250SSC600-40-110-4Р (таблица 3.4), предназначенные для перекачивания загрязненной воды и включенные по схеме 2 рабочих насоса плюс 1 резервный. Насосы установлены на стационарные опорные фланцевые колена с полуавтоматическими муфтами (устройствами погружного монтажа), и имеют возможность подъема вверх по направляющим из нержавеющей стали для проведения планового осмотра и технического обслуживания. После чего, могут быть опущены по направляющим с автоматическим позиционированием на фланцевом колене.

Напорные трубопроводы от фланцевых колен каждого насоса оборудованы обратными клапанами, для исключения паразитного перетока через неработающий насос и входят в общий коллектор, смонтированный в корпусе ВНС-1. Напорный коллектор через уплотняющий узел выведен за пределы корпуса ВНС-1 и оканчивается стальным фланцем $D_y 500$.

Таблица 3.4 – Технические характеристики ВНС-1

Наименование параметра	Значение
Производитель	ООО «Уровень-плюс»
Электронасос 250SSC600-40-110-4P (AIKON)	3 шт. (2 рабочих + 1 резервный)
Расход, м ³ /ч	425 х 2 = 850
Напор, м	42,5
Диаметры патрубков всас. /напор., мм	700 / 500
Категория электроснабжения	3
Напряжение сети, В	380 / 220
Система	TN-S
Расчетная мощность, кВт	330
Расчетный ток, А	420,4

Внутри корпуса ВНС-1 установлена лестница из нержавеющей стали и площадка для проведения осмотра и обслуживания насосов. Сверху корпус закрыт откидными крышками на пяти горловинах: для опускания или подъема насосов и корзины, а также для попадания внутрь обслуживающего персонала. Шкаф управления насосами ВНС-1 с индивидуальными для каждого насоса преобразователями частоты (ПЧ) расположен в обогреваемом помещении ВНС-2.

Запуск насосов ВНС-1 осуществляется вручную с поста управления в здании ВНС-2. Управление насосами в процессе работы производится по алгоритму $P = const$ посредством ПЧ (поддержание постоянного давления на входе в ВНС-2 по сигналам 2 датчиков давления (1 рабочий + 1 резервный) на всасывающем коллекторе ВНС-2). Защита ВНС-1 от «сухого хода» насосов и затопления производится по сигналам 2 аварийных поплавковых датчиков предельных уровней (верхнего и нижнего), а операционный контроль уровня воды в корпусе ВНС-1 – по аналоговому датчику уровня, с выводом значений на панель управления системой.

Погружные насосы имеют встроенные датчики защиты от перегрева обмоток и подшипников, а также от попадания воды в полость двигателя и масляную камеру торцовых уплотнений.

Количество рабочих насосов ВНС-1, включаемых в работу, определяется потребностями системы орошения, и соответственно, количеством насосов в ВНС-2, которые предполагается запустить в работу.

Насосная станция второго подъема – ВНС-2.

От ВНС-1 вода поступает в общий всасывающий коллектор ВНС-2, установленный снаружи блок-контейнера ВНС-2.

На коллекторе установлены:

- два аналоговых датчика давления (1 рабочий + 1 резервный) для насосов ВНС-1;
- электромеханическое реле минимального давления для насосов ВНС-2;
- сбросной шаровый кран для выпуска воздуха при заполнении;
- сбросной шаровый кран для опорожнения коллектора в зимний период.

От всасывающего коллектора вода подается на всасывающие патрубки центробежных насосов ВНС-2, через эксцентричные конусные переходы, отсечные задвижки с обрезиненным клином и фланцевые вибровставки.

Насосная станция ВНС-2 оборудована 5-ю центробежными консольными насосами SMM 125-100-250-75/2 моноблочной компоновки, с электромоторами мощностью 75 кВт (таблица 3.5).

Насосы ВНС-2 включены по схеме 4 рабочих насоса и 1 резервный. Управление производится по алгоритму $P = const$ – поддержание постоянного заданного давления на выходе ВНС-2. Управление осуществляется по аналоговому сигналу датчиков давления (1 рабочий + 1 резервный) на напорном коллекторе ВНС-2 посредством изменения частоты вращения электродвигателей насосов индивидуальными преобразователями частоты, установленными в секциях шкафа управления насосами. Количество насосов ВНС-2, включаемых в работу, определяется потребностями системы орошения. Защита насосов ВНС-2 от «сухого» хода выполнена на базе электромеханического реле давления, установленного на всасывающем коллекторе ВНС-2. Для снижения воздействия вибраций от оборудования на здание ВНС, между патрубками насосов и трубопроводами установлены вибровставки.

Таблица 3.5 – Технические характеристики ВНС-2

Наименование параметра	Значение
Производитель	ООО «Уровень-плюс»
Электронасос SMM 125-100-250-75/2 (AIKON)	5 шт. (4 рабочих + 1 резервный)
Расход, м ³ /ч	212,5 х 4 = 850
Напор, м	92,5
Диаметры патрубков коллекторов всас./напор, мм	500 / 500
Категория электроснабжения	3
Напряжение сети, В	380 / 220
Система	TN-S
Расчетная мощность, кВт (без учета вспомогательных потребителей)	75 х 5 = 375
Расчетный ток, А (без учета вспомогательных потребителей)	136,5 х 5 = 682,5

Вода от насосов ВНС-2 через индивидуальные конусные расширители, обратные клапаны и отсечную арматуру поступает в общий напорный коллектор Ду 500, установленный снаружи здания ВНС-2, вдоль длинной его стороны, сверху над всасывающим коллектором и на общей с ним металлоконструкции. На напорном коллекторе ВНС-2 установлены:

- два аналоговых датчика давления (1 рабочий + 1 резервный) для насосов ВНС-2;

- сбросной шаровый кран для выпуска воздуха при заполнении;

- сбросной шаровый кран для опорожнения коллектора в зимний период.

Блок-контейнер ВНС-2 оборудован ручной талью, грузоподъемностью 1 т, имеющей возможность продольного перемещения оборудования по двутавровой балке к распашным двустворчатым воротам.

В блок-контейнере ВНС-2 установлены:

- система основного освещения и шкаф собственных нужд;

- система приточной вентиляции с двумя осевыми вентиляторами, двумя заборными клапанами с ручным приводом и шкафом управления;

- четыре инерционные решетки для выхода горячего воздуха;
- светильники аварийного освещения;
- порошковые и углекислотные огнетушители;
- четыре электрических конвектора для поддержания положительной температуры в зимний период;
- наружные светильники над дверью и воротами;
- многосекционные шкафы управления насосами как ВНС-1, так и ВНС- 2 и вводное распределительное устройство (ВРУ).

При получении от любого элемента системы аварийного сигнала, на наружной стене контейнера включаются световой маячок и сирена.

Оросительная сеть – закрытая. Общая протяженность оросительных трубопроводов 13367,87 м. Оросительная сеть выполняется из напорных полиэтиленовых труб ПЭ-100 номинальным наружным диаметром 560-110 мм, толщиной стенки 6,6-50,8 мм, с SDR11–SDR17.

Диаметры трубопроводов и длины участков выбраны из условия обеспечения водой земельного участка по гидравлическому расчету, согласно расчетным расходам и напорам (таблица 3.6).

Общее количество дождевальных машин – 12 шт.

Дождевальные машины, представляет собой вращающийся вокруг неподвижной опоры или перемещаемый вместе с мобильной тележкой водопроводящий трубопровод, выполненный в виде отдельных пространственных ферм, соединенных шарнирными соединениями и опирающимися на двухколесные электроприводные передвижные опоры. Конец трубопровода выполнен в виде консоли. Конструктив выполнен из стали, обработанной методом горячего цинкования.

Работа оросительной сети осуществляется двумя режимами полива:

- 1) полив дождевальными машинами ДМ №1 – ДМ №6;
- 2) полив дождевальными машинами ДМ №7 – ДМ №12.

Таблица 3.6 – Основные данные по трубопроводам оросительной сети

Наименование сети	Длина, м	Диаметр, мм
МТ-1	3515,90	560 x 50,8
РТ-1	1294,74	355 x 21,1
РТ-2	893,78	315 x 18,7
РТ-3	2400,00	450 x 26,7
РТ-4	776,01	315 x 18,7
РТ-5	619,90	280 x 16,6
РТ-6	544,64	280 x 16,6
ПТ-1	146,80	225 x 13,4
ПТ-2	422,63	200 x 11,9
ПТ-4	365,43	200 x 11,9
ПТ-6	524,50	200 x 11,9
ПТ-7	291,16	200 x 11,9
ПТ-9	800,00	200 x 11,9
ПТ-10	190,00	200 x 11,9
ПТ-12	582,38	200 x 11,9
Итого:	13367,87	

Направление движения дождевальных машин можно задавать как по часовой стрелке, так и в обратном направлении.

На секторных дождевальных машинах предусмотрено устройство автореверса для запрограммированной остановки машины у препятствий и автоматического осуществления движения в обратном направлении.

Технические характеристики дождевальных машин представлены в таблице 3.7.

Экспериментальные исследования проводились для оросительной системы без интеллектуальной системы управления и с применением интеллектуальной системы управления «Агросигнал» (рисунок 3.10) [267].

Основной исследуемый параметр – энергопотребление насосной станции при обеспечении требуемого давления и расхода воды для всех дождевальных машин.

Таблица 3.7 – Количество и характеристики дождевальных машин

Дождевальные машины	Радиус машины, м	Радиус полива, м	Поворот машины, град.	Площадь орошения, га	Расход, л/сек
ДМ №1	480,59	493,29	316	67,1	53,25
ДМ №2	480,59	493,29	212	44,95	35,67
ДМ №3	329,6	342,3	360	36,81	28,95
ДМ №4	299,96	312,26	360	30,63	24,2
ДМ №5	441,09	453,39	180	32,29	25,7
ДМ №6	505,95	518,25	180	42,19	33,66
ДМ №7	278,1	290,4	360	26,49	20,88
ДМ №8	365,6	378,3	360	44,96	35,45
ДМ №9	405,09	417,79	360	54,84	43,35
ДМ №10	335,6	348,3	308	25,66	29,98
ДМ №11	473,74	486,44	360	74,34	59,13
ДМ №12	325,25	337,55	171	17,00	18,76

Для работы системы управления на последнюю тележку дождевальной машины устанавливался прибор, оснащенный приемником GPS сигналов и встроенным модемом, обеспечивающим связь с сетью Интернет по радиоканалу. Через сеть Интернет передавались оперативные данные о ходе полива и сигналы, позволяющие дистанционно управлять работой машины. Приемник GPS позволял установить текущее положение дождевальной машины на орошаемом участке. Для работы прибора дистанционного управления применялись две SIM-карты от разных провайдеров, система самостоятельно выбирала сеть мобильного оператора с наиболее мощным сигналом.

Информация о работе дождевальных машин и возможных аварийных ситуациях поступала на центральный сервер системы, где она обрабатывалась и заносилась в базу данных. Сервер системы имел возможность управления работой насосной станцией и позволял оперативно корректировать ее работу с учетом различных изменений, происходящих в работе системы. Интеллектуальная система управления (ИСУ) является универсальной и может быть установлена на электрифицированные круговые машины любого производителя без замены штатных систем управления.

Результаты проведенных исследований представлены в главе 4.

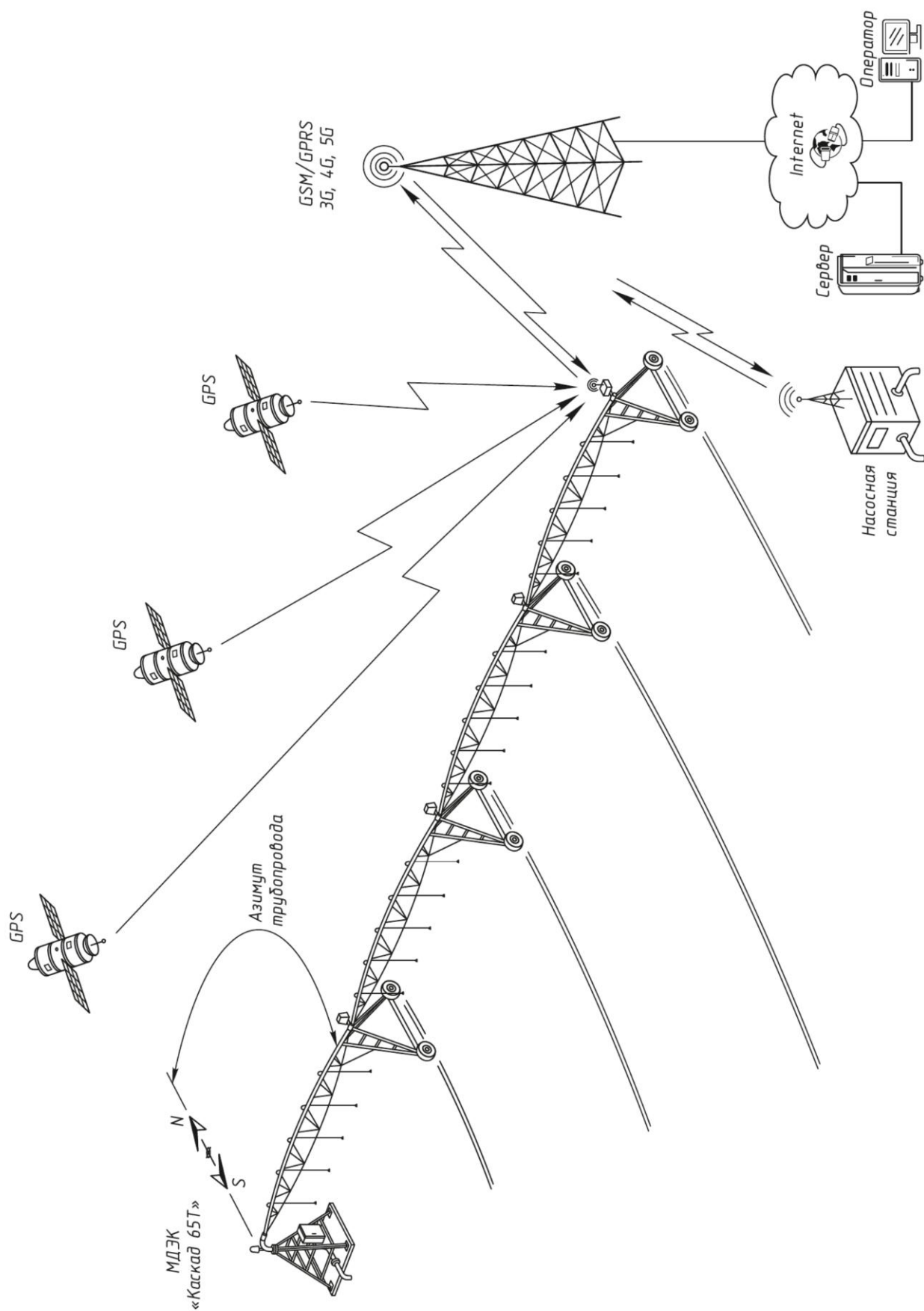


Рисунок 3.10 – Интеллектуальная система управления «Агросигнал»

3.2.5 Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели формирования парка машин

С целью определения эффективных машин для ресурсосберегающих технологий разработана методика расчета с применением современных информационных технологий и электронных таблиц.

Эффективные машины определялись среди множества машин одного вида. На основании исходных данных, соответствующих единицам техники (m_1 – марка машины №1; m_2 – марка машины №2; m_3 – марка машины №3; m_4 – марка машины №4; m_n – марка машины №n и т.д.) и элементов отмеченных множеств (см. главу 2) заполнялась таблица 3.8.

Таблица 3.8 – Таблица соответствия машин выбранным характеристикам $N_{\text{дв}}$, Π_j , Φ , V с целевой функцией $\mathcal{E}_{\text{раб}}$

M	χ	$N_{\text{дв}}$	Π_m	Φ	V	$\mathcal{E}_{\text{раб}}$
m_1		$N_{\text{дв}1}$	Π_{m1}	Φ_1	V_1	$\mathcal{E}_{\text{раб}1}$
m_2		$N_{\text{дв}2}$	Π_{m2}	Φ_2	V_2	$\mathcal{E}_{\text{раб}2}$
m_3		$N_{\text{дв}3}$	Π_{m3}	Φ_3	V_3	$\mathcal{E}_{\text{раб}3}$
m_4		$N_{\text{дв}4}$	Π_{m4}	Φ_4	V_4	$\mathcal{E}_{\text{раб}4}$
m_n		$N_{\text{дв}n}$	Π_{mn}	Φ_n	V_n	$\mathcal{E}_{\text{раб}n}$

В процессе расчета $\mathcal{E}_{\text{раб}}$ были использованы следующие условия:

- 1) Происходит первичное формирование парка из машин, не имеющих наработки.
- 2) Машины работают в условно-идеальных условиях т.е. эксплуатационная производительность (Π_j) равна технической (Π_m).
- 3) Машина работает весь фонд рабочего времени, т.е. время работы машины равно годовому фонду рабочего времени (здесь необходимо пояснить, если парк машин формируется из машин бывших в эксплуатации, то для решения задачи принимаются фактические данные по планируемому годовому времени работы машин).

Годовой объем работ V определялся по формуле:

$$V = \Phi \cdot \Pi_m, \quad (3.7)$$

где Φ – годовой фонд рабочего времени машины, ч; Π_m – техническая производительность машины, ед.изм./ч.

Энергозатраты $\mathcal{E}_{раб}$ на производство работ рассчитывались по формуле:

$$\mathcal{E}_{раб} = \frac{N_{дв}}{\Pi_m} \cdot \Phi, \quad (3.8)$$

где $N_{дв}$ – мощность двигателя машины, кВт.

При определении коэффициентов оптимальности по формулам (2.42, 2.43), были выбраны характеристики V и $\mathcal{E}_{раб}$. На основании данных таблицы 3.8 составлялась таблица 3.9, учитывающая коэффициенты оптимальности. Также в данной таблице представлен показатель эффективности $Z_{эф}$, который определялся следующим образом: среди полученных коэффициентов оптимальности k_i^* находилось минимальное значение и соответствующей ячейке присваивался индекс 1, который показывал наивысшую эффективность. Далее, по значениям коэффициентов k_i^* по каждой машине в направлении от минимума до максимума определялись менее эффективные машины и ячейкам присваивались индексы соответственно 2; 3; 4 и т.д.

Посредством анализа данных, полученных в таблице 3.9 можно сделать однозначный вывод, об эффективности той или иной машины, с точки зрения выполнения наибольшего объема работ с наименьшими энергозатратами.

Таблица 3.9 – Таблица учета коэффициентов оптимальности и индексов эффективности для выбора машины

M	χ	V	$\mathcal{E}_{раб}$	$k_i^*, \%$	$Z_{эф}$
m_1		V_1	$\mathcal{E}_{раб1}$	k_{i1}^*	$Z_{эф1}$
m_2		V_2	$\mathcal{E}_{раб2}$	k_{i2}^*	$Z_{эф2}$
m_3		V_3	$\mathcal{E}_{раб3}$	k_{i3}^*	$Z_{эф3}$
m_4		V_4	$\mathcal{E}_{раб4}$	k_{i4}^*	$Z_{эф4}$
m_n		V_n	$\mathcal{E}_{раб n}$	k_{in}^*	$Z_{эфn}$

Разработанная оптимизационная математическая модель формирования парка машин и представленная методика является универсальной и справедлива для различных типов машин.

Результаты расчетов по определению эффективных машин по предложенной методике представлены в 4 главе.

3.2.6 Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели обновления парка машин

В ресурсосберегающих технологиях эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем в качестве базовых машин можно выделить кусторезы и одноковшовые экскаваторы, так как они выполняют критически важные, наиболее трудоемкие и ресурсозатратные операции на ключевых этапах работ: от первоначальной расчистки территории до основных земляных работ. В связи с этим исследования оптимизационной математической модели обновления парка машин производились для кусторезов и одноковшовых экскаваторов. В ходе проведения расчетов рассматривался случай приобретения новой машины (управляющее решение URM_1). Для других управляющих решений (URM_2 , URM_3 , URM_4) расчеты аналогичны.

Для проведения апробации оптимизационной математической модели обновления парка машин, необходимы исходные данные:

- марка кустореза, одноковшового экскаватора;
- мощность двигателя ($N_{дв}$, кВт);
- техническая производительность (Π_m , ед.изм/ч: для кустореза – м²/ч; для одноковшового экскаватора – м³/ч);
- годовой фонд рабочего времени (Φ , маш.-ч);
- коэффициент местных условий объекта ($K_{усл}$).

Эксплуатационная производительность машины ($\Pi_э$, ед.изм./ч) определялась по формуле:

$$\Pi_э = \Pi_m \cdot K_{усл}, \quad (3.9)$$

где Π_m – техническая производительность машины, ед.изм./ч; K_{ycl} – коэффициент местных условий объекта.

Удельная энергоемкость $\mathcal{E}_{y\partial}$, кВт·ч/ед.изм., рассчитывалась по формуле:

$$\mathcal{E}_{y\partial} = \frac{N_{\partial\partial}}{\Pi_y}, \quad (3.10)$$

где $N_{\partial\partial}$ – мощность двигателя машины, кВт; Π_y – эксплуатационная производительность машины, ед.изм./ч.

Годовые энергозатраты ($\mathcal{E}_{pab}$, кВт·год/ед.изм.) при условии использования машины в течение всего запланированного фонда рабочего времени определялись по формуле:

$$\mathcal{E}_{pab} = \mathcal{E}_{y\partial} \cdot \Phi, \quad (3.11)$$

где Φ – фонд рабочего времени машины, маш.-ч.

Совокупность формул 2.55–2.73, составляющих оптимизационную математическую модель обновления машинного парка, и алгоритма 2.74 позволяет определить оптимальный момент для принятия управленческого решения. Результаты выполненных исследований изложены в главе 4.

3.2.7 Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели распределения машин по объектам

Апробация разработанной оптимизационной модели распределения техники по объектам выполнялась на основе действующих производственных планов. С использованием математической модели, представленной формулой (2.89), были рассчитаны оптимальные варианты распределения машин. Вычисления проводились на персональном компьютере средствами пакета Microsoft Excel.

Для нахождения оптимального распределения в модуле «Поиск решения» (меню «Данные» в Microsoft Excel) в поле «Оптимизировать целевую функцию» задавалась ячейка, соответствующая суммарным энергозатратам на выполнение запланированного объема работ, с условием минимизации ее значения.

Соответствие машин видам работ на объекте обеспечивалось путем введения ограничений, запрещающих использование конкретной техники на определенных объектах. Это реализовывалось заданием продолжительности работы данной машины на данном объекте, равной нулю.

Аналогичным образом учитывалось условие качества выполнения работ. Если машина не соответствовала требованиям качества на конкретном объекте, продолжительность ее работы на этом объекте также устанавливалась нулевой.

В поле «В соответствии с ограничениями» в принятой форме фиксировались все необходимые условия (рисунок 3.11):

- объем работ должен быть выполнен полностью, т.е. значения планируемых объемов работ должны быть равны расчетным объемам работ;
- планируемый объем работ на объектах должен быть выполнен своевременно, в соответствии с имеющимся фондом рабочего времени машин и соблюдением ограничения на частые перебазировки машины с объекта на объект;
- продолжительность работы машин не должна принимать отрицательных значений.

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До: ☐ Максимум ☒ Минимум ☐ Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

SD\$6:\$MS\$15 >= 0
SD\$49:\$MS\$49 = SD\$5:\$MS\$5
SN\$6:\$NS\$15 <= SO\$6:\$OS\$15

☒ Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения:

Метод решения
Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Справка Найти решение Закрыть

Рисунок 3.11 – Окно параметров поиска решения Microsoft Excel

Параметры настройки мастера поиска решения были заданы следующим образом:

- точность соблюдения ограничений – 0,001;
- допустимое отклонение для целочисленных решений – 5 %;
- предельное время вычислений – 100 с;
- максимальное число итераций – 100.

Полученные в результате расчетов оптимальные планы распределения техники по объектам приведены в главе 4.

Оценка эффективности оптимизации выполнялась путем расчета снижения суммарных энергозатрат $\mathcal{E}_{\text{сум.сн}}$, % по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{сум.сн}} = 100 - ((\mathcal{E}_{\text{сум.онт}} \cdot 100) / \mathcal{E}_{\text{сум.пл}}), \quad (3.12)$$

где $\mathcal{E}_{\text{сум.пл}}$, $\mathcal{E}_{\text{сум.онт}}$ – суммарные энергозатраты на выполнение работ соответственно по исходному (неоптимизированному) и оптимизированному планам распределения техники, кВт·год/ед.изм.

3.2.8 Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия

Оптимизация водопроводящего трубопровода дождевальных машин кругового действия заключалась в оптимальном выборе длин участков трубопровода под определенные геометрические параметры поля.

Исходя из фактических геометрических параметров орошаемого участка, подбирался радиус полива дождевальной машины и затем рассчитывалась площадь орошения по формуле (2.94).

Далее на основе почвенно-климатических характеристик орошаемого участка устанавливалась величина гидромодуля подачи и определялся требуемый расход воды по формуле (2.95).

Затем определялся внешний диаметр и толщина стенок труб для первого и второго участка основного водопроводящего трубопровода машины при соблюдении выполнения условий, представленных в виде системы неравенств (2.114).

Далее с учетом интенсивности полива, показателем которой является гидромодуль подачи, определялась минимальная длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины по формуле (2.106).

После чего с учетом длин пролетов, оснащаемых трубопроводом, выполненным из водопроводящих труб с внешним диаметром d_1 и толщиной стенки t_1 , определялась фактическая длина первого участка основного водопроводящего трубопровода дождевальной машины с помощью математической модели (2.115).

Затем производился подбор длины второго участка основного водопроводящего трубопровода машины с учетом длин пролетов, оснащаемых трубопроводом, выполненным из водопроводящих труб с внешним диаметром d_2 и толщиной стенки t_2 . Причем подбор длины второго участка основного водопроводящего трубопровода машины осуществлялся таким образом, чтобы в конце дождевальной машины можно было установить консоль как можно большей длины, выполняя при этом равенство (2.116).

После того как были определены длины участков основного водопроводящего трубопровода машины и подобрана длина консольного трубопровода определялась длина дождевальной машины по формуле (2.92).

На основе параметров водопроводящего пояса дождевальной машины, полученных при апробации данной модели, в дальнейшем производился гидравлический расчет трубопровода и определялось необходимое давление на входе в машину.

3.3 Методика обработки результатов исследований

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований выполнялась с применением информационных технологий на базе пакета программ «Статистика» (StatSoft) [101, 102, 112, 118, 158, 186].

Полученные в ходе экспериментов данные предварительно вносились в таблицу указанной программы.

Расчет описательных статистик осуществлялся с помощью модуля «Основные статистики и таблицы» через процедуру «Описательные статистики».

Выбор анализируемых переменных производился функцией «Переменные».

На начальном этапе обработки зачастую требуется группировка данных, позволяющая представить первичную информацию в компактной форме и выявить закономерности варьирования изучаемого показателя. Количество классов определялось в зависимости от объема наблюдений: при 25-40 наблюдениях – 5-6 классов; при 40-60 – 6-8 классов; при 60-100 – 7-10 классов; при 100-200 – 8-12 классов; при более 200 наблюдениях – 10-15 классов.

Для построения гистограмм и таблиц частот применялись соответствующие функции «Гистограммы» и «Таблицы частот». Число интервалов группировки задавалось программой автоматически.

На гистограммах для углубленного визуального анализа включалось отображение плотности нормального распределения.

Для вычисления и табличного представления были выбраны следующие показатели: объем выборки; средняя арифметическая (наиболее вероятное значение признака, характеризующее центр распределения); медиана (значение, делящее выборку на две равные части); сумма; минимальное и максимальное значения; нижний и верхний квартили (соответствуют 25-му и 75-му процентилям, определяя границы, ниже которых располагаются 25 % и 75 % значений признака); размах (разность между наибольшим и наименьшим значениями); дисперсия (мера изменчивости, отражающая средний квадрат отклонений от среднего значения); стандартное отклонение (показывает среднюю величину отклонений случаев от среднего значения); стандартная ошибка среднего (характеризует возможное расхождение между выборочным и генеральным средним при близком к нормальному распределении); асимметрия (указывает на направление и величину смещения вариационного ряда относительно среднего значения); стандартная ошибка асимметрии; эксцесс (показатель «крутости» кривой, отражающий степень концентрации случаев вокруг среднего значения); стандартная ошибка эксцесса; коэффициент вариации.

Коэффициент вариации, как и дисперсия со стандартным отклонением, служит мерой изменчивости признака. Его преимущество – независимость от единиц измерения, что позволяет сравнивать различные статистические совокупности. При значении коэффициента вариации до 10 % изменчивость считается слабой, от 11 до 25 % – средней, свыше 25 % – сильной.

Поскольку в пакете «Статистика» отсутствует функция расчета относительной ошибки среднего значения (точность опыта), этот показатель вычислялся по формуле:

$$C_{\sigma} = \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (3.13)$$

где C_{σ} – относительная ошибка среднего значения (точность опыта); $\sigma_{\bar{x}}$ – стандартная ошибка среднего значения; $\bar{x}$ – среднее значение выборочной совокупности данных.

Относительная ошибка среднего значения представляет собой процентное расхождение между генеральной и выборочной средней, указывая на возможную погрешность при утверждении о равенстве генеральной средней выборочной. При относительной ошибке до 5 % точность исследований оценивается как хорошая, до 10 % – как удовлетворительная.

Результаты статистической обработки экспериментальных данных представлены в главе 4 и приложении В.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты полевых исследований зарастания и заиления каналов оросительных систем

4.1.1 Результаты полевых исследований зарастания оросительных каналов кустарником

В ходе полевых исследований выявлены наиболее проблемные участки оросительных каналов, заросшие кустарником и заиленные наносами (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Состояние оросительных систем, требующих проведения эксплуатационно-ремонтных работ

В процессе полевых исследований был осуществлен сбор образцов кустарниковой растительности, на основе которых сформирован гербарий, позволивший установить видовой состав и основные характеристики растений [94, 100, 110, 203].

Данные, полученные в ходе натурных обследований степени зарастания оросительных каналов кустарником, обобщены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Материалы полевых изысканий по оценке зарастания оросительных каналов кустарником

Вид кустарниковой растительности	Среднее количество побегов в гнезде, шт.			Общее число встреченных стволов, шт.			Число экспериментальных участков, на которых встречается данный вид, шт.		
	2018 г.	2021 г.	2024 г.	2018 г.	2021 г.	2024 г.	2018 г.	2021 г.	2024 г.
Клен ясенелистный	18	18	19	2673	2714	2745	21	22	24
Вяз приземистый	10	11	11	2196	2250	2296	17	18	20
Лох узколистный	10	11	12	1492	1533	1558	16	16	17
Смородина золотистая	21	23	24	548	586	597	15	16	16
Ива плакучая	42	43	45	114	130	142	6	8	9
Ясень ланцетный	12	14	14	28	32	35	6	7	7
Тополь черный	5	6	6	19	22	28	6	6	8
Груша обыкновенная	5	5	6	10	14	18	1	3	2
Яблоня лесная	3	4	4	5	5	9	1	2	2

Количество заложенных экспериментальных участков составило $n_{\text{общ}} = 25$ шт.

Площадь одного экспериментального участка:

$$S_{\text{эксп.уч}} = 2 \cdot 50 = 100 \text{ м}^2$$

Общая учетная площадь соответственно равна:

$$S_{\text{общ}} = 100 \cdot 25 = 2500 \text{ м}^2 = 0,25 \text{ га.}$$

На основе исходных данных, приведенных в таблице 4.1, с использованием формул (3.1–3.3) в таблице 4.2 были рассчитаны численность, встречаемость различных видов и густота стояния кустарниковой растительности.

Таблица 4.2 – Описание видового состава и свойств кустарниковой растительности, произрастающей на оросительных каналах

Вид кустарниковой растительности	Численность, шт./га			Встречаемость, %			Густота стояния, шт./га		
	2018 г.	2021 г.	2024 г.	2018 г.	2021 г.	2024 г.	2018 г.	2021 г.	2024 г.
Клен ясенелистный	10692	10856	10980	84	88	96	28340	29144	29712
Вяз приземистый	8784	9000	9184	68	72	80			
Лох узколистный	5968	6132	6232	64	64	68			
Смородина золотистая	2192	2344	2388	60	64	64			
Ива плакучая	456	520	568	24	32	36			
Ясень ланцетный	112	128	140	24	28	28			
Тополь черный	76	88	112	24	24	32			
Груша обыкновенная	40	56	72	4	8	12			
Яблоня лесная	20	20	36	4	8	8			

На основе данных таблицы 4.1 можно сделать вывод об активном и прогрессирующем зарастании оросительных каналов кустарниковой растительностью. Все без исключения виды демонстрируют рост по одному или нескольким ключевым показателям: среднему количеству побегов в гнезде, общему числу стволов и количеству участков, где они встречаются. Это указывает на увеличивающуюся плотность, численность и распространенность зарослей.

Четко выделяется группа доминирующих видов: клен ясенелистный, вяз приземистый и лох узколистный (рисунок 4.2). На их долю приходится до 89 % от общего числа учтенных стволов. Именно эти виды формируют основу и «каркас» зарослей. При этом отмечается появление и рост локальных, но агрессивных видов, таких как смородина золотистая и ива плакучая, которые создают особенно плотные, труднопроходимые куртины.



Клен ясенелистный



Вяз приземистый



Лох узколистный



Смородина золотистая



Ива плакучая



Ясень ланцетный

Рисунок 4.2 – Наиболее распространенные виды кустарниковой растительности на оросительных каналах

Анализ данных таблицы 4.2 показывают устойчивый рост численности и встречаемости всех основных видов кустарниковой растительности на оросительных каналах в пересчете на гектар. Абсолютным доминантом является клен ясенелистный, чья численность превышает 10 тыс. шт./га, а встречаемость к 2024 году достигла 96 %, что означает его присутствие практически на всех обследованных территориях. Вяз приземистый и лох узколистный, составляя вторую и третью позиции, также демонстрируют значительную и растущую плотность (более 6–9 тыс. шт./га) и встречаемость (64–80 %).

Важным индикатором является показатель густоты стояния, представленный для всех видов кустарниковой растительности. Его высокие значения (свыше 28–29 тыс. шт./га) и их рост указывают не просто на увеличение числа особей, но и на интенсивное уплотнение и смыкание зарослей, формирование сплошного, труднопроходимого покрова.

Наблюдается четкая видовая иерархия и сукцессионная динамика. После группы основных видов-колонизаторов следует смородина золотистая с высокой, но стабилизировавшейся встречаемостью. Более редкие виды (ива, ясень, тополь) имеют на порядок меньшую численность, но также показывают положительную динамику. Появление и медленный рост таких видов, как груша и яблоня, сигнализирует о начале процессов облесения территории.

Таким образом, процесс зарастания каналов является интенсивным, масштабным и прогрессирующим. Рост количественных показателей в пересчете на площадь доказывает, что увеличение не является артефактом учета, а отражает реальное расширение и уплотнение биомассы. Для поддержания функциональности каналов необходимы регулярные мероприятия по расчистке с цикличностью не более 3–5 лет, приоритетно направленные на угнетение корневой системы доминирующих видов-колонизаторов, чтобы предотвратить их быстрое вегетативное восстановление.

Статистический анализ экспериментальных данных позволил установить размерные характеристики кустарниковой растительности, распространенной на оросительных каналах (таблица 4.3, рисунки 4.3-4.11, приложение В).

Таблица 4.3 – Статистический анализ полевых данных по размерным показателям кустарниковой растительности

Годы	Размерная характеристика	Объем выборки	Средняя арифметическая	Медиана	Сумма	Минимум	Максимум	Нижний квартиль	Верхний квартиль	Размах
2018	Высота, см	250	308,5	330	77135	96	495	214	398	399
	Диаметр ствола у основания, мм	250	49,9	48	12483	11	102	34	66	91
	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, мм	250	37,9	35,5	9480	9	92	24	49	83
2021	Высота, см	250	362,7	365,5	90680	118	592	261	481	474
	Диаметр ствола у основания, мм	250	57,2	56	14309	15	118	38	73	103
	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, мм	250	43,0	41	10755	10	106	28	55	96
2024	Высота, см	250	381,5	368	95373	150	619	263	496	469
	Диаметр ствола у основания, мм	250	61,2	56,5	15301	17	129	42	79	112
	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, мм	250	46,1	42	11534	14	109	30	58	95

Окончание таблицы 4.3

Годы	Размерная характеристика	Дисперсия	Стандартное отклонение	Стандартная ошибка среднего	Асимметрия	Стандартная ошибка асимметрии	Эксцесс	Стандартная ошибка эксцесса	Коэффициент вариации	Относительная ошибка среднего значения
2018	Высота, см	12735,98	112,85	7,14	-0,221	0,154	-1,103	0,307	36,58	2,31
	Диаметр ствола у основания, мм	447,26	21,15	1,34	0,279	0,154	-0,672	0,307	42,35	2,69
	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, мм	333,65	18,27	1,16	0,680	0,154	0,052	0,307	48,17	3,06
2021	Высота, см	18299,22	135,27	8,56	-0,050	0,154	-1,118	0,307	37,29	2,36
	Диаметр ствола у основания, мм	582,08	24,13	1,53	0,393	0,154	-0,466	0,307	42,15	2,67
	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, мм	385,07	19,62	1,24	0,645	0,154	0,182	0,307	45,61	2,88
2024	Высота, см	19215,98	138,62	8,77	0,120	0,154	-1,183	0,307	36,37	2,30
	Диаметр ствола у основания, мм	653,66	25,57	1,62	0,533	0,154	-0,507	0,307	41,77	2,65
	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, мм	428,34	20,70	1,31	0,805	0,154	0,043	0,307	44,86	2,84

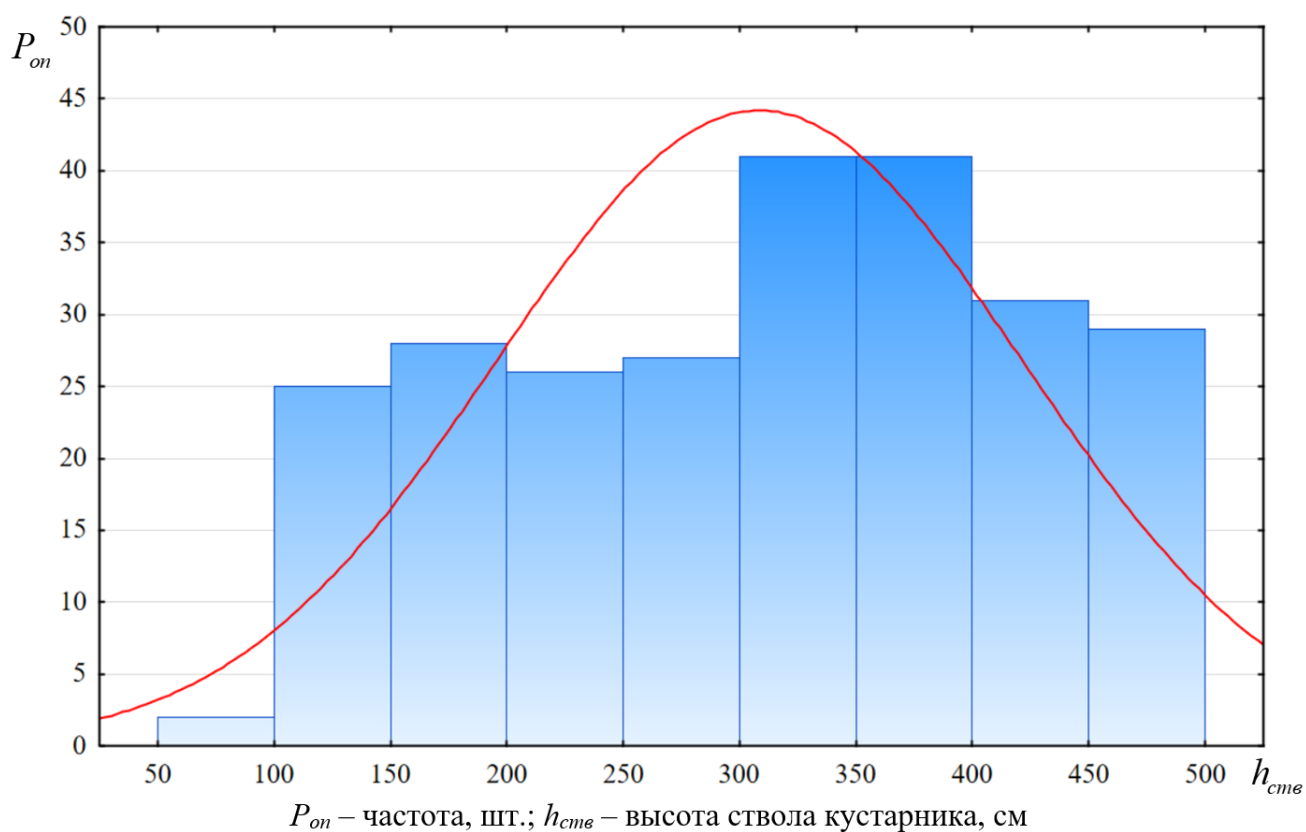


Рисунок 4.3 – Графическое отображение распределения высот кустарниковой растительности по результатам полевых исследований 2018 года

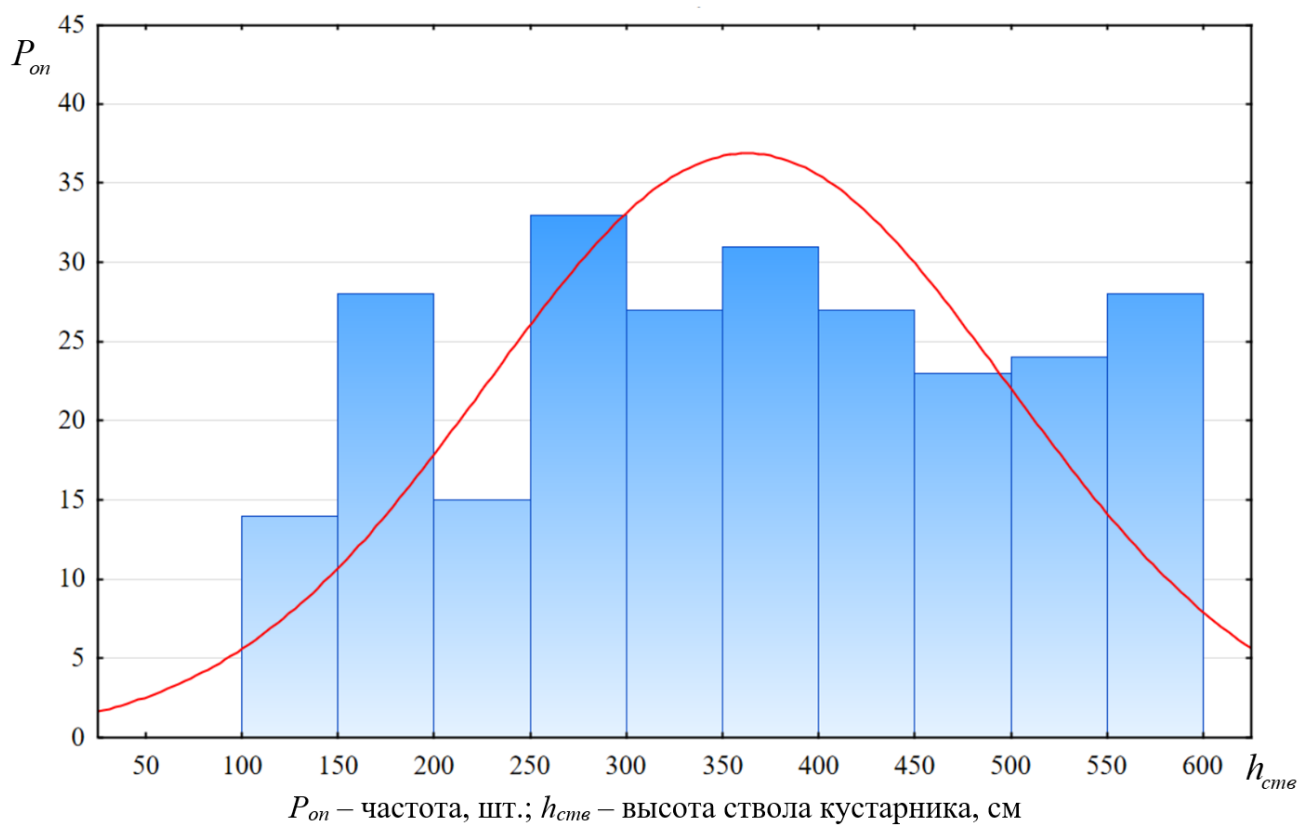


Рисунок 4.4 – Графическое отображение распределения высот кустарниковой растительности по результатам полевых исследований 2021 года

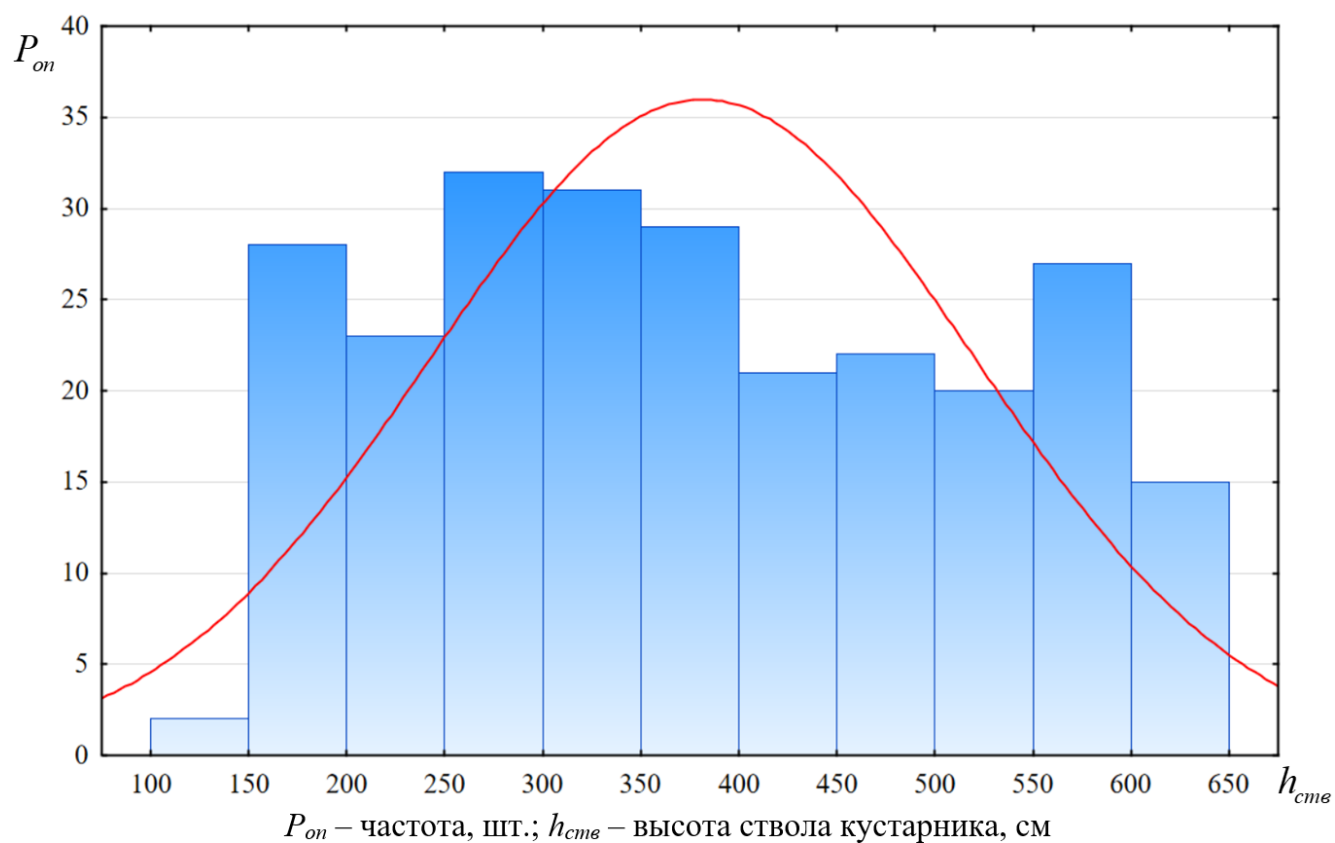


Рисунок 4.5 – Графическое отображение распределения высот кустарниковой растительности по результатам полевых исследований 2024 года

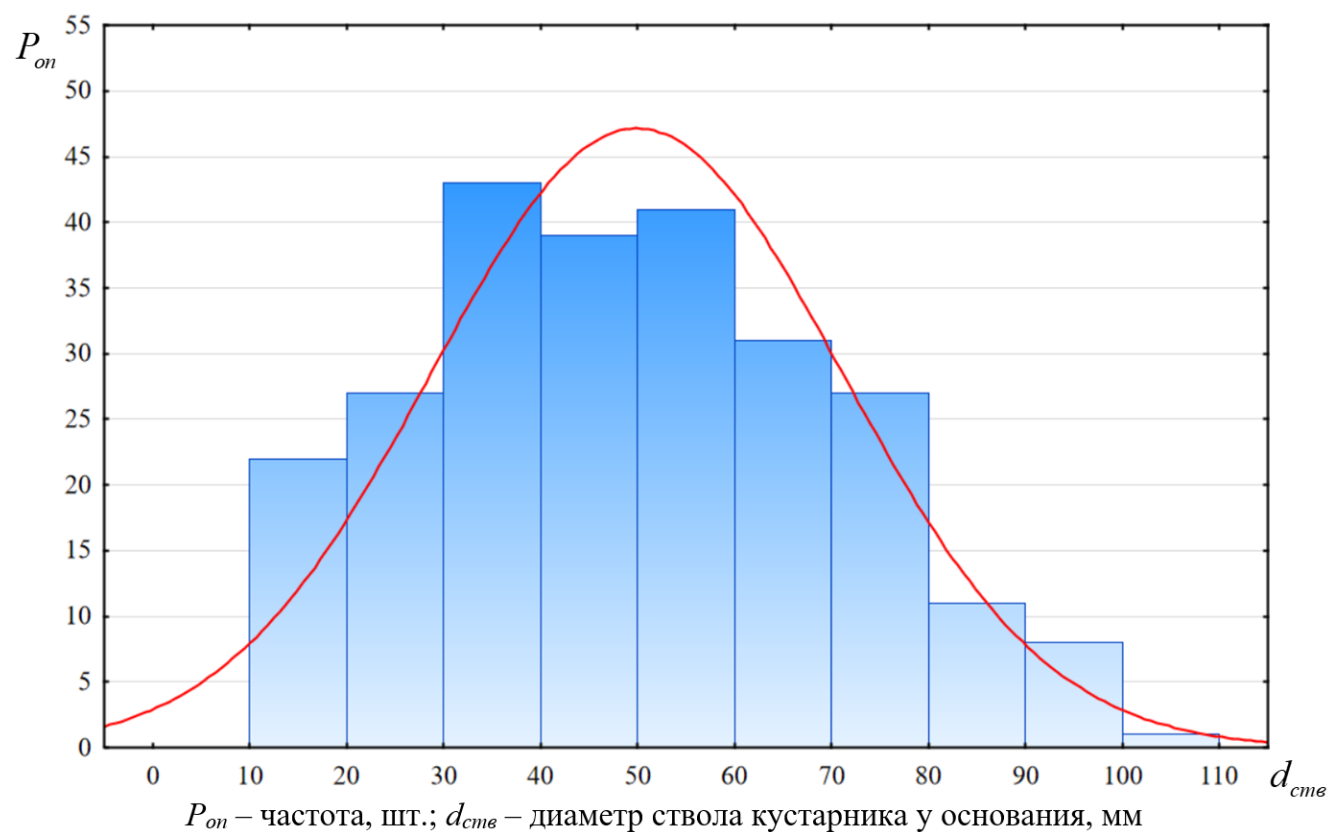
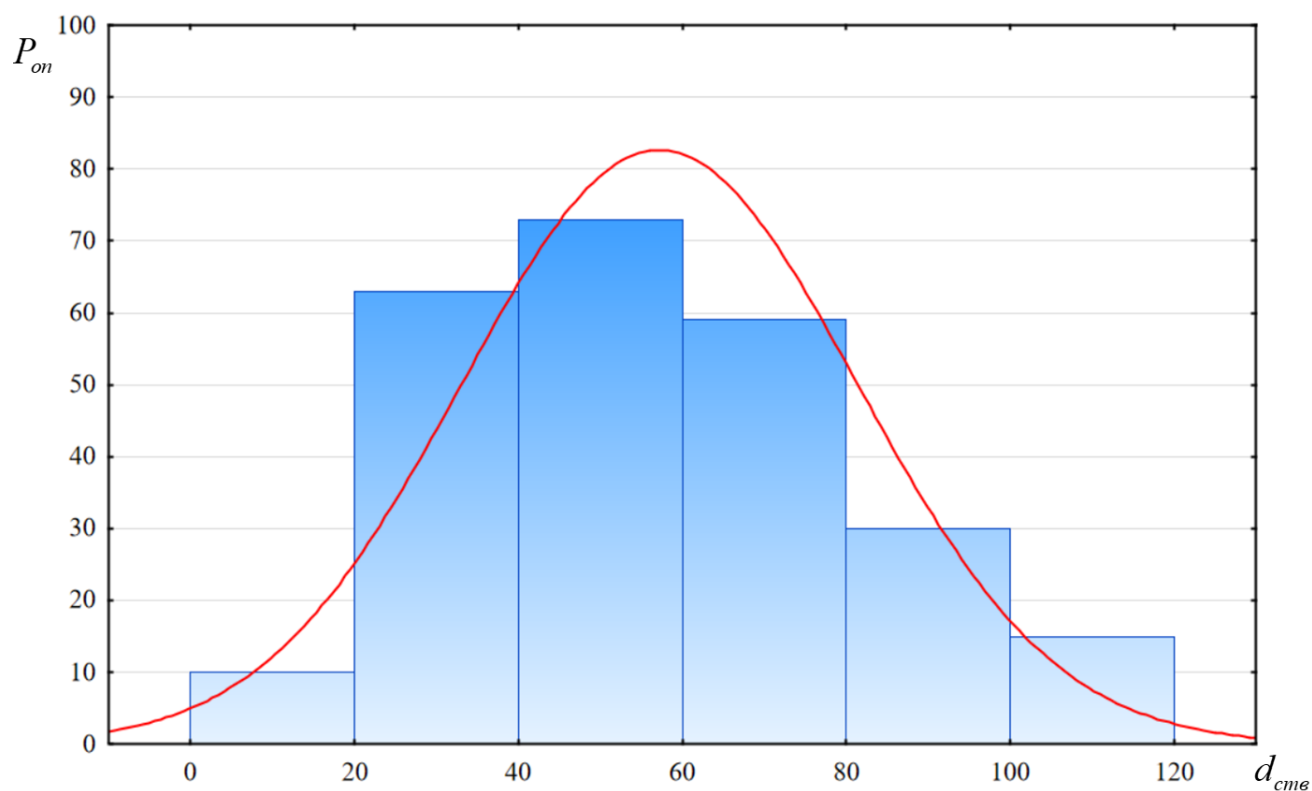
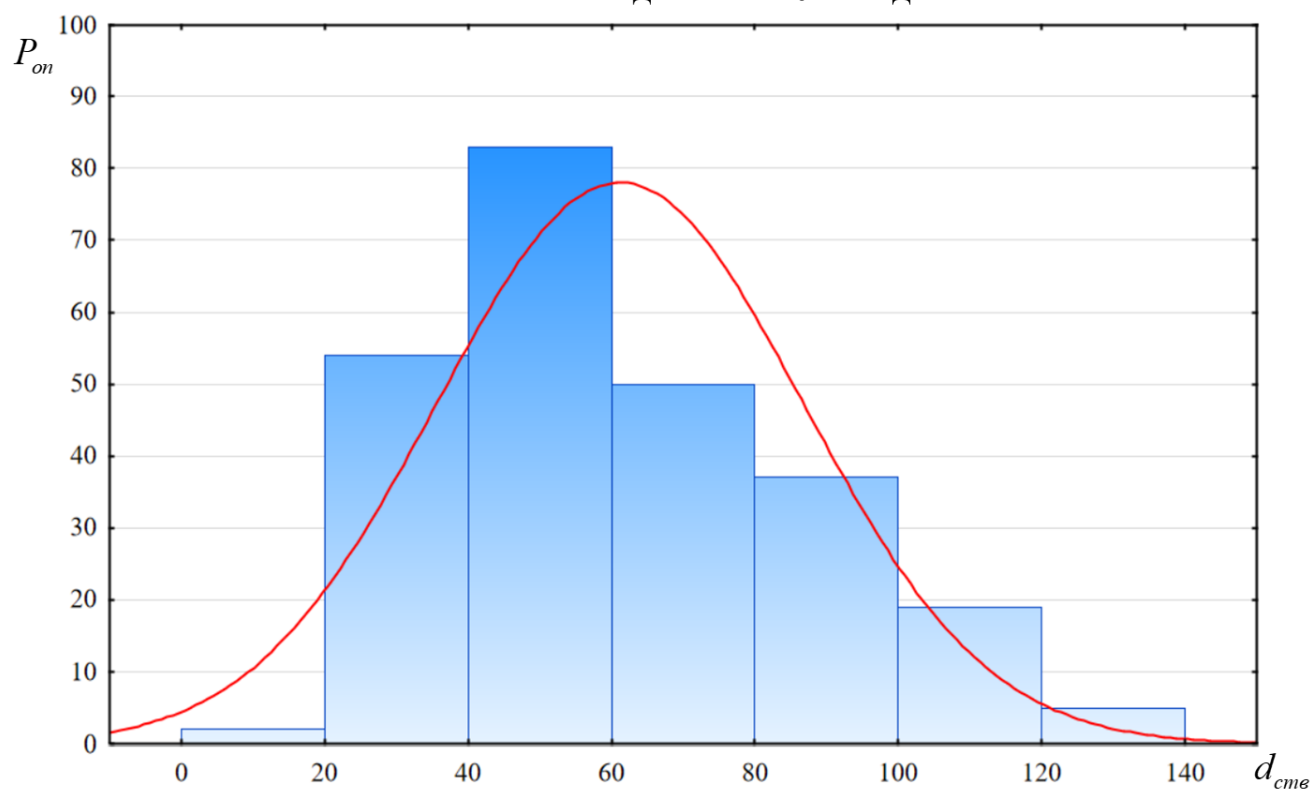


Рисунок 4.6 – Графическое отображение распределения диаметра ствола кустарниковой растительности у основания по результатам полевых исследований 2018 года



P_{on} – частота, шт.; $d_{сте}$ – диаметр ствола кустарника у основания, мм

Рисунок 4.7 – Графическое отображение распределения диаметра ствола кустарниковой растительности у основания по результатам полевых исследований 2021 года



P_{on} – частота, шт.; $d_{сте}$ – диаметр ствола кустарника у основания, мм

Рисунок 4.8 – Графическое отображение распределения диаметра ствола кустарниковой растительности у основания по результатам полевых исследований 2024 года

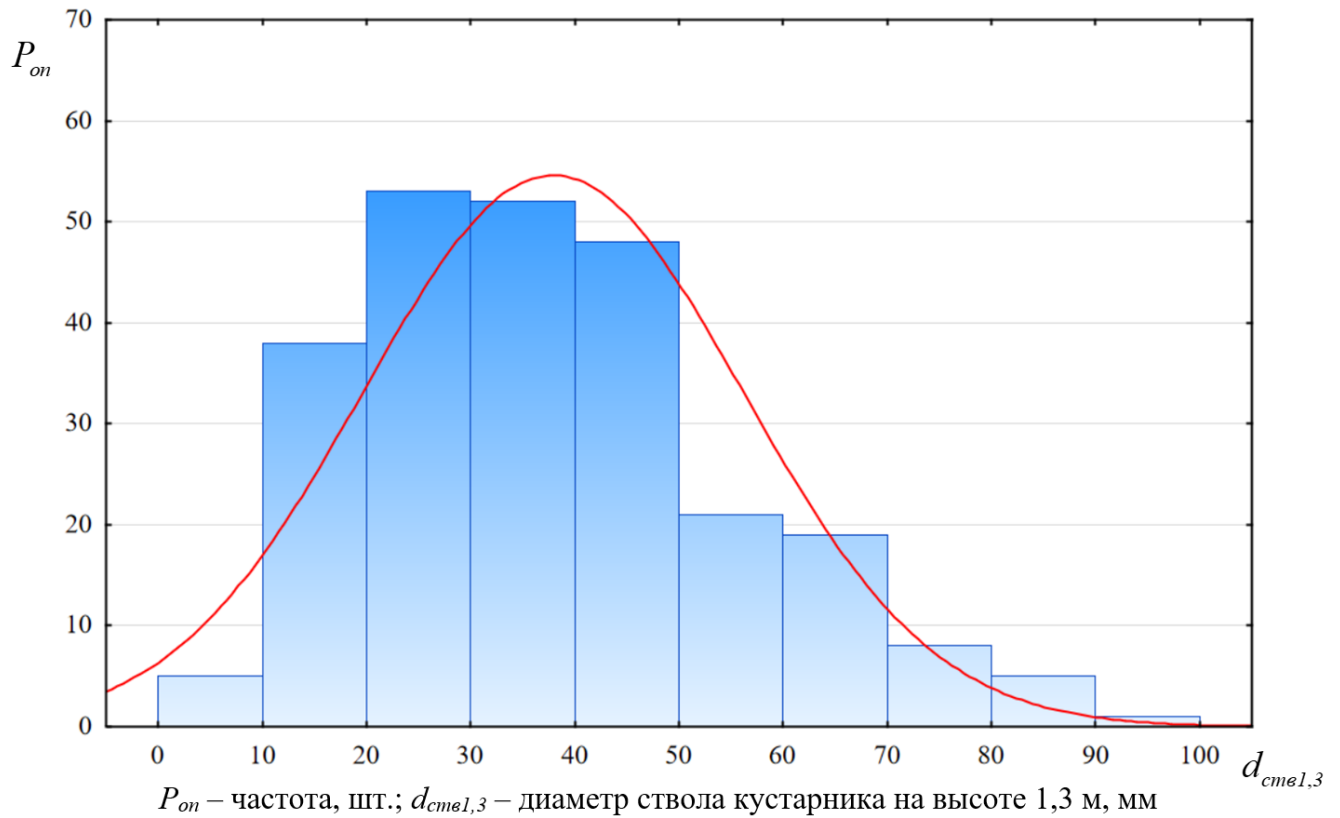


Рисунок 4.9 – Графическое отображение распределения диаметра ствола кустарниковой растительности на высоте 1,3 м по результатам полевых исследований 2018 года

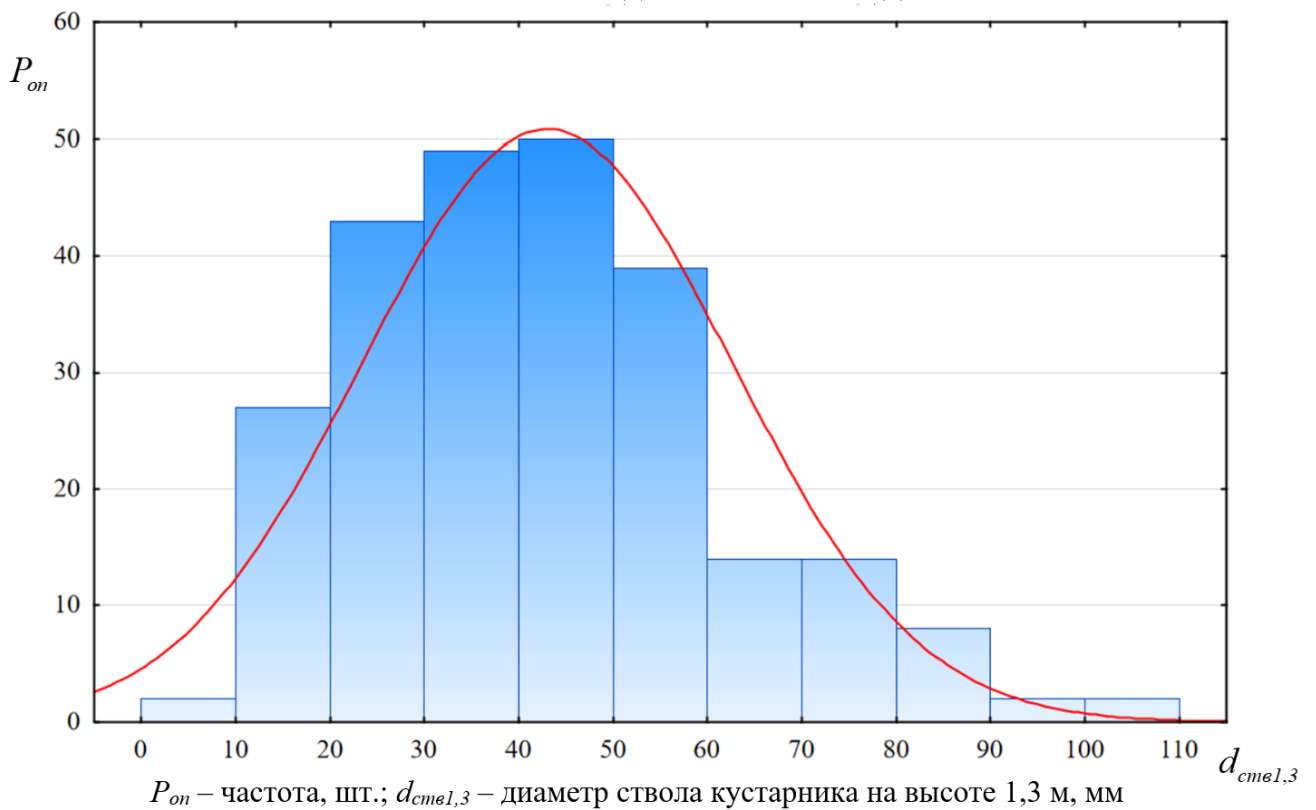


Рисунок 4.10 – Графическое отображение распределения диаметра ствола кустарниковой растительности на высоте 1,3 м по результатам полевых исследований 2021 года

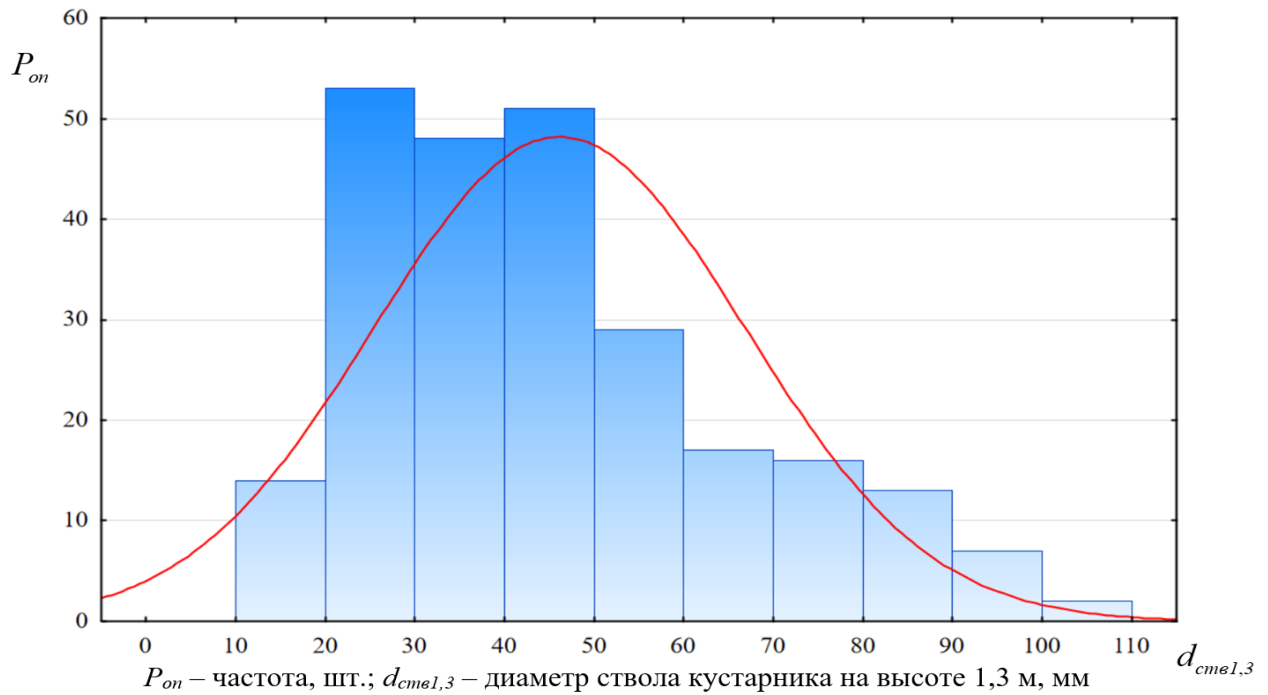


Рисунок 4.11 – Графическое отображение распределения диаметра ствола кустарниковой растительности на высоте 1,3 м по результатам полевых исследований 2024 года

В ходе исследований установлена статистически значимая положительная динамика линейных размеров. За шестилетний период наблюдался устойчивый прирост средней высоты особей на 23,6 %, диаметра у основания – на 22,6 %, и диаметра на высоте 1,3 м – на 21,6 %. Данный тренд, наряду с увеличением размаха вариации, свидетельствует об активном развитии и усложнении возрастной структуры растительных ценозов в условиях стабильного гидрологического режима, поддерживаемого оросительной системой.

Анализ параметров распределения выявил высокую пространственную неоднородность популяции. Коэффициенты вариации для диаметров стволов оставались высокими (41,8–48,2 %), что характерно для экотонных сообществ вдоль каналов, где сочетается влияние антропогенного увлажнения и естественной мозаичности местообитаний. Важнейшим результатом является усиление положительной асимметрии в распределении диаметров (рост значений с 0,279 до 0,533 у основания), указывающее на процесс дифференциации особей и формирование группы доминирующих экземпляров, наиболее эффективно использующих ресурсы приканальной полосы.

Полученные оценки обладают высокой репрезентативностью благодаря большому объему выборки ($n = 250$) и низким значениям относительной ошибки среднего (2,30–3,06 %). Это позволяет рассматривать данные как достоверную количественную основу для оценки состояния оросительных каналов.

Результаты исследований подтверждают, что стабильный гидрологический режим оросительных каналов способствует интенсивному росту (более 20 % за 6 лет) и структурному усложнению кустарниковой растительности, что проявляется в формировании устойчивой группы крупномерных особей с высокими диаметрами стволов. Данная динамика обуславливает необходимость поддержания регулярного цикла эксплуатационных работ для предотвращения неконтролируемого зарастания, однако требует пересмотра их организации: возрастающая механическая прочность и размеры кустарников, а также высокая пространственная неоднородность зарослей диктуют необходимость применения специализированной техники для очистки оросительных каналов, такой как кусторезы на базе тракторов, что позволит оптимизировать ресурсы и повысить эффективность содержания оросительных систем.

4.1.2 Результаты полевых исследований заиления оросительных каналов

Объем и структура распределения донных отложений в оросительных каналах оказывают непосредственное влияние как на технологию проведения работ, так и на эксплуатационную производительность каналаочистительной техники.

В ходе обследований контрольных участков на каналах Энгельсской и Приволжской оросительных систем (ФГБУ «Управление Саратовмелиоводхоз») установлено, что мощность наносного слоя варьирует от 20 до 50 см на прямолинейных отрезках и достигает 70 см в зонах переездов и перед задвижками.

С целью определения пропускной способности каналов до и после очистки выполнялись замеры толщины грунтовых отложений. Продольный уклон русел обследованных каналов составляет 0,0005, крепление выполнено железобетонными плитами. Статистическая обработка полученных данных позволила выделить наиболее характерные значения толщины наносов и построить расчетные схемы (рисунки 4.12–4.14), которые наглядно демонстрируют особенности распределения отложений по поперечному сечению русла на различных участках каналов.

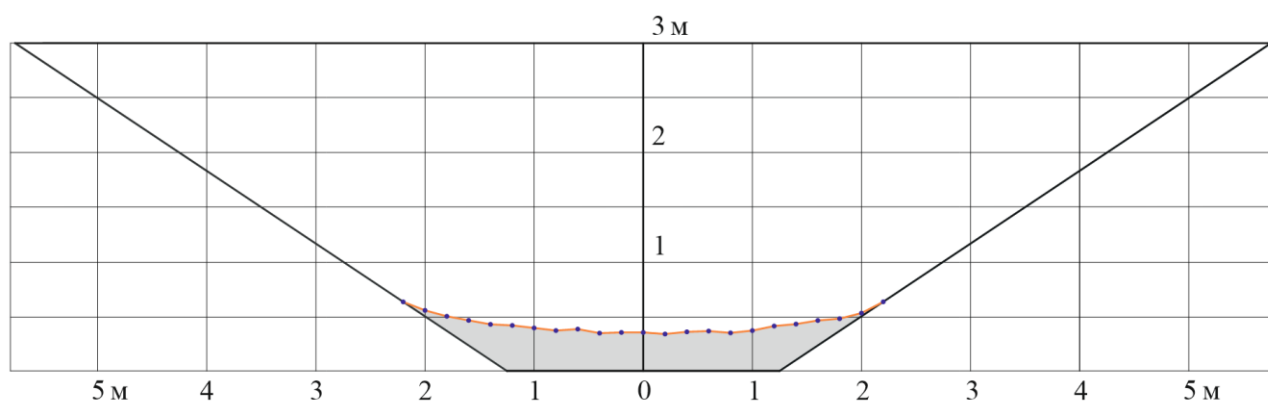


Рисунок 4.12 – Распределение наносов в поперечном сечении русла канала
глубина – 3 м; ширина по дну – 2,5 м; заложение откосов – 1:1,5

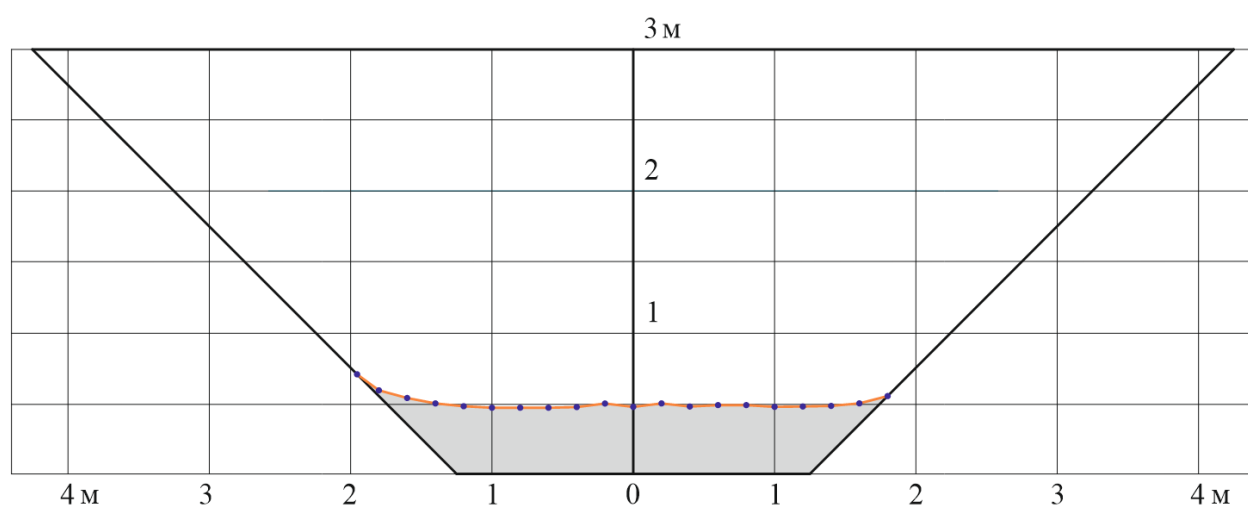


Рисунок 4.13 – Распределение наносов в поперечном сечении русла канала
глубина – 3 м; ширина по дну – 2,5 м; заложение откосов – 1:1

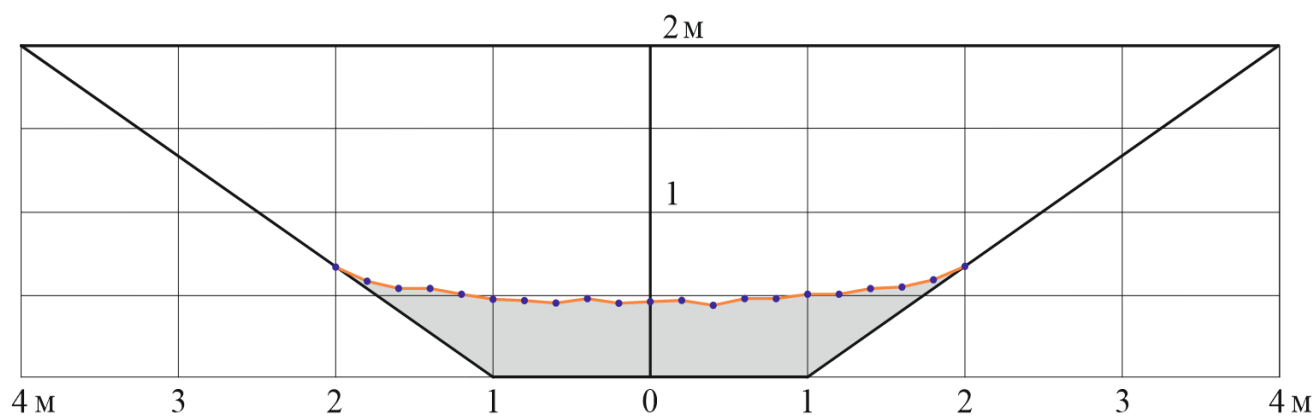


Рисунок 4.14 – Распределение наносов в поперечном сечении русла канала
глубина – 2 м; ширина по дну – 2 м; заложение откосов – 1:1,5

Расчеты (см. приложение Г) производились по методике, приведенной в 3 главе, полученные результаты представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Сводная таблица результатов расчета пропускной способности оросительных каналов

№ п/п	Глубина канала $H_{кан}$, м	Заложение откосов m	Пропускная способность $Q_{кан}$, м ³ /с		Повышение пропускной способности, %
			с наносами	после очистки	
1	3	1:1,5	12,8	15,73	22,9
2	3	1:1	9,51	12,42	30,6
3	2	1:1,5	5,75	7,55	31,3

Очистка экспериментальных участков оросительных каналов от наносов позволила повысить их пропускную способность на 22,9; 30,6 и 31,3 %.

Таким образом, проведенные исследования оросительных каналов на предмет зарастания кустарником и заиления наносами подтверждают, что для обеспечения работы каналов с проектными характеристиками, существует острая необходимость их очистки от кустарниковой растительности и наносов.

4.2 Результаты производственных испытаний ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции каналов и напорных трубопроводов оросительных систем полива дождеванием

Производственные испытания ресурсосберегающих технологий, разработанных для мелиоративного производства, проводились на оросительных системах ФГБУ Управление «Саратовмелиоводхоз» и ФГБУ «Управление «Астрахан-мелиоводхоз» (приложение М).

Очистка оросительного канала по традиционной (базовый вариант) и ресурсосберегающей (новый вариант) технологиям включала в себя следующие операции (рисунки 4.15–4.17).

Оценка эффективности рассматриваемых технологий выполнялась на основе энергетического анализа, материалы которого представлены в приложении Д. Итоговые результаты данной оценки вместе с соответствующими расчетами приведены в главе 5, а также в приложениях Е, Ж, З, И.



1. Срезание кустарниковой растительности



2. Удаление срезанной растительности



3. Корчевание пней

4. Осмотр и исправление повреждений берм и откосов



5. Планировка бермы



6. Очистка русла канала от наносов



7. Разравнивание извлеченного наносного грунта

Рисунок 4.15 – Традиционная технология эксплуатации оросительных каналов



1. Визуальный осмотр поверхностей берм и откосов канала, удаление из зоны выполнения работ посторонних предметов



2. Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на бермах канала



3. Сбор срезанного на берме кустарника и мелколесья в кучи



4. Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на откосах канала



5. Извлечение срезанной растительности из русла канала с последующим ее перемещением в сформированные кучи



6. Угнетение пней на бермах канала

Рисунок 4.16 – Ресурсосберегающая технология эксплуатации оросительных каналов



7. Угнетение пней на откосах канала



8. Переработка удаляемой древесины в энергетическую или технологическую щепу



9. Транспортировка щепы потребителю или к месту хранения



10. Очистка русла канала от наносов



11. Разравнивание извлеченного наносного грунта



12. Доинъектирование пней на берегах и откосах канала

Рисунок 4.17 – Ресурсосберегающая технология эксплуатации оросительных каналов (окончание)

Для предложенных технологий средний показатель интенсификации относительно базовых вариантов составил:

- ресурсосберегающая технология эксплуатации оросительных каналов – 45,8 %;
- ресурсосберегающая технология ремонта и реконструкции оросительных каналов – 11,9 %;
- ресурсосберегающая технология ремонта напорных трубопроводов – 10 %;
- ресурсосберегающая технология реконструкции напорных трубопроводов – 12,3 %.

Таким образом, производственные испытания подтвердили высокую эффективность предложенных технологий. Проведенные натурные эксперименты сформировали репрезентативную доказательную базу, которая обеспечивает валидность теоретических положений диссертации и достоверность выводов. Количественные показатели интенсификации (от 10 % до 45,8 %) не только демонстрируют преимущество новых технологий, но и служат ключевыми входными параметрами для разработанных в исследовании оптимизационных моделей, создавая замкнутый цикл «теория – эксперимент – практическая рекомендация».

4.3 Результаты производственных испытаний технологии эксплуатации дождевальных машин кругового действия с определением оптимального местоположения монтажной площадки

В процессе производственных испытаний технологии эксплуатации дождевальных машин кругового действия решалась задача определения оптимального местоположения монтажных площадок. По результатам оптимизационных расчетов были получены следующие координаты их размещения:

- для первого участка смещение на восток 2114 м и на север 208 м;
- для второго участка смещение на восток 2545 м и на юг 2150 м;
- для третьего участка смещение на восток 325 м и на юг 1275 м;
- для четвертого участка смещение на запад 1530 м и на юг 390 м.

Начало отсчета принято в точке подключения оросительной сети участка к напорному трубопроводу НС-9 (начальная координата).

Графическое отображение взаимного расположения дождевальных машин и оптимальных монтажных площадок приведено на рисунке 4.18.

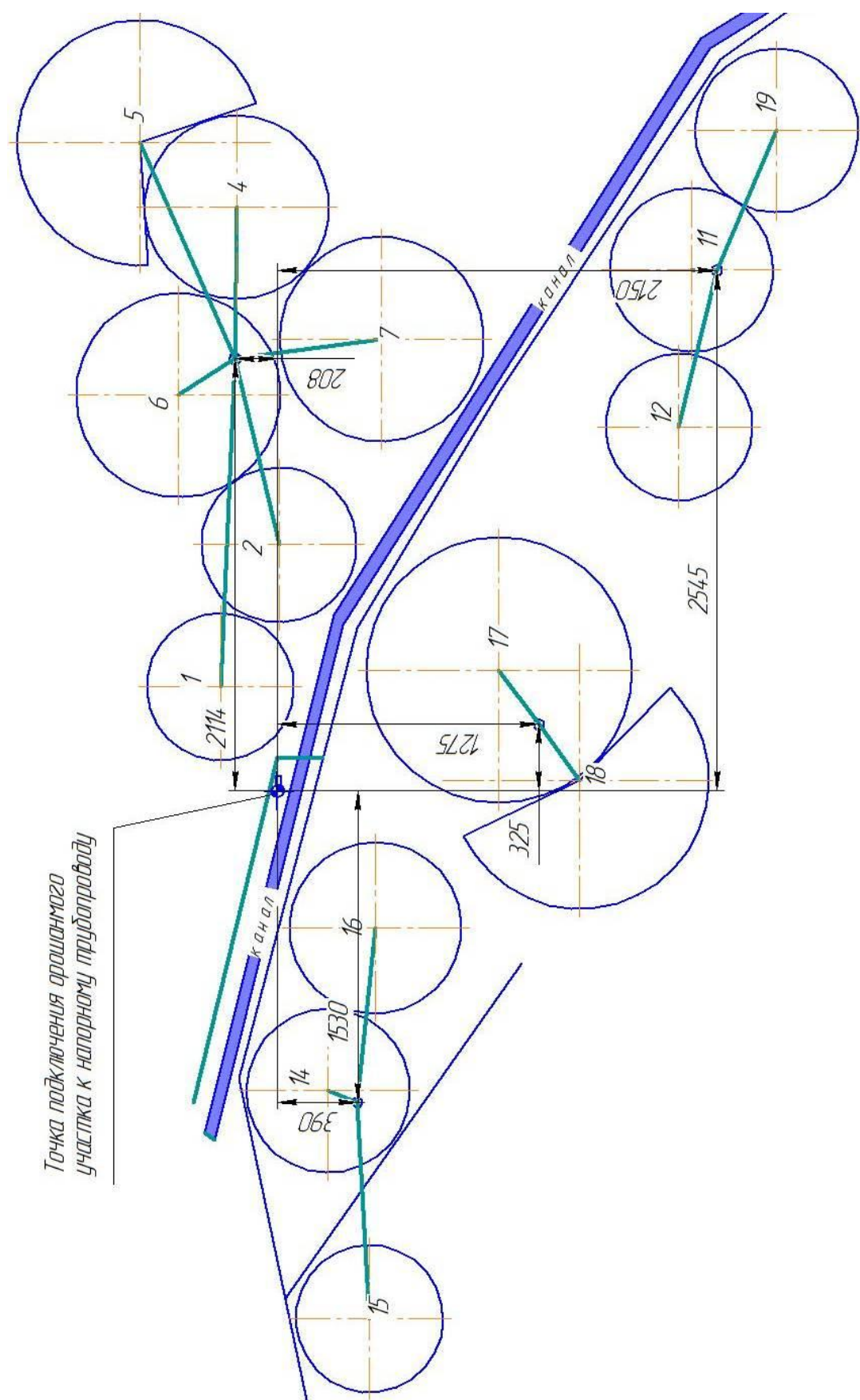


Рисунок 4.18 – Схема оптимального расположения монтажных площадок

4.4 Результаты экспериментальной апробации оптимизационной математической модели интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией

В ходе экспериментальных исследований производилось сравнение энергопотребления насосной станции при работе по классическому принципу и при работе с интеллектуальной системой управления (ИСУ), адаптивно подстраивающей работу насосов под текущие потребности. Объект исследования – двухкаскадная насосная станция (см. главу 3).

Сценарии:

1) Базовый сценарий (без ИСУ): насосы ВНС-1 и ВНС-2 работают по классическому принципу. Давление поддерживается путем простого включения или отключения насосов при достижении граничных значений давления. Преобразователи частоты (ПЧ) не задействованы или отключены. Все работающие насосы функционируют на фиксированной, номинальной скорости.

2) Сценарий с ИСУ: используются все возможности, заложенные в проект:

- $P = const$ на напорном коллекторе ВНС-2 с помощью ПЧ;
- каскадное управление: интеллектуальный подбор количества работающих насосов в каждой станции и точная подстройка их скорости вращения для поддержания точного давления;
- оптимизация работы ВНС-1: управление насосами 1-го подъема на основе не только уровня в колодце, но и потребного расхода для ВНС-2.

Моделируемые условия: запуск одной очереди дождевальных машин (ДМ №1-ДМ №6) с суммарным расходом $\sim 725 \text{ м}^3/\text{ч}$. Давление на выходе из ВНС-2 должно поддерживаться на уровне 9,25 бар (напор 92,5 м).

Базовый сценарий (без интеллектуальной системы управления).

Насосы работают на номинальной скорости. Для обеспечения переменного расхода система вынуждена использовать метод переключения и сброс избыточного давления через задвижки.

Энергопотребление и параметры системы без ИСУ представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Энергопотребление и параметры системы (без ИСУ)

Время работы, мин	Активная мощность, кВт	Потребляемый ток, А	Фактическое давление, бар	Фактический расход, м³/ч	Примечание
0	0	0	0	0	Старт
1	705	1102	11,5 (скачок)	850	Пуск всех насосов, риск гидроудара
5	705	1102	10,8	850	Давление высокое, расход избыточный
10	525	821	9,8	637	Отключен 1 насос ВНС-2
15	525	821	9,6	625	Работа с частично прикрытой задвижкой
20	525	821	9,4	615	Постепенное падение давления
25	525	821	9,3	610	Работа 2х насосов ВНС-2. Давление продолжает медленно падать из-за условий в сети
30	525	821	9,1	605	Стабильная работа в этом режиме. Давление близко к нижнему допустимому пределу
35	525	821	8,9	600	Давление упало ниже целевого (9,25 бар). Система почти готова дать команду на включение доп. насоса
40	525	821	8,7	595	Давление достигло нижней уставки. Происходит запуск 3-го насоса ВНС-2
45	705	1102	8,0	850	Включен резервный насос для подъема давления
50	705	1102	10,5	850	Давление снова избыточно
55	525	821	9,7	630	Снова отключен 1 насос

Выводы по базовому сценарию:

- высокое энергопотребление: насосы часто работают в точке с избыточным давлением и расходом, что неэффективно;
- нестабильное давление: колебания давления негативно влияют на равномерность полива и износ оборудования;
- гидравлические удары: каждое включение или выключение насоса вызывает скачки давления, опасные для трубопроводов и арматуры;
- высокие пусковые токи: многократные включения насосов приводят к пиковым нагрузкам на электросеть.

Сценарий с интеллектуальной системой управления (ИСУ).

ИСУ плавно регулирует скорость вращения насосов, точно подстраивая их производительность под потребности системы.

Энергопотребление и параметры системы с применением ИСУ представлены в таблице 4.6.

Выводы по сценарию с ИСУ:

- снижение энергопотребления: мощность стабилизировалась на уровне 495 кВт против 615 кВт в базовом сценарии;
- экономия энергии 19,5 %;
- стабильность параметров: давление и расход поддерживаются с высокой точностью, что обеспечивает качественный полив;
- отсутствие риска возникновения гидроударов: плавный пуск и регулирование скорости защищают оборудование.

Таким образом, применение интеллектуальной системы управления на двухкаскадной насосной станции оросительной системы позволяет достичь экономии электроэнергии за счет ликвидации потерь на дросселирование и работы насосов в неоптимальных режимах. Кроме прямой экономии, ИСУ обеспечивает:

- повышение надежности и срока службы оборудования;
- высокое и стабильное качество полива;
- снижение эксплуатационных расходов на ремонт и обслуживание;
- уменьшение пиковых нагрузок на электрическую сеть.

Таблица 4.6 – Энергопотребление и параметры системы (с ИСУ)

Время работы, мин	Активная мощность, кВт	Потребляемый ток, А	Фактическое давление, бар	Фактический расход, м³/ч	Примечание
0	0	0	0	0	Старт
1	450	704	9,0	650	Плавный пуск насосов ПЧ
5	495	774	9,25	725	Целевые параметры достигнуты
10	495	774	9,25	725	Стабильная работа
15	495	774	9,25	725	Стабильная работа
20	495	774	9,25	725	Стабильная работа
25	495	774	9,25	725	Стабильная работа
30	495	774	9,25	725	Стабильная работа
35	495	774	9,25	725	Стабильная работа
40	495	774	9,25	725	Стабильная работа
45	495	774	9,25	725	Стабильная работа
50	495	774	9,25	725	Стабильная работа
55	495	774	9,25	725	Стабильная работа

4.5 Результаты экспериментальной апробации оптимизационной математической модели формирования парка машин

Экспериментальные исследования модели оптимального формирования парка машин проводились для производственных условий ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз». В разработанных ресурсосберегающих технологиях эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем, наиболее энергозатратными являются операции очистки сооружений от кустарниковой растительности и земляные работы. Поэтому в качестве реализации предложенной методики расчеты производились для кусторезов и одноковшовых экскаваторов.

Определение эффективных кусторезов.

На основании исходных данных, соответствующих кусторезам (приложение А): m_1 – МК-1; m_2 – МК-2; m_3 – КН-1; m_4 – КН-2; m_5 – КН-3; m_6 – КН-3М и касающихся элементов, отмеченных множеств математической модели (см. главу 2) заполнена таблица 4.7.

Таблица 4.7 – Техническо-энергетические характеристики кусторезов

M	χ	$N_{\text{дв}}, \text{кВт}$	$\Pi_m, \text{м}^2/\text{ч}$	$\Phi, \text{маш.-ч}$	$V, \text{м}^2$	$\mathcal{E}_{\text{раб}}, \text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$
МК-1		55	700	600	420000	47,1
МК-2		55	900	600	540000	36,7
КН-1		66,2	1050	600	630000	37,8
КН-2		55	1070	600	642000	30,8
КН-3		55	1170	600	702000	28,2
КН-3М		55	1260	600	756000	26,2

В процессе расчета $\mathcal{E}_{\text{раб}}$ были учтены условия представленные в главе 3.

При определении коэффициентов оптимальности были выбраны характеристики V и $\mathcal{E}_{\text{раб}}$. На основании данных таблицы 4.7 составлена таблица 4.8, учитывающая коэффициенты оптимальности. Также в данной таблице представлен показатель эффективности $Z_{\text{эф}}$.

Таблица 4.8 – Коэффициенты оптимальности и индексы эффективности кусторезов

M	χ	$V, \text{м}^2$	$\mathcal{E}_{\text{раб}}, \text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$	$k_i^*, \%$	$Z_{\text{эф}}$
МК-1		420000	47,1	0,011	6
МК-2		540000	36,7	0,007	4
КН-1		630000	37,8	0,006	5
КН-2		642000	30,8	0,005	3
КН-3		702000	28,2	0,004	2
КН-3М		756000	26,2	0,003	1

Анализируя данные таблицы 4.8, можно сделать вывод, что наиболее эффективным является кусторез марки КН-3М и далее по убыванию показателя эффективности кусторезы – КН-3, КН-2, КН-1, МК-2, МК-1.

Определение эффективных одноковшовых экскаваторов.

На основании исходных данных, соответствующих экскаваторам (приложение А): m_1 – ЭО-2621; m_2 – ЭО-3323; m_3 – ЭО-3323М; m_4 – ЭО-4321; m_5 – ЭО-4121 и касающихся элементов, отмеченных множеств математической модели (см. главу 2) заполнена таблица 4.9.

Таблица 4.9 – Техническо-энергетические характеристики одноковшовых экскаваторов

M	χ	$N_{\text{об}}, \text{кВт}$	$\Pi_m, \text{м}^3/\text{ч}$	$\Phi, \text{маш.}\cdot\text{ч}$	$V, \text{м}^3$	$\mathcal{E}_{\text{раб}}, \text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$
ЭО-2621		44	20	2330	46600	5126
ЭО-3323		55	25	2330	58250	5126
ЭО-3323М		55	39	2330	90870	3285,9
ЭО-4321		59	40	2315	92600	3414,6
ЭО-4121		95	50	2315	115750	4398,5

В процессе расчета $\mathcal{E}_{\text{раб}}$ были учтены условия представленные в главе 3.

При определении коэффициентов оптимальности были выбраны характеристики V и $\mathcal{E}_{\text{раб}}$. На основании данных таблицы 4.9 составлена таблица 4.10, учитывающая коэффициенты оптимальности. Также в данной таблице представлен показатель эффективности $Z_{\text{эф}}$.

Таблица 4.10 – Коэффициенты оптимальности и индексы эффективности одноковшовых экскаваторов.

M	χ	$V, \text{м}^3$	$\mathcal{E}_{\text{раб}}, \text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$	$K_i^*, \%$	$Z_{\text{эф}}$
ЭО-2621		46600	5126	11	5
ЭО-3323		58250	5126	8,8	4
ЭО-3323М		90870	3285,9	3,616	1
ЭО-4321		92600	3414,6	3,687	2
ЭО-4121		115750	4398,5	3,8	3

Анализируя данные таблицы 4.10, можно сделать вывод, что наиболее эффективным является одноковшовый экскаватор марки ЭО-3323М и далее по убыванию показателя эффективности экскаваторы – ЭО-4321, ЭО-4121, ЭО-3323, ЭО-2621.

4.6 Результаты экспериментальной апробации оптимизационной математической модели обновления парка машин

Апробация модели оптимизации обновления парка машин, проводилась на примере кустореза КН-3М и одноковшового экскаватора ЭО-3323М, так как согласно исследованиям, проведенным в предыдущем разделе, эти машины являются наиболее эффективными.

Оптимизация обновления кустореза КН-3М.

Исходные данные:

- тип машины: кусторез универсальный навесной телескопический КН-3М;
- мощность двигателя $N_{\text{дв}} = 55 \text{ кВт}$;
- техническая производительность $\Pi_m = 1260 \text{ м}^2/\text{ч}$;
- годовой фонд рабочего времени $\Phi = 600 \text{ маш.-ч}$.
- коэффициент местных условий объекта = 0,99.

Графики эксплуатационной производительности, фонда рабочего времени и годовых энергозатрат кустореза по годам представлен на рисунках 4.19-4.21.

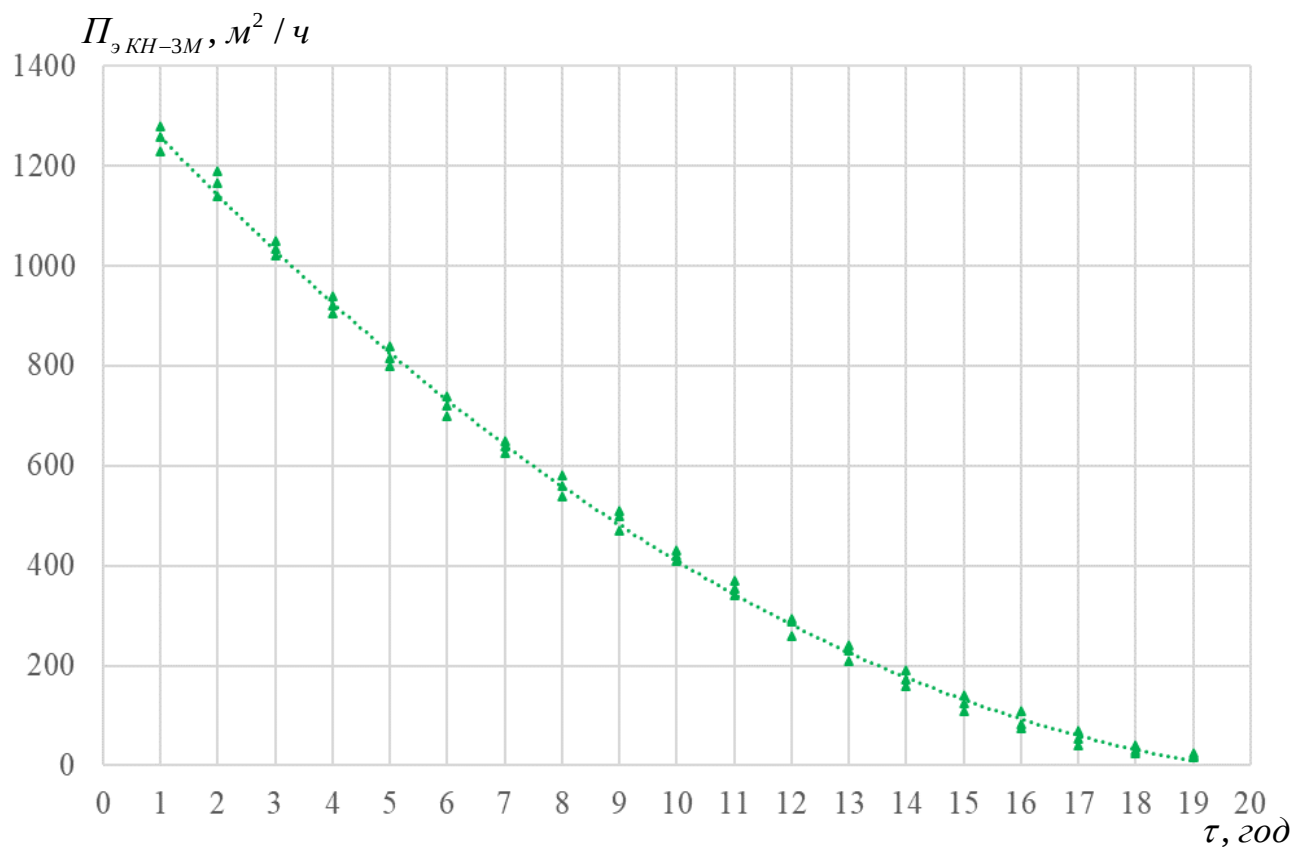


Рисунок 4.19 – Эксплуатационная производительность кустореза КН-3М

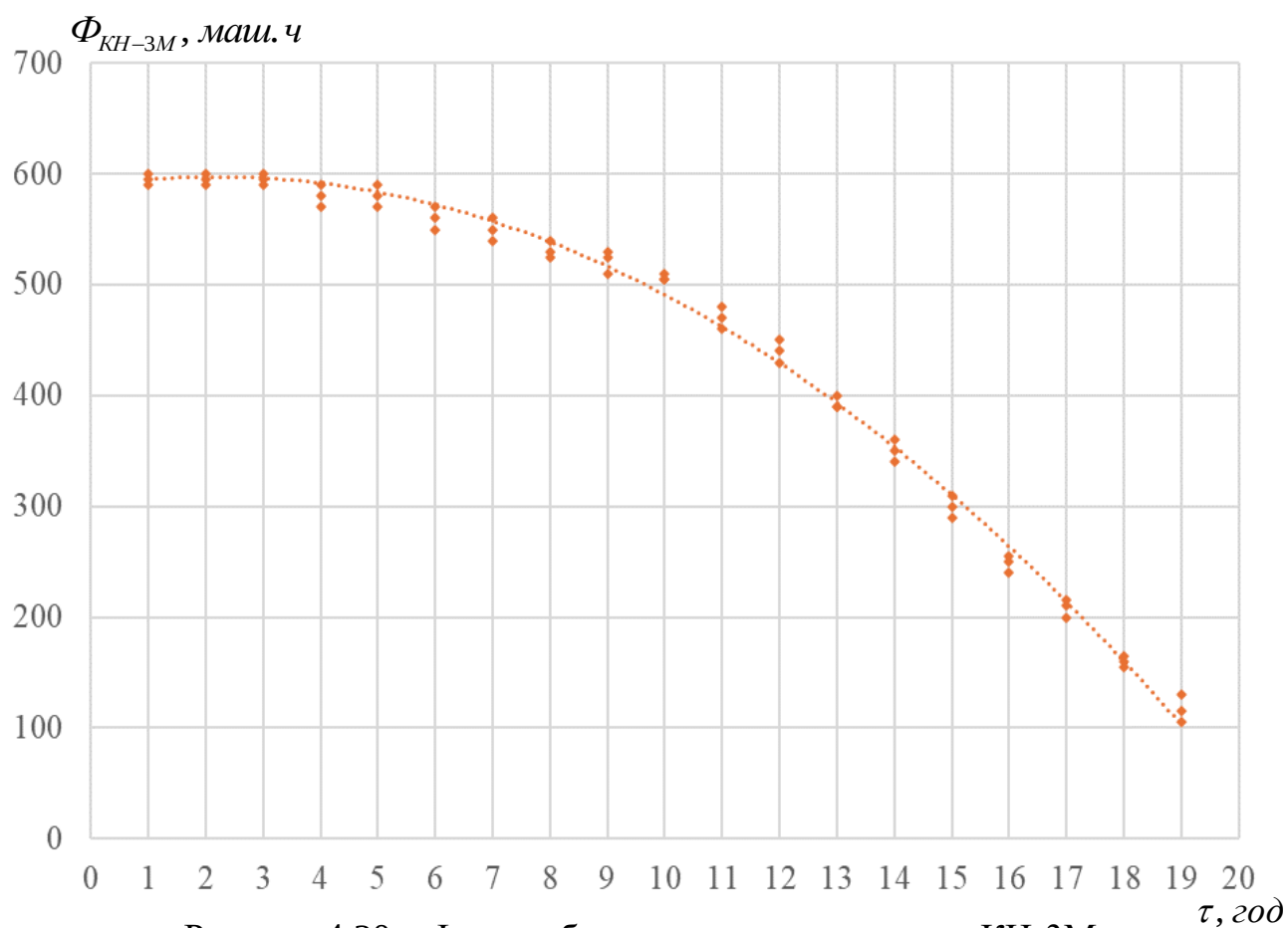


Рисунок 4.20 – Фонд рабочего времени кустореза КН-3М

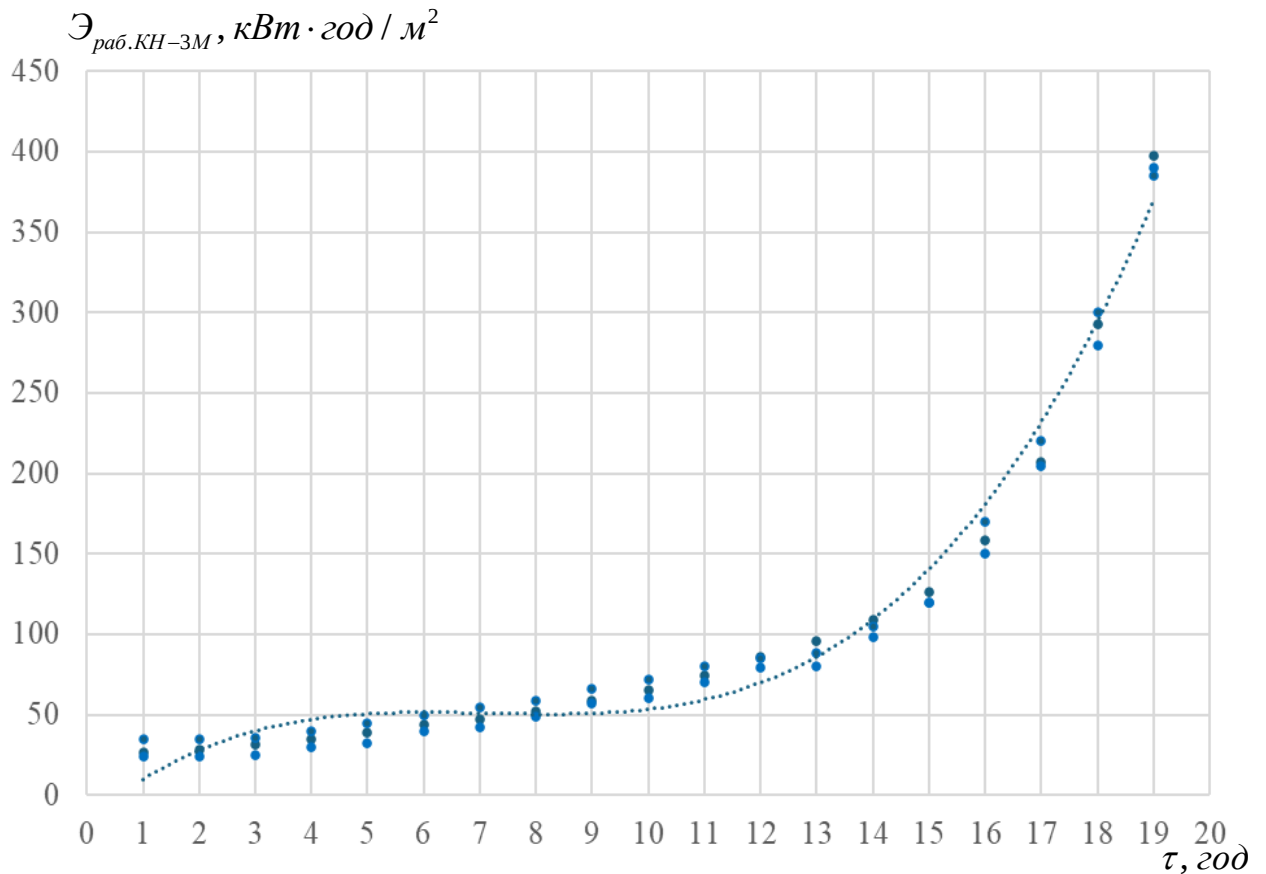


Рисунок 4.21 – Годовые энергозатраты кустореза КН-3М

На основе полученных данных методом регрессионного анализа получены теоретические (аппроксимирующие) зависимости, описывающие динамику изменения исследуемых показателей во времени (формулы 4.1-4.3):

$$П_{\tau_{KH-3M}} = 2,7731 \cdot \tau^2 - 124,84 \cdot \tau + 1380,6; \quad \eta = 0,9989, \quad (4.1)$$

где $П_{\tau_{KH-3M}}$ – эксплуатационная производительность кустореза КН-3М, м²/ч;
 τ – временной интервал, год; η – корреляционное отношение.

$$\Phi_{KH-3M} = -1,7529 \cdot \tau^2 + 7,7249 \cdot \tau + 589,05; \quad \eta = 0,9917, \quad (4.2)$$

где Φ_{KH-3M} – фонд рабочего времени кустореза КН-3М, маш.-ч.

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{раб.КН-3М}} = & 0,1963 \cdot \tau^3 - 4,2065 \cdot \tau^2 + \\ & + 29,308 \cdot \tau - 15,332; \quad \eta = 0,980 \end{aligned} \quad (4.3)$$

где $\mathcal{E}_{\text{раб.КН-3М}}$ – годовые энергозатраты кустореза КН-3М, кВт·год/м².

Оптимизация обновления одноковшового экскаватора ЭО-3323М.

Исходные данные:

- тип машины: экскаватор одноковшовый 3 размерной группы ЭО-3323М;
- мощность двигателя $N_{дв} = 55$ кВт;
- техническая производительность $\Pi_m = 39$ м³/ч;
- годовой фонд рабочего времени $\Phi = 2330$ маш.-ч;
- коэффициент местных условий объекта $K_{ycl} = 0,95$.

Изменение эксплуатационной производительности, фонда рабочего времени и годовых энергозатрат одноковшового экскаватора по годам отражено на рисунках 4.22–4.24.

На основе полученных данных методом регрессионного анализа получены теоретические (аппроксимирующие) зависимости, описывающие динамику изменения исследуемых показателей во времени (формулы 4.4-4.6):

$$\Pi_{эО-3323М} = 0,0678 \cdot \tau^2 - 3,4847 \cdot \tau + 41,992; \eta = 0,9983, \quad (4.4)$$

где $\Pi_{эО-3323М}$ – эксплуатационная производительность одноковшового экскаватора ЭО-3323М, м³/ч; τ – временной интервал, год; η – корреляционное отношение.

$$\begin{aligned} \Phi_{эО-3323М} = & -0,4203 \cdot \tau^3 + 2,487 \cdot \tau^2 + \\ & + 3,0543 \cdot \tau + 2307,8; \eta = 0,9879 \end{aligned} \quad (4.5)$$

где $\Phi_{эО-3323М}$ – фонд рабочего времени одноковшового экскаватора ЭО-3323М, маш.-ч.

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{раб.эО-3323М} = & 25,194 \cdot \tau^3 - 540,21 \cdot \tau^2 + \\ & + 3771,5 \cdot \tau - 2059,3; \eta = 0,9801 \end{aligned} \quad (4.6)$$

где $\mathcal{E}_{раб.эО-3323М}$ – годовые энергозатраты одноковшового экскаватора ЭО-3323М, кВт·год/м³.

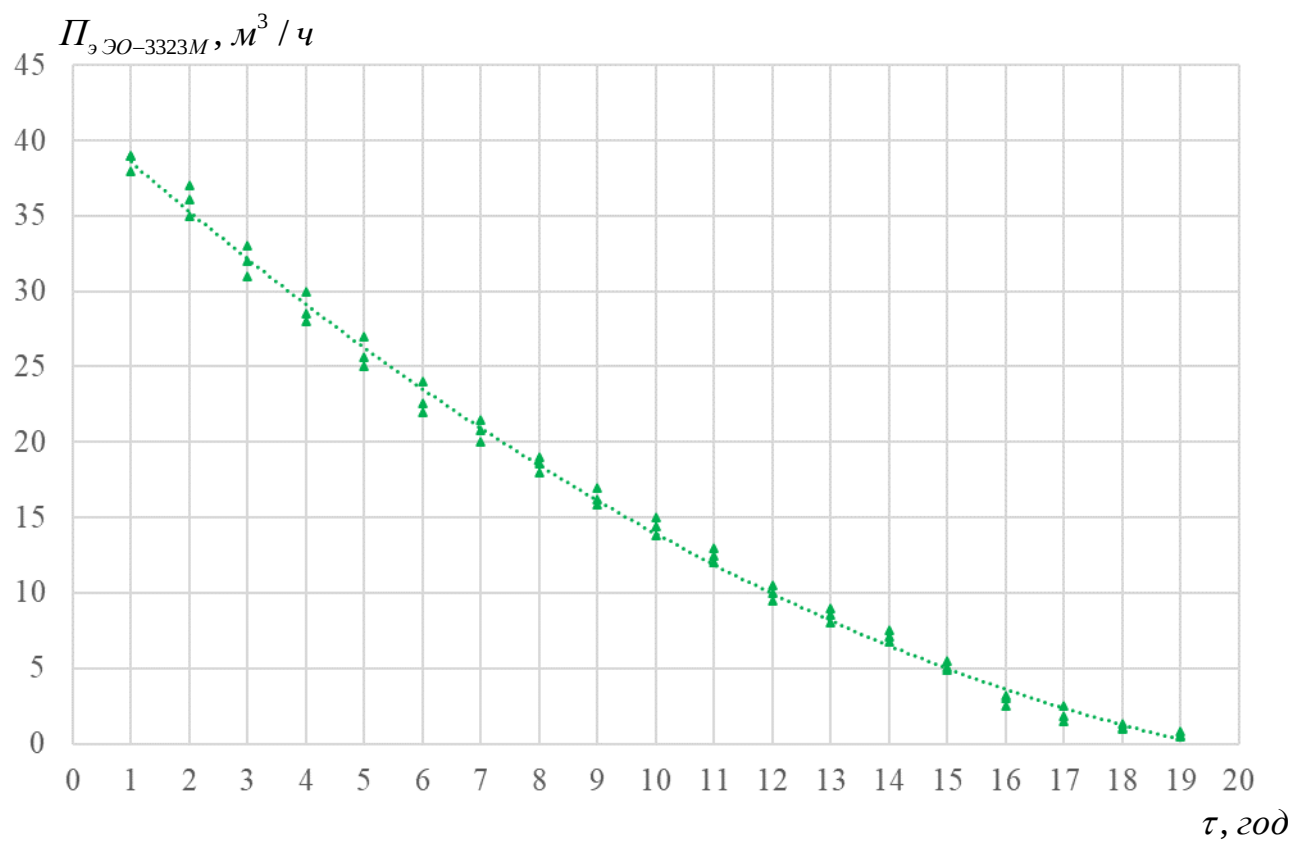


Рисунок 4.22 – Эксплуатационная производительность
одноковшового экскаватора ЭО-3323М

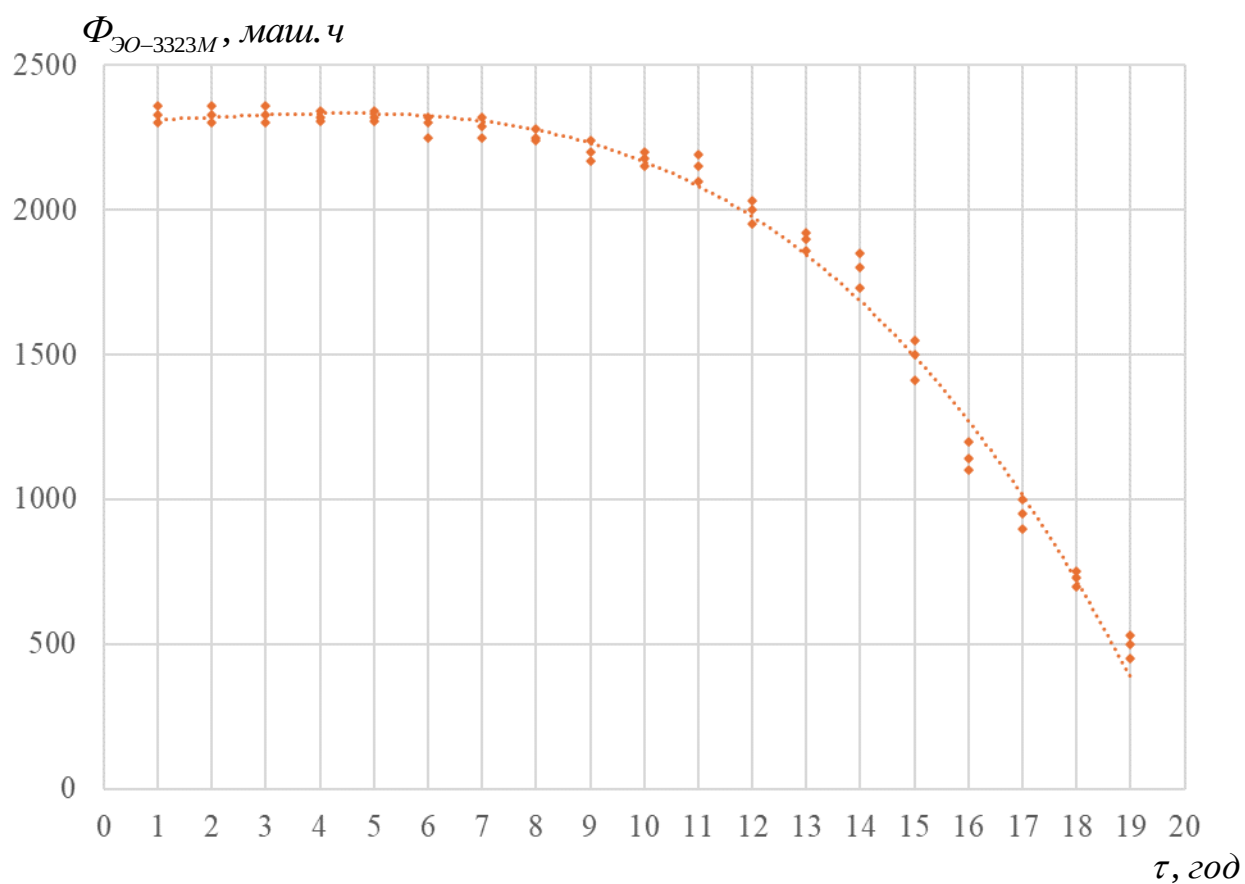


Рисунок 4.23 – Фонд рабочего времени одноковшового экскаватора ЭО-3323М

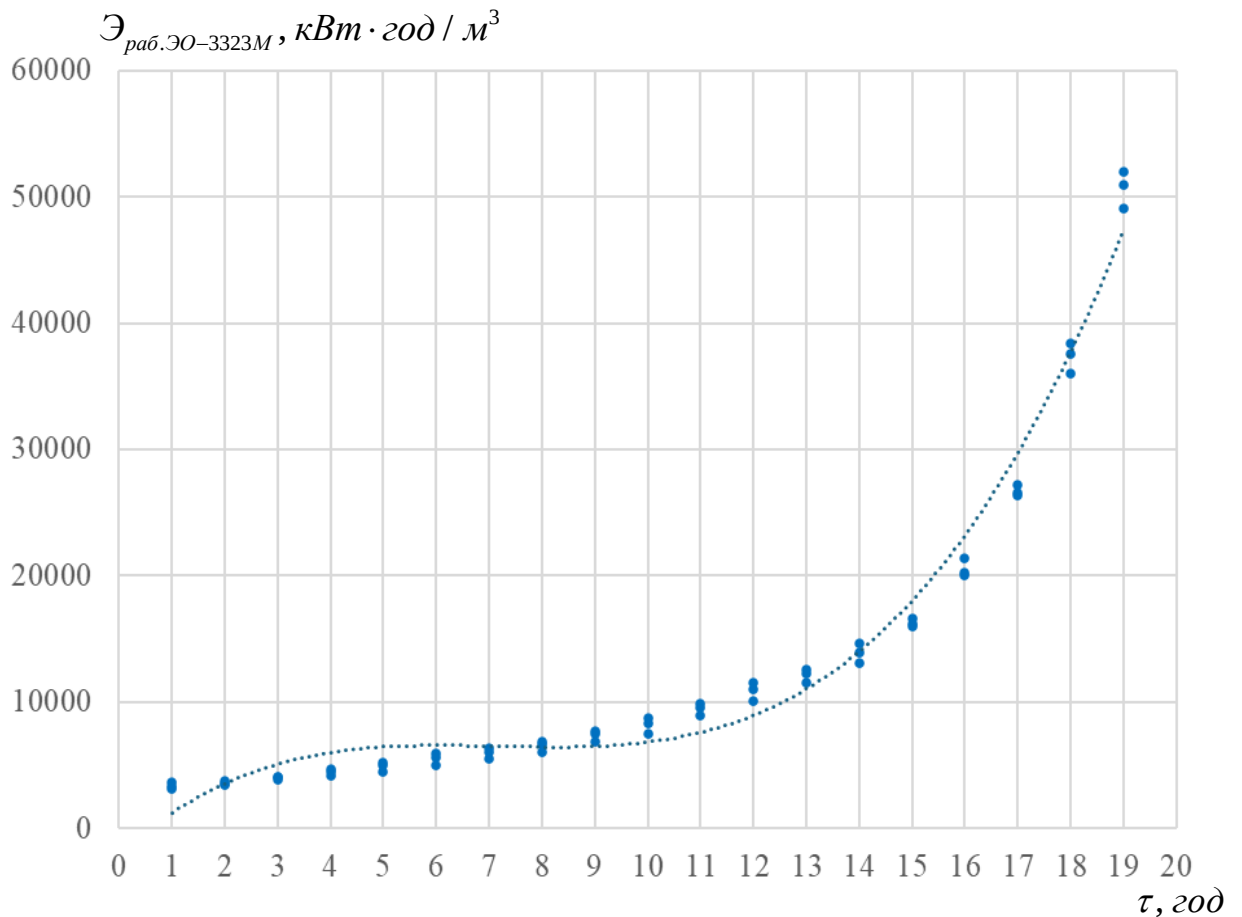


Рисунок 4.24 – Годовые энергозатраты одноковшового экскаватора ЭО-3323М

В общем виде для любого параметра может быть записано уравнение полинома n -ой степени:

$$P_n(\tau) = a_n \cdot \tau^n + a_{n-1} \cdot \tau^{n-1} + \dots + a_2 \cdot \tau^2 + a_1 \cdot \tau + a_0, \quad (4.7)$$

где $P_n(\tau)$ – обозначение полинома степени n от переменной τ ; n – степень полинома; $a_n, a_{n-1}, \dots, a_2, a_1, a_0$ – коэффициенты полинома.

Исходя из уравнения (4.7) с учетом полученных зависимостей (4.1-4.6) составлена расчетная матрица параметров, влияющих на принятие управляющего решения (таблица 4.11).

Для решения задачи определения времени принятия управляющего решения применены формулы оптимизационной математической модели обновления парка машин и алгоритм 2.74 (см. главу 2). Графоаналитическим методом определены коэффициенты соответствия k_m и построены графические зависимости (рисунки 4.25, 4.26).

Таблица 4.11 – Расчетная матрица параметров, влияющих на принятие управляющего решения

Параметр	a_3	a_2	a_1	a_0	η	k_m
$\Pi_{\text{э.КН-3М}}$	0	2,7731	-124,84	1380,6	0,9989	0,00079
$\Phi_{\text{КН-3М}}$	0	-1,7529	7,7249	589,05	0,9917	0,00063
$\mathcal{E}_{\text{раб.КН-3М}}$	0,1963	-4,2065	29,308	-15,332	0,9800	0,0025
$\Pi_{\text{э.ЭО-3323М}}$	0	0,0678	-3,4847	41,992	0,9983	0,012
$\Phi_{\text{ЭО-3323М}}$	-0,4203	2,487	3,0543	2307,8	0,9879	0,00009
$\mathcal{E}_{\text{раб.ЭО-3323М}}$	25,194	-540,21	3771,5	-2059,3	0,9801	0,00002

Анализ рисунка 4.25 показывает, что для кустореза КН-3М оптимальным является управляющее решение о замене существующей машины на новую через 11–13 лет. Для одноковшового экскаватора ЭО-3323М (рисунок 4.26) оптимальным является управляющее решение о замене машины через 10–12 лет.

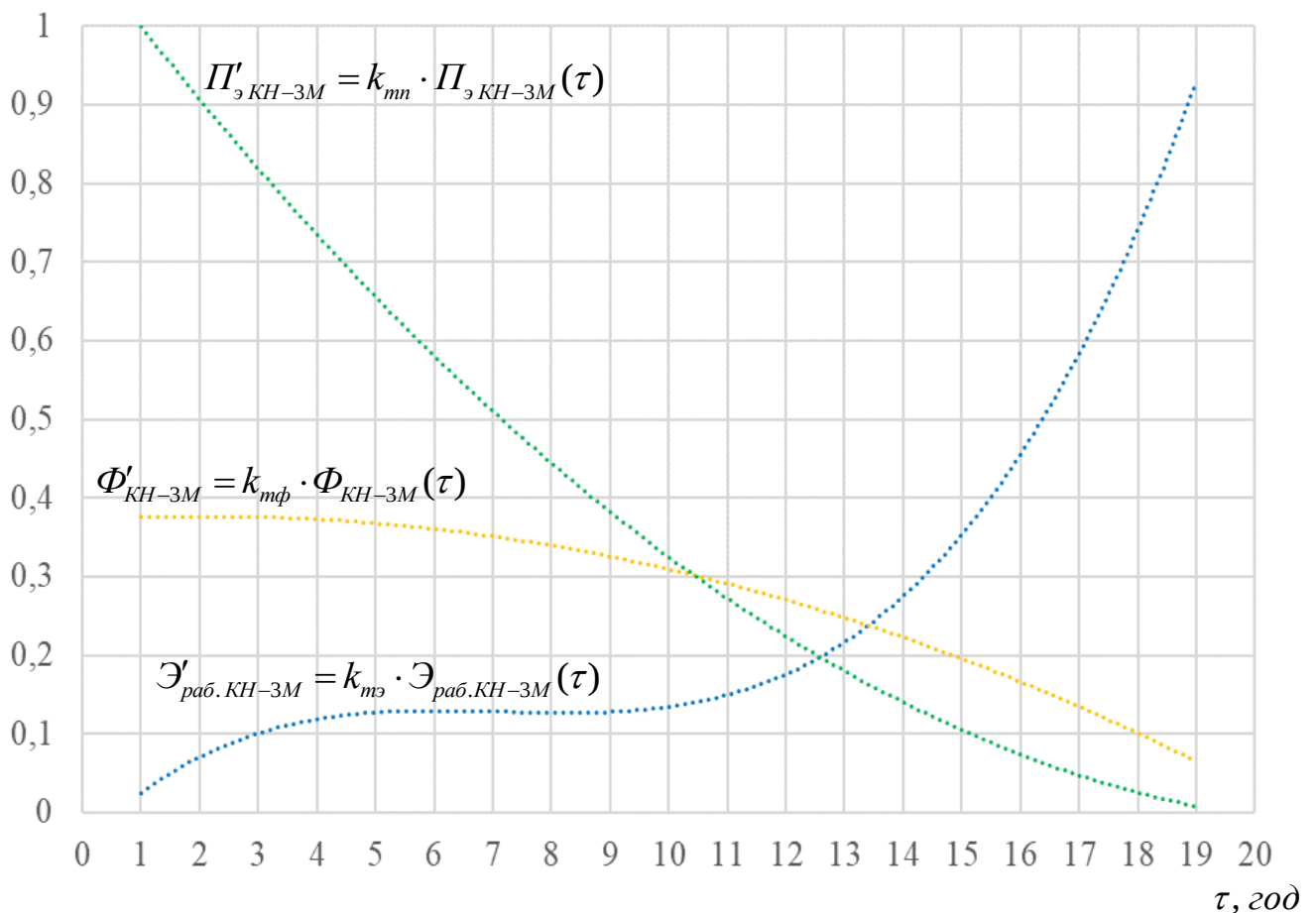


Рисунок 4.25 – Диаграмма определения времени принятия управляющего решения (URM_1) для кустореза КН-3М ($k_{mn} = 0,00079$; $k_{m\phi} = 0,00063$; $k_{m\varepsilon} = 0,0025$)

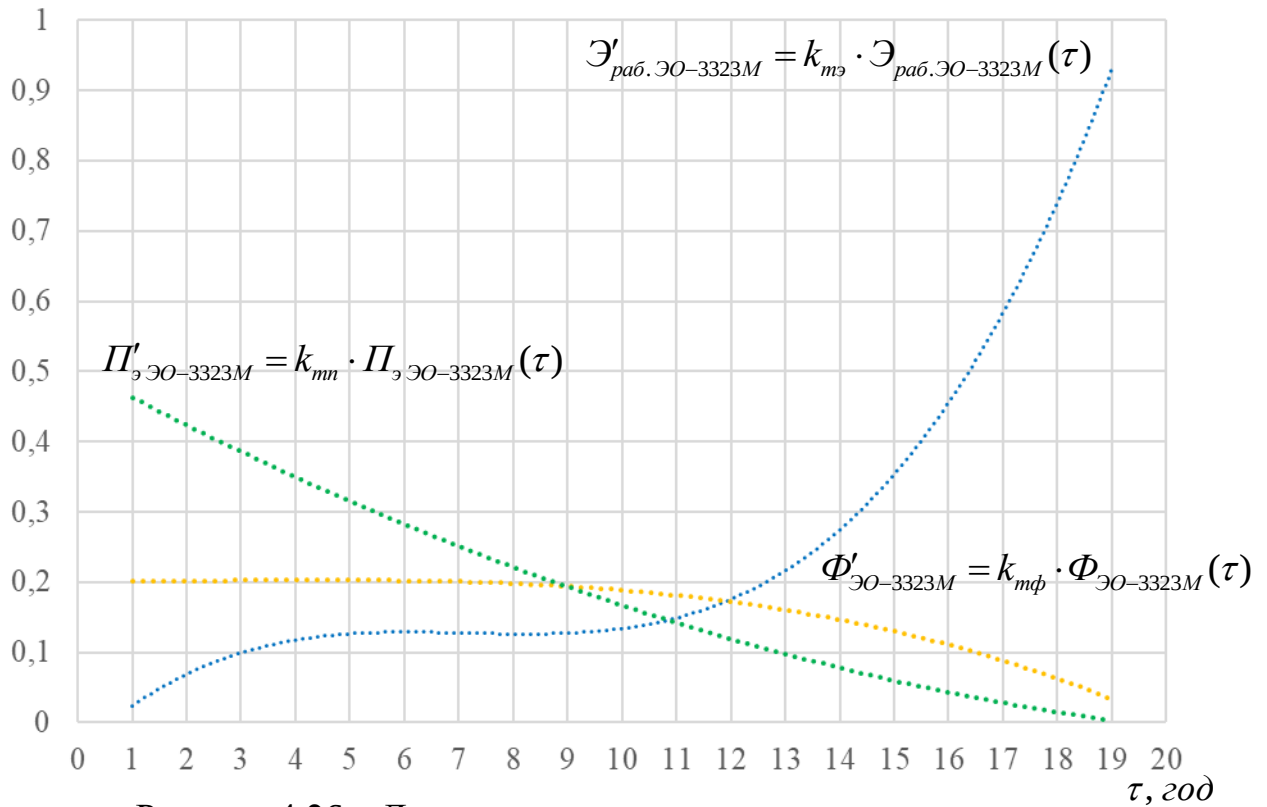


Рисунок 4.26 – Диаграмма определения времени принятия управляющего решения (URM_1) для одноковшового экскаватора ЭО-3323М ($k_{mn} = 0,012$; $k_{m\Phi} = 0,00009$; $k_{m\mathcal{E}} = 0,00002$)

4.7 Результаты экспериментальной апробации оптимизационной математической модели распределения машин по объектам

Экспериментальная апробация модели оптимизации распределения машин по объектам проводились на примере парка кусторезов и одноковшовых экскаваторов в производственных условиях ФГБУ Управление «Саратовмелиоводхоз».

Оптимальный план распределения кусторезов по объектам определялся путем оптимизации исходного производственного плана, приведенного в таблицах 4.12–4.16. Приняты следующие условные обозначения: V1-V10 – производственные объекты с соответствующими объемами работ; $K_{\text{усл}j}$ – коэффициент местных условий объекта. Полученный оптимальный план распределения кусторезов представлен в таблицах 4.17-4.21. Для одноковшовых экскаваторов, соответственно в таблицах 4.22-4.26 и 4.27-4.31. Анализ энергетических затрат при распределении техники по производственным объектам приведен в главе 5.

Таблица 4.12 – Продолжительность работы кусторезов на производственных объектах, X_{ij} ч. (план)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		450000	550000	350000	540000	500000	450000	380000	460000	350000	550000
1	МК-1	0	0	504,0293	0	0	0	95,9707	0	0	0
2	МК-1	409,5849	0	190,4151	0	0	0	0	0	0	0
3	МК-1	0	0	0	0	0	0	600	0	0	0
4	МК-2	298,7179	301,2821	0	0	0	0	0	0	0	0
5	МК-2	0	125,7453	0	0	0	0	0	0	474,2547	0
6	КН-1	0	250,2231	0	0	0	0	0	349,7769	0	0
7	КН-2	0	0	0	0	443,3477	0	0	156,6523	0	0
8	КН-3	0	0	0	177,3457	0	422,6543	0	0	0	0
9	КН-3	0	0	0	335,4748	74,71429	0	0	0	0	189,8109
10	КН-3М	0	0	0	0	0	0	0	0	0	298,2121
Суммарный объем работ (необходимый)				4580000 м ²		Фактический объем работ				4580000 м ²	

Таблица 4.13 – Планируемая эксплуатационная производительность кусторезов $\Pi_{эij}$, м²/ч и коэффициент местных условий $K_{услj}$ (план)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		450000	550000	350000	540000	500000	450000	380000	460000	350000	550000
1	МК-1	567	595	504	630	623	637	546	602	574	644
2	МК-1	567	595	504	630	623	637	546	602	574	644
3	МК-1	567	595	504	630	623	637	546	602	574	644
4	МК-2	729	765	648	810	801	819	702	774	738	828
5	МК-2	729	765	648	810	801	819	702	774	738	828
6	КН-1	850,5	892,5	756	945	934,5	955,5	819	903	861	966
7	КН-2	866,7	909,5	770,4	963	952,3	973,7	834,6	920,2	877,4	984,4
8	КН-3	947,7	994,5	842,4	1053	1041,3	1064,7	912,6	1006,2	959,4	1076,4
9	КН-3	947,7	994,5	842,4	1053	1041,3	1064,7	912,6	1006,2	959,4	1076,4
10	КН-3М	1020,6	1071	907,2	1134	1121,4	1146,6	982,8	1083,6	1033,2	1159,2
$K_{услj}$		0,81	0,85	0,72	0,9	0,89	0,91	0,78	0,86	0,82	0,92

Таблица 4.14 – Объемы работ, выполняемые кусторезами V_j , м² (план)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		450000	550000	350000	540000	500000	450000	380000	460000	350000	550000
1	МК-1	0	0	254030,8	0	0	0	52400	0	0	0
2	МК-1	232234,6	0	95969,23	0	0	0	0	0	0	0
3	МК-1	0	0	0	0	0	0	327600	0	0	0
4	МК-2	217765,4	230480,8	0	0	0	0	0	0	0	0
5	МК-2	0	96195,12	0	0	0	0	0	0	350000	0
6	КН-1	0	223324,1	0	0	0	0	0	315848,5	0	0
7	КН-2	0	0	0	0	422200	0	0	144151,5	0	0
8	КН-3	0	0	0	186745,1	0	450000	0	0	0	0
9	КН-3	0	0	0	353254,9	77799,99	0	0	0	0	204312,5
10	КН-3М	0	0	0	0	0	0	0	0	0	345687,5
Сумма		450000	550000	350000	540000	500000	450000	380000	460000	350000	550000

Таблица 4.15 – Удельные энергозатраты, $\mathcal{E}_{y\partial ij}$, кВт·ч/м² (план)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		450000	550000	350000	540000	500000	450000	380000	460000	350000	550000
1	МК-1	0,1	0,09	0,11	0,09	0,09	0,09	0,1	0,09	0,1	0,09
2	МК-1	0,1	0,09	0,11	0,09	0,09	0,09	0,1	0,09	0,1	0,09
3	МК-1	0,1	0,09	0,11	0,09	0,09	0,09	0,1	0,09	0,1	0,09
4	МК-2	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07
5	МК-2	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07
6	КН-1	0,08	0,07	0,09	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07
7	КН-2	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06
8	КН-3	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05
9	КН-3	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05
10	КН-3М	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05

Таблица 4.16 – Энергозатраты на производство работ кусторезами, $\mathcal{E}_{\text{сум}}$, кВт·год/м² (план)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		450000	550000	350000	540000	500000	450000	380000	460000	350000	550000
1	МК-1	0	0	55,0032	0	0	0	9,667378	0	0	0
2	МК-1	39,73045	0	20,77943	0	0	0	0	0	0	0
3	МК-1	0	0	0	0	0	0	60,43956	0	0	0
4	МК-2	22,53702	21,6608	0	0	0	0	0	0	0	0
5	МК-2	0	9,040509	0	0	0	0	0	0	35,34419	0
6	КН-1	0	18,55996	0	0	0	0	0	25,64256	0	0
7	КН-2	0	0	0	0	25,60551	0	0	9,363048	0	0
8	КН-3	0	0	0	9,263072	0	21,83337	0	0	0	0
9	КН-3	0	0	0	17,52242	3,946304	0	0	0	0	9,698626
10	КН-3М	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,14913
Сумма		62,26747	49,26127	75,78263	26,7855	29,55181	21,83337	70,10694	35,00561	35,34419	23,84775
Суммарные энергозатраты на выполнение работ				429,79 кВт·год/м ²							

Таблица 4.17 – Продолжительность работы кусторезов на производственных объектах, X_{ij} ч. (оптим.)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		450000	550000	350000	540000	500000	450000	380000	460000	350000	550000
1	МК-1	0	0	0	0	0	402,7446	0	0	0	0
2	МК-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	254,0373
3	МК-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	600
4	МК-2	0	0	0	363,7952	0	236,2048	0	0	0	0
5	МК-2	0	0	0	302,8714	297,1286	0	0	0	0	0
6	КН-1	0	0	0	0	280,3638	0	0	319,6362	0	0
7	КН-2	0	413,7703	0	0	0	0	0	186,2297	0	0
8	КН-3	239,6451	174,6364	0	0	0	0	185,7185	0	0	0
9	КН-3	235,1887	0	0	0	0	0	0	0	364,8113	0
10	КН-3М	0	0	385,8025	0	0	0	214,1975	0	0	0
Суммарный объем работ (необходимый)				4580000 м ²		Фактический объем работ				4580000 м ²	

Таблица 4.18 – Планируемая эксплуатационная производительность кусторезов Π_{ij} , м²/ч и коэффициент местных условий $K_{услj}$ (оптим.)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		450000	550000	350000	540000	500000	450000	380000	460000	350000	550000
1	МК-1	567	595	504	630	623	637	546	602	574	644
2	МК-1	567	595	504	630	623	637	546	602	574	644
3	МК-1	567	595	504	630	623	637	546	602	574	644
4	МК-2	729	765	648	810	801	819	702	774	738	828
5	МК-2	729	765	648	810	801	819	702	774	738	828
6	КН-1	850,5	892,5	756	945	934,5	955,5	819	903	861	966
7	КН-2	866,7	909,5	770,4	963	952,3	973,7	834,6	920,2	877,4	984,4
8	КН-3	947,7	994,5	842,4	1053	1041,3	1064,7	912,6	1006,2	959,4	1076,4
9	КН-3	947,7	994,5	842,4	1053	1041,3	1064,7	912,6	1006,2	959,4	1076,4
10	КН-3М	1020,6	1071	907,2	1134	1121,4	1146,6	982,8	1083,6	1033,2	1159,2
$K_{услj}$		0,81	0,85	0,72	0,9	0,89	0,91	0,78	0,86	0,82	0,92

Таблица 4.19 – Объемы работ, выполняемые кусторезами V_j , м² (оптим.)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		450000	550000	350000	540000	500000	450000	380000	460000	350000	550000
1	МК-1	0	0	0	0	0	256548,3	0	0	0	0
2	МК-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	163600
3	МК-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	386400
4	МК-2	0	0	0	294674,1	0	193451,7	0	0	0	0
5	МК-2	0	0	0	245325,9	238000	0	0	0	0	0
6	КН-1	0	0	0	0	262000	0	0	288631,5	0	0
7	КН-2	0	376324,1	0	0	0	0	0	171368,5	0	0
8	КН-3	227111,7	173675,9	0	0	0	0	169486,7	0	0	0
9	КН-3	222888,3	0	0	0	0	0	0	0	350000	0
10	КН-3М	0	0	350000	0	0	0	210513,3	0	0	0
Сумма		450000	550000	350000	540000	500000	450000	380000	460000	350000	550000

Таблица 4.20 – Удельные энергозатраты, $\mathcal{E}_{y\partial ij}$, кВт·ч/м² (оптим.)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		450000	550000	350000	540000	500000	450000	380000	460000	350000	550000
1	МК-1	0,1	0,09	0,11	0,09	0,09	0,09	0,1	0,09	0,1	0,09
2	МК-1	0,1	0,09	0,11	0,09	0,09	0,09	0,1	0,09	0,1	0,09
3	МК-1	0,1	0,09	0,11	0,09	0,09	0,09	0,1	0,09	0,1	0,09
4	МК-2	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07
5	МК-2	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07
6	КН-1	0,08	0,07	0,09	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07
7	КН-2	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06
8	КН-3	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05
9	КН-3	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05
10	КН-3М	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05

Таблица 4.21 – Энергозатраты на производство работ кусторезами, $\mathcal{E}_{\text{сум}}$, кВт·год/м² (оптим.)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		450000	550000	350000	540000	500000	450000	380000	460000	350000	550000
1	МК-1	0	0	0	0	0	34,77387	0	0	0	0
2	МК-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,69573
3	МК-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51,24224
4	МК-2	0	0	0	24,70215	0	15,86235	0	0	0	0
5	МК-2	0	0	0	20,56534	20,40209	0	0	0	0	0
6	КН-1	0	0	0	0	19,86098	0	0	23,43291	0	0
7	КН-2	0	25,02184	0	0	0	0	0	11,13088	0	0
8	КН-3	13,90786	9,658121	0	0	0	0	11,19276	0	0	0
9	КН-3	13,64923	0	0	0	0	0	0	0	20,91372	0
10	КН-3М	0	0	23,3897	0	0	0	11,98704	0	0	0
Сумма		27,5571	34,67997	23,3897	45,26749	40,26307	50,63621	23,1798	34,56378	20,91372	72,93797
Суммарные энергозатраты на выполнение работ				373,39 кВт·год/м ²							

Таблица 4.22 – Продолжительность работы экскаваторов на производственных объектах, X_{ij} ч. (план)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		61000	48000	56000	60000	45000	52000	65000	48000	42000	62000
1	ЭО-2621	0	0	0	2330	0	0	0	0	0	0
2	ЭО-2621	0	0	550,411	1779,589	0	0	0	0	0	0
3	ЭО-2621	0	0	803,7996	0	1526,2	0	0	0	0	0
4	ЭО-2621	0	0	2330	0	0	0	0	0	0	0
5	ЭО-3323	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2330
6	ЭО-3323	0	0	0	0	799,7145	1140,987	0	0	0	389,2982
7	ЭО-3323	0	0	0	0	0	420,9091	0	0	1909,091	0
8	ЭО-3323М	0	107,6068	0	0	0	0	1028,607	0	0	0
9	ЭО-4321	1605,263	0	0	0	0	0	724,7368	0	0	0
10	ЭО-4121	0	948,2553	0	0	0	349,4866	0	1032,258	0	0
Суммарный объем работ (необходимый)				539000 м ³		Фактический объем работ				539000 м ³	

Таблица 4.23 – Планируемая эксплуатационная производительность экскаваторов $P_{эij}$, м³/ч и коэффициент местных условий $K_{услj}$ (план)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		61000	48000	56000	60000	45000	52000	65000	48000	42000	62000
1	ЭО-2621	19	18,6	15,2	14,6	17,8	18,4	18,8	18,6	17,6	18,2
2	ЭО-2621	19	18,6	15,2	14,6	17,8	18,4	18,8	18,6	17,6	18,2
3	ЭО-2621	19	18,6	15,2	14,6	17,8	18,4	18,8	18,6	17,6	18,2
4	ЭО-2621	19	18,6	15,2	14,6	17,8	18,4	18,8	18,6	17,6	18,2
5	ЭО-3323	23,8	23,3	19	18,3	22,3	23	23,5	23,3	22	22,8
6	ЭО-3323	23,8	23,3	19	18,3	22,3	23	23,5	23,3	22	22,8
7	ЭО-3323	23,8	23,3	19	18,3	22,3	23	23,5	23,3	22	22,8
8	ЭО-3323М	37,1	36,3	29,6	28,5	34,7	35,9	36,7	36,3	34,3	35,5
9	ЭО-4321	38	37,2	30,4	29,2	35,6	36,8	37,6	37,2	35,2	36,4
10	ЭО-4121	47,5	46,5	38	36,5	44,5	46	47	46,5	44	45,5
$K_{услj}$		0,95	0,93	0,76	0,73	0,89	0,92	0,94	0,93	0,88	0,91

Таблица 4.24 – Объемы работ, выполняемые экскаваторами V_j , м³ (план)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		61000	48000	56000	60000	45000	52000	65000	48000	42000	62000
1	ЭО-2621	0	0	0	34018	0	0	0	0	0	0
2	ЭО-2621	0	0	8366,247	25982	0	0	0	0	0	0
3	ЭО-2621	0	0	12217,75	0	27166,37	0	0	0	0	0
4	ЭО-2621	0	0	35416	0	0	0	0	0	0	0
5	ЭО-3323	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53124
6	ЭО-3323	0	0	0	0	17833,63	26242,71	0	0	0	8876
7	ЭО-3323	0	0	0	0	0	9680,909	0	0	42000	0
8	ЭО-3323М	0	3906,126	0	0	0	0	37749,89	0	0	0
9	ЭО-4321	61000	0	0	0	0	0	27250,11	0	0	0
10	ЭО-4121	0	44093,87	0	0	0	16076,38	0	48000	0	0
Сумма		61000	48000	56000	60000	45000	52000	65000	48000	42000	62000

Таблица 4.25 – Удельные энергозатраты, $\mathcal{E}_{удij}$, кВт·ч/м³ (план)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		61000	48000	56000	60000	45000	52000	65000	48000	42000	62000
1	ЭО-2621	2,32	2,37	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,37	2,5	2,42
2	ЭО-2621	2,32	2,37	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,37	2,5	2,42
3	ЭО-2621	2,32	2,37	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,37	2,5	2,42
4	ЭО-2621	2,32	2,37	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,37	2,5	2,42
5	ЭО-3323	2,31	2,36	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,36	2,5	2,41
6	ЭО-3323	2,31	2,36	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,36	2,5	2,41
7	ЭО-3323	2,31	2,36	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,36	2,5	2,41
8	ЭО-3323М	1,48	1,52	1,86	1,93	1,59	1,53	1,5	1,52	1,6	1,55
9	ЭО-4321	1,55	1,59	1,94	2,02	1,66	1,6	1,57	1,59	1,68	1,62
10	ЭО-4121	2	2,04	2,5	2,6	2,13	2,07	2,02	2,04	2,16	2,09

Таблица 4.26 – Энергозатраты на производство работ экскаваторами, $\mathcal{E}_{\text{сум}}$, кВт·год/м³ (план)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		61000	48000	56000	60000	45000	52000	65000	48000	42000	62000
1	ЭО-2621	0	0	0	7021,918	0	0	0	0	0	0
2	ЭО-2621	0	0	1593,295	5363,145	0	0	0	0	0	0
3	ЭО-2621	0	0	2326,788	0	3772,63	0	0	0	0	0
4	ЭО-2621	0	0	6744,737	0	0	0	0	0	0	0
5	ЭО-3323	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5620,614
6	ЭО-3323	0	0	0	0	1972,39	2728,448	0	0	0	939,0966
7	ЭО-3323	0	0	0	0	0	1006,522	0	0	4772,727	0
8	ЭО-3323М	0	163,0406	0	0	0	0	1541,51	0	0	0
9	ЭО-4321	2492,382	0	0	0	0	0	1137,22	0	0	0
10	ЭО-4121	0	1937,296	0	0	0	721,7658	0	2108,914	0	0
Сумма		2492,382	2100,336	10664,82	12385,06	5745,02	4456,735	2678,73	2108,914	4772,727	6559,711
Суммарные энергозатраты на выполнение работ				53964,44 кВт·год/м ³							

Таблица 4.27 – Продолжительность работы экскаваторов на производственных объектах, X_{ij} ч. (оптим.)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		61000	48000	56000	60000	45000	52000	65000	48000	42000	62000
1	ЭО-2621	0	0	0	0	0	0	2330	0	0	0
2	ЭО-2621	1198,852	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	ЭО-2621	2011,674	0	0	0	0	318,3261	0	0	0	0
4	ЭО-2621	0	0	0	0	0	0	1127,447	0	0	0
5	ЭО-3323	0	2060,086	0	0	0	0	0	0	0	269,9142
6	ЭО-3323	0	0	0	0	0	0	0	1736,295	0	593,7055
7	ЭО-3323	0	0	0	0	0	2006,209	0	323,7913	0	0
8	ЭО-3323М	0	0	0	2105,263	0	0	0	0	0	224,7368
9	ЭО-4321	0	0	1842,105	0	0	0	0	0	487,8947	0
10	ЭО-4121	0	0	0	0	1011,236	0	0	0	564,2297	754,5344
Суммарный объем работ (необходимый)				539000 м ³		Фактический объем работ				539000 м ³	

Таблица 4.28 – Планируемая эксплуатационная производительность экскаваторов $\Pi_{эij}$, м³/ч и коэффициент местных условий $K_{услj}$ (оптим.)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		61000	48000	56000	60000	45000	52000	65000	48000	42000	62000
1	ЭО-2621	19	18,6	15,2	14,6	17,8	18,4	18,8	18,6	17,6	18,2
2	ЭО-2621	19	18,6	15,2	14,6	17,8	18,4	18,8	18,6	17,6	18,2
3	ЭО-2621	19	18,6	15,2	14,6	17,8	18,4	18,8	18,6	17,6	18,2
4	ЭО-2621	19	18,6	15,2	14,6	17,8	18,4	18,8	18,6	17,6	18,2
5	ЭО-3323	23,8	23,3	19	18,3	22,3	23	23,5	23,3	22	22,8
6	ЭО-3323	23,8	23,3	19	18,3	22,3	23	23,5	23,3	22	22,8
7	ЭО-3323	23,8	23,3	19	18,3	22,3	23	23,5	23,3	22	22,8
8	ЭО-3323М	37,1	36,3	29,6	28,5	34,7	35,9	36,7	36,3	34,3	35,5
9	ЭО-4321	38	37,2	30,4	29,2	35,6	36,8	37,6	37,2	35,2	36,4
10	ЭО-4121	47,5	46,5	38	36,5	44,5	46	47	46,5	44	45,5
$K_{услj}$		0,95	0,93	0,76	0,73	0,89	0,92	0,94	0,93	0,88	0,91

Таблица 4.29 – Объемы работ, выполняемые экскаваторами V_j , м³ (оптим.)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		61000	48000	56000	60000	45000	52000	65000	48000	42000	62000
1	ЭО-2621	0	0	0	0	0	0	43804	0	0	0
2	ЭО-2621	22778,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	ЭО-2621	38221,8	0	0	0	0	5857,2	0	0	0	0
4	ЭО-2621	0	0	0	0	0	0	21196	0	0	0
5	ЭО-3323	0	48000	0	0	0	0	0	0	0	6154,043
6	ЭО-3323	0	0	0	0	0	0	0	40455,66	0	13536,48
7	ЭО-3323	0	0	0	0	0	46142,8	0	7544,338	0	0
8	ЭО-3323М	0	0	0	60000	0	0	0	0	0	7978,158
9	ЭО-4321	0	0	56000	0	0	0	0	0	17173,89	0
10	ЭО-4121	0	0	0	0	45000	0	0	0	24826,11	34331,31
Сумма		61000	48000	56000	60000	45000	52000	65000	48000	42000	62000

Таблица 4.30 – Удельные энергозатраты, $\mathcal{E}_{y\partial ij}$, кВт·ч/м³ (оптим.)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		61000	48000	56000	60000	45000	52000	65000	48000	42000	62000
1	ЭО-2621	2,32	2,37	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,37	2,5	2,42
2	ЭО-2621	2,32	2,37	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,37	2,5	2,42
3	ЭО-2621	2,32	2,37	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,37	2,5	2,42
4	ЭО-2621	2,32	2,37	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,37	2,5	2,42
5	ЭО-3323	2,31	2,36	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,36	2,5	2,41
6	ЭО-3323	2,31	2,36	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,36	2,5	2,41
7	ЭО-3323	2,31	2,36	2,89	3,01	2,47	2,39	2,34	2,36	2,5	2,41
8	ЭО-3323М	1,48	1,52	1,86	1,93	1,59	1,53	1,5	1,52	1,6	1,55
9	ЭО-4321	1,55	1,59	1,94	2,02	1,66	1,6	1,57	1,59	1,68	1,62
10	ЭО-4121	2	2,04	2,5	2,6	2,13	2,07	2,02	2,04	2,16	2,09

Таблица 4.31 – Энергозатраты на производство работ экскаваторами, $\mathcal{E}_{\text{сум}}$, кВт·год/м³ (оптим.)

№ п/п	Марка машины	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
		61000	48000	56000	60000	45000	52000	65000	48000	42000	62000
1	ЭО-2621	0	0	0	0	0	0	5453,191	0	0	0
2	ЭО-2621	2776,29	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	ЭО-2621	4658,613	0	0	0	0	761,2146	0	0	0	0
4	ЭО-2621	0	0	0	0	0	0	2638,705	0	0	0
5	ЭО-3323	0	4862,864	0	0	0	0	0	0	0	651,1087
6	ЭО-3323	0	0	0	0	0	0	0	4098,549	0	1432,184
7	ЭО-3323	0	0	0	0	0	4797,456	0	764,3143	0	0
8	ЭО-3323М	0	0	0	4062,789	0	0	0	0	0	348,1838
9	ЭО-4321	0	0	3575,139	0	0	0	0	0	817,7781	0
10	ЭО-4121	0	0	0	0	2158,818	0	0	0	1218,223	1575,401
Сумма		7434,903	4862,864	3575,139	4062,789	2158,818	5558,67	8091,897	4862,864	2036,001	4006,878
Суммарные энергозатраты на выполнение работ				46650,82 кВт·год/м ³							

4.8 Результаты экспериментальной апробации оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия

Экспериментальные исследования модели оптимизации водопроводящего трубопровода дождевальных машин проводились на примере низконапорных дождевальных машин кругового действия «Каскад» различной комплектации.

В качестве исходных данных для расчетов использованы геометрические размеры орошаемого поля, гидромодуль подачи, а также параметры дождевальных машин.

Экспериментальные исследования оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода для орошаемого участка №1.

Для орошаемого участка №1 базовая конфигурация дождевальной машины «Каскад»:

- размеры орошаемого участка №1: 1300х1300 м;
- гидромодуль подачи $q = 0,81$ л/(с·га);
- радиус полива дождевальной машины $R_d = 650$ м;
- площадь орошения круговой дождевальной машиной $S_o = 132,73$ га;
- расход воды дождевальной машиной кругового действия $Q_m = 107,51$ л/с;
- 1-й участок трубопровода $L_1 = 515,3$ м (11 пролетов из труб $\varnothing 203 \times 3$ мм, из которых: 9 пролетов с длиной труб 47,9 м, 2 пролета с длиной труб 42,1 м);
- 2-й участок трубопровода $L_2 = 130,5$ м (2 пролета из труб $\varnothing 159 \times 3$ мм с длиной труб 65,25 м);
- длина консольного трубопровода $L_k = 4,2$ м;
- длина дождевальной машины кругового действия $L_m = 650$ м;
- общее число пролетов в машине – 13 шт.

Необходимо оптимизировать основные параметры ДМ «Каскад» для орошаемого участка №1 и определить длину первого и второго участка ее основного водопроводящего трубопровода.

Параметры ДМ «Каскад»:

- первый участок основного водопроводящего трубопровода выполнен из

труб $\varnothing 219 \times 3$ мм;

– второй участок основного водопроводящего трубопровода выполнен из труб $\varnothing 159 \times 3$ мм;

таким образом:

$$d_1 = 0,219 \text{ м},$$

$$t_1 = 0,003 \text{ м},$$

$$d_2 = 0,159 \text{ м},$$

$$t_2 = 0,003 \text{ м};$$

– длина пролетов, снабженных трубопроводом $\varnothing 219 \times 3$ мм – 42,1 м или 47,9 м;

– длина пролетов, снабженных трубопроводом $\varnothing 159 \times 3$ мм – 59,5 м, 65,25 м или 71,05 м;

– расстояние между центром вращения дождевальной машины и центром шарнирного соединения первого пролета с поворотным коленом неподвижной опоры $l_{ш} = 0,73$ м;

– длина консольного трубопровода L_k от 3 до 31 м;

– радиус действия крайней дождевальной насадки – 2,9 м или 5,8 м;

– радиус действия концевой дождевателя от 9,45 м до 16,15 м;

– радиус действия концевой аппаратуры от 12 до 25 м.

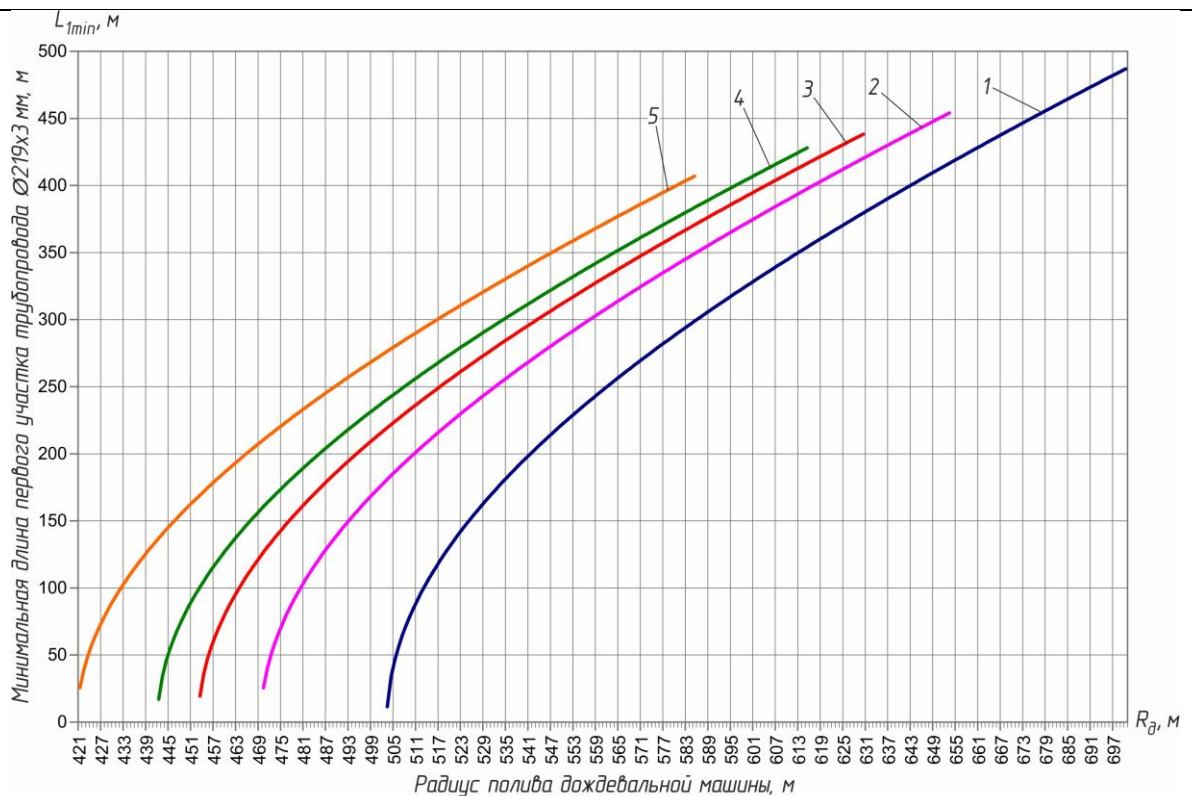
Для удобства выполнения расчетов и задания исходных данных, для ДМ «Каскад», имеющей указанные выше параметры, рассчитана и составлена таблица 4.32, в которой показаны предельный радиус полива и максимальная площадь орошения машины в зависимости от интенсивности полива. Основным водопроводящим трубопроводом машины имеет переменное рабочее сечение и состоит из двух участков, при этом первый участок трубопровода выполнен из труб $\varnothing 219 \times 3$ мм, а второй участок выполнен из труб $\varnothing 159 \times 3$ мм.

Также для ДМ «Каскад» с использованием формулы (2.106) были построены графики зависимости минимальной длины первого участка основного водопроводящего трубопровода от радиуса полива машины для наиболее часто применяемых величин гидромодуля подачи (рисунок 4.27).

Таблица 4.32 – Предельный радиус полива и максимальная площадь орошения в зависимости от интенсивности полива ДМ «Каскад»

Гидро модуль подачи, л/(с·га)	Выдаваемая среднесуточная норма полива, мм/сут	Предельный радиус полива, м	Максимальная площадь орошения, га
0,64	5,53	787,58	194,87
0,70	6,05	753,07	178,16
0,76	6,57	722,73	164,10
0,81	7,00	700,07	153,97
0,93	8,04	653,34	134,10
1,00	8,64	630,06	124,71
1,05	9,07	614,88	118,78
1,16	10,02	585,00	107,51
1,28	11,06	556,90	97,43
1,39	12,01	534,41	89,72
1,51	13,05	512,74	82,59
1,62	14,00	495,02	76,98
1,74	15,03	477,65	71,68

при максимально рекомендуемом значении средней скорости движения воды $v_{max} = 3,5$ м/с



При величине гидро модуля подачи: 1 – $q=0,81$ л/(с·га); 2 – $q=0,93$ л/(с·га); 3 – $q=1,00$ л/(с·га); 4 – $q=1,05$ л/(с·га); 5 – $q=1,16$ л/(с·га).

Параметры водопроводящего трубопровода низконапорной дождевальной машины кругового действия «Каскад»:

– первый участок трубопровода выполнен из труб Ø219х3 мм;

– второй участок трубопровода выполнен из труб Ø159х3 мм.

Рисунок 4.27 – Графики зависимости минимальной длины первого участка основного водопроводящего трубопровода от радиуса полива дождевальной машины при разных величинах гидро модуля подачи

Результаты оптимизационных расчетов:

- минимальная длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины $L_{\min} = 411,86$ м;
- фактическая длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины $L_1 = 414,43$ м;
- первый участок основного трубопровода состоит из 9 пролетов, при этом 6 пролетов с длиной труб 47,9 м, 3 пролета с длиной труб 42,1 м (с учетом $l_{\text{ш}} = 0,73$ м);
- длина второго участка основного водопроводящего трубопровода машины $L_2 = 195,75$ м;
- второй участок основного трубопровода состоит из 3 пролетов с длиной труб 65,25 м;
- длина консольного трубопровода $L_k = 30$ м;
- радиус действия концевой дождевателя $R_k = 10,06$ м;
- длина дождевальной машины кругового действия $L_m = 640,18$ м;
- общее число пролетов в машине – 12 шт.

Экспериментальные исследования оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода для орошаемого участка №2.

Для орошаемого участка №2 базовая конфигурация дождевальной машины «Каскад»:

- размеры орошаемого участка №2: 1100х1200 м;
- гидромодуль подачи $q = 1,05$ л/(с·га);
- радиус полива дождевальной машины $R_d = 550$ м;
- площадь орошения круговой дождевальной машиной $S_o = 95,03$ га;
- расход воды дождевальной машиной кругового действия $Q_m = 99,78$ л/с;
- 1-й участок трубопровода $L_1 = 425,3$ м (9 пролетов из труб Ø203х3 мм, из которых 8 пролетов с длиной труб 47,9 м, 1 пролет с длиной труб 42,1 м);
- 2-й участок трубопровода $L_2 = 130,5$ м (2 пролета из труб Ø159х3 мм с длиной труб 65,25 м);

- длина консольного трубопровода $L_k = 4,2$ м;
- длина дождевальной машины кругового действия $L_m = 560$ м;
- общее число пролетов в машине – 11 шт.

Необходимо оптимизировать основные параметры ДМ «Каскад» для орошаемого участка №2 и определить длину первого и второго участка ее основного водопроводящего трубопровода.

Результаты оптимизационных расчетов:

- радиус полива дождевальной машины $R_o = 550$ м;
- площадь орошения круговой дождевальной машиной $S_o = 95,03$ га;
- расход воды дождевальной машиной кругового действия $Q_m = 99,78$ л/с;
- параметры водопроводящих труб соответствуют условиям системы неравенств (2.114);
- минимальная длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины $L_{1min} = 327,76$ м;
- фактическая длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины $L_1 = 330,23$ м;
- первый участок основного трубопровода имеет 7 пролетов из труб Ø219x3 мм, из которых: 6 пролетов с длиной труб 47,9 м, 1 пролет с длиной труб 42,1 м (с учетом $l_{ш} = 0,73$ м);
- длина второго участка основного водопроводящего трубопровода машины $L_2 = 184,25$ м;
- второй участок основного трубопровода имеет 3 пролета из труб Ø159x3 мм, из которых: 1 пролет с длиной труб 65,25 м, 2 пролета с длиной труб 59,5 м;
- длина консольного трубопровода $L_k = 30$ м;
- радиус действия крайней дождевальной насадки $R_k = 5,8$ м;
- длина дождевальной машины кругового действия $L_m = 544,48$ м;
- общее число пролетов в машине – 10 шт.

Экспериментальные исследования оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода для орошаемого участка №3.

Для орошаемого участка №3 базовая конфигурация дождевальной машины «Каскад»:

- размеры орошаемого участка №3: 1014x1022 м;
- гидромодуль подачи $q = 0,93$ л/(с·га);
- радиус полива дождевальной машины $R_d = 507$ м;
- площадь орошения круговой дождевальной машиной $S_o = 80,75$ га;
- расход воды дождевальной машиной кругового действия $Q_m = 75,1$ л/с;
- 1-й участок трубопровода $L_1 = 227,9$ м (5 пролетов из труб Ø219x3 мм, из которых: 3 пролета с длиной труб 47,9 м, 2 пролета с длиной труб 42,1 м);
- 2-й участок трубопровода $L_2 = 272,65$ м (4 пролета из труб Ø159x3 мм, из которых: 3 пролета с длиной труб 71,05 м, 1 пролет с длиной труб 59,5 м);
- длина консольного трубопровода $L_k = 6,5$ м;
- длина дождевальной машины кругового действия $L_m = 507$ м;
- общее число пролетов в машине – 9 шт.

Необходимо оптимизировать основные параметры ДМ «Каскад» для орошаемого участка №3 и определить длину первого и второго участка ее основного водопроводящего трубопровода.

Результаты оптимизационных расчетов:

- радиус полива дождевальной машины $R_o = 507$ м;
- площадь орошения круговой дождевальной машиной $S_o = 80,75$ га;
- расход воды дождевальной машиной кругового действия $Q_m = 75,1$ л/с;
- параметры водопроводящих труб соответствуют условиям системы неравенств (2.114);
- минимальная длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины $L_{1min} = 191,84$ м;
- фактическая длина первого участка основного водопроводящего трубопровода машины $L_1 = 192,33$ м;
- первый участок основного трубопровода имеет 4 пролета из труб Ø219x3 мм с длиной труб 47,9 м (с учетом $l_u = 0,73$ м);

- длина второго участка основного водопроводящего трубопровода машины $L_2 = 272,65$ м;
- второй участок основного трубопровода имеет 4 пролета из труб $\varnothing 159 \times 3$ мм, из которых: 3 пролета с длиной труб 71,05 м, 1 пролет с длиной труб 59,5 м;
- длина консольного трубопровода $L_k = 24$ м;
- радиус действия концевой аппаратуры $R_k = 18,29$ м;
- длина дождевальной машины кругового действия $L_m = 488,98$ м;
- общее число пролетов в машине – 8 шт.

Для удобства проведения расчетов по оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальных машин кругового действия разработано специальное приложение-калькулятор на базе программного обеспечения Microsoft Excel (приложение К).

4.9 Выводы по главе

1. В результате полевых исследований зарастания оросительных каналов кустарниковой растительностью установлено, что доминирующими по численности видами являются клен ясенелистный и вяз приземистый. На отдельных участках отмечено наличие лоха узколистного. Густота стояния кустарников варьируется в пределах 28340–29712 шт./га, средняя высота стволов составляет от 309 до 382 см, средний диаметр ствола у основания находится в диапазоне 50–61 мм, а на высоте 1,3 м – 38–46 мм.

2. Исследования заиления оросительных каналов показали, что мощность донных отложений на прямолинейных участках достигает 20–50 см, а в зонах переездов и перед задвижками – до 70 см. После очистки экспериментальных участков от наносов пропускная способность каналов увеличилась на 23–31 %.

3. Производственные испытания подтвердили эффективность предложенных ресурсосберегающих технологий, для которых средний показатель интенсификации относительно базовых вариантов составил: ресурсосберегающая технология эксплуатации оросительных каналов – 45,8 %; ресурсосберегающая технология ремонта и реконструкции оросительных каналов – 11,9 %; ресурсосберегающая технология ремонта напорных трубопроводов – 10 %; ресурсо-

сберегающая технология реконструкции напорных трубопроводов – 12,3 %. Применение математической модели определения оптимальных координат монтажных площадок в технологии эксплуатации дождевальных машин позволило сократить энергозатраты на 10,7 %.

4. Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией при работе по классическому принципу и при работе с интеллектуальной системой управления позволила достичь экономии электроэнергии до 19,5 % за счет ликвидации потерь на дросселирование и работы насосов в неоптимальных режимах.

5. Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели формирования парка машин позволила определить, что наиболее эффективными, для выбранных производственных условий, является кусторез марки КН-3М и одноковшовый экскаватор ЭО-3323М.

6. Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели обновления парка машин выявила, что выбор оптимального решения относительно дальнейшего жизненного цикла кустореза КН-3М составляет – 11–13 лет, экскаватора ЭО-3323М – 10–12 лет, по прошествии данного времени принимается управляющее решение о замене существующей машины на новую.

7. В ходе экспериментальной апробации оптимизационной математической модели распределения машин по объектам установлено, что оптимизация распределения парка кусторезов позволила сократить энергозатраты на 13,1 %; парка одноковшовых экскаваторов – на 13,6 %.

8. Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия позволила определить для дождевальной машины «Каскад», оптимальные длины трубопровода под имеющиеся геометрические размеры орошаемых участков, что дало возможность сократить число самоходных тележек, для 1 участка с 13 до 12 шт., для 2-го участка с 11 до 10 шт., для 3-го участка с 9 до 8 шт., и следовательно, снизить массу и энергозатраты при работе машин.

5 ВНЕДРЕНИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Внедрение результатов научных разработок и исследований

Внедрение ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных каналов и напорных трубопроводов реализовано на оросительных системах ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Астраханмелиоводхоз», ООО «Мираторг-Курск» (приложение М).

Технологию эксплуатации дождевальных машин кругового действия с определением оптимального местоположения монтажной площадки внедрены в ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз»; ООО «НПО «Мелиоратор» Волгоградская обл., г. Волжский; ООО «Мелиоративные машины», г. Саратов (приложение М).

Оптимизационная математическая модель интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией внедрена в ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз»; ООО «Мелиоративные машины», г. Саратов; ООО «Мираторг-Курск», с. Черницыно, Октябрьский р-н, Курская обл. (приложение М).

Оптимизационные математические модели формирования, обновления и оперативного распределения парка машин для эксплуатационно-ремонтных работ на транспортирующей сети оросительных систем внедрены ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» (приложение М).

Оптимизационная математическая модель компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия внедрена в ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз»; ООО «НПО «Мелиоратор» Волгоградская обл., г. Волжский; ООО «Мелиоративные машины», г. Саратов (приложение М).

5.2 Энергетическая оценка технологий

В условиях рыночной экономики наиболее объективной представляется экономическая оценка внедрения новых технологий, выполненная на основе энергетического анализа. В отличие от денежных показателей, энергозатраты не

подвержены ценовым колебаниям, что делает их более стабильным и надежным критерием сравнения. Оценка технологических решений в сельскохозяйственном и мелиоративном производстве с позиции ресурсо- и энергосбережения осуществляется путем сопоставления совокупных энергозатрат по базовому и новому вариантам [19, 72, 86, 92, 108, 200, 261]. Методика проведения энергетической оценки изложена в приложении Д. Исходные данные для расчетов формировались с использованием справочно-правовой системы «ГАРАНТ», а также данных из научных источников [92, 108, 200, 204–206, 261, 287].

5.2.1 Энергетическая оценка технологий эксплуатации оросительных каналов

Традиционная технология эксплуатации оросительных каналов (базовый вариант) включает технологические операции, по каждой из которых производился расчет энергозатрат (приложение Е). Результаты проведенных расчетов сведены в таблицу 5.1. Аналогичные расчеты проведены для ресурсосберегающей технологии эксплуатации оросительных каналов (новый вариант). Результаты проведенных расчетов сведены в таблицу 5.2. Результаты сравнительного анализа технологий эксплуатации оросительных каналов представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.1 – Сводные энергозатраты по традиционной технологии эксплуатации оросительных каналов (базовый вариант)

Операция	Прямые энергозатраты, МДж/га (* МДж/100 м)	Энергозатраты, средств механизации, МДж/га (* МДж/100 м)	Энергозатраты живого труда, МДж/га (* МДж/100 м)	Всего, МДж/га (* МДж/100 м)
1. Срезание кустарниковой растительности	44553,6	76,7	3022,5	47652,8
2. Удаление срезанной растительности	7378	2440,4	12,5	9830,9
3. Корчевание пней	9327,9	3081	15,8	12424,7
4. Осмотр и исправление повреждений берм и откосов	3741,7	1232,4	6,3	4980,4

Окончание таблицы 5.1

5. Планировка бермы	4953,8	1312,6	8,4	6274,8
6. Очистка русла канала от наносов	1900*	600*	13*	2513*
7. Разравнивание извлеченного наносного грунта	1740*	300*	7*	2047*
Итого:				
– по операциям очистки канала от кустарниковой растительности				81163,6
– по операциям очистки канала от наносов				4560*

Таблица 5.2 – Сводные энергозатраты по ресурсосберегающей технологии эксплуатации оросительных каналов (новый вариант)

Операция	Прямые энергозатраты, МДж/га (* МДж/100 м)	Энергозатраты, средств механизации, МДж/га (* МДж/100 м)	Энергозатраты живого труда, МДж/га (* МДж/100 м)	Всего, МДж/га (* МДж/100 м)
1. Визуальный осмотр поверхностей берм и откосов канала, удаление из зоны выполнения работ посторонних предметов	–	–	6	6
2. Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на бермах канала	3267,4	411	25	3703,4
3. Сбор срезанного на берме кустарника и мелко-лесья в кучи	3267,4	604,4	12,5	3884,3
4. Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на откосах канала	7799,6	1413,2	60	9272,8

Окончание таблицы 5.2

5. Извлечение срезанной растительности из русла канала с последующим ее перемещением в сформированные кучи	5480,8	1017,4	42	6540,2
6. Угнетение пней на бермах канала	5480,8	974,1	25	6479,9
7. Угнетение пней на откосах канала	—	—	42	42
8. Переработка удаляемой древесины в энергетическую или технологическую щепу	8642,8	1297,4	99,5	10039,7
9. Транспортировка щепы потребителю или к месту хранения	4284,5	1843,1	20	6147,6
10. Очистка русла канала от наносов	1265*	390*	9*	1664*
11. Разравнивание извлеченного наносного грунта	1160*	190*	4*	1354*
12. Доинъектирование пней на бермах канала	—	—	12,5	12,5
13. Доинъектирование пней на откосах канала	—	—	12,5	12,5
Итого:				
— по операциям очистки канала от кустарниковой растительности				46140,9
— по операциям очистки канала от наносов				3018*

Таблица 5.3 – Анализ энергетических затрат по технологиям эксплуатации оросительных каналов

Комплекс работ	Традиционная технология (базовый вариант), МДж/га (* МДж/100 м)	Предлагаемая технология (новый вариант) МДж/га (* МДж/100 м)	Критерий энергетической эффективности, K_9	Показатель интенсификации I_9 , %
Операции по удалению кустарниковой растительности (срезка, сбор, извлечение, переработка в щепу и транспортировка)	57484	39594	0,689	31,1
Корчевание пней (с исправлением повреждений берм, откосов и планировкой берм канала), угнетение пней	23680	6547	0,276	72,4
Очистка канала от наносов	4560*	3018*	0,662	33,8

В традиционной технологии (базовый вариант) утилизация кустарниковой растительности производится на месте проведения работ – сжиганием. Сжигание растительности – это нерациональный и экологически опасный способ утилизации древесины. В ресурсосберегающей технологии вместо сжигания кустарника предусмотрено хозяйственное использование древесины – переработка древесины в щепу навесной рубильной машиной.

По данным полевых исследований размерных параметров кустарниковой растительности, представленным в таблице 4.3, среднее значение диаметра ствола на высоте 1,3 м в 2018 году составило 37,9 мм; в 2021 г. – 43,0 мм; в 2024 г. – 46,1 мм. Средняя высота кустарниковой растительности: 2018 г. – 308,5 см; 2021 г. – 362,7; 2024 г. – 381,5 см. Для целей таксации и использования таблиц хода роста, многоствольные кустарниковые заросли условно приравниваются к древостою с густым стоянием тонкомерных стволов. В качестве таксируемого диаметра принят средний диаметр скелетных побегов, измеренный на высоте 1,3 м от основания.

Для упрощения последующих расчетов и обеспечения консервативности оценки в качестве усредненных таксационных параметров за весь период наблюдений были приняты диаметр ствола 40 мм, высота 3,5 м. Кустарниковая растительность с такими характеристиками (таблица 3.1) относится к четвертому разряду средней высоты древостоев. Согласно таблице 3.2, запас древесины на 1000 стволов в этом случае составляет 3 м³. Зная густоту стояния кустарника (шт./га), можно рассчитать запас на гектар. По данным полевых исследований, густота стояния кустарниковой растительности и соответствующий запас древостоя составили: в 2018 г. – 28340 шт./га и 85 м³/га; в 2021 г. – 29144 шт./га и 87 м³/га; в 2024 г. – 29712 шт./га и 89 м³/га. Средний запас древостоя за весь период наблюдений – 87 м³/га. Учитывая, что коэффициент полндревесности щепы составляет 0,375 (т.е. 1 насыпной м³ щепы содержит 0,375 м³ плотной древесины), из данного запаса может быть получено $87 / 0,375 = 232$ насыпных кубометров древесной щепы. Энергетический потенциал данного объема древесной щепы, ориентировочно оценивается в 882 ГДж/га абсолютной (низшей) теплоты сгорания при влажности сырья 15 %. При сжигании данного объема топлива в современной теплоэнергетической установке с коэффициентом полезного действия, равным 0,85, конечное полезное тепло, поставляемое потребителю, составит приблизительно 750 ГДж/га. В более привычных для теплоэнергетики единицах это эквивалентно 179 Гкал полезной тепловой энергии с одного гектара.

5.2.2 Энергетическая оценка технологий ремонта и реконструкции оросительных каналов

Энергетическая оценка технологий ремонта и реконструкции оросительных каналов выполнена в соответствии с методикой, представленной в приложении Д. Результаты оценки приведены в приложении Ж и сведены в таблицу 5.4.

Для сравнительного анализа ресурсосберегающей технологии с традиционными методами была применена комплексная методика, включающая детальный учет всех компонент энергозатрат на каждом этапе работ. Результаты сравнительного анализа, демонстрирующие преимущества ресурсосберегающего подхода, представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.4 – Сводные энергозатраты по ресурсосберегающей технологии ремонта и реконструкции оросительных каналов

Операция	Прямые энергозатраты, МДж/га * МДж/100 м	Энергозатраты, средств механизации, МДж/га * МДж/100 м	Энергозатраты живого труда, МДж/га * МДж/100 м	Всего, МДж/га * МДж/100 м
Блок подготовительных работ				
1. Осмотр канала, удаление постоянных предметов	1780	462	4	2246
2. Срезание кустарниковой растительности на бермах и откосах канала	2669	693	6	3368
3. Сбор кустарниковой растительности, переработка в щепу, погрузка и вывоз	11974	2163	115	14252
4. Окашивание берм, откосов и дна канала	2669	693	6	3368
5. Сбор, погрузка и вывоз травяной растительности для дальнейшей утилизации	3331	866	15	4212
Блок ремонтных работ				
Ремонтные работы на участке канала в земляном русле				
1. Планировка берм, засыпка ям, подсыпка дамб	1160*	190*	4*	1354*
2. Очистка канала от наносов	1265*	390*	9*	1664*
3. Исправление крупных деформаций сечения канала, профилирование дамб	2656*	280*	12*	2948*
4. Разравнивание извлеченного грунта	1160*	190*	4*	1354*

Продолжение таблицы 5.4

Ремонтные работы на участке канала в облицованном русле				
1. Планировка берм вдоль канала	1160*	190*	4*	1354*
2. Очистка покрытия канала от наносов	1265*	390*	9*	1664*
3. Ремонт покрытия канала	4700*	800*	32*	5532*
4. Разравнивание извлеченного грунта	1160*	190*	4*	1354*
Блок реконструкционных работ				
Реконструкция участка канала в выемке				
1. Снятие растительного слоя с трассы канала	7225*	509*	8*	7742*
2. Выравнивание трассы канала под нивелир	7225*	509*	8*	7742*
3. Разработка «корыта» на участках канала, проходящих в глубокой выемке	15133*	1180*	24*	16337*
4. Разработка верхней части канала с перемещением грунта в кавальеры	6140*	438*	8*	6586*
5. Разработка нижней части канала с перемещением грунта в кавальеры	1768*	233*	8*	2009*
6. Выравнивание «корыта» под нивелир	7225*	509*	8*	7742*
7. Планировка дна и откосов канала	1900*	600*	13*	2513*
8. Выравнивание отвалов грунта, формирование и планировка кавальера	7225*	509*	8*	7742*

Продолжение таблицы 5.4

Реконструкция участка канала в полувыемке, полунасыпи и насыпи				
1. Снятие растительного слоя с трассы канала и с поверхности резервов	7225*	509*	8*	7742*
2. Рыхление грунта в основании под дамбами	4500*	350*	8*	4858*
3. Уплотнение грунта в основании под дамбами	3800*	300*	6*	4106*
4. Разработка грунта в выемке канала и резервах с перемещением в тело дамб	1768*	233*	8*	2009*
5. Послойное разравнивание отсыпанного грунта в дамбах	7225*	509*	8*	7742*
6. Доувлажнение грунта в дамбах до оптимальной влажности	2500*	400*	5*	2905*
7. Послойное уплотнение грунта в дамбах	3800*	300*	6*	4106*
8. Ликвидация выездов из канала, оставшихся после работы машин	8993*	742*	16*	9751*
9. Планировка откосов канала и дамб	1900*	600*	13*	2513*
Устройство противofильтрационного покрытия на канале				
1. Профилировка дна и откосов канала	1900*	600*	13*	2513*
2. Раскладка по периметру канала полимерной пленки и ее сварка	4300*	600*	30*	4930*
3. Укладка рубероида или других защитных материалов на поверхность пленки	3000*	450*	18*	3468*

Окончание таблицы 5.4

4. Укладка железобетонных плит на дно и откосы канала	5000*	750*	25*	5775*
5. Герметизация стыков между плитами	1200*	300*	12*	1512*
Блок рекультивационных работ				
Рекультивация всех площадей нарушенных земель	7225*	509*	8*	7742*

Таблица 5.5 – Анализ энергетических затрат по технологиям ремонта и реконструкции оросительных каналов

Комплекс работ	Традиционная технология (базовый вариант), МДж/га * МДж/100 м	Предлагаемая технология (новый вариант) МДж/га * МДж/100 м	Критерий энергетической эффективности, $K_э$	Показатель интенсификации $I_э$, %
Блок подготовительных работ	35142	27446	0,781	21,9
Ремонтные работы на участке канала в земляном русле	8418*	7320*	0,869	13,1
Ремонтные работы на участке канала в облицованном русле	10993*	9904*	0,901	9,9
Реконструкция участка канала в выемке	64254*	58413*	0,909	9,1
Реконструкция участка канала в полувыемке, полунасыпи и насыпи	51677*	45732*	0,885	11,5
Устройство противофильтрационного покрытия на канале	20382*	18198*	0,893	10,7
Блок рекультивационных работ	8361*	7742*	0,926	7,4

5.2.3 Энергетическая оценка технологий ремонта напорного трубопровода

Энергетическая оценка технологий ремонта напорного трубопровода проводилась по методике, представленной в приложении Д. Полученные результаты представлены в приложении 3 и таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Сводные энергозатраты по ресурсосберегающей технологии ремонта напорного трубопровода

Операция	Прямые энергозатраты, МДж/100 м	Энергозатраты, средств механизации, МДж/100 м	Энергозатраты живого труда, МДж/100 м	Всего, МДж/100 м
1. Визуальный осмотр	—	—	4,8	4,8
2. Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на трассе трубопровода	529,5	53	2,5	585
3. Сбор срезанного кустарника и мелколесья в кучи	529,5	53	2,5	585
4. Переработка удаляемой древесины в энергетическую или технологическую щепу	1063	106,3	7,6	1176,9
5. Транспортировка щепы потребителю или к месту хранения	1545	154,5	2,5	1702
6. Отключение участка	—	—	7,2	7,2
7. Срезка растительного грунта	7224,8	722,5	7,6	7955
8. Завоз материалов	9072,5	1360,9	30,2	10463,6

Окончание таблицы 5.6

9. Раскопка траншеи	5307,6	530,8	25,2	5863,6
10. Доработка траншеи	–	–	30,2	30,2
11. Исследование дефекта	–	–	5	5
12. Ликвидация дефекта	360	–	30,2	390,2
13. Гидроизоляция	108	–	7,5	115,5
14. Испытание	103	–	5	108
15. Обратная засыпка	2800	279,5	20,2	3099,7
16. Восстановление растительного слоя	4816,6	481,7	7,6	5298,2

Сравнительный анализ ресурсосберегающей технологии ремонта напорного трубопровода с традиционными методами проводился по комплексной методике, включающей детальный учет всех компонент энергозатрат на каждом этапе работ. В ходе проведенного анализа получены следующие результаты, которые представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Анализ энергетических затрат по технологиям ремонта напорного трубопровода

Комплекс работ	Традиционная технология (базовый вариант), МДж/100 м	Предлагаемая технология (новый вариант) МДж/100 м	Критерий энергетической эффективности, K_9	Показатель интенсификации I_9 , %
Визуальный осмотр, отключение участка	12	12	1	0
Срезка кустарниковой растительности (при ее наличии), сбор, переработка в щепу, погрузка и вывоз	5061	4049	0,800	20

Окончание таблицы 5.7

Срезка растительного грунта	9148	7955	0,870	13
Завоз материалов и оборудования	11301	10464	0,926	7,4
Раскопка трубопровода, доработка траншеи	6601	5894	0,893	10,7
Исследование, ликвидация дефекта, гидроизоляция, испытание	650	619	0,952	4,8
Обратная засыпка траншеи с уплотнением грунта	3658	3100	0,847	15,3
Восстановление растительного слоя	5775	5298	0,917	8,3

5.2.4 Энергетическая оценка технологий реконструкции напорного трубопровода

Энергетическая оценка технологий реконструкции напорного трубопровода проводилась по методике, представленной в приложении Д. Полученные результаты представлены в приложении И, а также таблицах 5.8, 5.9.

Таблица 5.8 – Сводные энергозатраты по ресурсосберегающей технологии реконструкции напорного трубопровода.

Операция	Прямые энергозатраты, МДж/100 м	Энергозатраты, средств механизации, МДж/100 м	Энергозатраты живого труда, МДж/100 м	Всего, МДж/100 м
1. Геодезическая разбивка трассы трубопровода	7,2	—	4,8	12
2. Визуальный осмотр поверхности трассы трубопровода, удаление из зоны выполнения работ посторонних предметов	—	—	4,8	4,8

Продолжение таблицы 5.8

3. Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на трассе трубопровода	529,5	53	2,5	585
4. Сбор срезанного кустарника и мелколесья в кучи	529,5	53	2,5	585
5. Переработка удаляемой древесины в энергетическую или технологическую щепу	1063	106,3	7,6	1176,9
6. Транспортировка щепы потребителю или к месту хранения	1545	154,5	2,5	1702
7. Срезка растительного грунта	7224,8	722,5	7,6	7955
8. Завоз материалов и оборудования для производства работ	9072,5	1360,9	30,2	10463,6
9. Разработка грунта в траншеях под трубы	5307,6	530,8	25,2	5863,6
10. Бестраншейная прокладка трубопроводов	9650	965	25,2	10640,2
11. Крепление откосов траншей	—	—	40,3	40,3
12. Доработка грунта вручную с устройством приямков	—	—	30,2	30,2
13. Монтаж трубопроводов с соединением звеньев и заделкой стыков	7720	772	40,3	8532,3
14. Гидроизоляция	108	—	7,5	115,5
15. Предварительные испытания смонтированных участков	103	—	5	108

Окончание таблицы 5.8

16. Засыпка траншей и уплотнение грунта в них	2800	279,5	20,2	3099,7
17. Окончательное испытание трубопровода	103	—	5	108
18. Монтаж вантузов и гидрантов	—	—	15,1	15,1
19. Восстановление растительного слоя	4816,6	481,7	7,6	5298,2

Таблица 5.9 – Анализ энергетических затрат по технологиям реконструкции напорного трубопровода

Комплекс работ	Традиционная технология (базовый вариант), МДж/100 м	Предлагаемая технология (новый вариант) МДж/100 м	Критерий энергетической эффективности, $K_э$	Показатель интенсификации $I_э$, %
1	2	3	4	5
Геодезическая разбивка, визуальный осмотр	16,8	16,8	1	0
Удаление растительности	6559	4049	0,617	38,3
Завоз материалов	12556	10464	0,833	16,7
Разработка траншеи и ее доработка	7050	5934	0,842	15,8
Монтаж трубопроводов, гидроизоляция, предварительные испытания	9456	8756	0,926	7,4
Засыпка траншей и уплотнение грунта в них	3486	3100	0,889	11,1
Окончательное испытание трубопровода, монтаж вантузов и гидрантов	123,1	123,1	1	0
Восстановление растительного слоя	5828	5298	0,909	9,1

Необходимо отметить, что в ресурсосберегающих технологиях предусмотрено не сжигание срезанного кустарника (как в традиционных технологиях), а его переработка в щепу.

5.2.5 Энергетическая оценка апробации модели определения оптимальных координат монтажных площадок

Проводилось исследование вариантов традиционного (интуитивного) расположения монтажных площадок на окраинах участков (без точного расчета) и научно обоснованное расположение (рассчитанное по формулам (2.18-2.22) для минимизации суммарного расстояния перевозок. То есть был осуществлен переход от эмпирического к научно-обоснованному планированию. Результаты расчетов представлены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Анализ энергозатрат апробации модели определения оптимальных координат монтажных площадок

Параметр, характеристика	Неоптимальное размещение (базовый сценарий)	Оптимизированное размещение (по методу центра тяжести)	Эффект от оптимизации
Количество площадок	4	4	Сохранение логистической структуры при повышении ее эффективности
Координаты площадок (отн. НС-9), X, Y м	№1: (1000, 500) №2: (2000, -1900) №3: (800, -1000) №4: (-1200, -200)	№1: (2114, 208) №2: (2545, -2150) №3: (325, -1275) №4: (-1530, -390)	Корректировка координат в среднем на 500-800 м для приближения к центрам тяжести участков
Суммарное расстояние перевозок, м	10950	9781	Сокращение на 1169 м, 10,7 %
Условные суммарные энергозатраты (*), кВт	10,95	9,78	Сокращение на 1,17 кВт, 10,7%

Примечание ():* расчет энергозатрат приведен для условного удельного расхода 0,001 кВт/м. При использовании других значений удельных затрат абсолютные цифры (в кВт) изменятся, но относительная разница в 10,7 % сохранится, так как она зависит только от суммарных расстояний.

5.3 Энергетическая оценка математических моделей оптимизации технических комплексов

5.3.1 Энергетическая оценка оптимизационной математической модели интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией

В процессе исследований модели оптимизации работы насосной станции проводилось сравнение энергопотребления насосной станции при работе по классическому принципу и при работе с ИСУ.

Исследования показали, что мощность при работе насосной станции с ИСУ стабилизировалась на уровне 495 кВт против 615 кВт в базовом сценарии (таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Анализ энергопотребления при апробации оптимизационной математической модели интеллектуального управления насосной станцией

Наименование мероприятия	Работа по классическому принципу (базовый вариант), кВт	Работа с ИСУ (новый вариант), кВт	Критерий энергетической эффективности, K_9	Показатель интенсификации I_9 , %
Оптимизация работы насосной станции	615	495	0,805	19,5

5.3.2 Энергетическая оценка оптимизационной математической модели формирования парка машин

Энергетическая оценка оптимизационной математической модели формирования парка машин производилась для исследуемого парка кусторезов и одноковшовых экскаваторов. Рассматривались два противоположных сценария: первый – когда парк машин формируется без использования оптимизационной модели (базовый вариант) и второй – когда формирование парка машин происходит с применением оптимизационной математической модели формирования (новый вариант). Полученные результаты представлены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Анализ энергетических затрат при апробации оптимизационной математической модели формирования парка машин

Наименование машин	Годовые энергозатраты работы парка машин (базовый вариант), кВт год/ед.изм.	Годовые энергозатраты работы парка машин (новый вариант), кВт год/ед.изм.	Критерий энергетической эффективности, K_9	Показатель интенсификации I_9 , %
Кусторезы	206,8	174,3	0,842	15,8
Одноковшовые экскаваторы	21351	17670,8	0,827	17,3

Примечание: ед.изм. для кусторезов – м², для одноковшовых экскаваторов – м³

5.3.3 Энергетическая оценка оптимизационной математической модели обновления парка машин

Энергетическая оценка оптимизационной математической модели обновления парка машин производилась при исследовании времени принятия решения по замене существующей машины на новую (*URM1*) для кустореза КН-3М и одноковшового экскаватора ЭО-3323М (на отрезке времени $\tau = 15$). Полученные результаты представлены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Анализ энергетических затрат при апробации оптимизационной математической модели обновления парка машин

Наименование машин	Годовые энергозатраты работы машины (базовый вариант), кВт год/ед.изм.	Годовые энергозатраты работы машины (новый вариант), кВт год/ед.изм.	Критерий энергетической эффективности, K_9	Показатель интенсификации I_9 , %
Кусторезы	919,5	567,4	0,617	38,3
Одноковшовые экскаваторы	117349	71999	0,614	39

Примечание: ед.изм. для кусторезов – м², для одноковшовых экскаваторов – м³

5.3.4 Энергетическая оценка оптимизационной математической модели распределения машин по объектам

Оптимизация действующих производственных планов распределения техники выполнялась с использованием разработанной математической модели. Реализация оптимального плана распределения машин обеспечила выполнение годовой производственной программы в полном объеме, с соблюдением сроков и требуемого качества при минимальных энергозатратах.

Производственный план распределения кусторезов по производственным объектам предусматривал выполнение объема работ 4580000 м² с суммарными энергозатратами 429,79 кВт год/м². Оптимизация производственного плана позволила сократить суммарные энергозатраты на выполнение работ до 373,39 кВт год/м².

Производственный план распределения одноковшовых экскаваторов предусматривал выполнение объема работ 539000 м³ с суммарными энергозатратами 53964,44 кВт год/м³. Оптимизация производственного плана позволила сократить суммарные энергозатраты на выполнение работ до 46650,82 кВт год/м³.

Результаты анализа энергетических затрат распределения техники по производственным объектам (базовый и новый варианты) представлены в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Анализ энергетических затрат при апробации оптимизационной математической модели распределения машин по объектам

Наименование машин	Производственный план распределения (базовый вариант), кВт год/ед.изм.	Оптимальный план распределения (новый вариант), кВт год/ед.изм.	Критерий энергетической эффективности, K_9	Показатель интенсификации I_9 , %
Кусторезы	429,79	373,39	0,869	13,1
Одноковшовые экскаваторы	53964,44	46650,82	0,864	13,6

Примечание: ед.изм. для кусторезов – м², для одноковшовых экскаваторов – м³

5.3.5 Энергетическая оценка оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальная машины кругового действия

С применением математической модели производилась оптимизация имеющихся конфигураций ДМ «Каскад» для трех орошаемых участков.

Для 1 участка базовая конфигурация машины имеет 13 самоходных тележек с мотор-редукторами (0,55 кВт) – всего 7,15 кВт, оптимизированная 12 шт. – 6,6 кВт. Для 2-го участка базовая конфигурация машины имеет 11 самоходных тележек – 6,05 кВт, оптимизированная 10 шт. – 5,5 кВт. Для 3-го участка базовая конфигурация машины имеет 9 самоходных тележек – 4,95 кВт, оптимизированная 8 шт. – 4,4 кВт.

Результаты анализа энергетических затрат для базовой и оптимизированной комплектации приведены в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Анализ энергетических затрат при внедрении модели оптимизации водопроводящего трубопровода дождевальных машин кругового действия

Наименование машин	Базовая конфигурация, кВт	Оптимальная конфигурация, кВт	Критерий энергетической эффективности, K_9	Показатель интенсификации I_9 , %
ДМ «Каскад», орошаемый участок №1	7,15	6,6	0,923	7,7
ДМ «Каскад», орошаемый участок №2	6,05	5,5	0,909	9,1
ДМ «Каскад», орошаемый участок №3	4,95	4,4	0,888	11,2
		Среднее значение:	0,907	9,3

Сводная информация по энергетической оценке технологий и моделей оптимизации технических средств приведена в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Эффективность внедрения результатов исследования

Наименование мероприятия	Критерий энергетической эффективности, $K_э$, $K_э = \mathcal{E}_{н.нов} / \mathcal{E}_{н.баз}$	Показатель интенсификации $I_э$, % $I_э = (1 - K_э) \cdot 100\%$
1. Ресурсосберегающая технология эксплуатации оросительных каналов	0,542	45,8
2. Ресурсосберегающая технология ремонта и реконструкции оросительных каналов	0,881	11,9
3. Ресурсосберегающая технология ремонта напорных трубопроводов	0,900	10
4. Ресурсосберегающая технология реконструкции напорных трубопроводов	0,877	12,3
5. Технология эксплуатации дождевальных машин кругового действия с определением оптимального местоположения монтажной площадки	0,893	10,7
6. Оптимизационная математическая модель интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией	0,805	19,5
7. Оптимизационная математическая модель формирования парка машин: – кусторезы – одноковшовые экскаваторы	0,842 0,827	15,8 17,3
8. Оптимизационная математическая модель обновления парка машин: – кусторезы – одноковшовые экскаваторы	0,617 0,614	38,3 39
9. Оптимизационная математическая модель распределения парка машин: – кусторезы – одноковшовые экскаваторы	0,869 0,864	13,1 13,6
10. Оптимизационная модель компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия	0,907	9,3

Примечание: $\mathcal{E}_{н.нов}$, $\mathcal{E}_{н.баз}$ – энергозатраты нового и базового вариантов

5.4 Выводы по главе

1. Разработанные ресурсосберегающие технологии и модели оптимизации внедрены в хозяйствах Саратовской, Волгоградской, Астраханской и Курской областей (ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз», ФГБУ «Управление «Астраханмелиоводхоз», ООО «Мираторг-Курск», ООО «НПО «Мелиоратор», ООО «Мелиоративные машины»). Качественно новый уровень разработок и их эффективность подтверждены производственными испытаниями.

2. Результаты энергетического анализа подтвердили высокую эффективность предложенных ресурсосберегающих технологий. В сравнении с традиционными методами, новые технологические решения обеспечивают существенное снижение энергозатрат: при эксплуатации оросительных каналов – на 45,8 %; при их ремонте и реконструкции – на 11,9 %; при ремонте напорных трубопроводов – на 10 %; при их реконструкции – на 12,3 %. Применение математической модели оптимизации размещения монтажных площадок в технологии эксплуатации дождевальных машин позволяет сократить энергозатраты на 10,7 %.

3. Ключевым преимуществом ресурсосберегающих технологий является комплексный подход к утилизации кустарниковой растительности. Вместо экологически вредного сжигания, предлагается переработка в щепу с последующим использованием в качестве топлива или технологического сырья. Это не только экономит энергию на операциях по удалению кустарника, но и позволяет получить с 1 га очищаемой площади в среднем до 232 насыпных кубометров древесной щепы, сжигание которых в современных теплоэнергетических установках позволит получить до 750 ГДж/га полезного тепла.

4. Применение оптимизационных математических моделей доказало свою экономическую целесообразность. Внедрение оптимизационной модели интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией позволило сократить энергозатраты на 19,5 %; оптимизационной модели формирования парка машин, для кусторезов – 15,8 %, для одноковшовых экскаваторов – 17,3 %; оптимизационной модели обновления парка машин, для кусторезов – 38,3 %, для одноковшовых экскаваторов – 39 %; оптимизационной модели оперативного распределения машин по объектам, для кусторезов – 13,1 %, для одноковшовых экскаваторов – 13,6 %; оптимизационной модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия – 9,3 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ существующих технологий и комплексов технических средств для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем полива дождеванием. Подтверждено, что высокая степень износа оросительных систем, их критическая важность для продовольственной безопасности и значительные объемы работ по их обслуживанию обуславливают чрезвычайно высокую ресурсоемкость этих процессов. Ключевыми факторами являются интенсивное зарастание каналов кустарником (густота стояния 28–30 тыс. шт./га, высота до 3,8 м) и их заиление (толщина наносного слоя 0,2–0,7 м), снижающее пропускную способность на 23–31 %. Это создает объективную необходимость в совершенствовании и внедрении научно обоснованных ресурсосберегающих решений.

2. Научно обоснована и усовершенствована система эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем полива дождеванием, обеспечивающая снижение энергозатрат на 10–45,8 %, и включающая в себя технологию очистки каналов от кустарниковой растительности и наносов, блоки технологий подготовительных работ ремонта и реконструкции каналов и напорных трубопроводов на заросших участках трассы, а также технологии сборки и эксплуатации дождевальных машин кругового действия.

3. Разработана и верифицирована оптимизационная математическая модель интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией, работающей на сеть закрытых напорных трубопроводов с широкозахватными дождевальными машинами кругового действия, позволяющая сократить энергопотребление на 19,5 % за счет ликвидации потерь на дросселирование и работу насосов в неоптимальных режимах.

4. Разработаны и верифицированы оптимизационные математические модели формирования, обновления и оперативного распределения парка машин для эксплуатационно-ремонтных работ на транспортирующей сети оросительных систем.

Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели формирования парка машин позволила определить, что наиболее эффективными

являются кусторез марки КН-3М и одноковшовый экскаватор ЭО-3323М. Внедрение модели обеспечило сокращение энергозатрат для парка кусторезов на 15,8 %, для одноковшовых экскаваторов – на 17,3 %.

Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели обновления парка машин выявила, что выбор оптимального решения относительно дальнейшего жизненного цикла кустореза КН 3М составляет 11–13 лет, экскаватора ЭО 3323М – 10–12 лет. По прошествии данного времени принимается управляющее решение о замене существующей машины на новую. Внедрение модели позволило сократить энергозатраты для кусторезов на 38,3 %, для одноковшовых экскаваторов на 39 %.

В ходе экспериментальной апробации оптимизационной математической модели оперативного распределения машин по объектам установлено, что оптимизация распределения парка кусторезов обеспечивает сокращение энергозатрат на 13,1 %; парка одноковшовых экскаваторов на 13,6 %.

5. Экспериментальная апробация оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия, адаптированной к конфигурации орошаемого поля, позволила определить оптимальные значения длины участков трубопровода под имеющиеся геометрические размеры орошаемого поля, что дало возможность сократить число самоходных тележек, уменьшить массу машин и снизить энергозатраты на 9,3 %.

6. Разработанные ресурсосберегающие технологии и оптимизационные математические модели внедрены на сельскохозяйственных предприятиях Саратовской, Волгоградской, Астраханской и Курской областей. Энергетический анализ, проведенный с применением современных методов, доказал высокую энергетическую эффективность предложенных решений, использование которых способствует снижению энергозатрат на 9,3–45,8 %.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для эксплуатационных организаций и подрядных ремонтно-строительных предприятий: внедрить ресурсосберегающие технологии эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем полива дождеванием, предусматривающие срезание кустарниковой растительности с последующим угнетением пней и переработкой древесины в энергетическую или технологическую щепу, что позволит повысить эффективность работ на 10–45,8 % по сравнению с традиционными методами.

2. Для служб автоматизации и главных энергетиков эксплуатационных водохозяйственных организаций: оборудовать подкачивающие насосные станции, работающие на сеть закрытых напорных трубопроводов с широкозахватными дождевальными машинами кругового действия, интеллектуальными системами управления, что обеспечит экономию электроэнергии до 19,5 % за счет поддержания стабильного давления и ликвидации потерь на дросселирование.

3. Для машинно-технологических станций, агрохолдингов и отделов механизации мелиоративных организаций: комплектовать и обновлять парк мелиоративной техники на основе оптимизационных математических моделей формирования и обновления парка машин, позволяющих определить наиболее энергоэффективные машины и оптимальный срок их замены в процессе эксплуатации с сокращением энергозатрат на 15,8–39 %.

4. Для диспетчерских служб и отделов эксплуатации водохозяйственных организаций: внедрить систему оперативного распределения техники по производственным объектам на основе оптимизационной математической модели с учетом технических характеристик машин и местных условий, что позволит сократить энергозатраты на 13–14 % при выполнении работ по эксплуатации, ремонту и реконструкции оросительных систем полива дождеванием.

5. Для проектно-конструкторских организаций и заводов-изготовителей дождевальной техники: применять оптимизационную математическую модель для компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия, позволяющую адаптировать ее к конфигурации орошаемого поля, снизить массу и энергозатраты на 9,3 % при сохранении ее эксплуатационных характеристик.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

1. *Разработка и внедрение интеллектуальных систем управления (ИСУ) для мелиоративных комплексов.* Перспективными являются создание и апробация более сложных алгоритмов ИСУ, которые будут учитывать не только текущие параметры насосных станций и дождевальных машин, но и прогнозировать изменение условий (погода, состояние почвы, фаза развития растений) для адаптивного планирования поливов и минимизации энергопотребления в реальном времени.

2. *Создание цифровых двойников оросительных систем.* Разработка комплексных имитационных моделей, объединяющих оптимизационные модели работы насосных станций, парка машин и дождевальной техники. Это позволит проводить виртуальные испытания с использованием различных сценариев эксплуатации, прогнозировать износ оборудования и оптимизировать управление всей оросительной системой как единым объектом.

3. *Углубленная разработка технологий переработки кустарниковой растительности с созданием замкнутых циклов.* Исследование возможностей создания на базе мелиоративных предприятий комплексов по глубокой переработке щепы не только в энергетические, но и в технологические продукты (композитные материалы, биоудобрения, кормовые добавки), что повысит экономическую эффективность и экологичность ресурсосберегающих технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдразаков Ф. К. Математическая модель оптимизации обновления парка мелиоративных машин / Ф. К. Абдразаков, С. В. Чумакова, Д. Г. Горюнов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2025. – № 4. – С. 22–27.
2. Абдразаков, Ф. К. Безотходная технология удаления древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков [и др.] // Строительные и дорожные машины. - 2008. - № 2. - С. 21-23.
3. Абдразаков, Ф. К. Высокая прибыль от низкосортной древесины / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Сельский механизатор. - 2005. - № 12. - С. 14-15.
4. Абдразаков, Ф. К. Высокопроизводительные машины для эффективной работы мелиоративных систем / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Совершенствование рабочих процессов и конструкций сельскохозяйственных машин: сб. науч. тр. / СГАУ им. Н.И. Вавилова. - Саратов, 2001. - С. 18-23.
5. Абдразаков, Ф. К. Зависимость выполнения производственной программы от оптимального состава экскаваторного парка / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов, В. С. Егоров // Строительные и дорожные машины. - 2003. - № 9. - С. 24-26.
6. Абдразаков, Ф. К. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств в мелиоративном производстве / Ф. К. Абдразаков; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2002. - 352 с.
7. Абдразаков, Ф. К. Интенсификация технологических процессов мелиоративного производства на основе оптимизации формирования и обновления парков машин / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Механизация строительства. - 2003. - № 1. - С. 20-22.
8. Абдразаков, Ф. К. Использование кустореза навесного КН-1 в мелиорации и лесном хозяйстве: рекомендации / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев; СГАУ им. Н. И. Вавилова. - Саратов, 1998. - 15 с.
9. Абдразаков, Ф. К. Использование одноковшовых гидравлических экскаваторов для очистки оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, О. В. Кабанов // Повышение эффективности процессов механизации и электрификации в АПК: сб. науч. работ / СГАУ им. Н.И. Вавилова. - Саратов, 2001. - С. 120-124.

10. Абдразаков, Ф. К. Исследования работы 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 // Строительные и дорожные машины. - 2014. - № 7. - С. 15-20.
11. Абдразаков, Ф. К. Классификация технических средств для удаления нежелательной древесно-кустарниковой растительности при эксплуатации объектов природопользования / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Основы рационального природопользования: сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2005. - С. 113-115.
12. Абдразаков, Ф. К. Комплекс машин и безотходная технология для удаления древесно-кустарниковой растительности вдоль каналов / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Научные технологии в мелиорации: материалы Междунар. конф. - М.: ВНИИГиМ, 2005. - С. 467-472.
13. Абдразаков, Ф. К. Кусторез для срезки кустарника и мелколесья / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, О. В. Кабанов // Информ. листок № 154-99. - Саратов: ЦНТИ, 1999. - 3 с.
14. Абдразаков, Ф. К. Машина для эксплуатации дорог и мелиоративных каналов / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Р. Н. Бахтиев // Механизация строительства. - 2004. - № 6. - С. 7-9.
15. Абдразаков, Ф. К. Машины для прокладки и содержания каналов: учеб. пособие / Ф. К. Абдразаков; Саратовская ГСХА. - Саратов, 1997. - 184 с.
16. Абдразаков, Ф. К. Мелиоративные, строительные и дорожные машины: учеб. пособие / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2003. - 124 с.
17. Абдразаков, Ф. К. Мелиоративный комплекс Саратовской области развивается / Ф. К. Абдразаков, В. С. Егоров // Мелиорация и водное хозяйство. - 2003. - № 6. - С. 5-7.
18. Абдразаков, Ф. К. Механизация и организация удаления древесно-кустарниковой растительности на оросительных каналах / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Механизация строительства. - 2002. - № 7. - С. 12-16.

19. 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. - С. 42-47.
20. Абдразаков, Ф. К. Механизация удаления нежелательной древесно-кустарниковой растительности вдоль автомобильных дорог / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Дорожно-транспортный комплекс, экономика, экология, строительство и архитектура: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Книга 2 / СибАДИ. - Омск, 2003. - С. 45-47.
21. Абдразаков, Ф. К. Механизированная очистка каналов от срезанного кустарника / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Механизация строительства. - 2006. - № 1. - С. 8-10.
22. Абдразаков, Ф. К. Оптимальное планирование распределения техники - основа стабильного развития производства / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Механизация строительства. - 2004. - № 1. - С. 8-10.
23. Абдразаков, Ф. К. Оптимизация обновления парка землеройной техники / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования. Вып. 3: сб. науч. трудов II Международной науч.-практич. конф. / ФГОУ ВПО «Самарская ГСХА». - Самара, 2005. - С. 243-247.
24. Абдразаков, Ф. К. Оптимизация параметров подборщика срезанной древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов, Д. А. Соловьев // Механизация строительства. - 2009. - № 10. - С. 11-14.
25. Абдразаков, Ф. К. Оптимизация парка землеройных машин для проведения строительных и эксплуатационных работ на мелиоративных системах / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2005. - 144 с.
26. Абдразаков, Ф. К. Оптимизация распределения мелиоративной техники и повышение качества работ / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. - 2002. - № 1. - С. 93-94.

27. Абдразаков, Ф. К. Оптимизация формирования парков машин и распределения техники по производственным объектам / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Строительные и дорожные машины. - 2002. - № 3. - С. 12-14.
28. Абдразаков, Ф. К. Оросительные каналы зарастают кустарником / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Мелиорация и водное хозяйство. - 2000. - № 2. - С. 11-12.
29. Абдразаков, Ф. К. Перспективные рабочие органы каналоочистительных машин / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Совершенствование рабочих процессов и конструкций сельскохозяйственных машин: сб. науч. тр. / СГАУ им. Н.И. Вавилова. - Саратов, 2001. - С. 24-28.
30. Абдразаков, Ф. К. Перспективные способы очистки мелиоративных каналов / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Повышение эффективности использования и ресурса с.-х. техники: сб. науч. работ / СГАУ им. Н.И. Вавилова. - Саратов, 1999. - С. 160-167.
31. Абдразаков, Ф. К. Планирование оптимального парка машин сельскохозяйственного производства для эффективного развития сельских регионов России / Ф. К. Абдразаков, А. В. Волков, Д. Г. Горюнов // Роль научных и проектных организаций в социальном развитии села России: сб. науч. трудов по материалам Российской науч.-практ. конф. / ФГУП «НИПИгипропромсельстрой». - Саратов, 2005. - С. 136-147.
32. Абдразаков, Ф. К. Повышение экологической безопасности технологии очистки каналов от кустарника / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Основы рационального природопользования: сб. науч. работ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2005. - С. 126-133.
33. Абдразаков, Ф. К. Повышение эффективности земляных работ путем оптимизации распределения техники по объектам / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Природоохранное обустройство территорий: сб. материалов науч.-техн. конф.; МГУП. - М., 2002. - С. 162-163.
34. 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.
35. Абдразаков, Ф. К. Практическое решение задачи оптимизации распределения техники по производственным объектам / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Современные проблемы развития АПК: материалы науч.-практ. конф. / Волгогр. гос. с.-х. акад. - Волгоград, 2006. - С. 74-79.
36. Абдразаков, Ф. К. Пути использования низкосортной древесины / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2004. - № 11. - С. 17.
37. Абдразаков, Ф. К. Развитие и совершенствование технологий удаления древесно-кустарниковой растительности на оросительных каналах / Ф. К. Абдразаков, В. Н. Мараев, Д. А. Соловьев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. - 2007. - № 3. - С. 27-32.
38. Абдразаков, Ф. К. Развитие мелиоративного комплекса Саратовской области на основе внедрения новых технологий реконструкции оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, А. В. Волков // Организация, технология и механизация производства: сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2005. - С. 8-18.
39. Абдразаков, Ф. К. Разработка и обоснование параметров рабочего органа кулестореза для срезания растительности и внесения арборицидной смеси / Ф. К. Абдразаков [и др.] // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений: межвуз. науч. сб. / Саратовский ГТУ. - Саратов, 2004. - С. 71-75.
40. Абдразаков, Ф. К. Разработка комплексной экономико-математической модели оптимизации парков машин мелиоративного производства / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Экологические проблемы мелиорации: материалы международной конференции; ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова. - М., 2002. - С. 370-373.
41. Абдразаков, Ф. К. Разработка новой техники для очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, В. Н. Мараев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. - 2006. - № 3. - С. 48-51.

42. Абдразаков, Ф. К. Разработка технологии, обеспечивающей рациональное использование удаляемой вдоль каналов древесной растительности / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Механизация строительства. - 2006. - № 8. - С. 23-27.
43. Абдразаков, Ф. К. Разработка эффективной технологии очистки оросительных каналов от кустарников / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Гидротехническое строительство, водное хозяйство и мелиорация земель на современном этапе: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. / Пензенская ГСХА. - Пенза, 1999. - С. 37-39.
44. Абдразаков, Ф. К. Разработка эффективных технических средств для удаления древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков [и др.] // Лесное хозяйство Поволжья: сб. науч. работ. Вып. 6 / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2003. - С. 264-275.
45. Абдразаков, Ф. К. Расчет оптимальных планов распределения техники на ЭВМ / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Агроэкологическое состояние АПК: опыт, поиски, решения: материалы международной науч.-практич. конф. / Саратовский РИППК. - Саратов, 2005. - С. 208-213.
46. Абдразаков, Ф. К. Рациональное обновление парка землеройной техники / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Проблемы в проектировании объектов АПК России: сб. науч. трудов / ФГУП «НИПИгипропромсельстрой». - Саратов, 2005. - С. 305-312.
47. Абдразаков, Ф. К. Результаты внедрения в производство машин для удаления древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, П. В. Мечетной // Организация, технология и механизация производства: сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2005. - С. 18-22.
48. Абдразаков, Ф. К. Результаты исследования заиления оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков [и др.] // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. - 2003. - № 2. - С. 39-43.
49. Абдразаков, Ф. К. Решение задачи оптимизации распределения техники по производственным объектам в курсовом и дипломном проектировании / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Организация, технология и механизация производства:

- сб. науч. работ к 55-летию кафедры «Организация и управление инженерными работами» / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2005. - С. 68-75.
50. Абдразаков, Ф. К. Сельскохозяйственное и мелиоративное производство Саратовской области, состояние и перспективы развития / Ф. К. Абдразаков, В. Н. Мараев // Организация, технология и механизация производства: сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - 2006. - С. 14-18.
51. Абдразаков, Ф. К. Снижение эксплуатационных затрат при внедрении безотходной технологии удаления кустарника вдоль каналов / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Вавиловские чтения - 2004: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 117-й годовщине со дня рождения академика Николая Ивановича Вавилова, 24-26 ноября 2004 г. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2004. - С. 1-4.
52. Абдразаков, Ф. К. Совершенствование конструкции подборщика древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Механизация строительства. - 2006. - № 4. - С. 7-8.
53. Абдразаков, Ф. К. Совершенствование технологии и технических средств утилизации древесно-кустарниковой растительности вдоль каналов, дорог, ЛЭП. Ч. 1 / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Р. Н. Бахтиев // Строительные и дорожные машины. - 2003. - № 3. - С. 22-23.
54. Абдразаков, Ф. К. Совершенствование технологии и технических средств утилизации древесно-кустарниковой растительности вдоль каналов, дорог, ЛЭП. Ч. 2 / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Р. Н. Бахтиев // Строительные и дорожные машины. - 2003. - № 5. - С. 29-30.
55. Абдразаков, Ф. К. Совершенствование технологии очистки мелиоративных каналов от древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Организация, технология и механизация производства: сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2005. - С. 19-27.
56. Абдразаков, Ф. К. Совершенствование технологий реконструкции и ремонта оросительных каналов с рациональным использованием средств механизации / Ф. К. Абдразаков, А. В. Волков; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2006. - 148 с.

57. Абдразаков, Ф. К. Современное состояние и проблемы Энгельсской оросительной системы / Ф. К. Абдразаков, И. Н. Потапов // Организация, технология и механизация производства: сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2006. - С. 19-29.
58. Абдразаков, Ф. К. Состояние мелиоративного комплекса Саратовской области и перспективы его развития / Ф. К. Абдразаков, В. С. Егоров // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. - 2003. - № 3. - С. 74-79.
59. Абдразаков, Ф. К. Состояние мелиоративных систем и их ремонтной базы в Саратовской области / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Мелиорация и водное хозяйство. - 2000. - № 6. - С. 5-7.
60. Абдразаков, Ф. К. Состояние технической базы оросительных систем Саратовской области и пути повышения ее эффективности / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Механизация строительства. - 2000. - № 5. - С. 5-7.
61. Абдразаков, Ф. К. Специализированная техника - основа безотходной технологии удаления древесной растительности / Ф. К. Абдразаков [и др.] // Механизация строительства. - 2005. - № 5. - С. 9-12.
62. Абдразаков, Ф. К. Специализированная техника и эффективная безотходная технология для удаления древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, В. Н. Мараев, Д. А. Соловьев // Механизация строительства. - 2008. - № 4. - С. 17-20.
63. Абдразаков, Ф. К. Теоретическое обоснование использования кусторезов / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Р. Н. Бахтиев, Д. Г. Горюнов // Строительные и дорожные машины. - 2004. - № 3. - С. 37-39.
64. Абдразаков, Ф. К. Теоретическое обоснование конструктивных параметров подборщика с уплотняющими гребенками / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов, Д. А. Соловьев // Механизация строительства. - 2009. - № 4. - С. 17-20.
65. Абдразаков, Ф. К. Теоретическое обоснование оптимальной высоты установки толкателя кустореза / Ф. К. Абдразаков, В. Н. Мараев, Д. А. Соловьев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. - 2008. - № 4. - С. 57-59.

66. Абдразаков, Ф. К. Технологии и технические средства для проведения эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных каналах / Ф. К. Абдразаков, В. С. Егоров, Р. Н. Бахтиев; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2008. - 152 с.
67. Абдразаков, Ф. К. Технология очистки каналов от кустарника и мелколесья / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, О. В. Кабанов // Информ. листок № 32 2000. - Саратов: ЦНТИ, 2000. - 3 с.
68. Абдразаков, Ф. К. Формирование оптимального состава экскаваторного парка и определение его эффективности / Ф. К. Абдразаков // Социально-экономические проблемы АПК: сб. науч. работ; Сар. гос. с.-х. акад. - Саратов, 1998. - С. 193-200.
69. Абдразаков, Ф. К. Формирование оптимального состава экскаваторного парка - залог стабильности хозяйства / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Механизация строительства. - 1998. - № 8. - С. 14-16.
70. Абдразаков, Ф. К. Формирование парка машин для их эффективной эксплуатации / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Материалы Международной науч.-практ. конф., посвященной 70-летию со дня рождения профессора А.Г. Рыбалко. Ч. 2 / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2006. - С. 60-65.
71. Абдразаков, Ф. К. Хозяйственное использование древесной растительности, срезанной вдоль оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, Р. Е. Кузнецов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. - 2005. - № 1. - С. 24-28.
72. 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.
73. Абдразаков, Ф. К. Экономическое состояние мелиоративного комплекса Саратовской области и пути его развития / Ф. К. Абдразаков, Е. Ф. Фиалковская // Организация, технология и механизация производства: сб. науч. работ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2006. - С. 30-34.

74. Абдразаков, Ф. К. Эксплуатация мелиоративных насосных станций и пути сбережения энергоресурсов / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов, Д. А. Соловьев // Механизация строительства. - 2001. - № 8. - С. 18-22.
75. Абдразаков, Ф. К. Энергосберегающая оптимизация распределения землеройной техники / Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Вопросы повышения качества образования в области природообустройства и водопользования: сб. материалов 5 межвуз. науч.-методич. и науч.-технич. конф. / Московский гос. ун-т природообустройства. - М., 2003. - С. 98-100.
76. Абдразаков, Ф. К. Эффективная безотходная технология и специализированная техника для удаления древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, В. Н. Мараев, Д. А. Соловьев // Механизация строительства. - 2008. - № 9. - С. 12-16.
77. Абдразаков, Ф. К. Эффективные технологии и машины для очистки оросительных каналов от кустарника / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев // Строительные и дорожные машины. - 1999. - № 12. - С. 32-33.
78. Абрамов, Л. М. Математическое программирование / Л. М. Абрамов, В. Ф. Капустин. - Л.: ЛГУ, 1976. - 184 с.
79. Айдаров, И. П. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / И. П. Айдаров, К. П. Арент, В. Н. Басс; под ред. Б. Б. Шумакова. - М.: Колос, 1999. - 432 с.
80. Алексанкин, А. В. Машины и технология для производства культуртехнических работ с утилизацией древесины / А. В. Алексанкин // Гидротехника и мелиорация. - 1978. - № 5. - С. 72-82.
81. Алтунин, В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах / В. С. Алтунин. - М.: Колос, 1979. - 255 с.
82. Андриянов, В. Е. Оптимизация состава МТП в типичных хозяйствах зоны орошаемого земледелия Казахской ССР / В. Е. Андриянов // Труды КазНИИМЭСХа. - 1976. - Т. 7. - С. 45-49.
83. Аникин, Ю. В. Насосы и насосные станции: учеб. пособие / Ю. В. Аникин, Н. С. Царев, Л. И. Ушакова; [науч. ред. В. И. Аксенов]; М-во образования и науки

- Рос. Федерации; Урал. федер. ун-т. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. - 138 с.
- 84.Анисимов, С. А. Обоснование параметров ручного иньектора для эффективного угнетения пней на оросительных каналах и противопожарных водоемах / С. А. Анисимов, К. Е. Панкин, В. Г. Мальцева, Д. Г. Горюнов // Актуальные проблемы и перспективы инновационной агроэкономики: сб. статей нац. (всерос.) науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. - Саратов, 2020. - С. 3-9.
- 85.Анисимов, С. А. Результаты исследования устройства, подавляющего нежелательную растительность вдоль линейных объектов для обеспечения их безопасной эксплуатации / С. А. Анисимов, Д. Г. Горюнов, О. В. Карпова, К. Е. Панкин // Аграрный научный журнал. - 2022. - № 3. - С. 82-85.
- 86.Анисимов, С. А. Энергетическая оценка технологии удаления кустарника и мелколесья с угнетением пней для обеспечения безопасной эксплуатации линейных объектов / С. А. Анисимов, Д. Г. Горюнов, О. В. Карпова // Аграрный научный журнал. - 2022. - № 2. - С. 65-68.
- 87.Анненкова, О. С. Интенсификация использования землеройных машин в строительстве / О. С. Анненкова // Строительные и дорожные машины. - 1994. - № 2. - С. 23-24.
- 88.Аскарходжаев, Т. И. Формирование средств механизации при ремонтно-эксплуатационных работах на оросительных системах / Т. И. Аскарходжаев, Н. А. Каримов // Перспективные технологии строительства и эксплуатации мелиоративных систем: сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. - М.: Агропромиздат, 1990. - С. 160-16.
- 89.Ачкасов, Г. П. Технология и организация ремонта мелиоративных гидротехнических сооружений / Г. П. Ачкасов, Е. С. Иванов. - М.: Колос, 1984. - 174 с.
- 90.Багров, М. Н. Оросительные системы и их эксплуатация / М. Н. Багров, И. П. Кружилин. - М.: Агропромиздат, 1988. - 255 с.
- 91.Бадаев, Л. И. Техническая эксплуатация гидромелиоративных систем: справочник / Л. И. Бадаев, В. М. Донской. - М.: Колос, 1992. - 271 с.

- 92.Базаров, Б. И. Методические рекомендации по оценке топливно-энергетических затрат на выполнение механизированных процессов в растениеводстве / Б. И. Базаров. - М.: ВАСХНИЛ, 1985. - 43 с.
- 93.Балашов, А. В. Обоснование состава и структуры МТП в крестьянских хозяйствах растениеводческого направления: дис. ... канд. техн. наук / Балашов А. В. - Тамбов, 1996. - 210 с.
- 94.Балкай, Т. Г. Борьба с сорной растительностью на открытых мелиоративных каналах гербицидом раундап / Т. Г. Балкай // Наукоемкие технологии в мелиорации. Костяковские чтения: материалы Междунар. конф. - М.: ВНИИА, 1998. - С. 482-485.
- 95.Батеенков, П. С. О развитии орошаемого земледелия в Поволжье / П. С. Батеенков, А. А. Кругликов // Организация, технология и механизация производства: сб. науч. работ; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2006. - С. 60-76.
- 96.Баширов, Р. М. Обоснование оптимального состава МТП и плана использования агрегатов: учебное пособие / Р. М. Баширов. - Ульяновск: Ульяновский СХИ, 1990. - 80 с.
- 97.Безбородов, А. Г. Государственное регулирование в области мелиорации земель сельскохозяйственного назначения: учебник для слушателей курсов повышения квалификации / сост. А. Г. Безбородов, Ю. Г. Безбородов. - М.: ФГБОУ ДПО РА-КО АПК, 2022. - 202 с.
- 98.Беккенбах, Э. Введение в неравенства / Э. Беккенбах, Р. Беллман; пер. с англ. Р. А. Лукацкой; под ред. И. М. Яглома. - М.: Мир, 1965. - 166 с. - (Современная математика).
- 99.Бланк, Л. И. Повышение эффективности использования парка строительных машин / Л. И. Бланк, Е. Е. Киевская, П. Кытов. - М.: Стройиздат, 1980. - 172 с.
100. Боровиков, А. М. Справочник по древесине / А. М. Боровиков, Б. Н. Уголев. - М.: Лесная промышленность, 1989. - 296 с.
101. Боровиков, В. П. Statistica. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows / В. П. Боровиков, И. П. Боровиков. - М.: Инф.-издат. дом «Филинъ», 1997. - 608 с.

102. Боровиков, В. П. Statistica: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. П. Боровиков. - СПб.: Питер, 2001. - 656 с.
103. Борщов, Т. С. Культуртехника в нечерноземной зоне / Т. С. Борщов, И. А. Гинтовт. - М.: Колос, 1981. - 253 с.
104. Борщов, Т. С. Мелиоративные машины / Т. С. Борщов, Р. А. Мансуров, В. А. Сергеев. - Л.: Агропромиздат, 1985. - 288 с.
105. Борщов, Т. С. Механизация и технология культуртехнических работ / Т. С. Борщов, В. Ш. Лифлянский, Ю. А. Телегин. - Л.: Лениздат, 1971. - 160 с.
106. Борщов, Т. С. Механизация и технология расчистки полей и лугов от кустарника и камней / Т. С. Борщов. - Л.: Лениздат, 1966. - 112 с.
107. Борщов, Т. С. Организация и технология мелиоративных работ: учебник для средн. сельск. проф.-техн. училищ / Т. С. Борщов, Р. А. Мансуров. - М.: Высшая школа, 1984. - 168 с.
108. Булохов, В. А. Экономический справочник сельского специалиста / В. А. Булохов, П. И. Пеннер. - М.: Россельхозиздат, 1983. - 192 с.
109. Бурштейн, И. М. Динамическое программирование в планировании / И. М. Бурштейн. - М.: Экономика, 1968. - 127 с.
110. Валягина-Малютина, Е. Т. Деревья и кустарники зимой. Определитель древесных и кустарниковых пород по побегам и почкам в безлистном состоянии / Е. Т. Валягина-Малютина. - М.: Изд-во КМК, 2001. - 281 с.
111. Веденяпин, Г. В. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Г. В. Веденяпин, Ю. К. Киртбая, М. П. Сергеев. - М.: Сельхозиздат, 1963. - 431 с.
112. Вознесенский, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. - М.: Финансы и статистика, 1981. - 263 с.
113. Волков, А. В. Проблемы и перспективы развития мелиорации, рекультивации и охраны земель в Саратовской области / А. В. Волков // Организация, технология и механизация производства: сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2005. - С. 61-67.
114. Вторичные материальные ресурсы лесной и деревообрабатывающей промышленности: справочник. - М.: Экономика, 1983. - 224 с.

115. Гантман, В. Б. Обоснование системы машин для эксплуатационно-ремонтных работ на осушительных системах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Гантман В. Б. - М.: МГУП, 1998. - 65 с.
116. Гинтовт, И. А. Коренное улучшение закустаренных земель / И. А. Гинтовт, К. И. Преображенский. - М.: Россельхозиздат, 1985. - 167 с.
117. Гинтовт, И. А. Новая технология удаления древесной растительности при мелиорации земель / И. А. Гинтовт, В. П. Дмитриев // Гидротехника и мелиорация. - 1985. - № 4. - С. 39-42.
118. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. - М.: Высшая школа, 1977. - 479 с.
119. Горюнов, Д. Г. Анализ использования парков мелиоративных и строительных машин / Д. Г. Горюнов // Молодые ученые СГАУ им. Н.И. Вавилова - агропромышленному комплексу Поволжского региона: сб. науч. работ / Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова. - Саратов, 2001. - С. 292-294.
120. Горюнов, Д. Г. Задачи обновления эксплуатационно-ремонтной базы мелиоративных систем Саратовской области / Д. Г. Горюнов // Проблемы научного обеспечения экономической эффективности орошаемого земледелия в рыночных условиях: материалы междунар. науч.-практ. конф. / Волгоградская государственная с.-х. академия. - Волгоград, 2001. - С. 50-51.
121. Горюнов, Д. Г. Методика определения эффективных видов и типоразмеров машин в мелиоративном производстве / Д. Г. Горюнов // Молодые ученые ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» - агропромышленному комплексу Поволжского региона: сб. науч. работ / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2003. - С. 598-601.
122. Горюнов, Д. Г. Оптимизация распределения парка машин по производственным объектам / Д. Г. Горюнов, И. А. Конзелко // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы IV междунар. науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. - Саратов, 2018. - С. 13-15.
123. Горюнов, Д. Г. Особенности технического обслуживания дождевальная машины «Каскад 65Т» / Д. Г. Горюнов, М. Г. Загоруйко, Р. Е. Кузнецов // Мелиорация и водное хозяйство. - 2023. - № 4. - С. 36-38.

124. Горюнов, Д. Г. Повышение эффективности производства земляных работ при ликвидации ЧС на основе оптимизации формирования парков машин / Д. Г. Горюнов, И. А. Конзелко // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы IV междунар. науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. - Саратов, 2018. - С. 295-298.
125. Горюнов, Д. Г. Разработка безотходной технологии очистки каналов от древесно-кустарниковой растительности / Д. Г. Горюнов, С. В. Кошелев // Актуальные вопросы современного водохозяйственного комплекса: материалы международной науч.-практ. конф. / ФГОУ ВПО Омский ГАУ. - Омск, 2010. - С. 83-86.
126. Горюнов, Д. Г. Оптимизационная математическая модель интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией / Д. Г. Горюнов // Глобальные вызовы и инновационные решения в мелиоративном комплексе: сб. науч. трудов по матер. научно-практ. конф. / ФГБНУ «ВолжНИИГиМ». - Энгельс: Амирит, 2026. - С. 198-204.
127. Гостищев, Д. П. Проблемы орошаемого земледелия в АПК Саратовской области / Д. П. Гостищев, М. И. Пушко // Мелиорация и водное хозяйство. - 1999. - № 3. - С. 27-29.
128. Гуляев, Ю. В. Безотходные технологии и технические средства для освоения закустаренных и залесенных сельскохозяйственных земель: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Гуляев Ю. В. - М., 2000. - 56 с.
129. Дабылов, А. Д. О математической модели оптимизации комплекса ремонтных работ / А. Д. Дабылов // Перспективные технологии строительства и эксплуатации мелиоративных систем: сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. - М.: Агропромиздат, 1990. - С. 223-227.
130. Дегтярев, А. П. Комплексная механизация земляных работ / А. П. Дегтярев, А. К. Рейш, С. И. Руденский. - М.: Стройиздат, 1987. - 335 с. [80]
131. Демин, А. П. Трансформация состояния орошаемых земель в степных регионах России [Электронный ресурс] // Материалы сайта Института степи Уральского отделения РАН. - Режим доступа: <https://orensteppe.org/content/transformaciya-sostoyaniya-oroshaemyh-zemel-v-stepnyh-regionah-rossii>

132. Деревья и кустарники: справочник / под ред. А. И. Колесникова. - М.: Лесная промышленность, 1970. - 475 с.
133. Дмитриев, В. П. Машины и оборудование для производства щепы при мелиорации земель: обзорная информ. / В. П. Дмитриев. - М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1988. - 44 с. - (Сер. Мелиоративные, торфяные, лесные машины и оборудование; вып. 1).
134. Дмитриев, В. П. Новые передвижные рубильные машины / В. П. Дмитриев, И. А. Гинтовт // Строительные и дорожные машины. - 1985. - № 11. - С. 27-28.
135. Дмитриев, В. П. Производство щепы из низкокачественной древесины за рубежом / В. П. Дмитриев, И. А. Гинтовт // Мелиорация и водное хозяйство: обзорная информ. - М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1987. - 48 с. - (Сер. 1. Орошение и оросительные системы; вып. 3).
136. Добронравов, С. С. Строительные машины и оборудование: справочник / С. С. Добронравов. - М.: Высшая школа, 1991. - 456 с.
137. Докин, Б. Д. Зональная система машин для комплексной механизации растениеводства в рамках агропромышленного комплекса (на примере Западной Сибири): автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Докин Б. Д. - Новосибирск, 1983. - 44 с.
138. Докин, Б. Д. Методика определения нормативов потребности в сельскохозяйственной технике для Западносибирской зоны / Б. Д. Докин, А. Аферина, В. Маслов // Научно-технический бюллетень СИБИМЭ. - 1973. - Вып. 3, 4. - С. 3-25.
139. Долгушев, И. А. Повышение эксплуатационной надежности оросительных каналов / И. А. Долгушев. - М.: Колос, 1975. - 136 с.
140. Домбровский, Н. Г. Повышение производительности одноковшовых экскаваторов / Н. Г. Домбровский. - М.: Стройиздат, 1951. - 320 с.
141. Домбровский, Н. Г. Строительные машины. Ч. 2 / Н. Г. Домбровский, М. И. Гальперин. - М.: Высшая школа, 1985. - 224 с.
142. Егоров, В. С. Перспективы развития мелиорации в Саратовской области / В. С. Егоров // Вавиловские чтения - 2003: материалы межрегиональной науч. конф. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2003. - С. 10-12.

143. Егоров, В. С. Совершенствование технологий и технических средств проведения эксплуатационных работ на оросительных каналах Саратовского Заволжья: дис. ... канд. техн. наук / Егоров В. С. - Саратов, 2004. - 182 с.
144. Емелин, Ю. Б. Исследование оптимизации состава и ремонтно-обслуживающей базы энергонасыщенных тракторов в условиях Саратовской области: дис. ... канд. техн. наук / Емелин Ю. Б. - Саратов, 1982. - 198 с.
145. Емелин, Ю. Б. Методология прогнозирования технического прогресса и моделирование инвестиционно-технической политики в сельском хозяйстве: дис. ... д-ра техн. наук / Емелин Ю. Б. - Саратов, 1995. - 258 с.
146. Еникеев, В. В. Методическая разработка по расчету и оценке на ЭВМ ЕС-1030 технической оснащенности сельскохозяйственных предприятий отрасли растениеводства / В. В. Еникеев. - Л.: Агропромиздат, 1986. - 28 с.
147. Ершов, А. И. Состояние и пути совершенствования системы технического обслуживания мелиоративной техники / А. И. Ершов, Р. И. Марко // Обзорная информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. - 1981. - № 13. - 63 с.
148. Есин, А. И. Longitudinal flow of a conical deflector with a stream of viscous incompressible liquid / А. И. Есин, Д. А. Соловьев, Г. Н. Камышова, Л. А. Журавлева, Д. Г. Горюнов // International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies. - 2019. - Vol. 10. - No. 9. - P. 125-134.
149. Есин, А. И. Longitudinal flow of curviline rotation deflector by viscous incompressible liquid / А. И. Есин, Д. А. Соловьев, Д. А. Колганов, Д. Г. Горюнов, А. В. Кириченко // Helix. - 2020. - Vol. 10. - No. 2. - P. 72-79.
150. Жукевич, К. И. Совместная оптимизация состава машинно-тракторного парка и потребности в кадрах / К. И. Жукевич // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1974. - № 11. - С. 3-5.
151. Закревский, П. Б. Лесозаготовительные системы машин / П. Б. Закревский, В. П. Большакова // Строительные и дорожные машины. - 1985. - № 11. - С. 25-27.
152. Зеленин, А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами: научное издание / А. Н. Зеленин. - 2-е изд., доп. и перераб. - М.: Машиностроение, 1968. - 375 с.

153. Зеленин, А. Н. Машины для земляных работ / А. Н. Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов. - М.: Машиностроение, 1975. - 424 с.
154. Зотова, Л. В. Оптимизация парка машин в мелиоративном строительстве / Л. В. Зотова // Мелиорация и водное хозяйство. - 1990. - № 12. - С. 35-37.
155. Ивженко, С. А. Интенсификация технологических процессов машин / С. А. Ивженко, Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Строительные и дорожные машины. - 2001. - № 1. - С. 34-36.
156. Ивженко, С. А. Факторы, влияющие на интенсификацию технологических процессов машин / С. А. Ивженко, Ф. К. Абдразаков, Д. Г. Горюнов // Механизация строительства. - 2001. - № 2. - С. 11-14.
157. Использование мелиоративной древесины для производства топливных брикетов / З. М. Мамаев [и др.] // Перспективные технологии и научные методы организации производства мелиоративных работ: сб. науч. работ. - М.: ВНИИГиМ, 1983. - С. 79-84.
158. Использование пакета Statistica 5.0 для статистической обработки опытных данных: метод. указания / С. В. Кабанов; СГАУ им. Н.И. Вавилова. - Саратов, 2001. - 47 с.
159. Кавешников, Н. Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений / Н. Т. Кавешников. - М.: Агропромиздат, 1989. - 272 с.
160. Кадзаев, М. Б. Совершенствование эксплуатации оросительных систем / М. Б. Кадзаев. - М.: Колос, 1983. - 82 с.
161. Камышенцев, Л. А. Мелиоративные и культуртехнические работы / Л. А. Камышенцев, К. И. Преображенский. - М.: Россельхозиздат, 1975. - 60 с.
162. Камышенцев, Л. А. Новая мелиоративная техника / Л. А. Камышенцев, В. С. Казаков, Ю. А. Соколов. - М.: Россельхозиздат, 1977. - 183 с.
163. Каналы систем водоснабжения и ирригации (рекомендации по проектированию и эксплуатации каналов). - М.: Стройиздат, 1972. - 152 с.
164. Карелин, В. Я. Насосы и насосные станции: учебник для вузов / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1986. - 320 с.

165. Кизяев, Б. М. О возрождении и развитии разработки и производства техники для мелиоративных работ в России / Б. М. Кизяев, З. М. Мамаев // Мелиорация и водное хозяйство. - 2000. - № 5. - С. 5-8.
166. Кизяев, Б. М. Развитие технологий и средств комплексной механизации строительства и эксплуатации мелиоративных систем / Б. М. Кизяев // Мелиорация и водное хозяйство. - 2002. - № 5. - С. 11-12.
167. Концепция мелиорации сельскохозяйственных земель в России / под общ. ред. А. В. Гордеева, Г. А. Романенко. - М.: МГУП, 2005. - 70 с.
168. Конысбаев, К. К. Оптимизация состава машинно-тракторного парка рисоводческих хозяйств Казахстана: учебное пособие / К. К. Конысбаев. - Алма-Ата, 1987. - 40 с.
169. Корженевский, А. Н. Ремонтные работы на осушительных системах / А. Н. Корженевский. - М.: Колос, 1980. - 351 с.
170. Коршиков, А. А. Машины и оборудование для строительных и мелиоративных работ / А. А. Коршиков, А. В. Колганов, В. И. Шуньков. - М., 2000. - 498 с.
171. Коршиков, Л. А. Машины для подготовки и проведения культуртехнических работ / Л. А. Коршиков. - Новочеркасск, 1994. - 57 с. - (Сер. Машины и оборудование для строительных и мелиоративных работ; ч. 5).
172. Крившин, А. П. Повышение эффективности использования дорожных машин / А. П. Крившин. - М.: Транспорт, 1980. - 263 с.
173. Кубышкин, П. П. Сельскохозяйственная мелиорация и лесоводство: учеб. пособие / П. П. Кубышкин, И. И. Полубояринов. - М.: Колос, 1971. - 407 с.
174. Кудайбергенов, П. К. Обновление парка средств механизации и эффективность строительного производства / П. К. Кудайбергенов. - М.: Стройиздат, 1981. - 192 с.
175. Кудрявцев, Е. М. Оптимизация парков строительных и дорожных машин: учеб. пособие / Е. М. Кудрявцев; Моск. инж.-строит. ин-т им. В. В. Куйбышева. - М.: МИСИ, 1987. - 78 с.
176. Лазаренко, Г. Г. Передвижная рубильная установка ПД-17 / Г. Г. Лазаренко, Ю. Э. Ионан, Ю. В. Гуляев // Гидротехника и мелиорация. - 1982. - № 7. - С. 50-51.

177. Лазаренко, Г. Г. Подборщик-измельчитель древесных масс МТП-82 / Г. Г. Лазаренко, В. И. Юдин, А. М. Грицюк // Строительные и дорожные машины. - 1985. - № 11. - С. 24-25.
178. Лобань, В. Г. Методика определения состава МТП сельскохозяйственных предприятий с помощью ЭВМ (проект) / В. Г. Лобань. - М.: Высшая школа, 1967. - 108 с.
179. Лобачев, П. В. Насосы и насосные станции: учебник для техникумов / П. В. Лобачев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1983. - 191 с.
180. Лысов, К. И. Насосы и насосные станции / К. И. Лысов, К. Т. Григорьев. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Колос, 1977. - 224 с.
181. Малинников, А. Е. Оптимизация состава и использования машинно-тракторного парка на основе различных критериев / А. Е. Малинников // Оптимизация машинно-тракторного парка: сб. науч. тр.; С.-х. академия им. К. А. Тимирязева. - М., 1985. - С. 37-43.
182. Мамаев, З. М. Техничко-экономическое обоснование безотходной технологии освоения закустаренных земель / З. М. Мамаев, В. В. Ямщиков // Перспективные технологии и научные методы организации производства мелиоративных работ: сб. науч. работ. - М.: ВНИИГиМ, 1983. - С. 154-159.
183. Мануйлов, В. Ю. Описание модели для оптимизации комплексов машин, применяемых в водохозяйственном строительстве / В. Ю. Мануйлов, Л. В. Зотова // Перспективные технологии строительства и эксплуатации мелиоративных систем: сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. - М.: Агропромиздат, 1990. - С. 116-122.
184. Мараев, В. Н. Современные технологии и машины для проведения эксплуатационных работ на оросительных каналах / В. Н. Мараев // Вавиловские чтения - 2005: материалы конф., посвящ. 118-й годовщине со дня рождения академика Николая Ивановича Вавилова, 23-25 ноября 2005 г. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2005. - С. 35-37.
185. Маслов, Б. С. Справочник по мелиорации / Б. С. Маслов, И. В. Минаев, К. В. Губер. - М.: Росагропромиздат, 1989. - 384 с.
186. Математическая статистика: учебник для вузов / под ред. А. М. Длина. - М.: Высшая школа, 1975. - 398 с.

187. Математическое программирование / Ю. Н. Кузнецов, В. И. Кубузов, А. Б. Волощенко. - М.: Высшая школа, 1976. - 352 с.
188. Машины для земляных работ / под ред. Д. П. Волкова. - М.: Машиностроение, 1992. - 448 с.
189. Машины, механизмы и оборудование лесного хозяйства: справочник / сост.: В. Н. Винокуров [и др.]. - М.: МГУЛ, 2002. - 439 с.
190. Мелиоративные и строительные машины / Б. А. Васильев [и др.]. - М.: Агропромиздат, 1986. - 431 с.
191. Мелиоративные машины / под ред. И. И. Мера. - М.: Колос, 1980. - 352 с.
192. Мелиорация в России: потенциал и стратегия развития: материалы Международной научно-практической интернет-конференции, посвященной 50-летию масштабной программы развития мелиорации земель, Волгоград, 26 августа 2016 г. - Волгоград: ВНИИОЗ, 2016. - 360 с.
193. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. - М.: Агропромиздат, 1990. - 415 с.
194. Мелиорация и водное хозяйство. Строительство: справочник / под ред. Л. Г. Балаева. - М.: Колос, 1984. - 344 с.
195. Мелихов, В. В. Орошаемое земледелие в XXI в. / В. В. Мелихов // Мелиорация и водное хозяйство. - 2003. - № 1. - С. 43-44.
196. Можаяев, Д. В. Новая лесозаготовительная техника за рубежом: обзор. информ. / Д. В. Можаяев, С. Н. Илюшкин. - М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1987. - 47 с. - (Сер. 3. Мелиоративные, торфяные, лесные машины и оборудование; вып. 1).
197. Наназашвили, И. Х. Строительные материалы, изделия и конструкции: справочник / И. Х. Наназашвили. - М.: Высшая школа, 1990. - 495 с.
198. Натальчук, М. Ф. Эксплуатация гидромелиоративных систем / М. Ф. Натальчук, В. И. Ольгаренко, В. А. Сурин. - М.: Колос, 1992. - 320 с.
199. Никитина, О. В. Фярид Абдразаков: Меня жизнь всему научила. / О. В. Никитина - Саратов: Изд-во «Научная книга», 2025. - 148 с.
200. Никифоров, А. Н. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве / А. Н. Никифоров [и др.]. - М.: ВИМ, 1995. - 66 с.

201. Никишов, В. Д. Комплексное использование древесины / В. Д. Никишов. - М.: Лесная промышленность, 1985. - 264 с.
202. Нит, И. В. Линейное программирование / И. В. Нит. - М.: Изд-во Московского университета, 1978. - 200 с.
203. Новиков, А. Л. Определитель деревьев и кустарников в безлистном состоянии / А. Л. Новиков. - Киев: Гос. изд-во с.-х. лит-ры УССР, 1959. - 313 с.
204. Новые нормы расхода ГСМ на автомобильном транспорте (утверждены распоряжением Минтранса России от 14 марта 2008 г. № АМ-23-Р, редакция от 30.09.2021). - М: Мысль, 2008. - 96 с.
205. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте. - М.: Ось-89, 2008. - 128 с.
206. О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте»: распоряжение Минтранса РФ от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163116/
207. Ольгаренко, В. И. Ремонтные работы на оросительных системах / В. И. Ольгаренко, И. А. Чуприн, П. В. Иоффе. - М.: Колос, 1976. - 64 с.
208. Ольгаренко, В. И. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем / В. И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, В. Н. Рыбкин. - Коломна, 2006. - 391 с.
209. Ольгаренко, Г. В. Развитие мелиоративного комплекса: строительство, модернизация и техническое перевооружение: справ. изд. / Г. В. Ольгаренко, С. С. Турапин, В. И. Булгаков и др. - М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. - 88 с.
210. Основы теории оптимизации / В. Д. Ногин, И. О. Протодяконов, И. И. Евлампиев. - М.: Высшая школа, 1986. - 384 с.
211. Отчет о результатах пребывания в Финляндии 24-28 октября 2005 г. группы специалистов Республики Беларусь по энергетике, энергоэффективности и лесопромышленному производству с целью обучения в рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Применение биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Беларуси» [Электронный ресурс] // Энергия биомассы. Проект Правительства Республики Беларусь. - Режим доступа: <http://www.bioenergy.by>

212. Панкин, К. Е. Технология производства и оценка теплоты сгорания биотоплива на основе продуктов гидролиза древесины и древесных отходов / К. Е. Панкин, С. А. Анисимов, Д. Г. Горюнов, Г. П. Надежкина // Аграрный научный журнал. - 2025. - № 7. - С. 132-137.
213. Парфенов, В. В. Новый комплекс машин для расчистки закустаренных земель / В. В. Парфенов, А. И. Бахаров // Гидротехника и мелиорация. - 1986. - № 4. - С. 50-52.
214. Пат. 2161399 Российская Федерация, A01G23/02, A01G23/06, A01G23/091. Кусторез / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, О. В. Кабанов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 99106731/13; заявл. 05.04.1999; опубл. 10.01.01, Бюл. № 1. - 5 с.: ил.
215. Пат. 2167514 Российская Федерация, A01G23/02, A01G23/06, A01G23/08. Устройство для срезания кустарника и мелколесья / Ф. К. Абдразаков [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 99127069/13; заявл. 27.12.1999; опубл. 27.05.01, Бюл. № 15. - 5 с.: ил.
216. Пат. 2250600 Российская Федерация. Способ механизированной полосной расчистки площади вырубки под лесные культуры / Ю. Ф. Кичкин, Е. М. Романов. - 2005. - Бюл. № 2.
217. Пат. 2251836 Российская Федерация, A01G23/02. Кусторез маятникового типа / Ф. К. Абдразаков [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2003110587/12; заявл. 14.04.03; опубл. 20.05.05, Бюл. № 14. - 8 с.: ил.
218. Пат. 2251837 Российская Федерация, A01G23/06. Рабочий орган кустореза / Ф. К. Абдразаков [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2003116267/12; заявл. 02.06.03; опубл. 20.05.05, Бюл. № 14. - 5 с.: ил.
219. Пат. 2258354 Российская Федерация, A01G23/06, A01G23/08, B27B11/12. Кусторез / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Р. Н. Бахтиев, В. С. Егоров, Д. Г. Горюнов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2003145678; заявл. 10.12.2003; опубл. 20.08.2005, Бюл. № 23. - 7 с.: ил.

220. Пат. 2258355 Российская Федерация, A01G23/06. Подборщик срезанной древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2004111331/12; заявл. 13.04.04; опубл. 20.08.05, Бюл. № 23. - 6 с.: ил.
221. Пат. 2308185 Российская Федерация, A01G23/06. Машина для сбора срезанной древесно-кустарниковой растительности и угнетения пней / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, Е. В. Филиппова; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2005131815/12; заявл. 13.10.05; опубл. 20.10.07, Бюл. № 29. - 8 с.: ил.
222. Пат. 2308186 Российская Федерация, A01G23/06. Подборщик срезанной древесно-кустарниковой растительности / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, Е. В. Филиппова; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2005131816/12; заявл. 13.10.05; опубл. 20.10.07, Бюл. № 29. - 10 с.: ил.
223. Пат. 2309578 Российская Федерация, A01G23/06. Рабочий орган для срезания кустарника и угнетения пней / Д. А. Соловьев [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2005136315/12; заявл. 22.11.05; опубл. 10.11.07, Бюл. № 31. - 7 с.: ил.
224. Пат. 2309579 Российская Федерация, A01G23/06. Кусторез для работы на каналах / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, Е. В. Филиппова; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2005136323/12; заявл. 22.11.05; опубл. 10.11.07, Бюл. № 31. - 11 с.: ил.
225. Пат. 2316206 Российская Федерация, A01G23/06. Кусторез / Ф. К. Абдразаков, В. Н. Мараев, Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, Д. Г. Горюнов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2005123456; заявл. 22.11.2005; опубл. 10.02.2008, Бюл. № 4. - 6 с.: ил.
226. Пат. 2316945 Российская Федерация, A01G23/06. Устройство для срезания кустарника / Ф. К. Абдразаков [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2006114973/12; заявл. 02.05.06; опубл. 20.02.08, Бюл. № 5. - 9 с.: ил.
227. Пат. 2321249 Российская Федерация, A01G23/06. Подборщик срезанной древесно-кустарниковой растительности / Д. А. Соловьев [и др.]; заявитель и

- патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2006100518/12; заявл. 10.01.06; опубл. 10.04.08, Бюл. № 10. - 10 с.: ил.
228. Пат. 2322055 Российская Федерация, A01M7/00. Орудие для нанесения арборицидной смеси на пни / Д. А. Соловьев [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2006117475/12; заявл. 22.05.06; опубл. 20.04.08, Бюл. № 11. - 9 с.: ил.
229. Пат. 2324330 Российская Федерация, A01G23/06. Подборщик срезанной древесно-кустарниковой растительности / Д. А. Соловьев [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2006123956/12; заявл. 04.07.06; опубл. 20.05.08, Бюл. № 14. - 9 с.: ил.
230. Пат. 2335888 Российская Федерация, A01G23/06. Навесное устройство для сбора порубочных остатков / Р. Е. Кузнецов [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2006137532/12; заявл. 23.10.06; опубл. 20.10.08, Бюл. № 29. - 14 с.: ил.
231. Пат. 2335889 Российская Федерация, A01G23/06. Устройство для угнетения пней / Д. А. Соловьев [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2006137543/12; заявл. 23.10.06; опубл. 27.04.08, Бюл. № 29. - 10 с.: ил.
232. Пат. 2344240 Российская Федерация, E02F3/39. Рабочее оборудование одноковшового экскаватора / О. В. Кабанов [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2007100311/03; заявл. 09.01.07; опубл. 20.01.09, Бюл. № 2. - 6 с.: ил.
233. Пат. 2716987 Российская Федерация, A01G25/09. Шпренгель фермы дождевальной машины / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, С. М. Бакиров, Г. Н. Камышова, С. А. Макаров, Д. Г. Горюнов, Д. А. Колганов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. - № 2019104567; заявл. 07.02.2019; опубл. 17.03.2020, Бюл. № 8. - 6 с.: ил.
234. Пат. 2801951 Российская Федерация, B05B1/18. Дождевальная насадка / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, В. А. Соловьев, Д. А. Колганов, Д. Г. Горюнов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. - № 2022154567; заявл. 15.12.2022; опубл. 21.08.2023, Бюл. № 24. - 5 с.: ил.

235. Пат. 280574 Российская Федерация, A01G25/09. Способ повышения проходимости многоопорной дождевальной машины кругового действия на участках со сложным рельефом / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, Д. Г. Горюнов, М. С. Садаев, М. Г. Загоруйко; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. - № 2023123456; заявл. 02.11.2023; опубл. 27.12.2023, Бюл. № 36. - 5 с.: ил.
236. Пат. 2827428 Российская Федерация, A01G25/09. Ферменный пролет дождевальной машины / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, Д. Г. Горюнов, Д. А. Колганов, А. И. Шематурин, Ю. Н. Гrepечук; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. - № 2024101234; заявл. 01.02.2024; опубл. 26.09.2024, Бюл. № 27. - 7 с.: ил.
237. Пат. на полезную модель № 45724 Российская Федерация, B66C3/16. Грейфер / Ф. К. Абдразаков [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2005100212/22; заявл. 11.01.05; опубл. 27.05.05, Бюл. № 15. - 2 с.: ил.
238. Пат. на полезную модель № 52664 Российская Федерация, A01G23/06. Подборщик-собираетель срезанной древесно-кустарниковой растительности / Ф. К. Абдразаков [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2005121966/22; заявл. 11.07.05; опубл. 27.04.06, Бюл. № 12. - 2 с.: ил.
239. Пат. на полезную модель № 52838 Российская Федерация, B66F9/06. Грейфер / Ф. К. Абдразаков [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2005137803/22; заявл. 05.12.05; опубл. 27.04.06, Бюл. № 12. - 2 с.: ил.
240. Пат. на полезную модель № 84666 Российская Федерация, A01G23/02. Кусторез / Ф. К. Абдразаков [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2009108920/22; заявл. 10.03.09; опубл. 20.07.09, Бюл. № 20. - 2 с.: ил.
241. Пат. 2864950 Российская Федерация, A01G25/09. Способ компоновки водопроводящего трубопровода низконапорной дождевальной машины кругового действия с ферменной конструкцией пролетов / Д. В. Соловьев, Р. Е. Кузнецов,

- Д. Г. Горюнов, Д. А. Колганов, Д. А. Соловьев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «СГУ генетики биотехнологии и инженерии». - № 2025104402; заявл. 26.02.2025; опубл. 30.06.2026, Бюл. № 19. - 33 с.: ил.
242. Петровичев, И. В. Методы водоочистки на закрытых оросительных системах / И. В. Петровичев, С. А. Анисимов, Д. Г. Горюнов // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды: материалы I нац. науч.-практ. конф. с междунар. уч. / Саратов: ООО Издательство «КУБиК», 2019. - С. 95-98.
243. Подборщик-измельчитель древесины МТП-82 / Ю. В. Гуляев [и др.] // Гидротехника и мелиорация. - 1986. - № 3. - С. 52-53.
244. Попов, К. В. Мелиоративные каналы / К. В. Попов. - М.: Колос, 1969. - 184 с.
245. Предложения по эксплуатации мелиоративных систем в весенний период 2007 г. [Электронный ресурс] // Материалы сайта Института мелиорации Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию. - Режим доступа: <http://niimelio.niks.by>
246. Прокопенко, Г. М. Оптимизация состава механизированных средств и построение системы инженерного обеспечения сельскохозяйственного производства: дис. ... канд. техн. наук / Прокопенко Г. М. - Алма-Ата, 1988. - 273 с. [99]
247. Пузырев, Е. М. Газ, тепло и электричество из древесных отходов / Е. М. Пузырев [и др.] // Дерево.RU. - 2010. - № 1. - С. 154-155.
248. Рабочий план. - Саратов: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Департамент мелиорации, ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз», 2024. - 51 с.
249. Раимбаев, А. Т. Разработка, исследования и сравнительные испытания шнековых и барабанных фрез для очистки оросительных каналов (в условиях Поволжья): дис. ... канд. техн. наук / Раимбаев А. Т. - Саратов, 1979. - 190 с.
250. Рекомендации по определению потребности в технике и оптимального состава машинно-тракторного и транспортного парка в сельскохозяйственных предприятиях. Ч. I. - М.: ВНИИЭС, 1971. - 202 с.
251. Ресурсо- и энергосберегающие технологии и машины для эффективной эксплуатации оросительных систем / Ф. К. Абдразаков [и др.] // Итоги науч.-

- исслед. и опытно-конструкторской работы за 1999-2002 гг.: аннотированный сб. / Ассоциация «Аграрное образование и наука». - Саратов, 2003. - С. 66-67.
252. Родин, А. И. Метод оптимизации структуры машинно-тракторного парка по критерию минимума расхода топлива / А. И. Родин // Оптимизация машинно-тракторного парка: сб. науч. тр.; С.-х. академия им. К. А. Тимирязева. - М., 1985. - С. 73-75.
253. Рыжко, Н. Ф. Энергосбережение при поливе многоопорной дождевальная машиной «Волга-СМ» / Н. Ф. Рыжко, С. Н. Рыжко, Е. С. Смирнов, Д. Г. Горюнов // Научная жизнь. - 2023. - № 1 (127). - С. 20-29.
254. Рылов, В. Н. Основы современной культуртехники / В. Н. Рылов, Х. Н. Стариков. - М.: Колос, 1973. - 272 с.
255. Рычагов, В. В. Насосы и насосные станции / В. В. Рычагов, М. М. Флоринский. - 4-е изд. - М.: Колос, 1975. - 416 с.
256. Рябов, Г. А. Мелиоративные и строительные машины / Г. А. Рябов, И. И. Мер, Г. Т. Прудников. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Колос, 1976. - 360 с.
257. Савенкова, Т. И. Логистика: учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальностям «Финансы и кредит», «Бухгалтерский учет, анализ и аудит» / Т. И. Савенкова. - 5-е изд., стер. - М.: Издательство «Омега-Л», 2010. - 255 с.
258. Саклаков, В. Д. Проектирование эффективного использования машинно-тракторного парка / В. Д. Саклаков, С. Л. Аблина // Повышение технико-экономических показателей сельскохозяйственных тракторов: сб. науч. тр. ЧИМЭСХ. - Челябинск, 1985. - С. 116-121.
259. Самарцев, А. Я. Комплексная механизация в защитном лесоразведении / А. Я. Самарцев. - Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1973. - 160 с.
260. Свидетельство на полезную модель № 20917 Российская Федерация, E02F3/38. Рабочее оборудование гидравлического одноковшового экскаватора / Ф. К. Абдразаков [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - № 2001119555/20; заявл. 16.07.01; опубл. 10.12.01, Бюл. № 34. - 2 с.: ил.
261. Севернев, М. М. Временная методика энергетического анализа в сельском хозяйстве / М. М. Севернев [и др.]. - Минск: ЦНИИМЭСХ, 1991. - 126 с.

262. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации / А. А. Богушевский [и др.]; под ред. Е. С. Маркова. - М.: Колос, 1981. - 375 с.
263. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1986-1995 годы. Ч. 4. Лесное хозяйство и защитное лесоразведение. - М., 1988. - 311 с.
264. Современные машины для культуртехнических работ: обзорная информация / С. А. Менчикова [и др.]. - М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1983. - 42 с. - (Сер. 5-6. Машины и оборудование для мелиоративных систем, лесозаготовок, лесосплава и добычи торфа; вып. 1).
265. Соловьев, Д. А. Актуальность применения дождевальных машин в зонах рискованного земледелия на примере Саратовской области / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, Д. Г. Горюнов, Ю. Н. Гrepечук // Научная жизнь. - 2022. - Т. 17, вып. 4. - С. 507-514.
266. Соловьев, Д. А. Алгоритм моделирования технологий и составления технологических комплексов машин / Д. А. Соловьев, М. Г. Загоруйко, Р. Е. Кузнецов, Д. Г. Горюнов // Материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения проф. В. Г. Кобы. - Саратов: КУБиК, 2011. - С. 197-201.
267. Соловьев, Д. А. Дистанционное управление и мониторинг дождевальной машины «Каскад 65Т» / Д. А. Соловьев, Д. Г. Горюнов, Ю. Н. Гrepечук, М. Г. Загоруйко, Р. Е. Кузнецов // Природообустройство. - 2023. - № 5. - С. 28-32.
268. Соловьев, Д. А. Дождевальная машина «Каскад 65Т» для решения проблемы импортозамещения в мелиорации / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, Д. Г. Горюнов, Ю. Н. Гrepечук // Научная жизнь. - 2022. - Т. 17, вып. 5. - С. 648-658.
269. Соловьев, Д. А. Заиление оросительных каналов в Саратовской области / Д. А. Соловьев, О. В. Кабанов // Мелиорация и водное хозяйство. - 2003. - № 4. - С. 46-47.
270. Соловьев, Д. А. Инновационная ресурсосберегающая технология очистки оросительных каналов от древесно-кустарниковой растительности и наносов / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, Д. Г. Горюнов, С. В. Кошелев // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. - 2011. - № 5. - С. 49-54.

271. Соловьев, Д. А. Конструктивно-технологическая схема устройства для угнетения пней на оросительных каналах / Д. А. Соловьев, С. А. Анисимов, Д. Г. Горюнов // Сельскохозяйственные науки: от вопросов к решениям: сб. науч. трудов. междунар. науч.-практич. конф. - Томск, 2016. - С. 10-15.
272. Соловьев, Д. А. Конструкция ручного иньектора для угнетения пней на оросительных каналах и водоемах противопожарного назначения / Д. А. Соловьев, С. А. Анисимов, Д. Г. Горюнов, Д. Н. Ермаков // Техногенная и природная безопасность: материалы IV всерос. науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. - Саратов, 2017. - С. 111-113.
273. Соловьев, Д. А. Механизация эксплуатационных работ на оросительных каналах / Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов, Д. Г. Горюнов; СГАУ им. Н. И. Вавилова. - Саратов, 2010. - 420 с.
274. Соловьев, Д. А. Новая технология удаления кустарника и мелколесья вдоль каналов / Д. А. Соловьев // Проблемы научного обеспечения и экономической эффективности орошаемого земледелия в рыночных условиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Волгоградская ГСХА. - Волгоград, 2001. - С. 58-60.
275. Соловьев, Д. А. Новая технология утилизации древесно-кустарниковой растительности вдоль каналов, дорог, линий электропередач / Д. А. Соловьев // Совершенствование машиноиспользования и технологических процессов АПК: сб. науч. тр. Поволжской межвуз. конф. / Самарская ГСХА. - Самара, 2002. - С. 349-351.
276. Соловьев, Д. А. Определение параметров кусторезов с телескопической подачей рабочего органа / Д. А. Соловьев, М. Г. Загоруйко, Р. Е. Кузнецов, Д. Г. Горюнов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. - 2011. - № 2. - С. 46-48.
277. Соловьев, Д. А. Организация участка орошения для эффективной эксплуатации дождевальной машины «Каскад 65Т» / Д. А. Соловьев, Д. Г. Горюнов, Ю. Н. Гречечук, М. Г. Загоруйко, Р. Е. Кузнецов // Природообустройство. - 2023. - № 1. - С. 28-32.

278. Соловьев, Д. А. Параметры закрытой оросительной сети и конструкция узла подключения дождевальной машины «Каскад 65Т» / Д. А. Соловьев, Д. Г. Горюнов, Ю. Н. Гrepечук, М. Г. Загоруйко, Р. Е. Кузнецов // Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика. - 2023. - № 2. - С. 66-71.
279. Соловьев, Д. А. Совершенствование технологического процесса и конструкции кустореза для срезания древесно-кустарниковой растительности вдоль оросительных каналов: дис. ... канд. техн. наук / Соловьев Д. А. - Саратов, 2000. - 185 с.
280. Соловьев, Д. А. Состояние оросительных каналов и пути повышения качества их содержания на примере Саратовской области / Д. А. Соловьев, С. А. Анисимов, Д. Г. Горюнов // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: материалы междунар. науч.-практ. конф. - Саратов, 2016. - С. 265-272.
281. Соловьев, Д. А. Технологии очистки гидротехнических сооружений от донных отложений / Д. А. Соловьев, О. В. Кабанов // Актуальные агроинженерные проблемы АПК: сб. науч. тр. / Самарская ГСХА. - Самара, 2001. - С. 238-240.
282. Соловьев, Д. А. Технология и технические средства комплексной очистки оросительных каналов / Д. А. Соловьев // Природоохранное обустройство территорий: сб. материалов науч.-техн. конф. - М.: МГУП, 2002. - С. 164-165.
283. Соловьев, Д. А. Технология и технические средства комплексной очистки оросительных каналов / Д. А. Соловьев // Вопросы мелиорации и водного хозяйства Саратовской области: сб. науч. тр. / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2002. - С. 55-60.
284. 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 с.-х. наук. Вып. III: сб. науч. трудов / Инновационный центр развития образования и науки. - Волгоград, 2016. - С. 11-16.
285. Соловьев, Д. А. Устройство инъекционного типа для локального угнетения пней на бермах и откосах оросительных каналов / Д. А. Соловьев, С. А. Аниси-

- мов, Д. Г. Горюнов // Сельскохозяйственные науки: от вопросов к решениям: сб. науч. трудов. междунар. науч.-практич. конф. - Томск, 2016. - С. 15-20.
286. Соловьев, Д. А. Цифровые технологии в управлении орошением / Д. А. Соловьев, Г. Н. Камышова, Н. Н. Терехова, Д. Г. Горюнов, А. Вардумян // Аграрный научный журнал. - 2019. - № 4. - С. 93-97.
287. СП 12-102-2001. Механизация строительства. Расчет расхода топлива на работу строительных и дорожных машин. - Введ. 2002-01-01. - М.: Госстрой России, 2001. - 45 с.
288. СП 129.13330.2019. Свод правил. Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации. Актуализированная редакция СНиП 3.05.04-85*. - Введ. 2019-12-31. - М.: Минстрой России, 2019.
289. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*. - Введ. 2011-12-29. - М.: Минрегион России, 2012.
290. СП 45.13330.2017. Свод правил. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87. - Введ. 2017-02-27. - М.: Минстрой России, 2017.
291. Справочник мелиоратора / сост. Б. С. Маслов. - М.: Россельхозиздат, 1980. - 256 с.
292. Справочник мелиоратора Поволжья / под общ. ред. И. А. Божко, Н. П. Яковлева. - Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1983. - 216 с.
293. Справочник по эксплуатации мелиоративных систем Нечерноземной зоны РСФСР / сост.: Т. И. Даишев [и др.]. - Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд., 1987. - 263 с.
294. СТО НОСТРОЙ 2.33.20-2011. Мелиоративные системы и сооружения. Часть 1. Оросительные системы. Общие требования по проектированию и строительству. - М.: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2012. - 146 с.
295. Строительные машины для механизации мелиоративных работ / под ред. В. В. Сурикова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1991. - 463 с. [317]
296. Тепловая энергия без затрат на энергоносители [Электронный ресурс] // Сайт компании Импет. - Режим доступа: <http://www.rosimpet.ru>

297. Техническое обеспечение технологии сборки дождевальных машин кругового действия / Д. А. Соловьев, В. А. Акпасов, Д. Г. Горюнов, С. А. Анисимов // Актуальные проблемы и перспективы инновационной агроэкономики: сб. статей Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции. - Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2020. - С. 333-340.
298. Технология и механизация строительного производства. В 2 ч. Ч. 2 / под ред. С. С. Атаева, С. Е. Канторера. - М.: Высшая школа, 1983. - 359 с.
299. Технология строительства, эксплуатации, дефектования и ремонта напорных межхозяйственных трубопроводов: учеб. пособие / П. П. Колomoец, В. В. Ванжа, Т. В. Семенова. - Краснодар: КубГАУ, 2019. - 111 с.
300. 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.
301. Титов, В. Н. Технологические решения при удалении и утилизации древесно-кустарниковой растительности с откосов мелиоративных каналов / В. Н. Титов // Природообустройство. - 2008. - № 5. - С. 80-84.
302. Титов, В. Н. Экономическая целесообразность использования щепы в качестве топлива при сводке кустарника с откосов мелиоративных каналов / В. Н. Титов // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тез. докл. VIII Междунар. науч.-технич. конф. / ГРГУ. - Гродно, 2009. - С. 39-40.
303. Томин, Е. Д. Система машин - основа научно-технического прогресса в механизации мелиоративных работ / Е. Д. Томин, И. И. Марченко // Перспективные технологии строительства и эксплуатации мелиоративных систем: сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. - М.: Агропромиздат, 1990. - С. 3-8.
304. Фиделев, А. С. Повышение производительности строительных машин / А. С. Фиделев. - Киев: Будівельник, 1970. - 120 с.
305. Финн, Э. А. К задаче расчета оптимального машинно-тракторного парка сельскохозяйственного предприятия / Э. А. Финн, В. В. Шкурба // Материалы научных семинаров по теоретическим и прикладным вопросам кибернетики. - 1969. - Вып. 7. - 107 с.

306. Финн, Э. А. Обоснование состава МТП в хозяйстве / Э. А. Финн. - М.: Агропромиздат, 1985. - 159 с.
307. Хабатов, Р. Ш. Методика обоснования количественной структуры системы машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства / Р. Ш. Хабатов // Оптимизация машинно-тракторного парка: сб. науч. тр.; С.-х. академия им. К. А. Тимирязева. - М., 1985. - С. 3-7.
308. Хедли, Дж. Нелинейное и динамическое программирование / Дж. Хедли. - М.: Мир, 1967. - 500 с.
309. Чумакова, С. В. Математическая модель оптимизации формирования парка машин / С. В. Чумакова, Д. Г. Горюнов, М. Г. Загоруйко // Природообустройство. - 2025. - № 1. - С. 56-62.
310. Шахмаев, М. В. Формирование МТП колхозов и совхозов / М. В. Шахмаев. - М.: Агропромиздат, 1986. - 231 с.
311. Щедрин, В. Н. Мелиорация в России: проблемы и перспективы / В. Н. Щедрин // Мелиорация и водное хозяйство. - 2018. - Специальный выпуск. - С. 30-36.
312. Щедрин, В. Н. Орошение сегодня: проблемы и перспективы / В. Н. Щедрин. - М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2004. - 255 с.
313. Эксплуатация гидромелиоративных систем / под ред. Н. А. Орловой. - Киев: Вища школа, 1985. - 368 с.
314. Эксплуатация дорожных машин / А. М. Шейнин, А. П. Крившин, Б. И. Филипов, Г. Д. Романюк, В. А. Зорин. - М.: Машиностроение, 1980. - 336 с. [117]
315. Эксплуатация и испытания строительных машин / П. Т. Фролов, И. В. Петров, М. С. Балаховский, В. П. Сергеев, В. Д. Мартынов. - М.: Высшая школа, 1970. - 392 с.
316. Ямщиков, В. В. Особенности технологии удаления древесно-кустарниковой растительности с одновременным срезанием и измельчением древесины на щепу / В. В. Ямщиков // Перспективные технологии и научные методы организации производства мелиоративных работ: сб. науч. работ. - М.: ВНИИГиМ, 1983. - С. 160-166.
317. Ясинецкий, В. Г. Организация и технология гидромелиоративных работ / В. Г. Ясинецкий, Н. К. Фенин. - М.: Агропромиздат, 1985. - 352 с.

318. Arola, Rodger A. Harvesting wood for energy / Rodger A. Arola, Edwin S. Miyata. - U.S. Department of Agriculture Forest Service, Research Paper NC-200. - St. Paul, Minesota: U.S. Department of Agriculture Forest Service, North Central Forest Experiment Station, 1981. - 25 p.
319. Baughman, Ronald K. Utilizing residues from in-woods flail processing / Ronald K. Baughman, Bryce J. Stokes, William F. Watson // Proceedings of the International Energy Agency, Task VI, Activity 3 Workshop «Harvesting Small Trees and Forest Residues»; 1990 May 28; Copenhagen, Denmark. - Auburn, AL: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1990. - P. 21-30.
320. Hartsough, Bruce R. Cut-to-length harvesting of short-rotation eucalyptus / Bruce R. Hartsough, David J. Cooper // Forest products journal. - 1999. - Vol. 49. - № 10. - P. 69-75.
321. Jenisch, K. H. Meliorations-maschinen 1 (Entwässerung) / K. H. Jenisch, H. Shinke. - Berlin: Veb verlag technik, 1989. - 238 p.
322. Koch, Peter. Harvesting energy chips from forest residues-some concepts for the southern pine region / Peter Koch. - U.S. Dep. Agric. For. Serv. Gen. Tech. Rep. SO33, South. For. Exp. Stn., New Orleans, La, 1980. - 24 p.
323. Kollman, F. Wege zum Spanlosen Holzschneiden / F. Kollman // Holztechnik. - 1964. - № 4. - P. 167-169.
324. Stokes, Bryce J. Recovery of forest residues in the southern United States / Bryce J. Stokes, Donald L. Sirois // Proceedings of the International Energy Agency, Task VI, Activity 3 Symposium «Harvesting Small Trees and Forest Residues»; 1989 June 5-7; Auburn, AL: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1989. - P. 32-43.
325. Thunell, B. Några resultat från undersökningar över med-och motsagning / B. Thunell // Svenska Träforskningsinstitutet Träeknik, meddelande 53B, 1954. - 14 p.
326. Twaddle, Alastair A. Harvesting small stems and residues for biofuels: an international perspective / Alastair A. Twaddle, Bryce J. Stokes, William F. Watson // Written for presentation at the 1989 International Winter Meeting sponsored by the

American Society of Agricultural Engineers. Marriott New Orleans Hotel. New Orleans, Louisiana, December 12-15, 1989. - 16 p.

327. Woodfin, Sammy. Select harvesting machines for short rotation intensive culture biomass plantations / Sammy Woodfin, Doug Frederick, Bryce Stokes // Written for presentation at the 1987 International Winter Meeting sponsored by the American Society of Agricultural Engineers. Hyatt Regency Chicago in Illinois Center, December 15-18, 1987. - 18 p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Технические характеристики машин

Таблица А1 – Основные технические характеристики кусторезов

Наименование показателей	Единицы измерения	МК-1	МК-2	КН-1	КН-2	КН-3	КН-3М
1	2	3	4	5	6	7	8
Тип машины		Навесная на трактор	Навесная на трактор	Навесная на трактор	Навесная на трактор	Сменное оборудование для экскаватора ЭО-2621	Сменное оборудование для экскаватора ЭО-2621
Базовая машина		МТЗ-80/82; ЮМЗ-6Л/6М	МТЗ-80/82; ЮМЗ-6Л/6М	ДТ-75М (или аналог)	МТЗ-80/82; ЮМЗ-6Л/6М	МТЗ-80/82; ЮМЗ-6Л/6М	МТЗ-80/82; ЮМЗ-6Л/6М
Привод рабочего органа		Механический	Механический	Механический или гидравлический	Механический	Гидравлический	Гидравлический
Ширина захвата дисковой пилы	м	1	1	1	1	1	1
Частота вращения дисковой пилы	мин ⁻¹	До 1200	До 1200	До 1300	До 1100	До 1000	До 1000
Вылет стрелы	м	1,3	2,1	2,4	3,2	2,9	2,9
Ход телескопа	м	–	0,5	–	0,5	0,5	0,5
Возможность срезания кустарника и мелкокопья на откосах канала		–	–	+	+	+	+
Возможность регулирования и наличие устройств для контроля заданной высоты среза		–	–	+	+	+	+(с устройством для регулирования высоты среза)

Продолжение приложения А

Окончание таблицы А1 – Основные технические характеристики кусторезов

1	2	3	4	5	6	7	8
Диаметр срезаемого кустарника и мелколесья:							
– без использования толкающих средств	мм	До 120	До 130	До 140	До 80	До 100	До 100
– с использованием толкающих средств и приспособлений	мм	До 220	До 220	До 270	До 220	До 250	До 250
Возможность обработки пней арборицидами		–	+	–	–	+	–
Количество обслуживающего персонала	чел.	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3
Масса кустореза	кг	430±10	410±10	760±10 680±10*	610±10	170±10	185±10
Техническая производительность кустореза:	м²/ч	700	900	1050	1070	1170	1260

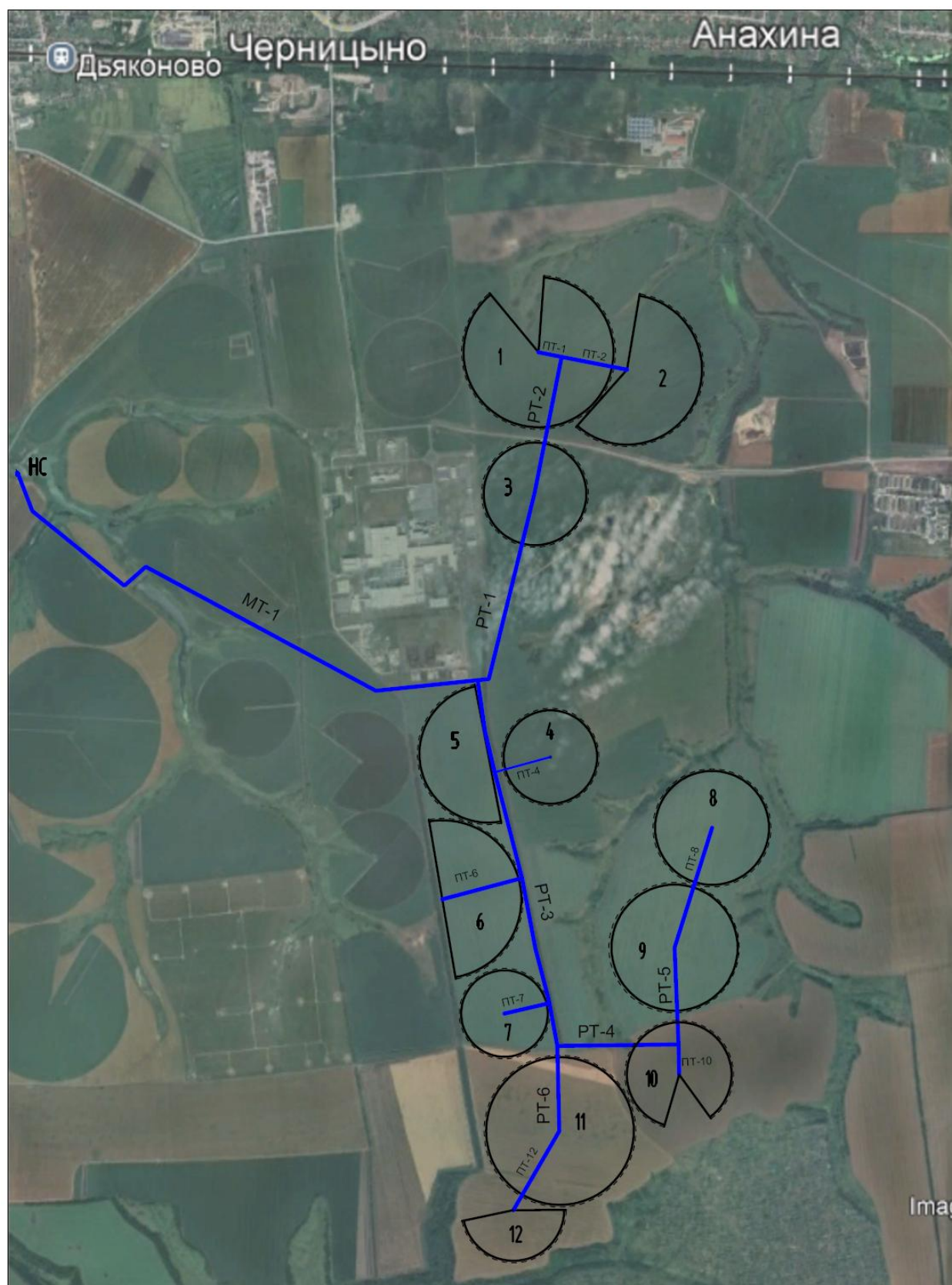
* Для кустореза с гидравлическим приводом рабочего органа

Окончание приложения А

Таблица А2 – Основные технические характеристики экскаваторов
ЭО-3323, ЭО-3323М

Наименование показателей	Единицы измерения	ЭО-3323, ЭО-3323М*
Марка двигателя	—	Д-240
Номинальная мощность двигателя	кВт (л.с.)	55 (80)
Удельный расход топлива при номинальной мощности	г/кВт·ч	226
Масса экскаватора	кг	14000
Вместимость ковша	м ³	0,63
Максимальная длина рукояти	м	4,54*
Ширина ковша	м	1,2*
Длина стрелы	м	4,7
Масса стрелы с гидроцилиндрами рукояти и стрелы	кг	1400
Масса противовеса	кг	900
Расстояние от центра поворота платформы до центра приложения силы тяжести противовеса	м	2,5
Масса поворотной платформы	кг	5340
Расстояние от центра поворота платформы до центра приложения ее силы тяжести	м	1,2
Масса ходовой тележки	кг	3850
Расстояние от центра поворота платформы до центра опоры аутригера	м	1,65
Расстояние от оси пяты стрелы до центра поворота платформы	м	0,45
Расстояние от оси пяты стрелы до уровня стоянки экскаватора	м	1,92
Техническая производительность при очистке канала от наносов:		
– с базовым рабочим оборудованием (обратная лопата)	м ³ /ч	25
– с каналоочистительным рабочим оборудованием ЭО-3323М	м ³ /ч	39

Ситуационный план оросительной системы



Приложение В

**Статистическая обработка результатов полевых исследований
по определению размерных характеристик кустарниковой растительности**

Таблица В.1 – Результаты группировки замеров высоты ствола кустарниковой растительности (2018 г.)

Интервал, мм	Количество	Количество с накоплением	Процент, %	Процент с накоплением, %
$500 < x \leq 100$	2	2	0,8	0,8
$100 < x \leq 150$	25	27	10	10,8
$150 < x \leq 200$	28	55	11,2	22
$200 < x \leq 250$	26	81	10,4	32,4
$250 < x \leq 300$	27	108	10,8	43,2
$300 < x \leq 350$	41	149	16,4	59,6
$350 < x \leq 400$	41	190	16,4	76
$400 < x \leq 450$	31	221	12,4	88,4
$450 < x \leq 500$	29	250	11,6	100

Таблица В.2 – Результаты группировки замеров высоты ствола кустарниковой растительности (2021 г.)

Интервал, мм	Количество	Количество с накоплением	Процент, %	Процент с накоплением, %
$100 < x \leq 150$	14	14	5,6	5,6
$150 < x \leq 200$	28	42	11,2	16,8
$200 < x \leq 250$	15	57	6	22,8
$250 < x \leq 300$	33	90	13,2	36
$300 < x \leq 350$	27	117	10,8	46,8
$350 < x \leq 400$	31	148	12,4	59,2
$400 < x \leq 450$	27	175	10,8	70
$450 < x \leq 500$	23	198	9,2	79,2
$500 < x \leq 550$	24	222	9,6	88,8
$550 < x \leq 600$	28	250	11,2	100

Таблица В.3 – Результаты группировки замеров высоты ствола кустарниковой растительности (2024 г.)

Интервал, мм	Количество	Количество с накоплением	Процент, %	Процент с накоплением, %
$1000 < x \leq 150$	2	2	0,8	0,8
$150 < x \leq 200$	28	30	11,2	12
$200 < x \leq 250$	23	53	9,2	21,2
$250 < x \leq 300$	32	85	12,8	34
$300 < x \leq 350$	31	116	12,4	46,4
$350 < x \leq 400$	29	145	11,6	58
$400 < x \leq 450$	21	166	8,4	66,4
$450 < x \leq 500$	22	188	8,8	75,2
$500 < x \leq 550$	20	208	8	83,2
$550 < x \leq 600$	27	235	10,8	94
$600 < x \leq 650$	15	250	6	100

Продолжение приложения В

Таблица В.4 – Результаты группировки замеров диаметра ствола кустарниковой растительности на уровне среза (2018 г.)

Интервал, мм	Количество	Количество с накоплением	Процент, %	Процент с накоплением, %
$10 < x \leq 20$	22	22	8,8	8,8
$20 < x \leq 30$	27	49	10,8	19,6
$30 < x \leq 40$	43	92	17,2	36,8
$40 < x \leq 50$	39	131	15,6	52,4
$50 < x \leq 60$	41	172	16,4	68,8
$60 < x \leq 70$	31	203	12,4	81,2
$70 < x \leq 80$	27	230	10,8	92
$80 < x \leq 90$	11	241	4,4	96,4
$90 < x \leq 100$	8	249	3,2	99,6
$100 < x \leq 110$	1	250	0,4	100

Таблица В.5 – Результаты группировки замеров диаметра ствола кустарниковой растительности на уровне среза (2021 г.)

Интервал, мм	Количество	Количество с накоплением	Процент, %	Процент с накоплением, %
$0 < x \leq 20$	10	10	4	4
$20 < x \leq 40$	63	73	25,2	29,2
$40 < x \leq 60$	73	146	29,2	58,4
$60 < x \leq 80$	59	205	23,6	82
$80 < x \leq 100$	30	235	12	94
$100 < x \leq 120$	15	250	6	100

Таблица В.6 – Результаты группировки замеров диаметра ствола кустарниковой растительности на уровне среза (2024 г.)

Интервал, мм	Количество	Количество с накоплением	Процент, %	Процент с накоплением, %
$0 < x \leq 20$	2	2	0,8	0,8
$20 < x \leq 40$	54	56	21,6	22,4
$40 < x \leq 60$	83	139	33,2	55,6
$60 < x \leq 80$	50	189	20	75,6
$80 < x \leq 100$	37	226	14,8	90,4
$100 < x \leq 120$	19	245	7,6	98
$120 < x \leq 140$	5	250	2	100

Окончание приложения В

Таблица В.7 – Результаты группировки замеров диаметра ствола кустарниковой растительности на высоте 1,3 м (2018 г.)

Интервал, мм	Количество	Количество с накоплением	Процент, %	Процент с накоплением, %
$0 < x \leq 10$	5	5	2	2
$10 < x \leq 20$	38	43	15,2	17,2
$20 < x \leq 30$	53	96	21,2	38,4
$30 < x \leq 40$	52	148	20,8	59,2
$40 < x \leq 50$	48	196	19,2	78,4
$50 < x \leq 60$	21	217	8,4	86,8
$60 < x \leq 70$	19	236	7,6	94,4
$70 < x \leq 80$	8	244	3,2	97,6
$80 < x \leq 90$	5	249	2	99,6
$90 < x \leq 100$	1	250	0,4	100

Таблица В.8 – Результаты группировки замеров диаметра ствола кустарниковой растительности на высоте 1,3 м (2021 г.)

Интервал, мм	Количество	Количество с накоплением	Процент, %	Процент с накоплением, %
$0 < x \leq 10$	2	2	0,8	0,8
$10 < x \leq 20$	27	29	10,8	11,6
$20 < x \leq 30$	43	72	17,2	28,8
$30 < x \leq 40$	49	121	19,6	48,4
$40 < x \leq 50$	50	171	20	68,4
$50 < x \leq 60$	39	210	15,6	84
$60 < x \leq 70$	14	224	5,6	89,6
$70 < x \leq 80$	14	238	5,6	95,2
$80 < x \leq 90$	8	246	3,2	98,4
$90 < x \leq 100$	2	248	0,8	99,2
$100 < x \leq 110$	2	250	0,8	100

Таблица В.9 – Результаты группировки замеров диаметра ствола кустарниковой растительности на высоте 1,3 м (2024 г.)

Интервал, мм	Количество	Количество с накоплением	Процент, %	Процент с накоплением, %
$10 < x \leq 20$	14	14	5,6	5,6
$20 < x \leq 30$	53	67	21,2	26,8
$30 < x \leq 40$	48	115	19,2	46
$40 < x \leq 50$	51	166	20,4	66,4
$50 < x \leq 60$	29	195	11,6	78
$60 < x \leq 70$	17	212	6,8	84,8
$70 < x \leq 80$	16	228	6,4	91,2
$80 < x \leq 90$	13	241	5,2	96,4
$90 < x \leq 100$	7	248	2,8	99,2
$100 < x \leq 110$	2	250	0,8	100

Определение пропускной способности оросительных каналов

Параметры оросительного канала №1: $H_{кан} = 3$ м; $b_{кан} = 2,5$ м; $m_{кан} = 1:1,5$;
уклон русла $i_{кан} = 0,0005$; облицовка – железобетонные плиты

Канал с наносами

Поперечное сечение потока (живое сечение) при $H_{вод} = 2$ м:

$$S_{кан.нан} = 9,603 \text{ м}^2.$$

Смоченный периметр:

$$\chi_{кан.нан} = 9,4 \text{ м.}$$

Гидравлический радиус канала с наносами:

$$R_{кан.нан} = \frac{S_{кан.нан}}{\chi_{кан.нан}} = 9,603 / 9,4 = 1,0216 \text{ м.}$$

Коэффициент шероховатости $n_{ш.кан} = 0,017$.

Скоростной коэффициент для канала с наносами при $R_{кан.нан} = 1,0216$ м и $n_{ш.кан} = 0,017$:

$$C_{кан.нан} = 58,99.$$

Скорость движения воды в канале с наносами:

$$v_{кан.нан} = C_{кан.нан} \sqrt{R_{кан.нан} i_{кан}} = 58,99 \cdot \sqrt{1,0216 \cdot 0,0005} = 1,333 \text{ м/с.}$$

Пропускная способность оросительного канала с наносами:

$$Q_{кан.нан} = S_{кан.нан} v_{кан.нан} = 9,603 \cdot 1,333 = 12,8 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Очищенный канал

Живое сечение очищенного канала:

$$S_{кан.оч} = 11 \text{ м}^2.$$

Смоченный периметр очищенного канала:

$$\chi_{кан.оч} = 9,7 \text{ м.}$$

Продолжение приложения Г

Гидравлический радиус очищенного канала:

$$R_{\text{кан.оч}} = \frac{S_{\text{кан.оч}}}{\chi_{\text{кан.оч}}} = 11 / 9,7 = 1,13 \text{ м.}$$

Коэффициент шероховатости $n_{\text{ш.кан}} = 0,017$.

Скоростной коэффициент для очищенного канала при $R_{\text{кан.оч}} = 1,13 \text{ м}$ и $n_{\text{ш.кан}} = 0,017$:

$$C_{\text{кан.оч}} = 60,04.$$

Скорость движения воды в канале без наносов:

$$v_{\text{кан.оч}} = C_{\text{кан.оч}} \sqrt{R_{\text{кан.оч}} i_{\text{кан}}} = 60,04 \cdot \sqrt{1,13 \cdot 0,0005} = 1,43 \text{ м/с.}$$

Пропускная способность очищенного оросительного канала:

$$Q_{\text{кан.оч}} = S_{\text{кан.оч}} v_{\text{кан.оч}} = 11 \cdot 1,43 = 15,73 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Параметры оросительного канала №2: $H_{\text{кан}} = 3 \text{ м}$; $b_{\text{кан}} = 2,5 \text{ м}$; $m_{\text{кан}} = 1:1$;
уклон русла $i_{\text{кан}} = 0,0005$; облицовка – железобетонные плиты.

Канал с наносами

Поперечное сечение потока (живое сечение) при $H_{\text{вод}} = 2 \text{ м}$:

$$S_{\text{кан.нан}} = 7,425 \text{ м}^2.$$

Смоченный периметр:

$$\chi_{\text{кан.нан}} = 7,7 \text{ м.}$$

Гидравлический радиус канала с наносами:

$$R_{\text{кан.нан}} = \frac{S_{\text{кан.нан}}}{\chi_{\text{кан.нан}}} = 7,425 / 7,7 = 0,9643 \text{ м.}$$

Коэффициент шероховатости $n_{\text{ш.кан}} = 0,017$.

Скоростной коэффициент для канала с наносами при $R_{\text{кан.нан}} = 0,9643 \text{ м}$ и $n_{\text{ш.кан}} = 0,017$:

$$C_{\text{кан.нан}} = 58,35.$$

Продолжение приложения Г

Скорость движения воды в канале с наносами:

$$v_{\text{кан.нан}} = C_{\text{кан.нан}} \sqrt{R_{\text{кан.нан}} i_{\text{кан}}} = 58,35 \cdot \sqrt{0,9643 \cdot 0,0005} = 1,281 \text{ м/с.}$$

Пропускная способность оросительного канала с наносами:

$$Q_{\text{кан.нан}} = S_{\text{кан.нан}} v_{\text{кан.нан}} = 7,425 \cdot 1,281 = 9,51 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Очищенный канал

Живое сечение очищенного канала:

$$S_{\text{кан.оч}} = 9 \text{ м}^2.$$

Смоченный периметр очищенного канала:

$$\chi_{\text{кан.оч}} = 8,15 \text{ м}$$

Гидравлический радиус очищенного канала:

$$R_{\text{кан.оч}} = \frac{S_{\text{кан.оч}}}{\chi_{\text{кан.оч}}} = 9 / 8,15 = 1,1 \text{ м.}$$

Коэффициент шероховатости $n_{\text{ш.кан}} = 0,017$.

Скоростной коэффициент для очищенного канала при $R_{\text{кан.оч}} = 1,1 \text{ м}$ и $n_{\text{ш.кан}} = 0,017$:

$$C_{\text{кан.оч}} = 59,0.$$

Скорость движения воды в канале без наносов:

$$v_{\text{кан.оч}} = C_{\text{кан.оч}} \sqrt{R_{\text{кан.оч}} i_{\text{кан}}} = 59 \cdot \sqrt{1,1 \cdot 0,0005} = 1,38 \text{ м/с.}$$

Пропускная способность очищенного оросительного канала:

$$Q_{\text{кан.оч}} = S_{\text{кан.оч}} v_{\text{кан.оч}} = 9 \cdot 1,38 = 12,42 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Параметры оросительного канала №3: $H_{\text{кан}} = 2 \text{ м}$; $b_{\text{кан}} = 2 \text{ м}$; $m_{\text{кан}} = 1:1,5$; уклон русла $i_{\text{кан}} = 0,0005$; облицовка – железобетонные плиты.

Канал с наносами

Поперечное сечение потока (живое сечение) при $H_{\text{вод}} = 1,5 \text{ м}$:

$$S_{\text{кан.нан}} = 5,3 \text{ м}^2.$$

Смоченный периметр:

$$\chi_{\text{кан.нан}} = 7,1 \text{ м.}$$

Гидравлический радиус канала с наносами:

$$R_{\text{кан.нан}} = \frac{S_{\text{кан.нан}}}{\chi_{\text{кан.нан}}} = 5,3 / 7,1 = 0,7465 \text{ м.}$$

Коэффициент шероховатости $n_{\text{ш.кан}} = 0,017$.

Скоростной коэффициент для канала с наносами при $R_{\text{кан.нан}} = 0,7465 \text{ м}$ и $n_{\text{ш.кан}} = 0,017$:

$$C_{\text{кан.нан}} = 56,16.$$

Скорость движения воды в канале с наносами:

$$v_{\text{кан.нан}} = C_{\text{кан.нан}} \sqrt{R_{\text{кан.нан}} i_{\text{кан}}} = 56,16 \cdot \sqrt{0,7465 \cdot 0,0005} = 1,085 \text{ м/с.}$$

Пропускная способность оросительного канала с наносами:

$$Q_{\text{кан.нан}} = S_{\text{кан.нан}} v_{\text{кан.нан}} = 5,3 \cdot 1,085 = 5,75 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Очищенный канал

Живое сечение очищенного канала:

$$S_{\text{кан.оч}} = 6,4 \text{ м}^2.$$

Смоченный периметр очищенного канала:

$$\chi_{\text{кан.оч}} = 7,4 \text{ м.}$$

Гидравлический радиус очищенного канала:

$$R_{\text{кан.оч}} = \frac{S_{\text{кан.оч}}}{\chi_{\text{кан.оч}}} = 6,4 / 7,4 = 0,86 \text{ м.}$$

Коэффициент шероховатости $n_{\text{ш.кан}} = 0,017$.

Окончание приложения Г

Скоростной коэффициент для очищенного канала при $R_{кан.оч} = 0,86$ м и $n_{ш.кан} = 0,017$:

$$C_{кан.оч} = 57,1.$$

Скорость движения воды в канале без наносов:

$$v_{кан.оч} = C_{кан.оч} \sqrt{R_{кан.оч} i_{кан}} = 57,1 \cdot \sqrt{0,86 \cdot 0,0005} = 1,18 \text{ м/с}.$$

Пропускная способность очищенного оросительного канала:

$$Q_{кан.оч} = \omega_{кан.оч} v_{кан.оч} = 6,4 \cdot 1,18 = 7,55 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Методика энергетической оценки технологий

Полные энергозатраты технологии (или работы машины) $\mathcal{E}_n$, МДж/га, определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_n = \sum_j \mathcal{E}_{npj} + \sum_j \mathcal{E}_{oj}, \quad (\text{Д.1})$$

где $\mathcal{E}_{npj}$ – прямые удельные затраты энергии по j -му технологическому процессу (или машине), МДж/га; $\mathcal{E}_{oj}$ – затраты, овлеченные при производстве энергоносителей и других ресурсов, МДж/га.

Прямые удельные затраты энергии на выполнение j -го технологического процесса (или при работе машины) определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{npj} = \sum_k q_{kj} \cdot e_k, \quad (\text{Д.2})$$

где q_{kj} – норма расхода энергоносителей k -го вида, используемых при выполнении технологического процесса (или для работы машины) на единицу объема работы, кг/га; e_k – энергосодержание k -го энергоносителя, МДж (таблица Д.1).

Норму расхода энергоносителей (топлива) за 1 маш.-ч работы q_{kj} , кг/маш.-ч, можно определить согласно своду правил по проектированию и строительству СП 12-102-2001 [287] по формуле:

$$q_{kj} = q_m \cdot N_{\text{дв.ном}} \cdot K_{\text{инт}} \cdot 10^{-3}, \quad (\text{Д.3})$$

где q_m – удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя машины, г/кВт·ч; $N_{\text{дв.ном}}$ – номинальная мощность двигателя машины, кВт; $K_{\text{инт}}$ – интегральный нормативный коэффициент изменения расхода топлива в зависимости от режимов загрузки двигателя машины.

Продолжение приложения Д

Таблица Д.1 – Энергосодержание и энергетические эквиваленты энергоносителей

Энергоносители	Энергосодержание e_k , МДж	Энергетический эквивалент энергоносителя α_k , МДж
Электрическая энергия, кВт·ч	3,6	12,0
Автотракторное топливо, кг:		
дизельное топливо	42,7	10,0
бензин авиационный	44,4	10,5
бензин автомобильный	43,9	10,5
керосин тракторный	43,9	10,0
Котельно-печное топливо, кг:		
топливо условное	29,3	36,0
уголь каменный	22,5	24,0
уголь бурый	14,0	20,0
сланцы	7,3	26,8
торф	12,0	15,0
мазут	40,2	50,0
дрова	10,0	23,5
газ природный, м ³	36,2	40,0
Вода, кг	–	2,3

Интегральный нормативный коэффициент рассчитывается по формуле:

$$K_{инт.дв} = K_{т.з.дв} \cdot K_{в.дв} \cdot K_{м.дв} \cdot K_{т.м.дв} \cdot K_{и.дв}, \quad (Д.4)$$

где $K_{т.з.дв}$ – коэффициент, учитывающий расход топлива на запуск и прогревание двигателя, а также ежесменное техническое обслуживание машин ($K_{т.з.дв} = 1,03$ для всех машин); $K_{в.дв}$ – коэффициент использования двигателя по времени (таблица Д.2); $K_{м.дв}$ – коэффициент использования мощности двигателя (таблица Д.2); $K_{т.м.дв}$ – коэффициент, учитывающий изменение расхода топлива в зависимости от степени использования мощности двигателя (таблица Д.3); $K_{и.дв}$ – коэффициент, учитывающий износ двигателя (таблица Д.4).

Продолжение приложения Д

Таблица Д.2 – Коэффициенты использования двигателей по времени в течение смены $K_{в.дв}$ и по мощности $K_{м.дв}$

Наименование машины	Коэффициент использования двигателей	
	по времени $K_{в.дв}$	по мощности $K_{м.дв}$
Экскаваторы одноковшовые:		
1–2 размерные группы	0,86	0,60
3–4 размерные группы	0,90	0,50
Бульдозеры	0,86	0,40
Рыхлители	0,86	0,80
Кусторезы	0,86	0,40
Скреперы	0,92	0,80
Автогрейдеры	0,90	0,50
Планировщики	0,90	0,40

Таблица Д.3 – Коэффициент $K_{т.м.дв}$, учитывающий изменение удельного расхода топлива в зависимости от степени использования мощности двигателя

Тип двигателя	$K_{т.м.дв}$ при значениях $K_{м.дв}$					
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Тракторные дизели	1,28	1,14	1,08	1,05	1,02	0,95
Автомобильные дизели	1,2	1,09	1,05	1,02	1,01	0,98
Карбюраторные	1,08	1,04	1,03	1,02	1,01	1

Примечание: При значениях $K_{м.дв}$ не указанных в таблице, $K_{т.м.дв}$ определяется интерполяцией.

Таблица Д.4 – Коэффициент износа $K_{и.дв}$, учитывающий износ двигателя в зависимости от использования его ресурса

Тип двигателя	$K_{и.дв}$ при использовании ресурса двигателя, %		
	0–30	30–80	80–100
Дизельные	1,0	1,05	1,1
Карбюраторные	1,0	1,15	1,2

Продолжение приложения Д

Норму расхода топлива для автотранспорта можно определить согласно приложению к Распоряжению Минтранса РФ от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р (ред. от 30.09.2021) «О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» [206].

Овеществленные удельные энергозатраты ($\mathcal{E}_{oj}$, МДж/га) на выполнение j -го технологического процесса (или при работе машины) определяются по формуле:

$$\mathcal{E}_{oj} = \mathcal{E}_{oj} + \mathcal{E}_{mj}, \quad (\text{Д.5})$$

где $\mathcal{E}_{oj}$ – энергозатраты, овеществленные в топливе, МДж/га; $\mathcal{E}_{mj}$ – энергоёмкость средств механизации (металла), МДж/га.

Энергозатраты, овеществленные в топливе, рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E}_{oj} = \sum_k q_{kj} \cdot \alpha_k, \quad (\text{Д.6})$$

где α_k – энергетический эквивалент k -го энергоносителя, МДж (таблица Д.1).

Энергоёмкость средств механизации определяется по выражению:

$$\mathcal{E}_m = \frac{1}{10^2 \cdot P_{ej}} \sum_i \alpha_i \cdot M_i \cdot \frac{A_i + R_i}{\Phi_i}, \quad (\text{Д.7})$$

где P_{ej} – эксплуатационная производительность агрегата (оборудования), га/ч; α_i – энергетический эквивалент i -й машины, МДж/кг (таблица Д.5); M_i – масса i -й машины, кг; A_i , R_i – отчисления на реновацию и ремонт по типам машин, % (таблица Д.6); Φ_i – фонд рабочего времени i -й машины, ч.

Продолжение приложения Д

Таблица Д.5 – Энергетические эквиваленты машин

Машины	Энергетический эквивалент машины α_i , МДж/кг
Тракторы, экскаваторы, автогрейдеры и пр.	86,4
Сельскохозяйственные машины, навесное оборудование, сцепки и т. п.	75,0
Механизированный инструмент	20,0

Энергоемкость средств механизации для автомобильного транспорта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{м.а. j} = \frac{L_j \cdot U_j}{10^5 \cdot Q_j \cdot \beta_j} \cdot \sum_i \alpha_i \cdot M_i \cdot (A'_i + R'_i), \quad (\text{Д.8})$$

где L_j – плечо перевозки груза, км; U_j – количество получаемого продукта (древесины) с 1 гектара, т/га; Q_j – масса груза, перевозимого за один рейс, т; β_j – коэффициент использования пробега; A'_i и R'_i – годовые отчисления на реновацию и ремонт по типам машин на 1000 км пробега, % (таблица Д.6).

Таблица Д.6 – Отчисления на реновацию и ремонт по типам машин

Машина	Амортизационные отчисления, %	
	на полное восстановление A'_i	на капитальный ремонт R'_i
Тракторы:		
Т-130	9,1	6,5
Т-150, ДТ-75М	12,5	6,0
МТЗ-80, МТЗ-82, ЮМЗ-6Л/6М	10,0	5,0
Бульдозеры, подборщики-собиратели	13,7	16,0
Скреперы, автогрейдеры	13,7	10,0
Кусторезы, корчеватели, рыхлители, навесные рубильные машины	16,0	5,8
Экскаваторы одноковшовые	16,0	5,5
Оборудование и инструмент	10,9	3,2
Грузовые автомобили грузоподъемностью более 2 т	0,27*	0,20*

* В процентах от стоимости машин на 1000 км пробега.

Продолжение приложения Д

Коэффициент использования пробега, определяется по формуле:

$$\beta_j = \frac{L_{zp}}{L_{общ}} , \quad (Д.9)$$

где L_{zp} – расстояние, пройденное автомобилем с грузом, км; $L_{общ}$ – общее расстояние, пройденное автомобилем в течение рабочей смены, км.

При оценке полных энергозатрат для различных технологических процессов установлено, что доля живого труда, затрачиваемого непосредственно на выполнение единицы работы, по отношению к другим составляющим весьма мала и не оказывает существенного влияния на энергетическую эффективность, однако сокращение трудозатрат является одним из главных планируемых показателей интенсификации производства, поэтому при выборе энергосберегающих вариантов энергозатраты труда анализируются отдельно.

Затраты энергии живого труда (машиниста, оператора) можно рассчитать по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{эж}} = \sum_t \frac{n_{ij} \cdot \alpha_t}{\Pi_{\text{эж}}}, \quad (Д.10)$$

где n_{ij} – число работников, занятых в технологическом процессе (или обеспечивающих работу машины) по работам t -й категории, чел.; α_t – энергетический эквивалент живого труда, МДж/чел.-ч (таблица Д.7).

Таблица Д.7 – Энергетические эквиваленты затрат живого труда

Категории работы	Энергетический эквивалент живого труда α_t , МДж/чел.-ч
Очень легкая	0,6
Легкая (на сеялках)	0,9
Средняя (на тракторах, комбайнах)	1,26
Тяжелая	1,86
Очень тяжелая	2,5

Окончание приложения Д

Полученные значения энергозатрат можно перевести в денежное выражение, зная цены на энергоносители (таблица Д.8).

Таблица Д.8 – Соотношения между единицами энергии

1 МДж = 0,278 кВт·ч = 0,034 кг у. т.
1 ккал = $1,163 \cdot 10^{-3}$ кВт·ч = $143 \cdot 10^{-6}$ кг у. т. = $4,19 \cdot 10^{-3}$ МДж
1 кВт·ч = 0,123 кг у. т. = 3,6 МДж
1 кг у. т. = 7 Мкал = 29,33 МДж
1 л.с.·ч = 0,737 кВт·ч = 0,09 кг у. т. = 2,65 МДж
1 кг дизельного топлива = 1,45 кг у. т. = 42,7 МДж
1 кг автомобильного бензина = 1,52 кг у. т. = 44,58 МДж
1 кг мазута = 1,37 кг у. т. = 40,18 МДж
1 м ³ природного газа = 1,15 кг у. т. = 33,73 МДж
1 м ³ сжиженного газа = 1,57 кг у. т. = 46,05 МДж

Для сравнительной оценки технологических процессов и других научно-технических разработок с точки зрения экономии ресурсов и энергии целесообразно применять критерии энергетической эффективности, представляющие собой отношение полных энергозатрат для нового и базового вариантов:

$$K_э = \frac{\mathcal{E}_{п.нов}}{\mathcal{E}_{п.баз}}, \quad (\text{Д.11})$$

где $K_э$ – критерий энергетической эффективности; $\mathcal{E}_{п.нов}$, $\mathcal{E}_{п.баз}$ – соответственно полные энергозатраты для нового и базового вариантов, МДж/га.

По критерию энергетической эффективности можно рассчитать показатель интенсификации $I_э$, %, характеризующий уровень научно-технического прогресса разработок:

$$I_э = (1 - K_э) \cdot 100\%. \quad (\text{Д.12})$$

Энергетическая оценка технологий эксплуатации оросительных каналов

Традиционная технология эксплуатации оросительных каналов (базовый вариант)

1. Срезание кустарниковой растительности (с использованием средств малой механизации).

Механизированный инструмент – ручной кусторез (номинальная мощность двигателя 2,8 кВт, удельный расход топлива (бензин) при номинальной мощности двигателя 480 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 4 кг/маш.-смена, масса механизированного инструмента 10 кг, обслуживающий персонал 1 чел.).

Эксплуатационная производительность механизированного инструмента 0,008 га/ч. Для обеспечения необходимой интенсивности технологического процесса суммарная производительность работ, выполняемых механизированным инструментом, должна соответствовать производительности кустореза МК-2. Для обеспечения производительности 0,101 га/ч необходимо 13 единиц механизированного инструмента.

Расход топлива на единицу площади с учетом производительности:

$$q_{к.МИ} = 63 \text{ кг/га.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр.МИ} = 63 \cdot 43,9 = 2765,7 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оз.МИ} = 63 \cdot 10,5 = 661,5 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\mathcal{E}_{м.МИ} = (1 / (10^2 \cdot 0,008)) \cdot (20 \cdot 10 \cdot ((10,9 + 3,2) / 600)) = 5,9 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{ж.МИ} = 1 \cdot 1,86 / 0,008 = 232,5 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{н.МИ} = 2765,7 + 661,5 + 5,9 = 3433,1 \text{ МДж/га.}$$

Продолжение приложения Е

Полные энергозатраты по первой операции:

$$\mathcal{E}_{н.б.т.о1} = 13 \cdot 3433,1 = 44630,3 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда по первой операции:

$$\mathcal{E}_{ж.б.т.о1} = 13 \cdot 232,5 = 3022,5 \text{ МДж/га.}$$

2. Удаление срезанной растительности (сгребание растительности в кучи бульдозером ДЗ-109 и последующее ее сжигание).

Бульдозер ДЗ-109 (номинальная мощность двигателя 118 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 239 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 113 кг/маш.-смена, масса базового трактора 14320 кг, масса рабочего оборудования 2640 кг, обслуживающий персонал 1 чел.).

Расход топлива на единицу площади с учетом производительности бульдозера на данной операции 0,101 га/ч:

$$q_{к.ДЗ-109} = 140 \text{ кг/га.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр.ДЗ-109} = 140 \cdot 42,7 = 5978 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оэ.ДЗ-109} = 140 \cdot 10 = 1400 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{м.ДЗ-109} &= (1 / (10^2 \cdot 0,101)) \cdot [(86,4 \cdot 14320 \cdot ((9,1 + 6,5)/1300)) + \\ &+ (75 \cdot 2640 \cdot ((13,7+16)/600))] = 2440,4 \text{ МДж/га.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{ж.ДЗ-109} = 1 \cdot 1,26 / 0,101 = 12,5 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{н.ДЗ-109} = 5978 + 1400 + 2440,4 = 9818,4 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты по второй операции:

$$\mathcal{E}_{н.б.т.о2} = 9818,4 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда по второй операции:

$$\mathcal{E}_{ж.б.т.о2} = 12,5 \text{ МДж/га.}$$

Продолжение приложения Е

3. Корчевание пней (бульдозер ДЗ-109).

Бульдозер ДЗ-109 (номинальная мощность двигателя 118 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 239 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 113 кг/маш.-смена, масса базового трактора 14320 кг, масса рабочего оборудования 2640 кг, обслуживающий персонал 1 чел.).

Расход топлива на единицу площади с учетом производительности бульдозера на данной операции 0,08 га/ч:

$$q_{k, ДЗ-109} = 177 \text{ кг/га.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр, ДЗ-109} = 177 \cdot 42,7 = 7557,9 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оз, ДЗ-109} = 177 \cdot 10 = 1770 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{м, ДЗ-109} &= (1 / (10^2 \cdot 0,08)) \cdot [(86,4 \cdot 14320 \cdot ((9,1 + 6,5)/1300)) + \\ &+ (75 \cdot 2640 \cdot ((13,7+16)/600))] = 3081 \text{ МДж/га.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{ж, ДЗ-109} = 1 \cdot 1,26 / 0,08 = 15,8 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{н, ДЗ-109} = 7557,9 + 1770 + 3081 = 12408,9 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты по третьей операции:

$$\mathcal{E}_{н.б.т.оз} = 12408,9 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда по третьей операции:

$$\mathcal{E}_{ж.б.т.оз} = 15,8 \text{ МДж/га.}$$

4. Осмотр и исправление повреждений берм и откосов (бульдозер ДЗ-109).

Бульдозер ДЗ-109 (номинальная мощность двигателя 118 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 239 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 113 кг/маш.-смена, масса базового трактора 14320 кг, масса рабочего оборудования 2640 кг, обслуживающий персонал 1 чел.).

Продолжение приложения Е

Расход топлива на единицу площади с учетом производительности бульдозера на данной операции 0,2 га/ч:

$$q_{к,ДЗ-109} = 71 \text{ кг/га.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр,ДЗ-109} = 71 \cdot 42,7 = 3031,7 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оэ,ДЗ-109} = 71 \cdot 10 = 710 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{м,ДЗ-109} &= (1 / (10^2 \cdot 0,2)) \cdot [(86,4 \cdot 14320 \cdot ((9,1 + 6,5)/1300)) + \\ &+ (75 \cdot 2640 \cdot ((13,7+16)/600))] = 1232,4 \text{ МДж/га.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{ж,ДЗ-109} = 1 \cdot 1,26 / 0,2 = 6,3 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{н,ДЗ-109} = 3031,7 + 710 + 1232,4 = 4974,1 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты по четвертой операции:

$$\mathcal{E}_{н.б.т.о4} = 4974,1 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда по четвертой операции:

$$\mathcal{E}_{ж.б.т.о4} = 6,3 \text{ МДж/га.}$$

5. Планировка бермы (автогрейдер ДЗ-143).

Автогрейдер ДЗ-143 (номинальная мощность двигателя 99 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 238 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 113 кг/маш.-смена, масса автогрейдера 12500 кг, обслуживающий персонал 1 чел.)

Расход топлива на единицу площади с учетом производительности автогрейдера на данной операции 0,15 га/ч:

$$q_{к,ДЗ-143} = 94 \text{ кг/га.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр,ДЗ-143} = 94 \cdot 42,7 = 4013,8 \text{ МДж/га.}$$

Продолжение приложения Е

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{\text{оэ.ДЗ-143}} = 94 \cdot 10 = 940 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{м.ДЗ-143}} &= (1 / (10^2 \cdot 0,15)) \cdot (86,4 \cdot 12500 \cdot ((13,7+10)/1300)) = \\ &= 1312,6 \text{ МДж/га.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{\text{ж.ДЗ-143}} = 1 \cdot 1,26 / 0,15 = 8,4 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{\text{н.ДЗ-143}} = 4013,8 + 940 + 1312,6 = 6266,4 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты по пятой операции:

$$\mathcal{E}_{\text{н.б.т.о5}} = 6266,4 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда по пятой операции:

$$\mathcal{E}_{\text{ж.б.т.о5}} = 8,4 \text{ МДж/га.}$$

6. Очистка русла канала от наносов (одноковшовый экскаватор ЭО-3323).

Одноковшовый экскаватор ЭО-3323 (номинальная мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 226 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 54,4 кг/маш.-смена, масса экскаватора 14000 кг, обслуживающий персонал 2 чел.).

Расход топлива на 1 метр длины очищенного канала с учетом производительности:

$$q_{\text{к.ЭО-3323}} = 0,36 \text{ кг/м.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{\text{пр.ЭО-3323}} = 0,36 \cdot 42,7 = 15,4 \text{ МДж/м} = 1540 \text{ МДж/100 м.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{\text{оэ.ЭО-3323}} = 0,36 \cdot 10 = 3,6 \text{ МДж/м} = 360 \text{ МДж/100 м.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{м.ЭО-3323}} &= (1 / (10^2 \cdot 18,67)) \cdot [86,4 \cdot 14000 \cdot ((16+5,5)/2330)] = \\ &= 6,0 \text{ МДж/м} = 600 \text{ МДж/100 м.} \end{aligned}$$

Продолжение приложения Е

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{ж.ЭО-3323} = 2 \cdot 1,26 / 18,67 = 0,13 \text{ МДж/м} = 13 \text{ МДж/100 м.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{н.ЭО-3323} = 1540 + 360 + 600 = 2500 \text{ МДж/100 м.}$$

Полные энергозатраты по шестой операции:

$$\mathcal{E}_{н.б.т.об} = 2500 \text{ МДж/100 м.}$$

Затраты энергии живого труда по шестой операции:

$$\mathcal{E}_{ж.б.т.об} = 13 \text{ МДж/100 м.}$$

7. Разравнивание извлеченного наносного грунта (бульдозер ДЗ-133).

Бульдозер ДЗ-133 на базе трактора МТЗ-82.1 (номинальная мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 226 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 50 кг/маш.-смена, масса базового трактора 4000 кг, масса рабочего оборудования 460 кг, обслуживающий персонал 1 чел.).

Расход топлива на 1 метр длины очищенного канала с учетом производительности (производительность бульдозера в данном случае должна соответствовать производительности экскаватора):

$$q_{к.ДЗ-133} = 0,33 \text{ кг/м.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр.ДЗ-133} = 0,33 \cdot 42,7 = 14,1 \text{ МДж/м} = 1410 \text{ МДж/100 м.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оз.ДЗ-133} = 0,33 \cdot 10 = 3,3 \text{ МДж/м} = 330 \text{ МДж/100 м.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{м.ДЗ-133} &= (1 / (10^2 \cdot 18,67)) \cdot [(86,4 \cdot 4000 \cdot ((10+5)/1350)) + \\ &+ (75 \cdot 460 \cdot ((13,7+16)/600))] = 3,0 \text{ МДж/м} = 300 \text{ МДж/100 м.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{ж.ДЗ-133} = 1 \cdot 1,26 / 18,67 = 0,07 \text{ МДж/м} = 7 \text{ МДж/100 м.}$$

Продолжение приложения Е

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{н.ДЗ-133} = 1410 + 330 + 300 = 2040 \text{ МДж/100 м.}$$

Полные энергозатраты по седьмой операции:

$$\mathcal{E}_{н.б.т.о7} = 2040 \text{ МДж/100 м.}$$

Затраты энергии живого труда по седьмой операции:

$$\mathcal{E}_{ж.б.т.о7} = 7 \text{ МДж/100 м.}$$

Общие полные энергозатраты по технологии:

– по операциям очистки канала от кустарниковой растительности:

$$\mathcal{E}_{н.б.т.общ.дкр} = 44630,3 + 9818,4 + 12408,9 + 4974,1 + 6266,4 = 78098,1 \text{ МДж/га.}$$

– по операциям очистки канала от наносов:

$$\mathcal{E}_{н.б.т.общ.нан} = 2500 + 2040 = 4540 \text{ МДж/100 м.}$$

Общие затраты энергии живого труда по технологии:

– по операциям очистки канала от кустарниковой растительности:

$$\mathcal{E}_{ж.б.т.общ.дкр} = 3022,5 + 12,5 + 15,8 + 6,3 + 8,4 = 3065,5 \text{ МДж/га.}$$

– по операциям очистки канала от наносов:

$$\mathcal{E}_{ж.б.т.общ.нан} = 13 + 7 = 20 \text{ МДж/100 м.}$$

*Ресурсосберегающая технология эксплуатации оросительных каналов
(новый вариант)*

1. Визуальный осмотр поверхностей берм и откосов канала, удаление из зоны выполнения работ посторонних предметов.

При выполнении данной операции применяется ручной труд. Энергетический эквивалент живого труда будет соответствовать очень легкой категории (0,6 МДж/чел.-ч). На операции занято 2 чел. Тогда с учетом производительности последующей операции технологического процесса 0,101 га/ч, затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{ж.н.т.ол} = 1 \cdot 0,6 / 0,101 = 6 \text{ МДж/га.}$$

Продолжение приложения Е

2. Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на бермах канала (кустореэ маятниково-телескопического типа МК-2 на базе трактора МТЗ-80(82)).

Кустореэ маятниково-телескопического типа МК-2 на базе трактора МТЗ-80(82) (номинальная мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 226 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 50 кг/маш.-смена, масса базового трактора 3160 кг, масса кустореэа 430 кг, обслуживающий персонал 2 чел.).

Расход топлива на единицу площади с учетом производительности кустореэа за 0,101 га/ч:

$$q_{к.МК-2} = 62 \text{ кг/га.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр.МК-2} = 62 \cdot 42,7 = 2647,4 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оэ.МК-2} = 62 \cdot 10 = 620 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{м.МК-2} &= (1 / (10^2 \cdot 0,101)) \cdot [(86,4 \cdot 3160 \cdot ((10+5)/1350)) + \\ &+ (75 \cdot 410 \cdot ((16+5,8)/600))] = 411 \text{ МДж/га.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{ж.МК-2} = 2 \cdot 1,26 / 0,101 = 25 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{п.МК-2} = 2647,4 + 620 + 411 = 3678,4 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты по второй операции:

$$\mathcal{E}_{п.н.т.о2} = 3678,4 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда по второй операции:

$$\mathcal{E}_{ж.н.т.о2} = 25 \text{ МДж/га.}$$

Продолжение приложения Е

3. Сбор срезанного на берме кустарника и мелколесья в кучи (подборщик-собираатель ПС-2 на базе трактора МТЗ-82.1).

Подборщик-собираатель ПС-2 на базе трактора МТЗ-82.1 (номинальная мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 226 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 50 кг/маш.-смена, масса базового трактора 4000 кг, масса рабочего оборудования 610 кг, обслуживающий персонал 1 чел.).

С учетом производительности подборщика-собираателя на данной операции 0,101 га/ч, расход топлива на единицу площади:

$$q_{к.ПС-2} = 62 \text{ кг/га.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр.ПС-2} = 62 \cdot 42,7 = 2647,4 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оэ.ПС-2} = 62 \cdot 10 = 620 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{м.ПС-2} = & (1/(10^2 \cdot 0,101)) \cdot [(86,4 \cdot 4000 \cdot ((10+5)/1350)) + \\ & + (75 \cdot 610 \cdot ((13,7+16)/600))] = 604,4 \text{ МДж/га.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{ж.ПС-2} = 1 \cdot 1,26 / 0,101 = 12,5 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{п.ПС-2} = 2647,4 + 620 + 604,4 = 3871,8 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты по третьей операции:

$$\mathcal{E}_{п.н.т.о3} = 3871,8 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда по третьей операции:

$$\mathcal{E}_{ж.н.т.о3} = 12,5 \text{ МДж/га.}$$

4. Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на откосах канала (универсальный телескопический навесной кусторез КН-3 (КН-3М) на базе одноковшового экскаватора ЭО-2621 с базовым трактором МТЗ-82.1).

Продолжение приложения Е

Универсальный телескопический навесной кусторез КН-3 (КН-3М) на базе одноковшового экскаватора ЭО-2621 с базовым трактором МТЗ-82.1 (номинальная мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 226 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 50 кг/маш.-смена, масса базовой машины 5700 кг, масса кустореза 170 кг, обслуживающий персонал 2 чел.). Производительность кустореза КН-3 при срезании кустарниковой растительности на откосе 0,084 га/ч. Для обеспечения необходимой интенсивности технологического потока необходимо использовать 2 кустореза.

Расход топлива на единицу площади с учетом производительности кустореза при работе на откосе:

$$q_{k.KH-3.отк} = 74 \text{ кг/га.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр.KH-3.отк} = 74 \cdot 42,7 = 3159,8 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оэ.KH-3.отк} = 74 \cdot 10 = 740 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{м.KH-3.отк} &= (1 / (10^2 \cdot 0,084)) \cdot [(86,4 \cdot 5700 \cdot ((10+5)/1350)) + \\ &+ (75 \cdot 170 \cdot ((16+5,8)/600))] = 706,6 \text{ МДж/га.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{жс.KH-3.отк} = 2 \cdot 1,26 / 0,084 = 30 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{п.KH-3.отк} = 3159,8 + 740 + 706,6 = 4606,4 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты по четвертой операции:

$$\mathcal{E}_{п.н.т.о4} = 2 \cdot 4606,5 = 9212,8 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда по четвертой операции:

$$\mathcal{E}_{жс.н.т.о4} = 2 \cdot 30 = 60 \text{ МДж/га.}$$

Продолжение приложения Е

5. Извлечение срезанной растительности из русла канала с последующим ее перемещением в сформированные кучи (подборщик-собираатель ПС-2 на базе трактора МТЗ-82.1).

Подборщик-собираатель ПС-2 на базе трактора МТЗ-82.1 (номинальная мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 226 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 50 кг/маш.-смена, масса базового трактора 4000 кг, масса рабочего оборудования 610 кг, обслуживающий персонал 2 чел.).

С учетом производительности подборщика-собираателя на данной операции 0,06 га/ч, расход топлива на единицу площади:

$$q_{k.ПС-2} = 104 \text{ кг/га.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр.ПС-2} = 104 \cdot 42,7 = 4440,8 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оэ.ПС-2} = 104 \cdot 10 = 1040 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{м.ПС-2} &= (1 / (10^2 \cdot 0,06)) \cdot [(86,4 \cdot 4000 \cdot ((10+5)/1350)) + \\ &+ (75 \cdot 610 \cdot ((13,7+16)/600))] = 1017,4 \text{ МДж/га.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{жс.ПС-2} = 2 \cdot 1,26 / 0,06 = 42 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{п.ПС-2} = 4440,8 + 1040 + 1017,4 = 6498,2 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты по пятой операции:

$$\mathcal{E}_{п.н.т.о5} = 6498,2 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда по пятой операции:

$$\mathcal{E}_{жс.н.т.о5} = 42 \text{ МДж/га.}$$

6. Угнетение пней на бермах канала (устройство для локального внесения гербицидной смеси на пни ЛВА-1 на базе трактора МТЗ-82.1).

Продолжение приложения Е

Устройство для локального внесения арборицидной смеси на пни ЛВА-1 на базе трактора МТЗ-82.1 (номинальная мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 226 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 50 кг/маш.-смена, масса базового трактора 4000 кг, масса рабочего оборудования 540 кг, обслуживающий персонал 2 чел.).

С учетом производительности устройства для локального внесения арборицидной смеси на пни на данной операции 0,06 га/ч, расход топлива на единицу площади:

$$q_{к.ЛВА-1} = 104 \text{ кг/га.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр.ЛВА-1} = 104 \cdot 42,7 = 4440,8 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оэ.ЛВА-1} = 104 \cdot 10 = 1040 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{м.ЛВА-1} = & (1 / (10^2 \cdot 0,06)) \cdot [(86,4 \cdot 4000 \cdot ((10+5)/1350)) + \\ & + (75 \cdot 540 \cdot ((13,7+16)/600))] = 974,1 \text{ МДж/га.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{жс.ЛВА-1} = 2 \cdot 1,26 / 0,06 = 42 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{п.ЛВА-1} = 4440,8 + 1040 + 974,1 = 6454,9 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты по шестой операции:

$$\mathcal{E}_{п.н.т.об} = 6454,9 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда по шестой операции:

$$\mathcal{E}_{жс.н.т.об} = 25 \text{ МДж/га.}$$

7. Угнетение пней на откосах канала (устройство инъекционного типа).

Для угнетения пней на откосах применяются устройства инъекционного типа. Энергетический эквивалент живого труда будет соответствовать средней категории (1,26 МДж/чел.-ч). На операции занято 2 чел. Тогда с учетом производительности предыдущей операции 0,06 га/ч, затраты энергии живого труда:

Продолжение приложения Е

$$\mathcal{E}_{ж.н.т.07} = 2 \cdot 1,26 / 0,06 = 42 \text{ МДж/га.}$$

8. Переработка удаляемой древесины в энергетическую или технологическую щепу (навесная рубильная машина МР-160 на базе трактора МТЗ-82.1).

Рубильная машина МР-160 на базе трактора МТЗ-82.1 (номинальная мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 226 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 50 кг/маш.-смена, масса базового трактора 4000 кг, масса рабочего оборудования 400 кг, обслуживающий персонал 3 чел.).

Эксплуатационная производительность рубильной машины МР-160 в кубических метрах неуплотненной щепы 7 м³/ч. Производительность рубильной машины в пересчете на 1 га – 0,038 га/ч.

Расход топлива на единицу площади с учетом производительности:

$$q_{к.МР-160} = 164 \text{ кг/га.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр.МР-160} = 164 \cdot 42,7 = 7002,8 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оз.МР-160} = 164 \cdot 10 = 1640 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{м.МР-160} &= (1 / (10^2 \cdot 0,038)) \cdot [(86,4 \cdot 4000 \cdot ((10+5)/1350)) + \\ &+ (75 \cdot 400 \cdot ((16+5,8)/600))] = 1297,4 \text{ МДж/га.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{ж.МР-160} = 3 \cdot 1,26 / 0,038 = 99,5 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{п.МР-160} = 7002,8 + 1640 + 1297,4 = 9940,2 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты по восьмой операции:

$$\mathcal{E}_{п.н.т.08} = 9940,2 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда по восьмой операции:

$$\mathcal{E}_{ж.н.т.08} = 99,5 \text{ МДж/га.}$$

Продолжение приложения Е

9. Транспортировка щепы потребителю или к месту хранения (грузовой автомобиль ЗИЛ-5301АО с наращенными бортами).

Грузовой автомобиль ЗИЛ-5301АО с наращенными бортами (номинальная мощность двигателя 80 кВт, базовая норма расхода топлива 12,7 кг/100 км, масса автомобиля 3700 кг, обслуживающий персонал 1 чел.). Производительность вывоза щепы автомобилем, при средней скорости движения 40 км/ч – 0,063 га/ч.

Расход топлива в пересчете на единицу площади:

$$q_{к.ЗИЛ-5301АО} = 81,3 \text{ кг/га.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр.ЗИЛ-5301АО} = 81,3 \cdot 42,7 = 3471,5 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оэ.ЗИЛ-5301АО} = 81,3 \cdot 10 = 813 \text{ МДж/га.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{м.ЗИЛ-5301АО} &= ((40 \cdot 46)/(10^5 \cdot 3 \cdot 0,5)) \cdot (86,4 \cdot 3700 \cdot (0,27 + 0,2)) = \\ &= 1843,1 \text{ МДж/га.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{жс.ЗИЛ-5301АО} = 1 \cdot 1,26 / 0,063 = 20 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{п.ЗИЛ-5301АО} = 3471,5 + 813 + 1843,1 = 6127,6 \text{ МДж/га.}$$

Полные энергозатраты по девятой операции:

$$\mathcal{E}_{п.н.т.09} = 6127,6 \text{ МДж/га.}$$

Затраты энергии живого труда по девятой операции:

$$\mathcal{E}_{жс.н.т.09} = 20 \text{ МДж/га.}$$

10. Очистка русла канала от наносов (одноковшовый экскаватор с каналочистительным оборудованием ЭО-3323М).

Одноковшовый экскаватор с каналочистительным оборудованием ЭО-3323М (номинальная мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 226 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 54,4 кг/маш.-смена, масса экскаватора 14000 кг, обслуживающий персонал 2 чел.).

Продолжение приложения Е

Расход топлива на 1 метр длины очищенного канала с учетом производительности:

$$q_{k.ЭО-3323M} = 0,24 \text{ кг/м.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр.ЭО-3323M} = 0,24 \cdot 42,7 = 10,25 \text{ МДж/м} = 1025 \text{ МДж/100 м.}$$

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{оэ.ЭО-3323M} = 0,24 \cdot 10 = 2,4 \text{ МДж/м} = 240 \text{ МДж/100 м.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{м.ЭО-3323M} &= (1/(10^2 \cdot 28,75)) \cdot [86,4 \cdot 14000 \cdot ((16+5,5)/2330)] = \\ &= 3,9 \text{ МДж/м} = 390 \text{ МДж/100 м.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{ж.ЭО-3323M} = 2 \cdot 1,26 / 28,75 = 0,09 \text{ МДж/м} = 9 \text{ МДж/100 м.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{п.ЭО-3323M} = 1025 + 240 + 390 = 1655 \text{ МДж/100 м.}$$

Полные энергозатраты по десятой операции:

$$\mathcal{E}_{п.н.т.о10} = 1655 \text{ МДж/100 м.}$$

Затраты энергии живого труда по десятой операции:

$$\mathcal{E}_{ж.н.т.о10} = 9 \text{ МДж/100 м.}$$

11. Разравнивание извлеченного наносного грунта (бульдозер ДЗ-133).

Бульдозер ДЗ-133 на базе трактора МТЗ-82.1 (номинальная мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива при номинальной мощности двигателя 226 г/кВт·ч, норма расхода топлива за смену 50 кг/маш.-смена, масса базового трактора 4000 кг, масса рабочего оборудования 460 кг, обслуживающий персонал 1 чел.).

Расход топлива на 1 метр длины очищенного канала с учетом производительности:

$$q_{k.ДЗ-133} = 0,22 \text{ кг/м.}$$

Прямые удельные затраты энергии:

$$\mathcal{E}_{пр.ДЗ-133} = 0,22 \cdot 42,7 = 9,4 \text{ МДж/м} = 940 \text{ МДж/100 м.}$$

Продолжение приложения Е

Энергоемкость энергоносителей:

$$\mathcal{E}_{\text{оз.ДЗ-133}} = 0,22 \cdot 10 = 2,2 \text{ МДж/м} = 220 \text{ МДж/100 м.}$$

Энергоемкость средств механизации:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{м.ДЗ-133}} &= (1 / (10^2 \cdot 28,75)) \cdot [(86,4 \cdot 4000 \cdot ((10+5)/1350)) + \\ &+ (75 \cdot 460 \cdot ((13,7+16)/600))] = 1,9 \text{ МДж/м} = 190 \text{ МДж/100 м.} \end{aligned}$$

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{\text{ж.ДЗ-133}} = 1 \cdot 1,26 / 28,75 = 0,04 \text{ МДж/м} = 4 \text{ МДж/100 м.}$$

Полные энергозатраты:

$$\mathcal{E}_{\text{п.ДЗ-133}} = 940 + 220 + 190 = 1350 \text{ МДж/100 м.}$$

Полные энергозатраты по одиннадцатой операции:

$$\mathcal{E}_{\text{п.н.т.о11}} = 1350 \text{ МДж/100 м.}$$

Затраты энергии живого труда по одиннадцатой операции:

$$\mathcal{E}_{\text{ж.н.т.о11}} = 4 \text{ МДж/100 м.}$$

12. Доинъектирование пней на бермах канала (устройство инъекционного типа).

Для угнетения пней на бермах применяются устройства инъекционного типа. Энергетический эквивалент живого труда будет соответствовать средней категории (1,26 МДж/чел.-ч). На операции занят 1 чел.

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{\text{ж.н.т.о12}} = 1 \cdot 1,26 / 0,101 = 12,5 \text{ МДж/га.}$$

13. Доинъектирование пней на откосах канала (устройство инъекционного типа).

Для угнетения пней на откосах применяются устройства инъекционного типа. Энергетический эквивалент живого труда будет соответствовать средней категории (1,26 МДж/чел.-ч). На операции занят 1 чел.

Затраты энергии живого труда:

$$\mathcal{E}_{\text{ж.н.т.о13}} = 1 \cdot 1,26 / 0,101 = 12,5 \text{ МДж/га.}$$

Окончание приложения ЕОбщие полные энергозатраты по технологии:

– по операциям очистки канала от кустарниковой растительности:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{п.н.т.общ.дкр} &= 3678,4 + 3871,8 + 9212,8 + 6498,2 + 6454,9 + 9940,2 + 6127,6 = \\ &= 45783,9 \text{ МДж/га.}\end{aligned}$$

– по операциям очистки канала от наносов:

$$\mathcal{E}_{п.н.т.общ.нан} = 1655 + 1350 = 3005 \text{ МДж/100 м.}$$

Общие затраты энергии живого труда по технологии:

– по операциям очистки канала от кустарниковой растительности:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{ж.н.т.общ.дкр} &= 6 + 25 + 12,5 + 60 + 42 + 25 + 42 + 99,5 + 20 + 12,5 + 12,5 = \\ &= 357 \text{ МДж/га.}\end{aligned}$$

– по операциям очистки канала от наносов:

$$\mathcal{E}_{ж.н.т.общ.нан} = 9 + 4 = 13 \text{ МДж/100 м.}$$

Энергетическая оценка технологий ремонта и реконструкции оросительных каналов

Ресурсосберегающая технология ремонта и реконструкции оросительных каналов включает следующие технологические операции, по каждой из которых производим расчет энергозатрат.

1. Блок подготовительных работ.

1.1. Осмотр канала, удаление посторонних предметов (погрузчики-собиратели).

Погрузчик-собиратель (ПС-2 или аналог), мощность двигателя 55 кВт, производительность 0,15 га/ч. Энергозатраты: прямые 1780 МДж/га; средства механизации 462 МДж/га; живой труд (1 оператор) 4 МДж/га. Общие энергозатраты по операции 2246 МДж/га.

1.2. Срезание кустарниковой растительности на бермах и откосах канала (кусторезы с телескопическим рабочим оборудованием).

Кусторез телескопический (МК-2 или аналог), мощность двигателя 55 кВт, производительность 0,1 га/ч. Энергозатраты: прямые 2669 МДж/га; средства механизации 693 МДж/га; живой труд (1 оператор) 6 МДж/га. Общие энергозатраты по операции 3368 МДж/га.

1.3. Сбор, переработка в щепу, погрузка и вывоз кустарниковой растительности для утилизации (погрузчики-собиратели, автомобили или прицепы самосвалы).

Погрузчик (ПС-2 или аналог), рубильная машина МР-160 на базе трактора МТЗ-82.1, самосвал на базе ЗИЛ-5301АО. Энергозатраты: прямые 11974 МДж/га; средства механизации 2163 МДж/га; живой труд 115 МДж/га. Общие энергозатраты по операции 14252 МДж/га.

1.4. Окашивание берм, откосов и дна канала (кусторезы со сменным рабочим оборудованием косилочного типа).

Продолжение приложения Ж

Кусторезы с косилочным оборудованием (МК-2 или аналог), мощность двигателя 55 кВт, производительность 0,1 га/ч. Энергозатраты: прямые 2669 МДж/га; средства механизации 693 МДж/га; живой труд (1 оператор) 6 МДж/га. Общие энергозатраты по операции 3368 МДж/га.

1.5. Сбор, погрузка и вывоз травяной растительности для дальнейшей утилизации (погрузчики-собиратели, автомобили или прицепы самосвалы).

Погрузчик (ПС-2 или аналог), самосвал на базе ЗИЛ-5301АО. Энергозатраты: прямые 3331 МДж/га; средства механизации 866 МДж/га; живой труд (2 оператора) 15 МДж/га. Общие энергозатраты по операции 4212 МДж/га.

2. Блок ремонтных работ.

2.1. Ремонтные работы на участке канала в земляном русле.

2.1.1. Планировка берм, засыпка ям, подсыпка дамб (бульдозеры).

Бульдозер ДЗ-133 на базе трактора МТЗ-82.1, мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 1160 МДж/100 м; средства механизации 190 МДж/100 м; живой труд 4 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 1354 МДж/100 м.

2.1.2. Очистка канала от наносов (одноковшовые экскаваторы).

Экскаватор ЭО-3323М, мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 1265 МДж/100 м; средства механизации 390 МДж/100 м; живой труд 9 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 1664 МДж/100 м.

2.1.3. Исправление крупных деформаций сечения канала, профилирование дамб (одноковшовые экскаваторы).

Экскаватор ЭО-3323 (или аналог), мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 2656 МДж/100 м; средства механизации 280 МДж/100 м; живой труд 12 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 2948 МДж/100 м.

Продолжение приложения Ж**2.1.4. Разравнивание извлеченного грунта (бульдозеры).**

Бульдозер ДЗ-133 на базе трактора МТЗ-82.1, мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 1160 МДж/100 м; средства механизации 190 МДж/100 м; живой труд 4 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 1354 МДж/100 м.

2.2. Ремонтные работы на участке канала в облицованном русле.**2.2.1. Планировка берм вдоль канала (бульдозеры).**

Бульдозер ДЗ-133 на базе трактора МТЗ-82.1, мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 1160 МДж/100 м; средства механизации 190 МДж/100 м; живой труд 4 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 1354 МДж/100 м.

2.2.2. Очистка покрытия канала от наносов (одноковшовые экскаваторы).

Экскаватор ЭО-3323М, мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 1265 МДж/100 м; средства механизации 390 МДж/100 м; живой труд 9 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 1664 МДж/100 м.

2.2.3. Ремонт покрытия канала (автокраны, заливщики швов).

Автокран (КС-45717 или аналог), мощность двигателя 132 кВт, удельный расход топлива: 250 г/кВт·ч. Заливщик швов (на базе МТЗ-82.1 или аналог), мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 220 г/кВт·ч.

Энергозатраты для автокрана: прямые 3500 МДж/100 м; средства механизации 500 МДж/100 м; живой труд (2 оператора) 20 МДж/100 м.

Энергозатраты для заливщика швов: прямые: 1200 МДж/100 м; средства механизации 300 МДж/100 м; живой труд 12 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 5532 МДж/100 м.

Продолжение приложения Ж**2.2.4. Разравнивание извлеченного грунта (бульдозеры).**

Бульдозер ДЗ-133 на базе трактора МТЗ-82.1, мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 1160 МДж/100 м; средства механизации 190 МДж/100 м; живой труд (1 оператор) 4 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 1354 МДж/100 м.

3. Блок реконструкционных работ.**3.1. Реконструкция участка канала в выемке.****3.1.1. Снятие растительного слоя с трассы канала (бульдозеры).**

Бульдозер (ДЗ-109 или аналог), мощность двигателя 118 кВт, удельный расход топлива 239 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 7225 МДж/100 м; средства механизации 509 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 7742 МДж/100 м.

3.1.2. Выравнивание трассы канала под нивелир (бульдозеры, автогрейдеры).

Бульдозер (ДЗ-109 или аналог), мощность двигателя 118 кВт, удельный расход топлива 239 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 7225 МДж/100 м; средства механизации 509 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 7742 МДж/100 м.

3.1.3. Разработка «корыта» на участках канала, проходящих в глубокой выемке (бульдозеры, скреперы, одноковшовые экскаваторы).

Бульдозер (ДЗ-109 или аналог), мощность двигателя 118 кВт, удельный расход топлива 239 г/кВт·ч. Скрепер (ДЗ-77 или аналог), мощность двигателя 100 кВт, удельный расход топлива 230 г/кВт·ч. Экскаватор (ЭО-3323 или аналог), мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч.

Энергозатраты для бульдозера: прямые 7225 МДж/100 м; средства механизации 509 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м.

Продолжение приложения Ж

Энергозатраты для скрепера: прямые 6140 МДж/100 м; средства механизации 438 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м.

Энергозатраты для экскаватора: прямые 1768 МДж/100 м; средства механизации 233 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м.

Общие энергозатраты по операции 16337 МДж/100 м.

3.1.4. Разработка верхней части канала с перемещением грунта в кавальеры (скреперы).

Скрепер (ДЗ-77 или аналог), мощность двигателя 100 кВт, удельный расход топлива 230 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 6140 МДж/100 м; средства механизации 438 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 6586 МДж/100 м.

3.1.5. Разработка нижней части канала с перемещением грунта в кавальеры (одноковшовые экскаваторы).

Экскаватор (ЭО-3323 или аналог), мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты для экскаватора: прямые 1768 МДж/100 м; средства механизации 233 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 2009,3 МДж/100 м.

3.1.6. Выравнивание «корыта» под нивелир (бульдозеры).

Бульдозер (ДЗ-109 или аналог), мощность двигателя 118 кВт, удельный расход топлива 239 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 7225 МДж/100 м; средства механизации 509 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 7742 МДж/100 м.

3.1.7. Планировка дна и откосов канала (одноковшовые экскаваторы).

Экскаватор (ЭО-3323 или аналог), мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 1900 МДж/100 м; средства механизации 600 МДж/100 м; живой труд 13 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 2513 МДж/100 м.

Продолжение приложения Ж

3.1.8. Выравнивание отвалов грунта, формирование и планировка кавальера (бульдозеры).

Бульдозер (ДЗ-109 или аналог), мощность двигателя 118 кВт, удельный расход топлива 239 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 7225 МДж/100 м; средства механизации 509 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 7742 МДж/100 м.

3.2. Реконструкция участка канала в полувыемке, полунасыпи и насыпи.

3.2.1. Снятие растительного слоя с трассы канала и с поверхности резервов (бульдозеры).

Бульдозер (ДЗ-109 или аналог), мощность двигателя 118 кВт, удельный расход топлива 239 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 7225 МДж/100 м; средства механизации 509 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 7742 МДж/100 м.

3.2.2. Рыхление грунта в основании под дамбами (рыхлители).

Рыхлитель (на базе Т-150 или аналог), мощность двигателя 121 кВт, удельный расход топлива: 245 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 4500 МДж/100 м; средства механизации 350 МДж/100 м; живой труд (1 оператор) 8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 4858 МДж/100 м.

3.2.3. Уплотнение грунта в основании под дамбами (катки).

Каток (ДУ-101 или аналог), мощность двигателя 130 кВт, удельный расход топлива 250 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 3800 МДж/100 м; средства механизации 300 МДж/100 м; живой труд (1 оператор) 6 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 4106 МДж/100 м.

3.2.4. Разработка грунта в выемке канала и резервах с перемещением в тело дамб (одноковшовые экскаваторы).

Продолжение приложения Ж

Экскаватор (ЭО-3323 или аналог), мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 1768 МДж/100 м; средства механизации 233 МДж/100 м; живой труд (1 оператор) 8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 2009 МДж/100 м.

3.2.5. Послойное разравнивание отсыпанного грунта в дамбах (бульдозеры).

Бульдозер (ДЗ-109 или аналог), мощность двигателя 118 кВт, удельный расход топлива 239 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 7225 МДж/100 м; средства механизации 509 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 7742 МДж/100 м.

3.2.6. Доувлажнение грунта в дамбах до оптимальной влажности (поливочно-моечные машины).

Поливочно-моечная машина (ПМ-130 или аналог), мощность двигателя 110 кВт, удельный расход топлива 240 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 2500 МДж/100 м; средства механизации 400 МДж/100 м; живой труд (1 оператор): 5 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 2905 МДж/100 м.

3.2.7. Послойное уплотнение грунта в дамбах (катки).

Каток (ДУ-101 или аналог), мощность двигателя 130 кВт, удельный расход топлива 250 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 3800 МДж/100 м; средства механизации 300 МДж/100 м; живой труд (1 оператор) 6 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 4106 МДж/100 м.

3.2.8. Ликвидация выездов из канала, оставшихся после работы машин (бульдозеры, одноковшовые экскаваторы).

Бульдозер (ДЗ-109 или аналог), мощность двигателя 118 кВт, удельный расход топлива 239 г/кВт·ч. Экскаватор (ЭО-3323 или аналог), мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты для бульдозера: прямые 7225 МДж/100 м; средства механизации 509 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м.

Продолжение приложения Ж

Энергозатраты для экскаватора: прямые 1768 МДж/100 м; средства механизации 233 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 9750,5 МДж/100 м.

3.2.9. Планировка откосов канала и дамб (одноковшовые экскаваторы).

Экскаватор (ЭО-3323 или аналог), мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 1900 МДж/100 м; средства механизации 600 МДж/100 м; живой труд (1 оператор) 13 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 2513 МДж/100 м.

3.3. Устройство противofильтрационного покрытия на канале.**3.3.1. Профилировка дна и откосов канала (одноковшовые экскаваторы).**

Экскаватор (ЭО-3323 или аналог), мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 226 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 1900 МДж/100 м; средства механизации 600 МДж/100 м; живой труд (1 оператор) 13 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 2513 МДж/100 м.

3.3.2. Раскладка по периметру канала полимерной пленки и ее сварка (автокраны, оборудование сварки полимерной пленки).

Автокран (КС-45717 или аналог), мощность двигателя 132 кВт, сварочный аппарат для пленки (мощность 5 кВт). Энергозатраты для автокрана: прямые 3500 МДж/100 м; средства механизации 500 МДж/100 м; живой труд (2 оператора) 20 МДж/100 м. Энергозатраты для сварочного оборудования: прямые 800 МДж/100 м; средства механизации 100 МДж/100 м; живой труд 10 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 4930 МДж/100 м.

3.3.3. Укладка рубероида или других защитных материалов на поверхность пленки (автокраны).

Автокран (КС-45717 или аналог), мощность двигателя 132 кВт. Энергозатраты: прямые 3000 МДж/100 м; средства механизации 450 МДж/100 м; живой труд (2 оператора) 18 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 3468 МДж/100 м.

Окончание приложения Ж**3.3.4. Укладка железобетонных плит на дно и откосы канала (автокраны).**

Автокран (КС-45717 или аналог), мощность двигателя 132 кВт. Энергозатраты: прямые 5000 МДж/100 м; средства механизации 750 МДж/100 м; живой труд (2 оператора) 25 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 5775 МДж/100 м.

3.3.5. Герметизация стыков между плитами (заливщики швов).

Заливщик швов (на базе МТЗ-82.1 или аналог), мощность двигателя 55 кВт, удельный расход топлива 220 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 1200 МДж/100 м; средства механизации 300 МДж/100 м; живой труд (1 оператор) 12 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 1512 МДж/100 м.

4. Блок рекультивационных работ.**4.1. Рекультивация всех площадей нарушенных земель (Бульдозеры).**

Бульдозер (ДЗ-109 или аналог), мощность двигателя 118 кВт, удельный расход топлива 239 г/кВт·ч. Энергозатраты: прямые 7225 МДж/100 м; средства механизации 509 МДж/100 м; живой труд 8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 7742 МДж/га.

Аналогично проводилась энергетическая оценка для традиционных технологий ремонта и реконструкции оросительных каналов.

Энергетическая оценка технологий ремонта напорного трубопровода

Ресурсосберегающая технология ремонта напорного трубопровода включает следующие технологические операции, по каждой из которых произведен расчет энергозатрат.

1. Визуальный осмотр трассы трубопровода, определение дефекта на трубопроводе, удаление из зоны выполнения работ посторонних предметов (ручной инструмент).

Категория труда: легкая (0,6 МДж/чел.-ч), количество работников 2 чел., время на 100 м 4 часа. Общие энергозатраты по операции 4,8 МДж/100 м.

2. Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на трассе трубопровода.

Кусторез на МТЗ-82 (55 кВт), производительность 0,1 га/ч, 1 час работы, расход топлива 12,4 кг. Энергозатраты: прямые 529,5 МДж/100 м; средства механизации 53 МДж/100 м; живой труд (2 чел.) 2,5 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 585 МДж/100 м.

3. Сбор срезанного кустарника и мелкоколесья в кучи.

Подборщик ПС-2 (55 кВт), 1 час работы, расход топлива 12,4 кг. Энергозатраты: прямые 529,5 МДж/100 м, средства механизации 53 МДж/100 м, живой труд 2,5 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 585 МДж/100 м.

4. Переработка удаляемой древесины в энергетическую или технологическую щепу.

Рубильная машина МР-160 (55 кВт), производительность 7 м³/ч, 2 ч работы (объем щепы ~14 м³), расход топлива 24,9 кг. Энергозатраты: прямые 1063 МДж/100 м, средства механизации 106,3 МДж/100 м, живой труд (3 чел.) 7,6 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 1176,9 МДж/100 м.

Продолжение приложения 3

5. Транспортировка щепы потребителю или к месту хранения.

Грузовой автомобиль ЗИЛ-5301 (80 кВт), 2 рейса по 1 часу, расход топлива 36,2 кг. Энергозатраты: прямые 1545 МДж/100 м, средства механизации 154,5 МДж/100 м, живой труд (1 чел.) 2,5 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 1702 МДж/100 м.

6. Отключение поврежденного участка трубопровода от действующей сети, исследование дефекта, условий подъезда и доставки машин, оборудования и материалов (ручной инструмент). Время работы 6 часов. Общие энергозатраты по операции 7,2 МДж/100 м.

7. Срезка растительного грунта (бульдозер ДЗ-109).

Бульдозер ДЗ-109 (118 кВт), производительность 50 м³/ч, время работы 6 ч, расход топлива 169,2 кг. Энергозатраты: прямые 7224,8 МДж/100 м; средства механизации 722,5 МДж/100 м; живой труд (1 оператор) 7,6 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 7955 МДж/100 м.

8. Завоз материалов и оборудования для производства работ (грузовые автомобили, автокраны).

Грузовик (80 кВт), 2 ед., 4 часа работы; автокран (100 кВт), 1 ед., 3 часа работы. Расход топлива: грузовики 144,6 кг; автокран 67,8 кг. Энергозатраты: прямые 9072,5 МДж/100 м; средства механизации 1360,9 МДж/100 м; живой труд 30,2 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 10463,6 МДж/100 м.

9. Раскопка трубопровода (экскаватор ЭО-3323).

Экскаватор (55 кВт), производительность: 30 м³/ч, время работы 10 ч, расход топлива 124,3 кг. Энергозатраты: прямые 5307,6 МДж/100 м; средства механизации 530,8 МДж/100 м; живой труд 25,2 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 5863,6 МДж/100 м.

10. Доработка траншеи, очистка трубы и стыков от грунта (ручной инструмент).

Количество работников 3 чел., время работы 8 часов. Общие энергозатраты по операции 30,2 МДж/100 м.

Окончание приложения 3

11. Исследование характера дефекта и выбор способа его ликвидации (ручной инструмент).

Время работы 2 часа. Общие энергозатраты по операции 5 МДж/100 м.

12. Ликвидация дефекта на трубопроводе (оборудование для ремонта трубопроводов, ручной инструмент).

Сварочный аппарат (20 кВт), 5 часов работы. Расход электроэнергии 360 МДж/100 м. Живой труд 30,2 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 390,2 МДж/100 м.

13. Гидроизоляция отремонтированного участка (для металлических трубопроводов) (оборудование для гидроизоляции трубопроводов).

Насос, распылитель (10 кВт), 3 часа работы. Живой труд 7,5 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 115,5 МДж/100 м.

14. Послеремонтное испытание трубопровода (оборудование для испытания трубопроводов).

Насос высокого давления (15 кВт), 2 часа работы. Живой труд 5 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 108 МДж/100 м.

15. Обратная засыпка траншеи и уплотнение грунта в ней (одноковшовые экскаваторы с грейферным оборудованием, механизированные ручные трамбовки).

Экскаватор (55 кВт), 5 часов работы 2656 МДж/100 м; ручные трамбовки (2 ед., 5 кВт) 144 МДж/100 м, средства механизации 481,7 МДж/100 м, живой труд: 4 чел. 20,2 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 3099,7 МДж/100 м.

16. Восстановление растительного слоя (бульдозер ДЗ-109).

Аналогично п.3 данной технологии, но за 4 часа – 4816,6 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 5298,2 МДж/100 м.

Аналогично проводилась энергетическая оценка для традиционных технологий ремонта напорного трубопровода.

Энергетическая оценка технологий реконструкции напорного трубопровода

Ресурсосберегающая технология реконструкции напорного трубопровода включает следующие технологические операции, по каждой из которых производим расчет энергозатрат.

1. Геодезическая разбивка трассы трубопровода (оборудование для геодезических работ).

Электронный тахеометр (0,5 кВт), 4 часа работы, живой труд 4,8 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 7,2 МДж/100 м.

2. Визуальный осмотр поверхности трассы трубопровода, удаление из зоны выполнения работ посторонних предметов (ручной инструмент).

Количество работников 2 чел., время 4 часа. Общие энергозатраты по операции 4,8 МДж/100 м.

3. Срезка кустарниковой растительности, произрастающей на трассе трубопровода (для закустаренных участков трассы) (навесные кусторезы с активными рабочими органами).

Кусторез на МТЗ-82 (55 кВт), производительность 0,1 га/ч, 1 час работы, расход топлива 12,4 кг. Энергозатраты: прямые 529,5 МДж/100 м; средства механизации 53 МДж/100 м; живой труд (2 чел.) 2,5 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 585 МДж/100 м.

4. Сбор срезанного кустарника и мелколесья в кучи (для закустаренных участков трассы) (подборщики-собиратели срезанной кустарниковой растительности).

Подборщик ПС-2 (55 кВт), 1 час работы, расход топлива 12,4 кг. Энергозатраты: прямые 529,5 МДж/100 м, средства механизации 53 МДж/100 м, живой труд 2,5 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 585 МДж/100 м.

5. Переработка удаляемой древесины в энергетическую или технологическую щепу (для закустаренных участков трассы) (навесные рубильные машины).

Продолжение приложения И

Рубильная машина МР-160 (55 кВт), производительность 7 м³/ч, 2 ч работы (объем щепы ~14 м³), расход топлива 24,9 кг. Энергозатраты: прямые 1063 МДж/100 м, средства механизации 106,3 МДж/100 м, живой труд (3 чел.) 7,6 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 1176,9 МДж/100 м.

6. Транспортировка щепы потребителю или к месту хранения (для закустаренных участков трассы) (автосамосвалы с наращенными бортами).

Грузовой автомобиль ЗИЛ-5301 (80 кВт), 2 рейса по 1 часу, расход топлива 36,2 кг. Энергозатраты: прямые 1545 МДж/100 м, средства механизации 154,5 МДж/100 м, живой труд (1 чел.) 2,5 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 1702 МДж/100 м.

7. Срезка растительного грунта (бульдозеры).

Бульдозер ДЗ-109, аналогично предыдущим расчетам. Общие энергозатраты по операции 7955 МДж/100 м.

8. Завоз материалов и оборудования для производства работ (грузовые автомобили, автокраны).

Аналогично предыдущим расчетам. Общие энергозатраты по операции 10463,6 МДж/100 м.

9. Разработка грунта в траншеях под трубы (одноковшовые экскаваторы с рабочим оборудованием обратная лопата).

Экскаватор ЭО-3323. Аналогично предыдущим расчетам. Общие энергозатраты по операции 5863,6 МДж/100 м.

10. Бестраншейная прокладка трубопроводов (при необходимости) (одноковшовые экскаваторы, оборудование для бестраншейной прокладки трубопровода).

Гидравлический прокладчик (100 кВт), 10 часов работы, расход топлива 226 кг. Энергозатраты: прямые 9650 МДж/100 м, средства механизации: 965 МДж/100 м, живой труд (2 чел.) 25,2 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 10640,2 МДж/100 м (только при бестраншейном методе).

Продолжение приложения И

11. Крепление откосов траншей (при необходимости) (подъемное оборудование и ручной инструмент).

Количество работников 4 чел., время работы 8 часов. Общие энергозатраты по операции 40,3 МДж/100 м.

12. Доработка грунта вручную с устройством прямков (перед укладкой труб) (ручной инструмент).

Аналогично предыдущим расчетам. Общие энергозатраты по операции 30,2 МДж/100 м.

13. Монтаж трубопроводов с соединением звеньев и заделкой стыков (передвижные подъемные краны или краны-трубоукладчики).

Кран-трубоукладчик (100 кВт), 8 часов работы, расход топлива 180,8 кг. Энергозатраты: прямые 7720 МДж/100 м, средства механизации 772 МДж/100 м, живой труд (4 чел.) 40,3 МДж/100 м. Общие энергозатраты по операции 8532,3 МДж/100 м.

14. Гидроизоляция (для металлических трубопроводов) (оборудование для гидроизоляции трубопроводов).

Аналогично предыдущим расчетам. Общие энергозатраты по операции 115,5 МДж/100 м.

15. Предварительные испытания смонтированных участков (оборудование для испытания трубопроводов).

Аналогично предыдущим расчетам. Общие энергозатраты по операции 108 МДж/100 м.

16. Засыпка траншей и уплотнение грунта в них (одноковшовые экскаваторы с грейферным оборудованием, механизированные ручные трамбовки).

Аналогично предыдущим расчетам. Общие энергозатраты по операции 3099,7 МДж/100 м.

Окончание приложения И

17. Окончательное испытание трубопровода (оборудование для испытания трубопроводов).

Аналогично предыдущим расчетам. Общие энергозатраты по операции 108 МДж/100 м.

18. Монтаж вантузов и гидрантов (подъемное оборудование и ручной инструмент).

Количество работников 3 чел., время работы 4 часа. Общие энергозатраты по операции 15,1 МДж/100 м.

19. Восстановление растительного слоя (бульдозеры).

Аналогично предыдущим расчетам. Общие энергозатраты по операции 5298,2 МДж/100 м.

Калькулятор для определения длин участков щего трубопровода низконапорной дождеваль кругового действия

[illegible]

РАСЧЕТ	Ед. изм.	Значение	
Размеры орошаемого участка (ширина x длина)	м	1300	1300
Гидромодуль подачи	л/(с*га)	0,81	
Площадь орошения круговой дождевальной машиной (So)	га	132,73	
Расход воды дождевальной машиной кругового действия (Qм)	л/с	107,51	
Минимальная длина 1-го участка основного водопроводящего трубопровода (L1 min)	м	411,86	
Фактическая длина 1-го участка основного водопроводящего трубопровода (L1)	м	414,43	Количество различных пролетов 42,1 47,9
Общее количество пролетов 1-го участка	шт.	9	3 6
Длина 2-го участка основного водопроводящего трубопровода (L2) расчетная	м	195,51	
Длина 2-го участка основного водопроводящего трубопровода (L2) фактическая	м	195,75	Количество различных пролетов 59,5 65,25 71,05
Общее количество пролетов 2-го участка		3	0 3 0
Общее число пролетов в машине	шт	12	
		значения вводятся пользователем	
		расчет	

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) RU⁽¹¹⁾ 2 258 354⁽¹³⁾ C1
(51) МПК⁷ A 01 G 23/02, 23/08, B 27 B
11/12

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2003135825/12, 10.12.2003

(24) Дата начала действия патента: 10.12.2003

(45) Опубликовано: 20.08.2005 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2161399 C2, 10.01.2001. SU 168068,
05.04.1965. SU 506348, 07.06.1976. ЗИМА И.М.
и др. Механизация лесохозяйственных
работ». - М.: Лесная промышленность, 1964,
с.275, 276.

Адрес для переписки:

410600, г.Саратов, ул. Советская, 60, АНО
УНПЦ "Волгоагротехника", Патентная группа

(72) Автор(ы):

Абдразаков Ф.К. (RU),
Соловьев Д.А. (RU),
Бахтиев Р.Н. (RU),
Егоров В.С. (RU),
Горюнов Д.Г. (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Абдразаков Фярид Кинжаевич (RU),
Соловьев Дмитрий Александрович (RU),
Бахтиев Ринат Нягимович (RU),
Егоров Владимир Семенович (RU),
Горюнов Дмитрий Геннадьевич (RU)

RU 2 258 354 C1

(54) КУСТОРЕЗ

Формула изобретения

Кусторез, содержащий поднимаемую и опускаемую раму, опирающуюся на систему навески трактора, и рабочий орган в виде дисковой пилы, стрелу с редуктором для перемещения рабочего органа в вертикальном направлении, отличающийся тем, что на раме навески установлена поворотная рама, стрела для перемещения рабочего органа выполнена телескопической и шарнирно закреплена на поворотной раме, а внутри поворотной рамы размещен механизм подъема и опускания телескопической стрелы, шарнирно установленный на поворотной раме и имеющий гидроцилиндр, соединенный со сдвоенной тягой, которая смонтирована с телескопической стрелой винтовой тягой, при этом на телескопической стреле установлен промежуточный редуктор, соединенный через телескопический карданный вал, проходящий внутри телескопической стрелы, с дисковой пилой и дополнительной дисковой пилой, установленной последовательно с основной дисковой пилой на телескопической стреле, которая оснащена регулируемой по высоте опорной лыжей, притом кусторез снабжен механизмом поворота, состоящим из зубчатого колеса, шарнирно установленного на оси, жестко соединенной с рамой навески, и двух шестерен, одна из которых входит в зацепление с нижней эвольвентой зубчатого колеса и соединена с валом отбора мощности трактора, а другая входит в зацепление с верхней эвольвентой зубчатого колеса и соединена со шкивом ременной передачи.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 316 206** ⁽¹³⁾ **C2**(51) МПК
A01G 23/06 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 2005136324/12, 22.11.2005

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.11.2005

(43) Дата публикации заявки: 10.06.2007

(45) Опубликовано: 10.02.2008 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2251836 C2, 20.05.2005. RU 2251837
C2, 20.05.2005. SU 1014524 A, 30.04.1983. SU
1184483 A, 15.10.1985. RU 2167514 C1,
27.05.2001.

Адрес для переписки:

410056, г.Саратов, ул. Советская, 60,
Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, патентная
группа

(72) Автор(ы):

Абдразаков Фярид Кинжаевич (RU),
Мараев Виктор Николаевич (RU),
Соловьев Дмитрий Александрович (RU),
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),
Горюнов Дмитрий Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФГОУ ВПО "Саратовский государственный
аграрный университет им. Н.И. Вавилова" (RU)

RU 2 316 206 C2

(54) КУСТОРЕЗ

(57) Формула изобретения

Кусторез, содержащий базовый трактор, телескопическую стрелу с телескопом, гидроцилиндр выдвижения телескопа, рабочий орган в виде дисковой пилы, закрепленной на конце телескопа, отличающийся тем, что телескопическая стрела смонтирована на рукояти гидроманипулятора, установленного на базовом тракторе, кроме того, рабочий орган кустореза имеет привод от гидромотора и снабжен устройством для регулировки высоты срезки, содержащим цилиндрический корпус и фланец, между которыми зафиксирована дисковая пила, причем верхняя часть корпуса жестко связана с крышкой, закрепленной на валу гидромотора, также в цилиндрическом корпусе симметрично выполнены два паза, в которых установлены направляющие фиксаторы, жестко соединенные с основанием, размещенным с возможностью перемещения внутри цилиндрического корпуса, при этом между основанием и крышкой установлена возвратная пружина, а снаружи цилиндрического корпуса расположено кольцо, зафиксированное на направляющих фиксаторах и взаимодействующее с концевым электрическим выключателем, закрепленным с возможностью перемещения посредством болтового соединения в пазу стойки, жестко соединенной с телескопом, также на концевом электрическом выключателе закреплен указатель, а на стойке установлена линейка, кроме того, на телескопической стреле жестко зафиксирован гидроцилиндр, на штоке которого закреплено тарельчатое основание с указателем.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

⁽¹⁹⁾ **RU** ⁽¹¹⁾ **2 716 987** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК
A01G 25/09 (2006.01)
B05B 15/60 (2018.01)
F16B 7/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

A01G 25/09 (2019.08); B05B 15/60 (2019.08); F16B 7/00 (2019.08)

(21)(22) Заявка: **2019103402**, 07.02.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.02.2019

Дата регистрации:
17.03.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **07.02.2019**

(45) Опубликовано: **17.03.2020** Бюл. № **8**

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 3720374 A, 13.03.1973. RU
2613998 C1, 22.03.2017. US 2007176030 A1,
02.08.2007. US 5382771 A, 17.01.1995.

Адрес для переписки:

410012, Саратовская обл., г. Саратов, пл.
Театральная, 1, ФГБОУ ВО "Саратовский
ГАУ", патентный отдел

(72) Автор(ы):

Соловьев Дмитрий Александрович (RU),
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),
Бакиров Сергей Мударисович (RU),
Камышова Галина Николаевна (RU),
Макаров Сергей Анатольевич (RU),
Горюнов Дмитрий Геннадьевич (RU),
Колганов Дмитрий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Саратовский
государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова" (RU)

(54) Шпренгель фермы дождевальная машины

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству. Шпренгель фермы дождевальн
машины, оцинкованный методом горячего цинкования, содержит стержень (1
круглого сечения, по концам которого приварены выполненные в виде пласти
проушины (2) с монтажным отверстием (3). Концы стержня (1) сварены
предварительно выполненные под них прямоугольные вырезы в проушинах (2
Концы стержня (1) обварены с двух сторон проушин (2). Все углы (4) проушин (1
выполнены закругленными, а ширина проушин (2) равна $\frac{\pi d^2}{4b}$ где b

$$b = \frac{\frac{\pi}{4} d_c^2 \sigma_{ic}}{t_n \sigma_{in}} + d_{om},$$

оптимальная ширина проушины (2), мм; d_c - диаметр стержня (1) шпренгеля, мм; σ_{tc} - предел текучести стали, из которой изготовлен стержень (1), кгс/мм²; t_n - толщина проушины (2), мм; σ_{tn} - предел текучести стали, из которой изготовлена проушина (2), кгс/мм².

Продолжение приложения Л

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 801 951** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
B05B 1/18 (2006.01)
A01G 25/02 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

B05B 1/18 (2023.05); A01G 25/02 (2023.05)(21)(22) Заявка: **2022133114**, 15.12.2022(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.12.2022Дата регистрации:
21.08.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **15.12.2022**(45) Опубликовано: **21.08.2023** Бюл. № **24**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 2005/0087622 A1, 28.04.2005. US D929535 S, 31.08.2021. RU 173433 U1, 28.08.2017. SU 1484327 A1, 07.06.1989. ЖУРАВЛЕВА Л.А. "РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ШИРОКОЗАХВАТНЫЕ ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ" / АВТОРЕФЕРАТ, САРАТОВ 2018, стр. 20.

Адрес для переписки:

**410012, г. Саратов, пр-кт имени Петра
Столыпина, зд. 4, стр. 3, ФГБОУ ВО
Вавиловский университет, патентный
отдел**

(72) Автор(ы):

**Соловьев Дмитрий Александрович (RU),
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),
Соловьев Владимир Александрович (RU),
Колганов Дмитрий Александрович (RU),
Горюнов Дмитрий Геннадьевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Саратовский
государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н.И.
Вавилова" (RU)**

(54) Дождевальная насадка

(57) Реферат:

Изобретение относится к области орошения. Дождевальная насадка содержит корпус (1) с выполненным по его центру трубопроводом (2), в нижней части которого установлено сменное сопло (3), расположенный под соплом дефлектор (4) вертикальные стойки (8), противовес для поддержания вертикального положения насадки. Насадка снабжена жестким стальным каркасом (5), оцинкованным методом горячего цинкования и выполняющим роль противовеса. Стальной каркас выполнен из двух дисковых грузил (6 и 7), одно из которых расположено над другим. Грузил

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 810 574** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A01G 25/09 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

A01G 25/09 (2023.08)(21)(22) Заявка: 2023128411, 02.11.2023(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.11.2023Дата регистрации:
27.12.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.11.2023

(45) Опубликовано: 27.12.2023 Бюл. № 36

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: СОЛОВЬЕВ Д.А., ГОРЮНОВ Д.Г., ГРЕПЕЧУК Ю.Н., ЗАГОРУЙКО М.Г., КУЗНЕЦОВ Р.Е. ОРГАНИЗАЦИЯ УЧАСТКА ОРОШЕНИЯ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ "КАСКАД 65Т" // ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО. 2023. N 1, подписано в печать 10.04.2023, стр. 28-32. US 2017/0105370 A1, 20.04.2017. SU 1701124 A2, 30.12.1991. GB 1434257 A, 05.05.1976.

Адрес для переписки:

410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра
Столыпина зд. 4, стр. 3, ФГБОУ ВО
Вавиловский университет, Анфиногенова
Ольга Николаевна

(72) Автор(ы):

Соловьев Дмитрий Александрович (RU),
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),
Горюнов Дмитрий Геннадьевич (RU),
Садаев Максим Сергеевич (RU),
Загоруйко Михаил Геннадьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Саратовский
государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н.И.
Вавилова" (RU)

(54) Способ повышения проходимости многоопорной дождевальной машины кругового действия на участках со сложным рельефом

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сельского хозяйства. Способ состоит в перемещении машины вокруг неподвижной опоры при помощи самоходных тележек снабженных электроприводом и опорными пневмоколесами. Направление движения

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 827 428** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
A01G 25/09 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01G 25/09 (2024.01)(21)(22) Заявка: 2024102454, 01.02.2024(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.02.2024Дата регистрации:
26.09.2024Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 01.02.2024(45) Опубликовано: 26.09.2024 Бюл. № 27(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2789034 C1, 27.01.2023. SU
1739909 A1, 15.06.1992. US 3878860 A,
22.04.1975. US 3603508 A, 07.09.1971. GB
1118382 A, 03.07.1968.Адрес для переписки:
410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра
Столыпина зд. 4, стр. 3, ФГБОУ ВО ГУ
генетики, биотехнологии и инженерии им.
Н.И. Вавилова, Анфиногенова Ольга
Николаевна

(72) Автор(ы):

Соловьев Дмитрий Александрович (RU),
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),
Горюнов Дмитрий Геннадьевич (RU),
Колганов Дмитрий Александрович (RU),
Шематурин Александр Иванович (RU),
Грепечук Юрий Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Саратовский
государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н.И.
Вавилова" (RU)

(54) Ферменный пролет дождевальнй машины

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству. Ферменный пролет дождевальнй машины содержит размещенную одним концом на самоходной тележке (1) шпренгельную ферму (1), представляющую собой сборную конструкцию, верхний пояс (3) которой образован водопроводящим трубопроводом (4), состоящим из стальных оцинкованных труб (5), соединенных при помощи фланцев (6). В водопроводящем трубопроводе (4) смонтированы секции раскосов (8), каждая из которых образована четырьмя раскосами (8) и соединяющей их концы поперечино. Понизу секции раскосов (8) соединены между собой при помощи шпренгелей (10) образующих два нижних пояса (11) фермы (1). Для соединения с соседними пролетами по концам фермы (1) установлены шарнирные узлы (12, 13), снабженны

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

2 864 950⁽¹³⁾ C1(51) МПК
A01G 25/09 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01G 25/09 (2026.01)

(21)(22) Заявка: 2025104402, 26.02.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.02.2025Дата регистрации:
30.06.2026

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.02.2025

(45) Опубликовано: 30.06.2026 Бюл. № 19

Адрес для переписки:

410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина
зд. 4, стр. 3, ФГБОУ ВО "СГУ генетики,
биотехнологии и инженерии", Анфиногенова
Ольга Николаевна

(72) Автор(ы):

Соловьев Данила Владимирович (RU),
Кузнецов Роман Евгеньевич (RU),
Горюнов Дмитрий Александрович (RU),
Колганов Дмитрий Александрович (RU),
Соловьев Дмитрий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Саратовский государственный
университет генетики, биотехнологии и
инженерии имени Н.И. Вавилова" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: ШИРОКОЗАХВАТНАЯ
ДОЖДЕВАЛЬНАЯ МАШИНА
ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННАЯ
КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ "КУБАНЬ",
РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ,
ЧАСТЬ 1, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ
И ИНСТРУКЦИИ ДМЭК-100.000 РЭ, 2022.
А.И. КИМ, И.И. КИМ "НИЗКОНАПОРНАЯ
ДОЖДЕВАЛЬНАЯ СИСТЕМА",
ВЕСТНИК КРСУ, ТОМ 5, №7, 2005, стр. 127-
131. RU 217017 U1, 14.03.2023. US 2002/0066810
A1, 06.06.2002.

(54) Способ компоновки водопроводящего трубопровода низконапорной дождевальной машины кругового действия с ферменной конструкцией пролетов

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сельского хозяйства. Способ состоит в подборе радиуса полива дождевальной машины, который выполняют с учетом геометрических параметров поля, последующем определении площади орошения, выполнении анализа почвенно-климатических характеристик орошаемого участка и определении допустимой интенсивности дождя, на основе которых устанавливают величину гидромодуля подачи. Затем определяют требуемый расход воды. Далее с учетом радиуса

полива подбирают длину и состав машины. Водопроводящий трубопровод машины формируют из трубопроводов ферменных пролетов, которые последовательно шарнирно соединяют друг с другом. Крайний пролет машины дополнительно снабжают консолью, которую оснащают концевым дальнеструйным аппаратом или дождевателем. Первый участок водопроводящего трубопровода машины формируют из ферменных пролетов, снабженных трубопроводом, выполненным из труб с внешним

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НИР
ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»



Голубев А.В.
2003 г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор
ФГУ «Управление «Саратовмелио-
водхоз»



Гордиенко В.В.
2003 г.

АКТ

от «18» сентября 2003 г.

о внедрении законченной научно-исследовательской работы

Мы, ниже подписавшиеся, представитель ФГОУ ВПО Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова в лице руководителя НИР, профессора Абдразакова Фярида Кинжаевича и представитель Ершовского филиала ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» в лице директора Белякова Николая Алексеевича составили настоящий акт в том, что научно-исследовательская работа по договору №28/03 на тему: «Разработка и внедрение интенсивных, ресурсосберегающих технологий и машин для эксплуатации, реконструкции и ремонта оросительных систем», выполненная ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» (руководитель и ответственный исполнитель – доктор технических наук, профессор Абдразаков Ф.К., исполнители: аспирант Бахтиев Р.Н., кандидат технических наук, доцент Соловьев Д.А., кандидат технических наук Горюнов Д.Г. и др.) завершена согласно календарному плану в полном объеме.

За время действия договора выполнены следующие работы:

1. Проведен литературный и патентный поиск, разработана конструкторская документация, проведен расчет основных элементов и узлов технических средств по удалению древесно-кустарниковой растительности.
2. На базе АНО УНПЦ «Волгоагротехника» СГАУ изготовлены опытные образцы кусторезов, разработана программа и методика производст-

Продолжение приложения М

венных испытаний, а также рекомендации (инструкции) по эффективной эксплуатации технических средств по удалению древесно-кустарниковой растительности.

3. Разработана интенсивная ресурсосберегающая технология для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем.
4. Проведены полевые экспериментальные испытания опытных образцов кусторезов КН-2 и МК-1М в производственных условиях при срезании древесно-кустарниковой растительности вдоль оросительных каналов.
5. Эффективность срезания древесно-кустарниковой растительности и качество работы кусторезов подтверждены проведенными полевыми испытаниями и исследованиями их работы на каналах Ершовского филиала ФГУ «Управление «Саратовмелиоводхоз».

Научный руководитель
и ответственный исполнитель,
д-р техн. наук, профессор

 Абдразаков Ф.К.

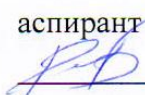
Директор Ершовского филиала
ФГУ «Управление «Саратовме-
лиоводхоз»



Беляков Н.А.

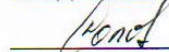
Исполнители:

аспирант

 Бахтиев Р.Н.

Гл. инженер Ершовского филиала
ФГУ «Управление «Саратовме-
лиоводхоз»

канд. техн. наук, доцент

 Соловьев Д.А.



Назаров В.П.

Продолжение приложения М

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НИР
ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»



Голубев А.В.
«22» июля 2005 г.

УТВЕРЖДАЮ
Первый заместитель директора
ФГУ Управление «Саратовмелио-
водхоз»



Гордиенко В.Б.
«27» июля 2005 г.

АКТ
от «25» июля 2005 г.
о внедрении законченной
научно-исследовательской работы

Мы, ниже подписавшиеся, представитель ФГОУ ВПО Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова в лице руководителя НИР, заведующего кафедрой «Организация и управление инженерными работами», профессора Абдразакова Фярида Кинжаевича и представитель Саратовского оросительно-обводнительного канала – филиала ФГУ Управление «Саратовмелиоводхоз» в лице директора Аксиненко Владимира Филипповича составили настоящий акт в том, что научно-исследовательская работа по договору №5/05А на тему: «Разработка и совершенствование технологий очистки ГТС от растительности и наносов при реконструкции Саратовского оросительно-обводнительного канала им. Е.Е. Алексеевского», выполненная ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» (руководитель и ответственный исполнитель – доктор технических наук, профессор Абдразаков Ф.К., исполнители: кандидат технических наук, ст. преподаватель Горюнов Д.Г. и другие) завершена согласно календарному плану в полном объеме.

За время действия договора выполнены следующие работы:

1. Проведены анализ состояния Саратовского оросительно-обводнительного канала им. Е.Е. Алексеевского и литературно-патентный поиск по технологиям очистки ГТС от растительности и наносов
2. Теоретически обоснована и разработана комплексная технология ремонта и реконструкции оросительно-обводнительного канала им. Е.Е. Алексеевского с рациональным техническим обеспечением технологического процесса.

Продолжение приложения М

3. Разработана математическая модель оптимизации обновления парка машин для проведения работ по ремонту и реконструкции оросительных каналов.
4. Разработана математическая модель оптимального и экологически безопасного распределения землеройных машин по объектам при реконструкции и ремонте оросительно-обводнительного канала им. Е.Е. Алексеевского.
5. Проведены экспериментальные исследования новой технологии и апробация математических моделей на производстве.
6. Внедрение научных разработок позволило сократить энергозатраты и получить годовую экономию для комплексной технологии ремонта и реконструкции оросительных каналов до 7 тыс. руб./га и при оптимальном распределении техники для парка экскаваторов - 5,6 руб./м³, бульдозеров - 0,65 руб./м³, скреперов - 6,28 руб./м³.

Научный руководитель
и ответственный исполнитель,
д-р техн. наук, профессор

 Абдразаков Ф.К.

Исполнитель,
канд. техн. наук, ст. преподаватель

 Горюнов Д.Г.

Директор Саратовского оросительно-обводнительного канала - филиала ФГУ Управление «Саратовмелиоводхоз»



 Аксиненко В.Ф.

Продолжение приложения М

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НИР
ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»

Голубев А.В.
_____ 09 _____ 26 _____ 2005 г.

УТВЕРЖДАЮ
Начальник управления мелиорации
и технического обеспечения
Федерального агентства
по сельскому хозяйству
Минсельхоза РФ

Гулук Г.Г.
_____ 09 _____ 26 _____ 2005 г.

АКТ
от « 2 » _____ сентября _____ 2005 г.
о внедрении законченной научно-исследовательской работы

Мы, ниже подписавшиеся, представитель ФГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» в лице руководителя НИР, заведующего кафедрой «Организация и управление инженерными работами», профессора Абдразакова Фярида Кинжаевича и представитель ФГУ Управление «Саратовмелиоводхоз» в лице первого зам. директора Гордиенко Василия Викторовича составили настоящий акт в том, что научно-исследовательская работа по договору № 26/05 на тему: «Разработка ресурсосберегающих технологий, комплекса технических средств и мероприятий для орошаемого земледелия и эффективного строительства, эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем», выполненная ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» (руководитель и ответственный исполнитель – доктор технических наук, профессор Абдразаков Ф.К., исполнитель: специалист, кандидат технических наук Горюнов Д.Г. и др.) завершена согласно календарному плану в полном объеме.

За время действия договора выполнены следующие работы:

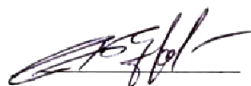
1. Проведен патентно-литературный поиск и анализ ресурсосберегающих технологий, технических средств и мероприятий для орошаемого земледелия, строительства, эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем.

Продолжение приложения М

2. Разработана комплексная технология ремонта и реконструкции оросительных каналов и основные теоретические положения для определения рационального технического обеспечения технологического процесса.
3. Разработана математическая модель оптимизации обновления парка машин для реконструкции инженерно-мелиоративных систем.
4. Разработана экономико-математическая модель оптимального и экологически безопасного распределения землеройных машин по производственным объектам при реконструкции и ремонте инженерно-мелиоративных систем.
5. Разработаны новые машины для очистки мелиоративных объектов от древесно-кустарниковой растительности: усовершенствованный маятниковый телескопический кусторез МК-2М(СГАУ) и подборщик-собираатель ПС-2(СГАУ).
6. Проведены экспериментальные испытания опытных образцов машин кустореза МК-2М(СГАУ) и подборщика-собираателя ПС-2(СГАУ) в производственных условиях.
7. Годовая экономия при внедрении разработанных технологических и технических решений составила: для комплексной технологии ремонта и реконструкции оросительных каналов - 6,9 тыс. руб./га.; при оптимизации планов распределения землеройных машин для парка экскаваторов - 5,6 руб./м³, бульдозеров - 0,65 руб./м³, скреперов - 6,28 руб./м³. Прибыль при оптимальном сроке замены экскаваторов в производственных условиях ФГУ Управление «Саратовмелиоводхоз» - 443 тыс. руб. в год.

Научный руководитель
и ответственный исполнитель,
д-р техн. наук, профессор

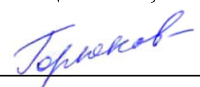
Первый зам. директора
ФГУ Управление
«Саратовмелиоводхоз»

 Абдразаков Ф.К.



 Гордиенко В.В.

Исполнитель,
специалист, канд. техн. наук

 Горюнов Д.Г.

Продолжение приложения М

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НИР
ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»

Воротников И.Л.
« » _____ 2011 г.



УТВЕРЖДАЮ
Директор Енотаевского
филиала ФГУ «Управление
«Астраханьмелиоводхоз»

Веренков П.М.
« » _____ 2011 г.



АКТ

от «3» августа 2011 г.

**об апробации и внедрении законченной
научно-исследовательской работы**

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» (ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»), в лице проректора по научной и инновационной работе Воротникова Игоря Леонидовича, с одной стороны, и представитель Енотаевского филиала ФГУ «Управление «Астраханьмелиоводхоз» в лице директора Веренкова Петра Михайловича составили настоящий акт о том, что научно-исследовательская работа на тему: «Разработка и внедрение эффективной технологии очистки оросительных каналов», выполненная ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» в 2010-2011 гг. под руководством кандидата технических наук, доцента Соловьев Д.А., завершена в полном объеме.

Выполнен комплекс мероприятий по очистке каналов открытых оросительных систем Енотаевского района Астраханской области от древесно-кустарниковой растительности и наносов, включая:

- анализ состояния каналов открытых оросительных систем;
- разработку и внедрение эффективной технологии очистки оросительных каналов, предусматривающей срезание кустарника на бермах и откосах каналов, угнетение пней, сбор и переработку срезанной растительности, а также очистку каналов от наносов;

Продолжение приложения М

- исследование работы навесного рабочего оборудования для срезания древесно-кустарниковой растительности (кусторе́з КН-3М(СГАУ) на базе трактора МТЗ-82), оборудования для угнетения пней, сборки срезанной растительности (подборщик-собира́тель ПС-2(СГАУ) на базе трактора МТЗ-82), каналоочистительного рабочего оборудования.

Использование предлагаемой технологии и комплекса технических средств позволило восстановить проектные параметры оросительных каналов и увеличить пропускную способность на различных участках до 28%.

Научный руководитель и ответственный
исполнитель, доцент кафедры «Мелиоративные
и строительные машины», канд. техн. наук



Д.А. Соловьев

Исполнители:

канд. техн. наук, доцент



Р.Н. Бахтиев

канд. техн. наук, доцент



Д.Г. Горюнов

Продолжение приложения М

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по научной и инновационной
работе ФГБОУ ВО Вавиловский

университет

К.Е. Денисов

« 12 » декабря 2023 г.



УТВЕРЖДАЮ:

Директор Энгельсского
филиала ФГБУ «Управление
"Саратовмелиоводхоз"

К.И. Чуркина

« 12 » декабря 2023 г.



АКТ

**о внедрении законченной научно-исследовательской
и опытно-конструкторской работы**

Мы, ниже подписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» в лице проректора по научной и инновационной работе Денисова Константина Евгеньевича и представителя Энгельсского филиала ФГБУ «Управление "Саратовмелиоводхоз" в лице руководителя Чуркиной Кристины Игоревны, составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы по теме «Ресурсосбережение и повышение качественных показателей полива многоопорных дождевальных машин», выполненных в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» в 2017–2023 гг., внедрены на орошаемых землях Энгельсского филиала ФГБУ «Управление "Саратовмелиоводхоз" путем непосредственного использования результатов НИР.

Разработанные и изготовленные в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» дождевальные машины «Каскад», выполненные из отечественных комплектующих, активно используются на орошаемых землях Энгельсского филиала ФГБУ «Управление "Саратовмелиоводхоз"».

Основные результаты НИР:

- исполнителями проводилась разработка и согласование проектов реконструкции орошаемых участков, включая создание экспериментального полигона орошаемого семеноводства Вавиловского университета на базе УНПО «Поволжье» (с. Степное Энгельсского района Саратовской области);
- работа дождевальных машин «Каскад» при низком давлении 0,25–0,46 МПа и при оптимальном режиме малоэнергоёмких насосов позволила снизить энергозатраты на подачу 1000 м³ воды с 475–500 кВт до 253–262 кВт (в 1,5–2,6 раза меньше, чем у ДМ «Фрегат»);
- использование подкачивающего насоса малой мощности на небольших орошаемых участках с низконапорными насосами или на крайних машинах больших участков орошения

Продолжение приложения М

позволяет стабильно поливать концевым аппаратом с радиусом захвата 25 м и дополнительно поливать до 5,3–6,7 га;

- настройка насадок при помощи регуляторов давления или регулировочных дюз и использование избыточного напора в закрытой сети на больших орошаемых участках позволяет увеличить радиус захвата дождем концевой аппарата до 35–47 м и дополнительно поливать до 6,5–12 га.

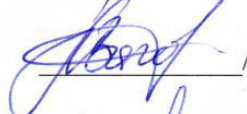
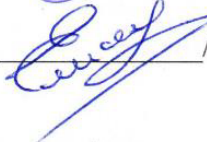
По итогам использования дождевальной машины «Каскад» исполнителями разработана малоинтенсивная, водосберегающая и почвоохранная технология полива с использованием усовершенствованных устройств. Снижена средняя интенсивность дождя в 1,3–1,7 раз; повышена равномерность полива при ветреной погоде до 0,75–0,85; снижены потери воды на испарение и снос с 15–20% до 6–9%; повышена норма полива до стока, снижено уплотнение верхнего слоя почвы, все это в совокупности приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур на 8–24%.

Дождевальные машины «Каскад» успешно работали все поливные сезоны с 2017 по 2023 годы на орошаемых землях Энгельсского филиала ФГБУ «Управление "Саратовмелиоводхоз"».

ФГБОУ ВО Вавиловский университет

Энгельсский филиал ФГБУ
«Управление "Саратовмелиоводхоз"»

Исполнители:

 / Колганов Д.А./
 / Горюнов Д.Г./
 / Загоруйко М.Г./
 / Шематурин А.И./
 / Елисеев С.С./

Представитель

 / Бабурин В.Х.

Продолжение приложения М

«СОГЛАСОВАНО»
Ректор ФГБОУ ВО
Вавиловский университет

 _____ **Д.А. Соловьев**
 «26» _____ мая 2025
 _____ **М.П.**


«УТВЕРЖДАЮ»
Директор
ООО «Мираторг-Курск»

 _____ **М.Н. Бершакова**
 «26» _____ мая 2025 г.
 _____ **М.П.**


АКТ

внедрения, реализации данных научно-исследовательской опытно-конструкторской работы и производственных испытаний системы орошения

1. Общие положения.

Комиссия в составе:

От ООО «Мираторг-Курск» (далее «Предприятие»)

- директора по орошению Логвинова И.Н.,
- руководителя гидротехнического отдела Семеринова В.Г.

От ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» (далее «Университет»)

- ректора Соловьева Д. А.;
- директора института инженерии и робототехники Бакирова С.М.;
- профессора кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство АПК» Абдразакова Ф.К.;
- заведующего кафедрой «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины» Русинова А.В.;
- доцента кафедры «Электрооборудование, энергоснабжение и роботизация» Елисеева С.С.;
- доцента кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины» Колганова Д.А.;
- доцента кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины» Горюнова Д.Г.;
- доцента кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство АПК» Рукавишникова А.А.;
- старшего преподавателя кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины» Марыновой Т.А.;
- ассистента кафедры «Электрооборудование, энергоснабжение и роботизация» Абзалова М.А.;
- ассистента кафедры «Цифровое управление процессами в АПК» Гречука Ю.Н.;

Продолжение приложения М

- инженера Акпасова В.А.

провела на базе Предприятия внедрение, реализацию данных научно-исследовательской опытно-конструкторской работы и производственных испытаний системы орошения Университета.

2. Место проведения.

Юридический адрес Предприятия: 307120, Курская область, Фатежский район, село Верхний Любаж, Западная ул., влд. 6.

Фактический адрес проведения работ: Курская область, Октябрьский район, с. Черницыно, с кадастровыми номерами участков: 46:17:000000:1431; 46:17:111207:6; 46:17:111207:7; 46:17:111207:8; 46:17:110000:17; 46:17:111207:10; 46:17:111208:4.

3. Цель внедрения.

Определить достоверность данных в производственных условиях:

- энергоэффективность полива дождеванием земель сельскохозяйственного назначения;
- работоспособность системы синхронизации движения в линию приборов ПСЛ дождевальных машин кругового действия на основе индукционных датчиков;
- действие датчика послойного контроля влажности почвы;
- эффективность разработанных ресурсосберегающих технологий и математических моделей оптимизации мелиоративного производства;
- эффективность очистки оросительной воды в фильтре грубой очистки;
- эффективность применения разработанных дождеобразующих устройств и схемы их расстановки на водопроводящем поясе дождевальных машин;
- оценить качественные показатели дождя дождеобразующих устройств со статическим и вращающимся дефлекторами, устанавливаемых на дождевальных машинах кругового действия;
- оценить негативное воздействие дождевальной машины кругового действия на почву и сельскохозяйственное растение.

4. Методика выполнения проверки.

4.1. Подготовка полевого места испытаний. Описание технических и технологических характеристик процесса. Расчет диапазонов изменения выходных параметров.

4.2. Проведение измерений. Сборка схем и наладка технологического оборудования. Снятие, фиксация и контроль показаний. Сохранение и обработка данных экспериментов.

4.3. Оценка результатов экспериментов и подготовка заключения.

5. Заключение.

В результате проведения исследований получены следующие данные:

- доказана энергоэффективность полива дождеванием земель сельскохозяйственного назначения с использованием энерго-ресурсосберегающих способов и технических средств при изготовлении дождевальных машин кругового действия;

Продолжение приложения М

- установлена работоспособность системы синхронизации движения в линию приборов на основе индукционных датчиков в полевых условиях;
- получена достоверность данных измерения влажности почвы с помощью датчика послойного контроля влажности;
- подтверждена эффективность предложенных ресурсосберегающих технологий и математических моделей оптимизации мелиоративного производства;
- полевыми исследованиями установлено, что поверхностный сток оросительной воды при поливе в среднем составил 4,2%, а объем твердого стока в среднем за период исследований составил 1,1 т/га;
- вынос питательных веществ: гумуса, азота, фосфора и калия из почвы при поливе составил соответственно: 108; 11; 3 и 43 кг/га;
- подтверждена экологическая эффективность применения дождевальных машин с теоретическими данными;
- установлена эффективность применения фильтра грубой очистки с диаметром ячейки сетки от 1,0...3,2 мм² с сохранением потерь давления в нормативных значениях;
- установлено, что применение разработанных дождеобразующих устройств по предлагаемой схеме расстановки на водопроводящем поясе дождевальных машин обеспечило более качественное распределение дождя по всему фронту работы машины, минимизировав недополив и переувлажнение орошаемого участка;
- определены качественные показатели дождя (диаметр капель дождя, интенсивность дождя, мощность дождя, равномерность полива, потери дождя на испарение и снос ветром) дождеобразующих устройств со статическим и вращающимся дефлекторами, устанавливаемых на дождевальных машинах кругового действия;
- выполнена оценка величины и факторов негативного воздействия дождя и ходовой системы дождевальной машины кругового действия на почву и сельскохозяйственное растение;
- подтверждена возможность восстановления проектных характеристик оросительного канала за счёт технического перевооружения и применения современных технологий реконструкции с использованием композитных материалов.

Полученные данные подтверждаются теоретическими положениями.

От Предприятия:

Директор по орошению

Руководитель гидротехнического
отдела



И. Н. Логвинов



В. Г. Семеринов

Продолжение приложения М

Исполнитель – д.т.н., профессор

 Абдразаков Ф.К.

Исполнитель – к.т.н.

 Елисеев С. С.

Исполнитель – к.т.н.

 Горюнов Д. Г.

Исполнитель – аспирант

 Абзалов М.А.

Исполнитель – аспирант

 Марынова Т.А.

Исполнитель – к.т.н., доцент

 Русинов А.В.

Исполнитель – к.т.н.

 Колганов Д.А.

Исполнитель – к.т.н.

 Рукавишников А.А.

Исполнитель – аспирант

 Гrepечук Ю.Н.

Исполнитель – инженер

 Акпасов В.А.

Продолжение приложения М**СОГЛАСОВАНО:**

Проректор по научной
и инновационной работе
ФГБОУ ВО Вавиловский
университет

К.Е. Денисов

«25» февраля 2025 г.

**УТВЕРЖДАЮ:**

Директор по развитию
ООО «НПО «Мелиоратор»

В.В. Барабанов

«25» февраля 2025 г.

**АКТ**

**о внедрении законченной научно-исследовательской
и опытно-конструкторской работы**

Мы, нижеподписавшиеся, представитель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» в лице проректора по научной и инновационной работе Денисова Константина Евгеньевича и представитель ООО «НПО «Мелиоратор» в лице директора по развитию Барабанова Владимира Владимировича, составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы по теме «Научно обоснованные ресурсосберегающие технологии и технические комплексы для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем», выполненной в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» в 2024-2025 гг., внедрены в ООО «НПО «Мелиоратор» (Россия, Волгоградская обл., г. Волжский) путем непосредственного использования результатов НИР.

Основные результаты НИР:

– разработана технология сборки дождевальных машин кругового действия, основанная на применении блочно-модульного принципа монтажа и позволяющая производить одновременную сборку двух и более пролетов;

Продолжение приложения М

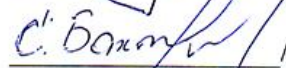
- предложена математическая модель, позволяющая определить оптимальный вариант расположения специализированной монтажной площадки для сборки пролетов дождевальных машин и сократить транспортные расходы на 9-11 %;
- разработана технология эксплуатации ДМ «Каскад», включающая полный комплекс работ по техническому обслуживанию дождевальных машин;
- проведены исследования оптимизационной модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия, которые позволили определить для дождевальных машин «Каскад», оптимальные длины участков трубопровода под имеющиеся геометрические размеры орошаемых полей, что позволило сократить число самоходных тележек, снизить массу и энергозатраты при работе машин на 8-10 %.

ФГБОУ ВО Вавиловский
университет

ООО «НПО «Мелиоратор»

Исполнители:

Представитель:

 /Горюнов Д.Г./
 /Акпасов В.А./
 /Колганов Д.А./
 /Садаев М.С./
 /Марынова Т.А./
 /Бахтеев С.В./
 /Грепечук Ю.Н./

 /Барабанов В.В./

Продолжение приложения М

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по научной
и инновационной работе
ФГБОУ ВО Вавиловский
университет


К.Е. Денисов
«26» июня 2026 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Энгельсского филиала
ФГБУ «Управление
«Саратовмелиоводхоз»


К.И. Чуркина
«26» июня 2026 г.

АКТ

**о внедрении законченной научно-исследовательской
и опытно-конструкторской работы**

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» в лице проректора по научной и инновационной работе Денисова Константина Евгеньевича и представителя Энгельсского филиала ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» в лице руководителя Чуркиной Кристины Игоревны, составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы по теме «Научно обоснованные ресурсосберегающие технологии и технические комплексы для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем», выполненных в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» в 2023-2026 гг. внедрены в Энгельсском филиале ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» путем непосредственного использования результатов НИР.

Разработанные в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» ресурсосберегающие технологии эксплуатации, ремонта, реконструкции оросительных систем и математические модели оптимизации технических комплексов, применяются на оросительных системах Энгельсского филиала ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз».

Основные результаты НИР:

- исполнителями проводилась разработка, цифровое имитационное моделирование и производственные исследования ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем, а также математических моделей оптимизации технических комплексов;
- в ходе проведенных исследований подтверждено снижение энергозатрат относительно базовых технологий: для ресурсосберегающей технологии эксплуатации оросительных каналов на 44-46 %; для ресурсосберегающей технологии ремонта и реконструкции оросительных каналов на 10-12 %; для ресурсосберегающей технологии ремонта напорных трубопроводов на 9-11 %; для ресурсосберегающей технологии реконструкции напорных трубопроводов на 11-13 %;

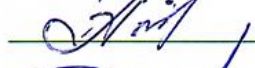
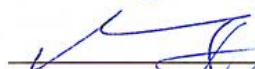
Продолжение приложения М

- производственные испытания технологии сборки дождевальных машин кругового действия, с определением оптимального местоположения монтажной площадки, показали снижение суммарных энергозатрат транспортных работ на 9-12 %;
- апробация оптимизационной математической модели интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией показала возможность достижения экономии электроэнергии до 16-20 %;
- при исследовании оптимизационной математической модели формирования парка машин, было определено, что наиболее эффективными для ресурсосберегающих технологий эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем являются кусторез марки КН-3М и одноковшовый экскаватор ЭО-3323М, разработанные в ФГБОУ ВО Вавиловский университет, снижение энергозатрат при эксплуатации оптимизированного парка машин достигает 15-18 %;
- экспериментальные исследования оптимизационной математической модели обновления парка машин определили, что оптимальный срок замены кустореза КН-3М составляет 11-13 лет, экскаватора ЭО-3323М – 10-12 лет, снижение энергозатрат при оптимизации обновления составляет 38-40 %;
- в ходе экспериментальных исследований оптимизационной математической модели распределения парка машин проводилась оптимизация производственных планов распределения техники, что позволило сократить энергозатраты для парка кусторезов и одноковшовых экскаваторов на 12-14 %;
- экспериментальная апробация оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия позволила определить для дождевальной машины «Каскад» оптимальные длины трубопровода под имеющиеся геометрические размеры орошаемых участков, что позволило сократить число самоходных тележек, снизить массу и энергозатраты при работе машин на 8-10 %.

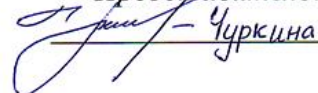
ФГБОУ ВО Вавиловский
университет

Энгельсский филиал
ФГБУ «Управление
«Саратовмелиоводхоз»

Исполнители:

 /Горюнов Д.Г./
 /Акпасов В.А./
 /Колганов Д.А./
 /Садаев М.С./
 /Марынова Т.А./
 /Бахтеев С.В./
 /Грепечук Ю.Н./

Представитель:

 - Чуркина К.И.

Продолжение приложения М

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по научной
и инновационной работе
ФГБОУ ВО Вавиловский
университет

К.Е. Денисов

20 26 г.

**УТВЕРЖДАЮ:**

Директор
ООО «Мелиоративные машины»

С.В. Гомберг

«15» _____ 20 26 г.

**АКТ**

**о внедрении законченной научно-исследовательской
и опытно-конструкторской работы**

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» в лице проректора по научной и инновационной работе Денисова Константина Евгеньевича и представителя ООО «Мелиоративные машины» в лице директора Гомберга Сергея Владимировича, составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы по теме «Научно обоснованные ресурсосберегающие технологии и технические комплексы для эксплуатации, ремонта и реконструкции оросительных систем», выполненных в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» в 2023-2026 гг. внедрены в ООО «Мелиоративные машины» путем непосредственного использования результатов НИР.

Разработанные в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» оптимизационные математические модели определения оптимальных координат монтажных площадок сборки дождевальных машин, интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией и компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия применяются в производственной деятельности предприятия.

Основные результаты НИР:

- апробация математической модели определения оптимальных координат монтажных площадок в технологии сборки дождевальных машин показала возможность сокращения энергозатрат транспортных работ на 10-11 %;
- экспериментальные исследования оптимизационной математической модели интеллектуального управления подкачивающей насосной станцией, подтвердили, что применение интеллектуальной системы управления (ИСУ)

Окончание приложения М

по сравнению с классическим принципом управления позволяет достичь экономии электроэнергии в размере 17-20 %;

– экспериментальная апробация оптимизационной математической модели компоновки водопроводящего трубопровода дождевальной машины кругового действия, адаптированной к конфигурации орошаемого поля, позволила определить, оптимальные длины участков трубопровода под имеющиеся геометрические размеры орошаемого поля, что дало возможность сократить число самоходных тележек, уменьшить массу машин и снизить энергозатраты на 8-10 %.

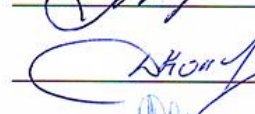
ФГБОУ ВО Вавиловский
университет

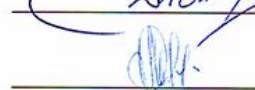
ООО «Мелиоративные машины»

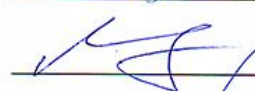
Исполнители:

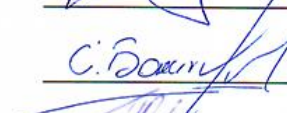
 /Горюнов Д.Г./

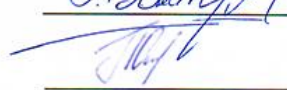
 /Акпасов В.А./

 /Колганов Д.А./

 /Садаев М.С./

 /Марынова Т.А./

 /Бахтеев С.В./

 /Грепечук Ю.Н./

Представитель:

