

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»  
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)

На правах рукописи

**Хецуриани Елгуджа Демурович**

**НАУЧНО -ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБУСТРОЙСТВО  
ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ  
НА ЮГЕ РОССИИ**

Специальность: 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

Диссертация  
на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Научный консультант –  
Васильев Сергей Михайлович,  
доктор технических наук,  
профессор

Новочеркасск-2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 ПРОБЛЕМЫ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ .....	17
1.1 Техническая схема регулирования и распределения водных ресурсов .	17
1.2 Инновационные разработки по усовершенствованию конструкций водозаборных сооружений на внутрихозяйственных оросительных системах .....	24
1.3 Функциональный анализ обустройства водозаборных сооружений оросительных систем .....	31
Выводы по главе 1 .....	42
2 ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ЮГЕ РОССИИ .....	44
2.1 Оценка технического и технологического состояния водозабора Райгородской оросительной системы (г. Волгоград).....	44
2.2 Оценка технического и технологического состояния оросительного водозабора на Донском магистральном канале .....	57
2.3 Оценка технического и технологического состояния водозабора Александровский Ростовской области.....	62
2.4 Оценка технического и технологического состояния водозабора Невинномысского оросительного канала (г. Ставрополь) .....	81
2.5 Оценка технического и технологического состояния водозабора Константиновской оросительной системы.....	87
Выводы по главе 2.....	90
3 НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ТИПА ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	93
3.1 Научные концепции создания специализированного типа природно-технической системы .....	93

3.2	Концептуальная модель специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС».....	95
3.3	Научные основы методологии системного анализа и синтеза специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС» .....	101
3.4	Экономико-математическая модель специализированного типа природно-технической системы .....	116
3.5	Зоны влияния оросительных водозаборов в пределах рассматриваемых бассейновых геосистем.....	130
3.6	Классификация зон влияния действующих водозаборов оросительных систем как фактора обеспечения функциональной работы.....	132
	Выводы по главе 3.....	136
4	КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА (КТР-1) ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ВОДОЗАБОРОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ.....	139
4.1	Основные аспекты проблемы обеспечения функциональной работы водозаборов оросительных систем.....	139
4.2	Расчёт мягких наплавных конструкций оросительного водозабора ....	145
4.3	Оптимизация параметров мягких конструкций водоохраных сооружений	156
4.4	Расчёт водоохраных сооружений напорного типа на волновые нагрузки	160
4.5	Лабораторные исследования по поиску оптимальных решений на основе математического моделирования.....	172
	Выводы по главе 4.....	182
5	КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА (КТР-2) ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ВОДОЗАБОРОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТ СИНЕ-ЗЕЛЁНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ .....	184
5.1	Изменение качества забираемой на полив воды .....	184
5.2	Лабораторные исследования по определению электрического заряда цианобактерий .....	189

5.3 Экспериментальные исследования по разработке конструктивно-технологической схемы .....	191
5.4 Разработка компьютерной гидродинамической модели течения потока для защиты водозаборов от сине-зелёных водорослей в придонных слоях водоёма – водоприёмника.....	218
Выводы по главе 5.....	241
<b>6 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА (КТР-3) ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТ БИООБРАСТАНИЯ.....</b>	<b>243</b>
6.1 Краткая характеристика речной дрейссены <i>Dreissena polymorpha</i> .....	243
6.2 Анализ существующих способов защиты водохозяйственного технологического комплекса от дрейссены .....	245
6.3 Экспериментальные исследования по разработке электроимпульсного способа защиты оросительных систем от дрейссены .....	254
Выводы по главе 6.....	266
<b>7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ВОДОЗАБОРОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ .....</b>	<b>268</b>
7.1 Экономическая оценка эффективности применения систем орошения в аграрном производстве .....	268
7.1.1 Расчёт экономической эффективности.....	270
7.1.2 Кошпаенс – система доходов и расходов при возделывании сельскохозяйственных культур как инструмент функциональной работы водозаборов оросительных систем.....	275
7.1.3 Результаты исследования и их обсуждение.....	279
7.2 Экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии в работе действующего водохозяйственного комплекса Александровский Ростовской области .....	281

7.3 Оценка экономической эффективности разработанных специализированных устройств по защите мелиоративного водозабора Невинномысского оросительного канала (г. Ставрополь).....	282
7.4 Оценка эффективности разработанных специализированных устройств по защите водозабора Райгородской оросительной системы Светлоярского района Волгоградской области .....	284
7.4.1 Данные, характеризующие водную биоту района намечаемой деятельности.....	284
7.4.2 Влияние водозабора на состояние водных биологических ресурсов.....	285
7.4.3 Влияние дноуглубительных работ на состояние водных биологических ресурсов .....	286
7.4.4 Расчёт размера вреда водным биоресурсам .....	289
7.5 Оценка экономической эффективности разработанных специализированных устройств по защите мелиоративного водозабора ООО «Дары садов» Цимлянского района Ростовской области.....	300
7.6 Оценка экономической эффективности разработанных специализированных устройств по защите мелиоративного водозабора Донского магистрального канала Ростовской области.....	307
7.7 Оценка экономической эффективности разработанных специализированных устройств по защите мелиоративного водозабора Константиновской оросительной системы.....	313
Выводы по главе 7 .....	322
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	327
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	330
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	331
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	332
ПРИЛОЖЕНИЕ А. акты внедрения .....	367
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. патент на изобретения и полезную модель, свидетельство о государственной регистрации программы .....	379

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследований.** В настоящее время в федеральной собственности РФ имеется 3826,2 тыс. га. мелиорируемых земель, более 60 тысяч гидротехнических сооружений, из них 250 водохранилищ, более 2,0 тысяч регулирующих и распределительных гидроузлов, 1,8 тысяч водозаборных насосных станций, почти 43,0 тыс. км водопроводящих и сбросных каналов и свыше 3,0 тысяч защитных дамб, валов и других водных объектов. На сегодня в стране орошаемый клин образует 2870 тыс. га, однако удельный вес поливаемых площадей составляет менее 50 %.

Актуальность темы исследования обусловлена следующими проблемами:

- **во-первых**, износом мелиоративных систем и гидротехнических сооружений (ГТС). Большая часть основных фондов создана в 60–80-е годы прошлого столетия. Более 70 % оросительных и осушительных систем нуждаются в проведении работ по модернизации, техническому усовершенствованию, перевооружению и восстановлению. Средний процент износа крупных ГТС включая водозаборные сооружения оросительных систем составляет 56 %, средних – 34 %. По данным проведенной инвентаризации водохозяйственных объектов, находящихся в ведении Минсельхоза России, требуют реконструкции и восстановления сооружения: 72 водохранилища, 240 регулирующих гидроузлов и 1,2 тыс. км защитных дамб и валов, имеющих износ более 50 %;

- **во-вторых**, потепление климата на 2<sup>0</sup>С привело к резкому цветению и к увеличению масштабов площадей эвтрофикаций поверхностных водоемов, которые является одним из основополагающих водных ресурсов в орошаемом земледелии.

- **во-третьих**, из всего объема водопользования по России более 40 % из поверхностных источников забирается для нужд ирригации. При ухудшении качественных показателей водоисточников по показателям содержания нано-

сов и водорослей существенно нарушается работа многих элементов оросительных систем. Недостаточно очищенная оросительная вода приводит к ухудшению показателей функциональной работы насосного оборудования, заилению трубопроводов и каналов. Снижается пропускная способность и засоряются насадки дождевальных машин, выходят из строя фитинги. Вместе с оросительной водой из поверхностных водоёмов в водопроводящую систему попадает молодь рыб, которая в последующем гибнет.

В связи с вышеизложенным представляется актуальным научно-технологическое обустройство и разработка усовершенствованных конструкций, повышающих качество работы водозаборных сооружений, от которых значительно зависит работоспособность всей оросительной системы.

Работа выполнена в соответствии с научной тематикой ФГБНУ «РосНИИПМ», тема 2.1.13 «Провести исследования и разработать методические указания по эффективному техническому обслуживанию рыбозащитных сооружений головных водозаборов магистральных каналов мелиоративных систем.

**Степень разработанности темы.** Значительный вклад в изучение и совершенствование водозаборных сооружений оросительных систем внесли отечественные и зарубежные учёные: А.С. Овчинников, В.В. Бородычёв, П.А. Михеев, Ю. А. Свистунов, Е. В. Кузнецов, Г. В. Дегтярёв, А. А. Пахомов, М.А. Бандурин, М. С. Григоров, В. В. Козин, Г. В. Ольгаренко, С. М. Васильев, Т.Ю. Хаширова, В. В. Денисов, В. Л. Бондаренко, А. М. Бондаренко, И. В. Ольгаренко, П. В. Иванов, В. А. Волосухин, А. А. Ткачёв, М. Г. Журба, А. И. Ылясов, Е. А. Семёнова, Г. Т. Балакай, G. Ceballos, T. Fidelis, B. Haworth, B. Hjoerland, T. Richard, D. Thilo и многие другие.

Усовершенствование работы мелиоративных систем изложено в трудах Ц. Е. Мирцхулавы, В. И. Ольгаренко, Г.В. Ольгаренко, В. Ф. Лобойко, А.Р. Хафизова, А. А. Ткачёва, А.Д. Ахмедова, А.А. Пахомова, Н.Ф. Рыжко, Ф.К. Абдразакова, Д.А. Соловьева, А.И. Есина, Н. С. Кошкина, L. A. Rlchrds, J. D. Rhoades, F. M. Eaton и др.

Известные отечественные и зарубежные научно-технические разработки, безусловно, повысили надёжность работы оросительных систем, однако с учётом современных эколого-экономических и технических требований уровень качества работы водозаборных сооружений в настоящее время является недостаточным.

**Цель исследований.** Научное обоснование и разработка технологических решений по обустройству водозаборных сооружений оросительных систем, направленных на повышение качества оросительной воды и эффективности эксплуатации мелиоративного оборудования в составе специализированного типа природно-технической системы.

**Задачи исследований.**

1. Обосновать актуальность исследований в области совершенствования водозаборных сооружений оросительных систем, на основе обзора и анализ существующих научных публикаций и разработок.

2. Провести обследование технического состояния действующих водозаборных сооружений оросительных систем на юге России и определить проблемные позиции в плане защиты элементов оросительных систем от биогенных и механических загрязнителей.

3. Научно обосновать и разработать специализированный тип природно-технической системы, и создать структурную схему функционирования.

4. Провести экспериментальные исследования для разработки защитного устройства от механических и биологических загрязнений оросительной воды, и подтвердить оптимальные технико-эксплуатационные параметры усовершенствования мягкого наплавного устройства.

5. Провести экспериментальные исследования по электроосаждению водорослей на лавсановые волокна для последующей разработки технических и технологических решений по защите отбираемой оросительной воды от водорослей.

6. Разработать методику расчёта транзитного русла для понижения температуры придонного слоя с целью снижения интенсивности размноже-

ния водорослей и повышения скорости выноса их перед водозаборным сооружением насосной станции.

7. Провести экспериментальные исследования по электроинаktivации дрейссены электроимпульсным способом для последующей разработки средств защиты от биообрастания механического оборудования и засорения элементов техники полива.

8. Дать экономическую оценку применения разработанных специализированных защитных устройств на водозаборных сооружениях.

**Научная новизна работы заключается в следующем:**

– обоснован системный подход для разработки оснащения водозаборных сооружений оросительных систем и сформулированы основополагающие принципы и этапы организации процессов взаимосвязи, взаимодействия, взаимоотношений природных и техногенных компонентов;

– разработан специализированный тип природно-технической системы «Водный объект – Водозаборные сооружения – Оросительная система» для агропромышленного комплекса;

– экспериментально получена функциональная зависимость эффективности защиты оросительной воды от механических загрязнений, которая зависит от глубины расположения, скорости воды и угла между осями течения потока и инженерного устройства. Конструктивно-технологическая разработка «Водозаборное сооружение» (патент на изобретение № 2697379) для защиты от механических и биологических загрязнений мелиоративных водозаборов;

– получены зависимости цветности и мутности воды от времени электроосаждения водорослей на защитных ершах и предложена конструктивно-технологическая разработка «Приёмник промывных вод очистного устройства водозабора» (патент на полезную модель № 121499);

– предложена конструктивно-технологическая разработка «Очистное устройство водозабора» (патент на полезную модель № 120096) для защиты

от мусора растительного происхождения и водорослей на водозаборном сооружении;

– разработана математическая модель расчёта трассы транзитного русла, с целью снижения интенсивности размножения водорослей в придонном слое водоприёмника;

– предложена конструктивно-технологическая разработка «Завеса для удерживания рыб на водозаборах» (патент на полезную модель № 120097) для защиты рыб от попадания в водозаборные сооружения оросительных систем;

– экспериментально определены оптимальные параметры электрических импульсов защитного устройства от биообрастания мелиоративного оборудования.

– предложена конструктивно-технологическая разработка «Фильтрующий водоприёмник с рыбозащитным устройством для водозаборов из поверхностных водоисточников»;

– разработана компьютерная программа «Проектирование и расчёт плавучих насосных станций» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611905) для выбора и расчёта оптимальных параметров водоисточника для бесперебойной работы оросительных систем с максимальной эффективностью и энергетической экономичностью.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

- предложен системный подход, позволяющий комплексную защиту водозаборных сооружений оросительных систем, обеспечивающий надёжную работу эксплуатационного оборудования и должное функциональное обслуживание агропромышленного комплекса;

- сформулированы основополагающие принципы и этапы организации и динамики процессов взаимосвязи, взаимодействия, взаимоотношений природных и техногенных компонентов, позволяющие разработать специализированный тип ПТС, направленных на повышение качества воды и эффективности эксплуатации мелиоративного оборудования;

- рекомендованы новые способы улучшения качества поверхностных вод, технологических приёмов улучшения работы водозаборных сооружений оросительных систем для сохранения рыбных ресурсов, повышения качества воды и эффективности эксплуатации оросительных систем;

- разработаны конструкции устройства по обеспечению устойчивого отбора расчётных расходов воды при различных уровнях режимах водного объекта с защитой от механических загрязнений оросительной воды;

- предложены универсальные ерши, обеспечивающие электроосаждение мусора растительного происхождения, сине-зелёных водорослей и защиту от попадания в водоприёмник молоди рыб;

- технические и технологические решения по защите от обрастания инженерно-мелиоративного оборудования с помощью применения электроинaktivаций дрейссены на входе всасывающих трубопроводов насосных станций;

- дана экономическая оценка эффективности разработанных технических решений;

- разработаны рекомендации по обустройству водозаборных сооружений оросительных систем, обеспечивающие повышение качества воды и эффективность эксплуатации мелиоративного оборудования на оросительных системах.

**Методология и методы исследования.** Методология исследований основывается на факторе системного подхода, экономико-математических приёмов, имитационного моделирования, информационных базах данных и методики натурных исследований. В работе использованы эмпирические и теоретических методах исследования. Решения проблемных задач проводились по известным теоретическим положениям физики, гидравлики, теории планирования эксперимента, физического и математического моделирования. Экспериментальной базой лабораторных исследований служили установки, изготовленные в ФГБНУ «РосНИИПМ». Лабораторные исследования проводились на научно-производственной базе ФГБНУ «РосНИИПМ», ООО НПП

«ЭКОФЕС». Экспериментальной базой натуральных исследований служили пилотные установки, смонтированные на действующих водозаборах мелиоративных систем.

Информационно-эмпирическую базу исследования составляли официальные данные бассейновых управлений, а также материалы о развитии и использовании водных ресурсов в орошаемом земледелии.

**Положения, выносимые на защиту:**

- технологические и технические решения обустройства водозаборных сооружений оросительных систем, необходимые для качественной очистки забираемой воды от механических и биологических загрязнителей;

- результаты исследований технического и технологического состояния функциональной работы действующих водозаборных сооружений оросительных систем на юге России;

- системный подход к разработке специализированного типа природно-технической системы и модель схемы функционирования водозаборных сооружений оросительных систем;

- экспериментальные исследования разработки защитного устройства от механических и биологических загрязнений оросительной воды с обоснованием оптимальных технико-эксплуатационных параметров мягкого наплавного устройства;

- технические и технологические решения по защите отбираемой оросительной воды от водорослей при электроосаждении их на лавсановые волокна;

- принципы и методика расчёта транзитного русла для понижения температуры придонного слоя с целью снижения интенсивности размножения водорослей и повышения скорости выноса их из водоисточника перед насосными станциями;

- инновационная конструкция электроинактивации дрейссены от биообрастания механического оборудования и засорения элементов техники полива;

- экономическая оценка эффективности разработанных специализированных защитных устройств водного потока от механических и биологических загрязнений на водозаборных сооружениях оросительных систем.

### **Степень достоверности и апробация работы.**

Основные положения, выводы и рекомендации научно обоснованы с позиций теорий вероятности, математической статистики и моделирования на ЭВМ. Достоверность полученных математических моделей основана на применении классических методов вариационного исчисления. Опытные данные научных исследований получены в результате использования общеизвестных методик лабораторных и натурных экспериментов, метрологически аттестованных приборов и стандартного оборудования промышленного изготовления. Базы данных автоматизированной информационной системы заполнены информацией на основе документальных материалов из бассейновых управлений, проектных и эксплуатационных организаций водного хозяйства.

Достоверность новизны защитных устройств подтверждается четырьмя патентами и полезными моделями на изобретения и одной компьютерной программой на ЭВМ, а также апробацией результатов исследований на мелиоративных объектах.

Основные положения и результаты работы представлялись и получили одобрение на: Международной научно-практической конференции «Перспективы развития научно-технического сотрудничества стран – участниц Евразийского экономического союза» (г. Астрахань, 9–11 ноября 2016 г.), X Международной научно-практической конференции «ТЕХНОВОД-2017» (г. Астрахань, 5–7 октября 2017 г.), III Национальной конференции профессорско-преподавательского состава и научных работников ЮРГПУ(НПИ) имени М. И. Платова (г. Новочеркасск, 2017 г.), Международной научно-практической конференции научно-исследовательского института рыбного хозяйства «Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем» (г. Ростов-на-Дону, 11–12

декабря 2018 г.), Международной конференции «Современные тенденции в производственных технологиях и оборудовании» (ICMTMTE 2019, Севастополь, 9–13 сентября 2019 г.), International Science and Technology Conference “Earthscience” (Rusky Island, Russian Federation, 4–6 March 2019), International Multi Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies “FarEastCon” (Vladivostok, Russia, 1–4 Oct. 2019), International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2019 (Sevaspol, Russian Federation, 9–13 Sept. 2019), IV Национальной конференции профессорско-преподавательского состава и научных работников ЮРГПУ(НПИ) имени М. И. Платова (г. Новочеркасск, 14 мая 2019 г.), IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2020. - Vol. 913 (5): International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development" (CATPID-2020). - Part 1 26-30 September 2020, Nalchik, Russian Federation. - № 052038. – URL, Экология и здоровье: материалы VII Межрегиональной науч.-практ. студ. конф., посвящ. 90 летию ФГБОУ ВО РостГМУ Минздрава России, г. Ростов-на-Дону, 25 сент. 2020 г. / Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции. - Волгоград: Сфера, 2020, Современные рыбные ресурсы и аквакультура в Азово-Черноморском бассейне: сб. совместных публикаций сотрудников ЮНЦ РАН и ДГТУ / Донской государственной технической университет; под общей редакцией акад. Г.Г. Матишова, Б.Ч. Месхи. - Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2020, E3S Web of Conferences. - 2021. - Vol. 281: IV International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development” (CATPID-2021 Part 1), Технологии очистки воды "Техновод-2021»: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., г. Сочи, Красная поляна, 14-17 дек. 2021 г. / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова. - Новочеркасск: Лик, 2021.

**Реализацию результатов научной работы** характеризуют внедренные результаты диссертационной работы при реконструкции мелиоративного во-

дозабора ООО «Дары садов» Цимлянского района Ростовской области; нормативно-справочные документы «Эксплуатация и техническое обслуживание рыбозащитных сооружений головных водозаборов» мелиоративных систем; акты апробации результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских технологических работ на участке водозаборного сооружения Донского магистрального канала; внедрённые результаты научно-исследовательских, опытно конструкторских и технологических работ при реконструкции водозаборных сооружений в Ростовской области; акт выполненных работ по оценке технического состояния и экологической безопасности ковшового водозабора для организации и технологий предочистки воды на Александровском водозаборном сооружении Ростовской области.

**Рабочая гипотеза** заключается в использовании современных достижений мелиоративной науки и техники для формирования модели специализированного типа ПТС «Водный объект – Водозаборные сооружения – Оросительная система», включающей критерии оценки стабильности проектной работы водозаборных сооружений оросительных систем, направленных на повышение качества воды и эффективности эксплуатации инженерно-мелиоративного оборудования оросительных систем.

**Объект исследований.** Водозаборные сооружения оросительных систем на юге России.

**Предмет исследований.** Технологии очистки забираемой на полив природной воды от механических и биологических загрязнителей, имитационное моделирование динамики загрязнения природно – технических систем (ПТС) в период проектирования, строительства и эксплуатации. Методы и способы защиты насосно-силового оборудования и техники полива от обрас-тания и засорения, повышение качества воды и эффективности эксплуатации водозаборных сооружений оросительных систем в составе специализированного типа ПТС.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 178 печатных работ, 11 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получен 1 патент на

изобретение, 3 полезные модели РФ, 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ и 3 монографии.

**Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения и рекомендаций производству, списка литературы. Общий объем составляет 383 страниц компьютерного текста, который включает в себя основной текст и приложения. Основной текст изложен на 366 страницах, содержит 38 таблиц, 175 рисунков. Список использованной литературы включает 383 наименования, в том числе 18 на иностранных языках.

# 1 ПРОБЛЕМЫ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

## 1.1 Техническая схема регулирования и распределения водных ресурсов

Дана характеристика бассейновой геосистеме реки Дон и посвящена обзору научных публикаций и разработок по проблемным вопросам качества воды водоисточников и функциональной работы водозаборов. Данная тема освещена в трудах Ц.Е. Мирцхулавы, Н.И., О.Г. Григоровича, В.И. Ольгаренко, И.М. Волкова, П.А. Михеева, Ю.И. Вдовина, Л.Н. Фесенко, Ю.А. Свистунова, А.Р. Хафизова, М.А. Бандурина, А.А. Ткачёва, А.И. Есина, С.М. Васильева и др. Влияние показателей качества забираемой воды на плодородие почв и на нормальное действие водозаборных сооружений, насосных станций и техники полива представлено в работах И.И. Боровиченко, И.А. Микломанова, и др. Способы борьбы с загрязнением водопроводящих путей и технические решения по улучшению их работы изложены в трудах Михеева П.А., В.Н. Шкуры, А.И. Есина, Ф.К.Абдразакова, Д.А.Соловьева, Н.Ф. Колганова, В.Ф. Илюшина, Е.Ф Павлова, А.М. Эля, А.Н Кошкина, М.В. Патапова и др.

Для головных водозаборных сооружений, берущих воду для открытой сети каналов, были проанализированы ряд патентных разработок по улучшению работы отдельных конструктивных элементов (Н.П. Лавров, Я.В. Бочкарев, М.И. Голубенко, Д.Л. Меликсет-бек, М.А. Кондюрин, Ю.И. Вдовин, С.М. Васильев и др.).

Такие исследователи, как Ю. А. Свистунов, В. И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, Ц. Е. Мирцхулава, Н. И. Христов, Г. В. Дегтярев, В. А. Солнышков, О. Г. Григорович, В. И. Ольгаренко, Н. Е. Жуковский, А. А. Пахомов, В. Н. Лохтин, Н. С. Кошкин, L. A. Rlchrds, J. D. Rhoades, F. M. Eaton и др., отмечают, что в последние годы функционирование мелиоративных систем в большинстве регионов РФ осложняется из-за несовершенства мелиоративных технологий, загрязнения и эвтрофикации водоёмов и т. д., что приводит

к ухудшению эксплуатационных характеристик мелиоративной системы и, как следствие, изношенности всех инженерно-технических сооружений.

Перечисленные выше проблемы усугубляются ещё и тем, что забираемый насосами недостаточно очищенная вода с дрейссеной попадает в конструкции мелиоративных систем, засоряя до 25 % дождевальных аппаратов и насадок дождевальных машин, приводит к зарастанию напорных трубопроводов закрытой оросительной сети. В результате увеличивается нагрузка на насосные станции, соответственно это способствует энергозатратам на перекачку оросительной воды, качество и эффективность полива в значительной степени снижаются, что в целом приводит к потере урожайности сельскохозяйственных культур [2, 4, 15, 16, 59, 67, 144, 213].

Цимлянское водохранилище осуществляет многолетнее компенсационное регулирование стока реки Дон [150, 156, 157, 158, 229, 233, 267]. Цимлянское водохранилище расположено на р. Дон в его нижнем течении между г. Калач-на-Дону и г. Цимлянск на территории Ростовской и Волгоградской областей. Створ плотины находится в 309 км от устья реки Дон. Площадь водосбора к створу Цимлянского гидроузла составляет 255 тыс. км<sup>2</sup> или 60 % от водосборной площади всего бассейна реки Дон (422 тыс. км<sup>2</sup>). Цимлянское водохранилище имеет при НПУ площадь зеркала 2702 км<sup>2</sup> и полный объём 23,86 км<sup>3</sup> при среднегодовом объёме стока реки Дон в створе Цимлянского гидроузла (21,0 км<sup>3</sup>). Длина Цимлянского водохранилища в пределах распространения подпора в меженный период составляет: по прямолинейным участкам, спрямляющим затопленные излучины – 260 км, по старому фарватеру Дона – 360 км. Проектный судовый ход по водохранилищу от плотины до входа в Волго-Донской канал имеет длину 186 км (по старому фарватеру 248 км). Максимальная сработка водохранилища составляет 5,0 м. В левобережной части земляной плотины Цимлянского гидроузла расположено головное сооружение Донского магистрального канала (ДМК), обеспечивавшего в годы максимального развития орошения земель на Нижнем Дону самотечную подачу воды на орошение около 250 тыс. га земель Ростовской области –

крупнейшего массива орошения в бассейне Дона. Головной шлюз ДМК имеет расчётную пропускную способность  $250 \text{ м}^3/\text{с}$  при наполнении водохранилища до отметки не ниже  $33,35 \text{ м}$ . Питание Волго-Донского судоходного канала (ВДСК) осуществляется из Цимлянского водохранилища насосными станциями с расчётным годовым объёмом  $309 \text{ млн м}^3$ , расходом  $16 \text{ м}^3/\text{с}$ . На трассе ВДСК расположены Карповское, Варваровское и Береславское водохранилища общим объёмом  $333 \text{ млн м}^3$ , являющиеся транзитным судоходным бьефом и одновременно используемые для регулирования естественного стока р. Карповки и р. Червленной [304, 310, 311, 322,324, 329] (рис. 1.1, табл. 1.1).

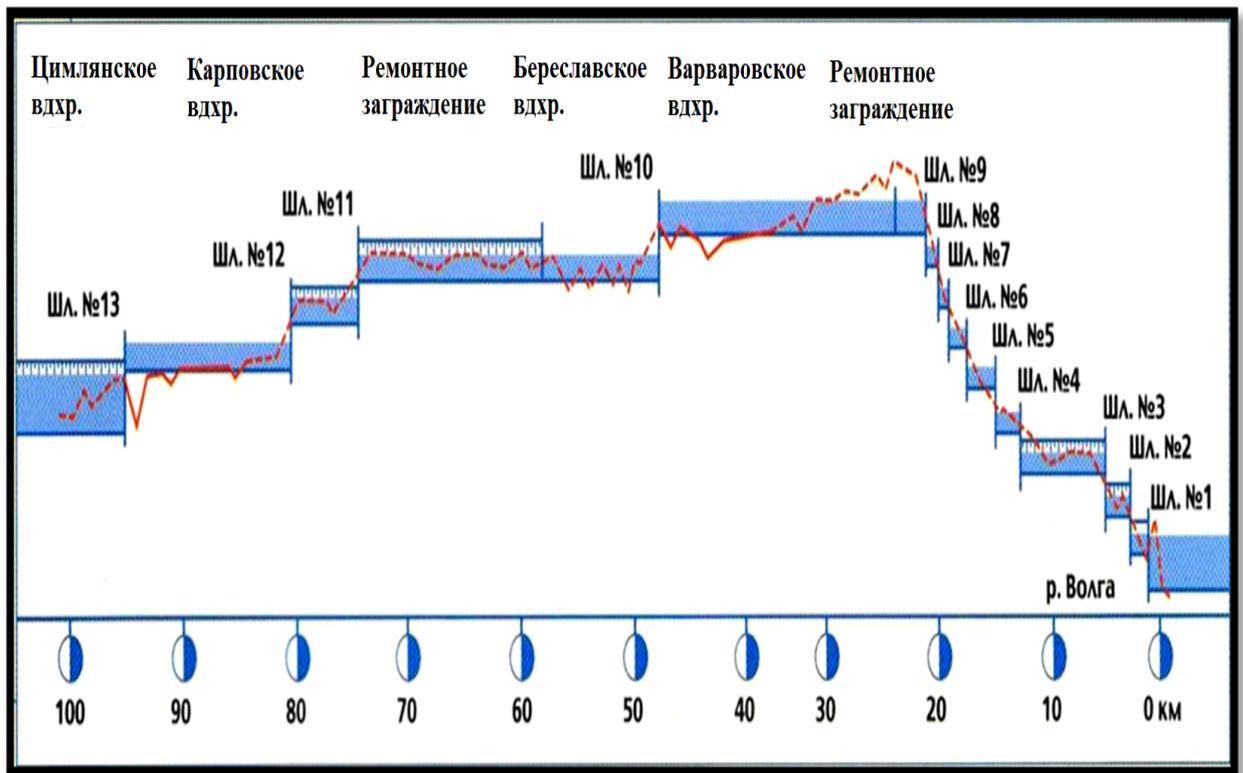


Рисунок 1.1 – Продольный профиль ВДСК им. Ленина

Таблица 1.1 – Основные параметры водохранилищ Волго-Донского судоходного канала

Название водохранилищ	Отметки, м			Ёмкость, млн м <sup>3</sup>		
	НПУ	УМО	предельной навигационной сработки	полная	полезная при сработке до УМО	полезная при полной навигационной сработке
Карповское	42,5	41,5	42,0	155,0	40,0	20,7
Береславское	63,45	62,8	62,95	52,5	9,8	7,7
Варваровское	74,0	73,0	73,4	125,0	26,6	16,2

На бассейн реки Дон оказывают влияние 43 водохранилища комплексного назначения с полным объёмом более 10 млн м<sup>3</sup>, в основном сезонного регулирования стока. Крупнейшими из них на территории РФ, помимо Цимлянского (с водохранилищами Волго-Донского судоходного канала), являются: Воронежское (204 млн м<sup>3</sup>) и Матырское (144 млн м<sup>3</sup>) на Верхнем Дону, Белгородское (76 млн м<sup>3</sup>) и Старооскольское (203 млн м<sup>3</sup>) в верхней части бассейна реки Северский Донец. Количественные показатели использования водных ресурсов на устьевом участке бассейновой геосистемы реки Дон на современном уровне приведены в таблице 1.2 [167, 183, 192, 193, 204].

Нижний Дон (включая Цимлянское водохранилище) играет основную роль в системе единого глубоководного пути Европейской части страны. Суммарное безвозвратное изъятие стока в бассейне (на территории РФ) составляет 5,38 км<sup>3</sup>, а без бассейнов рек Северский Донец и Западный Маныч – 4,08 км<sup>3</sup>; сброс – 2,25 км<sup>3</sup>.

Таблица 1.2 – Водохранилища в пределах бассейновой геосистемы р. Дон объемом более 10 млн м<sup>3</sup>

Область, край	Бассейн реки	Наименование водохранилища	Река	Год ввода в эксплу- атацию	Назначение	Тип регулируе- вания	Пло- щадь зеркала, км <sup>2</sup>	Объем при НПУ, млн м <sup>3</sup>	
								полный	полез- ный
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тульская	Дон	Кимовское	Дон	1965	Рыбохозяйственное	Сезонный	4,5	13,5	8
Тамбовская	Лесной Во- ронез	Шушпанское	Шушпанка	1952	Рыбохозяйственное	Сезонный	5,3	13,95	13,55
Липецкая	Воронеж	Матырское	Матыра	1977	Комплексное	Сезонный	45	144	120
Липецкая	Битюг	Чамлыкское	Чамлык	1982	Комплексное	Сезонный	4	12	11,9 <sub>2</sub>
Воронеж- ская	Дон	Воронежское	Воронеж	1972	Комплексное	Сезонный	70	204	–
Волгоград- ская	Дон	Варваровское	Червленая	1952	Судоходное	Сезонный	26,7	125	26,6
Волгоград- ская	Дон	Береславское	Червленая	1952	Судоходное	Сезонный	15,2	52,5	19,8
Волгоград- ская	Дон	Карповское	Карповка	1952	Судоходное	Сезонный	42	155	40
Ростовская	Дон	Цимлянское	Дон	1952	Комплексное	Многолетний	2702	23860	11540
Ростовская	Дон	Чирское	Синяя	1984	Орошение	Сезонный	3	21,7	21,1

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ростовская	Дон	Пролетарское	Западный Маньч	1939	Комплексное	Сезонный	825	2150	960
Ростовская	Дон	Весёловское	Западный Маньч	1941	Комплексное	Сезонный	309	1062	271
Ростовская	Дон	Усть-Маньчское	Западный Маньч	1936	Комплексное	Сезонный	73	77,3	26,3
Ростовская	Западный Маньч	Сальское	Средний Егорлык	1941	Комплексное	Многолетний	7,7	23	20,8
Ростовская	Западный Маньч	Ремонтненское	Чикалда	1959	Комплексное	Многолетний	2,6	13,1	13 <sup>22</sup>
Ростовская	Сал	Джурак-Сальское	Джурак-Сал	1971	Комплексное	Многолетний	18,5	60	55
Ростовская	Егорлык	б/н	Рассыпная	1953	Комплексное	Сезонный	5,2	12,6	12
Ростовская	Северский Донец	Соколовское	Кундрючья	1952	Комплексное	Многолетний	4,3	16,8	15,3
Ростовская	Западный Маньч	Тихолиманское	Кереста	1972	Орошение, обводне- ние	Сезонный	2,1	11,5	9,2
Ставрополь- ский	Западный Маньч	Сенгилеевское	Егорлык	1958	Комплексное	Сезонный	42,1	805	360
Ставрополь- ский	Западный Маньч	Егорлыкское	Егорлык	1962	Комплексное	Суточный	16	111,4	110

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ставропольский	Западный Маныч	Ново-Троицкое	Егорлык	1953	Комплексное	Сезонный	18	132	62
Ставропольский	Западный Маныч	Дундинское	Дунда	1985	Перераспределение стока, орошение	Сезонный	21	80,0	70,0
Ставропольский	Западный Маныч (Большой Егорлык)	оз. Птичье	Казинка		Рыбохозяйственное	Сезонный	9,97	13,96	9,8
Белгородская	Северский Донец	Белгородское	Северский Донец	1986	Комплексное	Многолетний	23,1	76	68 <sup>23</sup>
Калмыкия	Западный Маныч	Степное	р. Хара-Зуха	1980	Обводнение		1,4	10,0	

## 1.2 Инновационные разработки по усовершенствованию конструкций водозаборных сооружений на внутриводосборных оросительных системах

Классический речной водозаборный узел представляет собой комплекс гидротехнических сооружений по обеспечению достаточным количеством воды, бесперебойно подаваемой в оросительную систему для орошения сельскохозяйственных культур по разработанному плану сроков и продолжительности полива каждой культуры. Следует отметить, что водозабор из реки может быть самотечным поверхностным (с отводом воды открытым каналом) и самотечным глубинным или (в обоих случаях) с механической подачей воды.

Возможны два конструктивных типа состава гидротехнических сооружений при самотечном режиме забора воды головным водозаборным сооружением из источника орошения: бесплотинный и плотинный тип водозабора. До середины 20-го века головные водозаборные сооружения, устраиваемые для забора воды из рек, классифицировались по внешним и конструктивным признакам [39, 139, 184, 210, 341, 222]:

- в зависимости от участка реки (высокогорные, горные, предгорные, равнинные);
- по месту расположения относительно русла (русловые, береговые).

Далее И. М. Волков [39] пишет «...при таких классификациях работа головного сооружения рассматривается изолированно, а не в комплексе с другими сооружениями узла. Кроме того, в них не учитываются гидродинамические и гидравлические особенности потока».

И далее, «В настоящее время во всех типах водозаборных сооружений в качестве основного противонаосного мероприятия используется гидравлическая структура потока, создаваемая взаимодействием потока, русла и гидротехнических сооружений. Поэтому водозаборные сооружения более целесообразно квалифицировать по гидравлическому принципу забора воды

из источника. Такая классификация более обоснована, так как водозаборные сооружения, имеющие подобные гидравлические условия, объединяются в отдельные группы, и для каждой из них можно разработать общую методику проектирования, строительства и эксплуатации».

На основании этого И. М. Волков [39] предложил три группы классификации речных головных водозаборных сооружений по гидравлическому принципу:

- бесплотинные – боковые, фронтальные и глубинные;
- плотинные – боковые, фронтальные, донные (решётчатые) и глубинные;
- машинные – с механическим подъёмом воды.

Для орошения сельскохозяйственных культур необходимо иметь достаточное количество воды, чтобы получить устойчивые урожаи сельскохозяйственной продукции. Для обеспечения поливных норм воду в оросительные системы забирают из источников орошения, которыми являются реки, озёра, водохранилища и (в некоторой степени – для частных участков земель) грунтовые воды.

Водозаборные сооружения, построенные по типовым проектам 50–70-х и ранее годов XX столетия и проработавшие более 50 лет, нуждаются в ремонтах, реконструкциях в соответствии с растущим прогрессом в обслуживании орошаемых земель. Требования надёжности и эффективности работы водозаборных сооружений актуальны в любое время года. По мнению целого ряда исследователей [312, 313, 314, 318, 300], они заключаются в следующем:

- осуществление забора качественной воды в магистральный канал, обеспечивая расходы в строгом соответствии с графиком водопотребления независимо от колебаний горизонтов воды в водоисточнике;
- предохранение магистрального канала от попадания в него донных наносов;
- ограничение поступления в канал взвешенных наносов согласно поставленным в этом отношении условиям;

- обеспечение беспрепятственного пропуска паводковых и ливневых расходов;
- обеспечение возможности ремонта сооружений без прекращения подачи воды в канал;
- быть прочными, долговечными, дешёвыми, надёжными в эксплуатации и иметь простую конструкцию.

Выбор типа крепления откосов подводящего и отводящего русел должен производиться с учётом характера и типа сооружения и местных условий (скорости потока, состава грунта, слагающего русло, условий производства работ и наличия местных материалов).

Борьба со льдом и шугой должна осуществляться в основном путём сброса льда и шуги через щитовую часть, для чего в компоновке узла должна быть предусмотрена возможность беспрепятственного подхода и пропуска их в нижний бьеф (в отдельных случаях допускается аккумуляция шуги и льда в верхнем бьефе исходя из местных условий) [48, 241,].

Практика эксплуатации показала, что гидротехнические водозаборные сооружения в голове магистральных деривационных каналов, а также водовыделы во внутриводостроительную оросительную сеть и сооружения конечных каналов сбросной сети нуждаются в установке на них средств водоучёта по рекомендациям подраздела подраздела 4.5 ГОСТ Р 51657.2-2000 [63].

Приборы, предназначенные для оснащения гидротехнических сооружений деривационной оросительной сети с целью автоматизации определения расходов воды и управления гидротехническими сооружениями, должны быть унифицированы по видам средств измерений с применением метрологических и эксплуатационных характеристик с учётом рекомендаций СП 77.13330.2016, ГОСТ 34.201-89, разделов 1–4 ОСТ 3326-80 [64].

Для головных водозаборных сооружений, берущих воду для открытой сети каналов, имеется ряд патентных разработок по улучшению работы отдельных конструктивных элементов. К ним можно отнести патенты следующих авторов:

1. В. Н. Щедрина и др. (патент на изобретение № 2606282 «Водозаборный узел оросительной системы» 2017г.);
2. М. И. Голубенко (патент на изобретение № 2542514 «Вододелитель для каналов с бурным режимом течения» 2015г.);
3. Н. П. Лаврова (авторскому свидетельству № 1654447 «Вододелитель для каналов с бурным режимом течения» 1989г.);
4. Я. В. Бочкарёва и др. (авторское свидетельство № 1137148 «Водозаборное сооружение»);
5. Я. В. Бочкарёва и др. (авторское свидетельство № 889788 «Бесплотинное водозаборное сооружение»);
6. Д. Л. Меликсет-бек (авторское свидетельство № 301403 А1 «Приплотинный водозабор»);
7. М. А. Кондюрина (патент на изобретение № 2029023 «Боковой приплотинный водозабор» 2020г.) и мн. др.

Во всех патентах приведены конструктивные изменения с целью улучшения работы гидротехнического сооружения или узла сооружений, а также увеличения их срока службы в эксплуатационном режиме.

Рассмотрим, какие инновационные изменения предложены авторами приведённых патентов.

В. Н. Щедрин (с соавторами) разработал водозаборный узел, предназначенный для оросительной системы (состоящий из водозаборного канала, водозаборных галерей и накопительного бассейна), в котором предлагает проточный облицованный водозаборный канал сделать переменного сечения. В дно этого канала встроить «водозаборные галереи, верхняя часть которых является фильтрационной панелью, диаметр отверстий, а именно сквозных пор, которой должен быть меньше диаметра очищаемой фракции взвешенных наносов» [325, 326].

Подаче заявки на изобретение побудило выявление общего недостатка существующих водозаборных узлов, заключающегося в том, что все они встроены в русло реки, от чего создаётся неудобство их технического обслу-

живания и ремонта и, плюс к этому, такая конструкция влияет на ихтиофауну реки.

М. И. Голубенко имеет несколько патентов, посвящённых совершенствованию конструкций вододелителей для каналов с бурным режимом течения.

Я. В. Бочкарёв (с соавторами) разработал «Водозаборное сооружение», предназначенное для забора воды из горных рек для орошения. Основная цель изобретения заключается в уменьшении захвата наносов из горных рек при повышенном коэффициенте водозабора (авторское свидетельство № 1137148).

Конструктивно-технологическая разработка «Водозаборное сооружение» (патент на изобретение № 2697379) для защиты от механических и биологических загрязнений мелиоративных водозаборов [174].

Известно водозаборное сооружение, включающее глубинное водозаборное окно, верхнее полотнище с поверхностным поплавком, прикреплённым к его верхней кромке (авторское свидетельство № 1240823). Недостатком данного устройства является сложность конструкции, обилие гибких связей, расчалок, глубинных поплавков обуславливают низкую надёжность сооружения [216, 220].

Известно водозаборное сооружение, снабжённое сваями, в верхней части которых расположены два полотнища с поплавками, прикреплёнными гибкими связями к сваям и нижнее полотнище, к нижней кромке которого прикреплён глубинный поплавок (авторское свидетельство № 1079742). Недостатком сооружения является низкая надёжность, обусловленная обилием гибких связей, противовесов [216, 220].

Наиболее близким к предлагаемому сооружению является водозаборное сооружение (авторское свидетельство № 1437475). Наличие гибких тяг с ограничениями перемещения поплавков; сквозные отверстия в поплавках, через которые пропущены гибкие тяги – всё это значительно усложняет конструкцию и снижает надёжность. Технический результат, достигаемый пред-

лагаемым изобретением, состоит в упрощении конструкции при одновременном повышении её надёжности. Указанный технический результат достигается тем, что водозаборное сооружение содержит верхнее и нижнее гибкие водонепроницаемые полотнища. Верхняя часть полотнищ оснащена поплавками, прикреплёнными к жестким опорным штангам, имеющим в нижней части шарниры. Сооружение имеет упорную балку, к которой закреплена нижняя часть верхнего полотнища. Нижняя часть нижнего полотнища закреплена на донном анкере, а верхняя часть нижнего полотнища с поплавком, заполненным воздухом, упирается в упорную балку [24, 25, 28, 275, 278, 235, 236].

Конструктивно-технологическая разработка «Фильтрующий водоприёмник с рыбозащитным устройством для водозаборов из поверхностных водоисточников» для улучшения эксплуатационных характеристик эффективной работы мелиоративных систем. Изобретение относится к области гидротехнического строительства для целей мелиорации и сельскохозяйственного водоснабжения и предназначено для забора воды в систему орошения и обеспечения защиты от попадания механических загрязнений. Поставленная задача достигается за счёт замены прямоугольных фильтрующих кассет на цилиндрические, в которые укладываются мешки, заполненные древесной щепой с размерами частиц 2–5 мм и толщиной загрузки не менее 200 мм. Вода отводится в выделенную полость одновременно от всех ячеек с помощью самотечного водовода, тем самым усредняя расход отводимой воды [175, 177, 275, 278].

Технический результат достигается за счёт использования цилиндрических ячеек, в которые помещены мешочки из углеродной ткани с фильтрующей загрузкой, выполненной из древесной щепы с размерами частиц 2–5 мм и толщиной загрузки не менее 200 мм, позволяет за счёт увеличения размеров древесной щепы в среднем на 30 % создать развитую структуру поровых каналов, тем самым существенно увеличивает удельную поверхность фильтрования и скорость фильтрования, не уменьшая эффективность очистки. Фильтрующие ячейки горизонтально перекрыты пластмассовой сеткой, при

этом верхняя часть с размерами пор 1,5–2,0 мм и нижняя часть с размерами пор до 3 мм, что позволяет соблюсти требуемые размеры отверстий сетчатых рыбозащитных сооружений (табл.9.2, СП 101.13330.2012 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения»). Цилиндрическая форма ячейки позволяет увеличить пропускную способность устройства, исключая создания зон турбулентности и облегчает выемку отработанной фильтрующей загрузки из ячеек, за счёт помещения фильтрующей загрузки в мешки из углеродной ткани. Фильтрующий водоприёмник имеет жесткий металлический короб с обсыпкой щебнем, имеющие цилиндрические ячейки, заполненные мешочками из углеродной ткани с фильтрующим материалом – древесной щепой с размерами частиц 2–5 мм и толщиной загрузки не менее 200 мм. Фильтрующие кассеты горизонтально перекрыты пластмассовой сеткой при этом верхняя часть с размерами пор 1,5–2,0 мм и нижняя часть с размерами до пор 3 мм. Вода отводится в выделенную полость одновременно от всех цилиндрических ячеек с помощью самотечного трубопровода, тем самым усредняя расход отводимой воды. Конструктивно-технологическая разработка «Очистное устройство водозабора» (патент на полезную модель № 120096) для защиты от мусора растительного происхождения и токсичных сине-зелёных водорослей мелиоративного водозабора перед насосными станциями [175].

«Водозаборное сооружение для оросительной сети с плоским безригельным затвором и автоматической подачей воды в каналы младшего порядка», конструкция которого разработана авторским коллективом Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации под руководством доктора технических наук, профессора С. М. Васильева. На изобретение этого сооружения получен патент на изобретение № 2728676 [180].

Завершая обзор конструктивной новизны водозаборных сооружений, следует отметить, что всеми авторами поставлена единственная цель – значительное уменьшение поступления донных наносов в водозаборные узлы гидротехнических комплексов путём конструктивных изменений лишь от-

дельных элементов водозаборных сооружений в проектных разработках [1, 49, 178, 179, 180].

### 1.3 Функциональный анализ обустройства водозаборных сооружений оросительных систем

Технические решения водохозяйственных технологических комплексов определяют эксплуатационный режим водозаборов мелиоративных систем (А. В. Колганов, Ю. А. Свистунов, Ю. П. Поляков, А. А. Пахомов, Л. И. Румянцев, Б. В. Щукин, С. И. Басюк, А. М. Эль, А. И. Фабриков, М. Л. Голубенко, А. А. Никольская, А. Г. Кондратьев, Е. Ю. Забавин, И. И. Пятницкий, Е. Ф. Павлов и др.). Эти авторы в дальнейших своих научных работах отмечают, что происходит рост безвозвратного изъятия стока рек. Перераспределение стока во времени [106, 107, 114, 115].

Нарушение путей естественных нерестовых миграций произошло за счёт строительства перегораживающих сооружений (Цимлянская плотина, каскад низконапорных плотин на реках Дон и Северский Донец, плотины Маньчских водохранилищ). Нередки и массовые гибели молоди на водозаборных сооружениях. Наблюдается увеличение поступления в речную сеть загрязняющих веществ с водосборной территории промышленных и сельскохозяйственных предприятий, интенсивное хозяйственное использование пойменных земель, служивших нерестилищами ценных промысловых видов рыб [126, 138, 139, 140, 141, 142, 335].

Показатели качества вод (ПКВ) – это состав и концентрации микроорганизмов, химических веществ и других показателей качества воды в водных объектах. Установленные в соответствии с разработанной процедурой значения ЭКПВ по гидрохимическим показателям для выделенных водохозяйственных участков приведены в таблицах 1.3 и 1.4. [7, 12, 13, 45, 50, 51, 61].

Таблица 1.3 – Показатели качества вод в нижнем течении бассейна р. Дон

№ п/п (ВХУ)	Вещество или показатель качества воды, мг/дм <sup>3</sup>																					
	БПК <sub>5</sub>	ХПК	Железо общее	Нефтепродукты	Нитриты	Азот аммонийный	Фосфор	Медь	Марганец	Взвешенные вещества	Сульфаты	Цинк	Алюминий	Кобальт	Магний	Натрий	Кальций	Хлориды	Кадмий	Никель	Фенолы летучие	Хром общий
1	2,76	35	0,1	0,05	0,08	0,39	0,242	0,003	0,11	32,2												
2	2,73		0,16	0,05	0,095	0,39	0,27	0,003	0,043	13,55	339	0,01		0,01	56,5		180					
3	2,13	30	0,11	0,05	0,0194	0,27	0,2	0,003	0,02	28,31	579	0,009	0,11		68	211						
4	2,62	45	0,01	0,05	0,08	0,39	0,2	0,001	0,121	41,29	228	0,001	0,093		43	200	120	300	0,001			
5	3,89	48	0,128	0,05	0,08	0,39	0,2	0,004	0,011	367,68	1486	0,01	0,05		160	483	183	309	0,001	0,003	0,001	0,02
6	3,13	48	0,128	0,05	0,08	0,39	0,2	0,004	0,011	79,66	1468	0,01	0,05		160	483	183	309	0,001	0,003	0,001	0,02

В таблице № п/п (ВХУ) соответствует: 1 – р. Дон, г. Калач-на-Дону, плотина Цимлянского вдхр.; 2 – р. Дон, плотина Цимлянского вдхр., выше впадения р. Северский Донец; 3 – р. Западный Маныч, исток Пролетарский гидроузел (420–162 км, протяженность 258 км); 4 – р. Сал, ниже х. Комиссаровский, устье; 5 – р. Еголык, исток граница Ростовской области и Ставропольского края; 6 – р. Егорлык, граница Ростовской области и Ставропольского края, устье.

Таблица 1.4 – Показатели допустимого содержания и привноса микроорганизмов ( $\text{НДВ}_{\text{микроб}}$ ) на расчётных участках водных объектов в бассейне р. Дон

Расчётный участок реки	Показатель	Целевые показатели содержания микроорганизмов, соответствующие гигиеническим требованиям	Водный сток года 95%-й обеспеченности в входном створе расчетного участка $W_{x-1}$ , млн м <sup>3</sup>	Доля речного стока, участвующая в разбавлении сточных вод $\gamma$	$\text{НДВ}_{\text{микроб}}$ , усл. ед.
1	2	3	4	5	6
р. Дон, г. Калач-на-Дону, плотина Цимлянского вдхр. (502–311 км, протяжённость 191 км)	ОКБ	500 КОЕ в 100 мл	9366,5	0,11	515,158
	ТКБ	100 КОЕ в 100 мл			103,032
	Колифаги	10 БОЕ в 100 мл			10,303
р. Дон, плотина Цимлянского вдхр., выше впадения р. Северский Донец (311–186 км, протяжённость 125 км)	ОКБ	500 КОЕ в 100 мл	9887,3	0,10	494,365
	ТКБ	100 КОЕ в 100 мл			98,873
	Колифаги	10 БОЕ в 100 мл			9,887
р. Дон, выше впадения р. Северский Донец (х. Колузаево) (186–30 км, протяженность 156 км)	ОКБ	500 КОЕ в 100 мл	13687,4	0,08	547,496
	ТКБ	100 КОЕ в 100 мл			109,499
	Колифаги	10 БОЕ в 100 мл			10,950
р. Северский Донец, граница Ростовской области с Украиной (х. Поповка) и г. Белая Калитва (233–123 км, протяжённость 110 км)	ОКБ	500 КОЕ в 100 мл	1980,5	0,36	356,490
	ТКБ	100 КОЕ в 100 мл			71,298
	Колифаги	10 БОЕ в 100 мл			7,130

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5	6
р. Северский Донец, г. Белая Калитва (устье) (123–0 км, протяжённость 123 км)	ОКБ	500 КОЕ в 100 мл	2182,3	0,34	370,991
	ТКБ	100 КОЕ в 100 мл			74,198
	Колифаги	10 БОЕ в 100 мл			7,420
р. Чир, граница Ростовской и Волгоградской об- ластей (устье) (50–0 км, протяжённость 50 км)	ОКБ	500 КОЕ в 100 мл	67,2	0,8	26,880
	ТКБ	100 КОЕ в 100 мл			5,376
	Колифаги	10 БОЕ в 100 мл			0,538
р. Сал, ниже х. Коммисаровский (устье) (309–0 км, протяжённость 309 км)	ОКБ	500 КОЕ в 100 мл	31,54	0,8	12,616
	ТКБ	100 КОЕ в 100 мл			2,523
	Колифаги	10 БОЕ в 100 мл			0,252
р. Егорлык (исток), граница Ростовской области со Ставропольским краем (448–143 км, протяжён- ность 305 км)	ОКБ	500 КОЕ в 100 мл	16,8	0,8	6,720
	ТКБ	100 КОЕ в 100 мл			1,344
	Колифаги	10 БОЕ в 100 мл			0,134
р. Егорлык, граница Ростовской области со Став- ропольским краем (устье) (143–0 км, протяжён- ность 143 км)	ОКБ	500 КОЕ в 100 мл	16,8	0,8	6,720
	ТКБ	100 КОЕ в 100 мл			1,344
	Колифаги	10 БОЕ в 100 мл			0,134

*Показатели по допустимому содержанию и привносу микроорганизмов в водные объекты бассейна реки Дон.* В соответствии с гигиеническими требованиями к охране поверхностных вод качество воды в водных объектах должно соответствовать следующим показателям:

- вода не должна содержать возбудителей кишечных инфекций;
- не должны содержаться жизнеспособные яйца гельминтов;
- содержание термотолерантных колиформных бактерий (ТКБ) в водных объектах должно быть не более 100 КОЕ/100 мл (КОЕ – колониобразующие единицы);
- общее содержание колиформных бактерий (ОКБ) должно быть не более 1000 КОЕ/100 мл в водных объектах для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения и не более 500 КОЕ/100 мл в водных объектах рекреационного водопользования;
- содержание колифагов – не более 10 БОЕ/100 мл (БОЕ – бляшкообразующие единицы).

По микробиологическим характеристикам за нормативные условия для сточных вод действующих и проектируемых предприятий обычно принимают те же требования, что и для водного объекта (для расчёта фоновых микробиологических характеристик, как правило, отсутствует необходимая информация, кроме этого, во многих случаях фоновые микробиологические характеристики превышают указанные выше нормативы). Для реки Дон, особенно в нижнем течении, наиболее часто имеет место очень высокое микробиологическое загрязнение речной воды [82, 85, 87, 89, 155, 169, 196].

Целевые показатели допустимого безвозвратного изъятия (забора) речного стока в бассейне реки Дон. В соответствии с методическим подходом профессора В. Г. Дубининой допустимое безвозвратное изъятие (забора) речного стока ( $W_{д.и.}$ ) в целом по бассейну реки Дон определялось в соответствии с методическим подходом, предложенным доктором биологических наук В. Г. Дубининой. В таблице 1.5 приведены расчётные значения показателя допустимого безвозвратного стока по бассейну реки Дон для лет раз-

личной обеспеченности по условиям водности [20, 209, 211, 214, 226].

Таблица 1.5 – Показатель безвозвратно допустимого изъятия стока в бассейне реки Дон (без бассейнов р. Северский Донец и р. Западный Маныч) для лет различной обеспеченности по стоку

Обеспеченность года по стоку, %	Расчётный годовой объём стока в створе ст. Раздорской $W_j$ , млн м <sup>3</sup>	Корректирующий коэффициент $K_j = W_j/W_{cp}$	Допустимое изъятие стока в бассейне реки Дон $W_{д.и.j} = W_{д.и. cp} \cdot K_j$ , млн м <sup>3</sup>
Среднегодовое	$W_{cp} = 27689$	–	$W_{д.и. cp} = 3800$
25	33508	1,2102	4598,7
50	26458	0,9556	3631,1
75	20384	0,7362	2797,5
95	13687	0,4943	1878,5
Примечание – $W_j$ – годовой сток в замыкающем створе бассейна (ст. Раздорская) в год $j$ -й обеспеченности по условиям водности; $W_{cp}$ – среднегодовое сток в замыкающем створе.			

Результаты расчёта по методу критических гидрологических параметров для участка Нижнего Дона приведены в таблице 1.6 [226, 227, 230,322].

Таблица 1.6 – Показатели допустимого безвозвратно изъятия стока ( $W_{д.и.}$ ) и стока ( $W_{эк}$ ) для лет расчётной обеспеченности бассейна Нижнего Дона В млн м<sup>3</sup>

Замыкающий створ водохозяйственного участка	Обеспеченность года по стоку, %							
	25		50		75		95	
	$W_{д.и.}$	$W_{эк}$	$W_{д.и.}$	$W_{эк}$	$W_{д.и.}$	$W_{эк}$	$W_{д.и.}$	$W_{эк}$
р. Северский Донец	552,41	5789,2	419,31	4394,35	308,69	3235,08	190,26	2006,85
р. Калитва, устье	44,75	630,5	28,98	408,34	17,39	245	7,08	99,99
р. Северский Донец, устье	640,09	6793,4	482,38	5119,65	352,58	3742,04	213,77	2270,29
р. Сал, устье	15,69	639,8	8,18	333,35	3,61	147,35	0,75	30,4
р. Егорлык, устье	8,65	228,6	4,95	157,19	2,49	112,5	0,68	90,37

На основе многовариантных расчётов водохозяйственного баланса (ВХБ) бассейна реки Дон для обеспечения функциональной работы рекомендуются правила ограничения установленных лимитов забора (изъятия) воды, учитывающие комплексный характер использования водных ресурсов в бассейне реки Дон (рис. 1.2) [327, 328, 332].

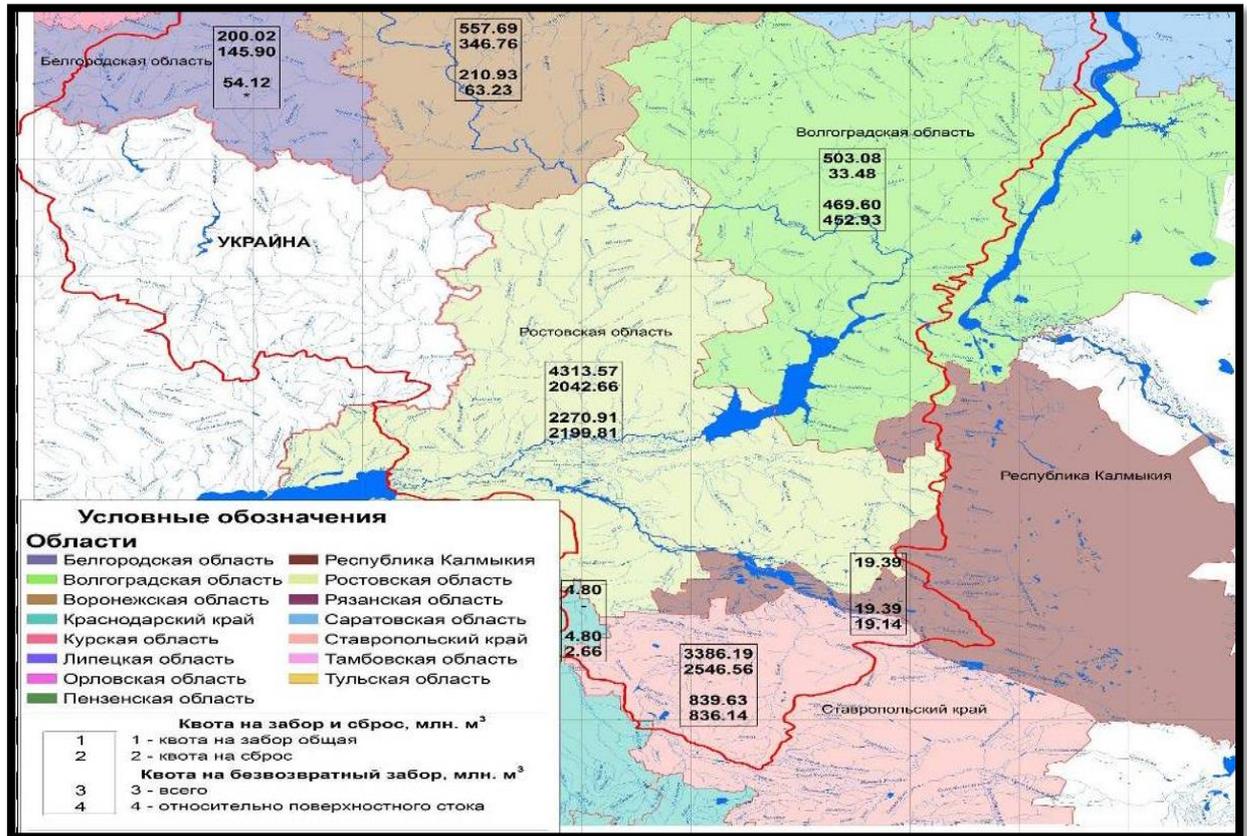


Рисунок 1.2 – Карта-схема показателей допустимого использования водных ресурсов по субъектам РФ в бассейне Нижнего Дона

Действующие водохозяйственные комплексы (ВХК) в мелиоративной системе и объекты экономики в конструктивно-технологическом отношении включают в себя водозаборное сооружение, функционально обеспечивающее отбор расчётных расходов воды из поверхностного водоисточника, водозаборный ковш, комплекс различных типов гидротехнических сооружений (КГТС) и защитные устройства.

На основе результатов анализа функциональной работы действующих ВХК было установлено, что взаимосвязь, взаимодействия и взаимоотноше-

ния (ВВВ) водозаборов мелиоративных систем с природными средами, в частности с водной средой водного объекта, как водоисточника, определяет уровень обеспечения функциональной работы (ФР) по целому ряду показателей:

- защита водозаборного ковша от поступления взвешенных и донных наносов, поступающих из водного объекта, как водоисточника мелиоративной системы;
- защита водозаборного ковша от поступления шуги и плавающих предметов, поступающих из водного объекта;
- защита акватории водозаборного ковша от процессов возникновения и развития цианобактерий (сине-зелёных водорослей), поступающих в мелиоративные системы;
- защита мелиоративной системы от негативного воздействия дрейссены на механическое оборудование мелиоративной системы и пропускную способность трубопроводов.

Анализ функциональной эффективности по обеспечению ФР в используемых конструктивно-технологических решениях для обеспечения нормативных требований показал крайне недостаточный уровень приемлемости в используемых конструктивных элементах на водозаборных сооружениях для защиты мелиоративных систем от токсичных сине-зелёных водорослей и от обрастания дрейссеной насосно-силового одорудования и трубопроводов мелиоративных систем [247, 249, 250, 251, 252, 261, 268].

Для решения выявленных проблем по обеспечению ФР на действующих и создаваемых ВТК, как техногенных компонентах, с учётом системного подхода должны рассматриваться в системной ВВВ с природным компонентом в виде водного объекта (ВО) и техногенным компонентом в виде водозаборных сооружений (ВС) и социальным компонентом - оросительная система (ОС). Связанный с использованием водных ресурсов специализированный тип природно-технической системы «Водный объект – Водозаборные сооружения – Оросительная система (ПТС «ВО – ВС – ОС») требует комплексного

изучения.

Установлено [269, 277, 279, 283, 292, 295, 296] что наиболее важными показателями в рассматриваемом типе ПТС «ВО – ВС – ОС» являются:

1. Сохранение рыбных запасов.
2. Защита акватории водозаборного ковша от процессов возникновения и развития цианобактерий (сине-зелёных водорослей), поступающих на водозаборные сооружения мелиоративных систем.
3. Защита насосно-силового и технологического оборудования от обрастания дрейссеной, негативно влияющей на пропускную способность водопроводящих трубопроводов и эксплуатационные характеристики мелиоративных систем.

На основе анализа результатов многолетних исследований функциональной эффективности действующих водохозяйственных комплексов (ВХК) в нижнем течении реки Дон, в Ростовской, Волгоградской и Астраханской областях, в Ставропольском, Краснодарском и др., исходя из современных требований по использованию природных водных ресурсов в мелиоративных системах и объектах экономики был выявлен ряд проблемных задач, связанных с обеспечением функциональной работы (ФР) в зонах влияния ВХК, из которых наиболее важными являются следующие:

- формирование устойчивой тенденции по сохранению здоровья и качества жизни путём обеспечения современных нормативных санитарно-гигиенических качественных показателей воды на мелиоративных системах [132, 128, 271];

- защита водного объекта, как водоисточника, по сохранению в нём природного многообразия различных видов биоресурсов (в виде ихтиофауны, различных видов рыб и т. п.) и водной растительности [129, 138, 140, 172];

- защита мелиоративных систем от микрофитов в виде сине-зелёных водорослей, диатомовых водорослей (Bacillariophyta) и зелёных водорослей (Cheorophyta), которые крайне негативно влияют на качественные показате-

ли оросительной воды и соответственно на работу мелиоративных систем [130, 145, 170, 171];

- защита технического и технологического оборудования насосных станций и дождевальных машин от обрастания дрейссеной, которая способствует снижению пропускной способности в напорных трубопроводах и функциональной работы оборудования мелиоративной системы. В результате увеличивается энергозатрат и на перекачку оросительной воды до 60 % и снижается уровень ФР [23, 230, 278];

- защита водозаборов, как конструктивных элементов в составе мелиоративной системы, от донных и взвешенных наносов, поступающих при отборе расчётных расходов воды из водного объекта (реки и т. п.), в значительной степени влияют на функциональную эффективность системы водоподготовки оросительной воды [33, 301, 351, 352, 297, 376];

- защита водозаборов от шуги и плавающих предметов, поступающих при отборе расчётных расходов воды из водного объекта, которые усложняют работу насосных станций (НС) [223, 372].

Исходя из неотъемлемой системной взаимосвязи функциональной работы мелиоративных систем, требуется прогнозная оценка влияния отбора расчётных расходов воды. Исследованиями установлено, что количественные и качественные показатели поверхностных вод на гидрографической речной сети водных объектов неотъемлемо взаимосвязаны гидрологическими процессами, в частности, с маловодием.

Формирование качественных показателей поверхностных и подземных вод происходит в пространственных пределах бассейновых геосистем. Как отмечается в работах [3, 6, 11, 22, 26, 27, 29], на 65–70 % качественные показатели поверхностных и подземных вод формируются на водосборной территории речной гидрографической сети и на 30–35 % зависят от функциональной работы водозаборных сооружений. Следует отметить, что на территории ЮФО всего канализовано 7,6 %. Преобладающими химическими веществами, загрязняющими водоёмы, являются: нефтепродукты, фенолы, тяжёлые

металлы (цинк, кадмий, молибден), хлориды, сульфаты, железо, марганец, легко окисляемые органические вещества и другие (Волгоградская, Ростовская, Астраханская области, Краснодарский край). Качественные показатели оросительной воды формируются в пространственных пределах бассейновых геосистем. Следует отметить, что бассейновые геосистемы охватывают собой значительные водосборные территории, на которых формируются количественные и качественные показатели водного стока.

На состояние водной среды оказывают влияние 2 основных фактора:

- смыв биогенных элементов в грунтовые воды, которые в свою очередь взаимодействуют с водоисточником;
- воздействие водного транспорта.

Эти оба фактора приводят к загрязнению водного объекта и соответственно к эвтрофикации водоисточников, т. е. ухудшают работу мелиоративных систем. Массовое развитие микрофитов в водах поверхностных источников в периоды цветения воды создаёт значительные трудности при водоподготовке и существенно влияет на работу мелиоративных систем [30, 37, 43, 44, 66, 73, 74].

В результате исследования двух проб по выбранным идентификационным признакам микроцистина-RR и анатоксина-*a* установлено: проба цианопрокариот, полученная из тростниковой соломины, содержит анатоксин-*a* в концентрации не менее 1,67 мкг/г сухой массы плёнки; проба цианопрокариот, отобранная сетью в протоке Свиное Гирло, содержит микроцистин-RR и анатоксин-*a* в количестве не менее  $2,2 \cdot 10^{-2}$  пкг на клетку и  $5 \cdot 10^{-2}$  пкг на трихом соответственно [11].

Аккумуляция дрейссены наблюдается в напорных и подающих воду трубопроводах (рис.1.3), насосных агрегатах (рис.1.4), дождевальными машинами [23, 31, 79, 80, 94, 99, 100]. Исходя из проделанного анализа, можно говорить о том, что мероприятия по предотвращению поселений моллюсков дрейссена в разводящей сети мелиоративных систем должны проводиться своевременно и включать процессы удаления или предупреждения её скоплений в самих

системах.



Рисунок 1.3 – Засорённая решётка



Рисунок 1.4 – Блокировка насоса

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. Во всех патентах приведены конструктивные изменения с целью улучшения работы гидротехнического сооружения или узла сооружений, а также увеличения их срока службы в эксплуатационном режиме.

2. После краткого обзора конструктивной новизны водозаборных сооружений следует отметить, что всеми авторами поставлена единственная цель – значительное уменьшение поступления донных наносов в водозаборные узлы гидротехнических комплексов путём конструктивных изменений лишь отдельных элементов водозаборных гидротехнических сооружений в проектных разработках XX столетия.

3. На основании обзора и анализа предложений конструктивных изменений по водозаборным гидротехническим сооружениям установлено, что данные системы не отвечают многим современным требованиям по ряду показателей эффективной работы, надёжности и безаварийной работы, металлоёмкости их конструкций с большими энергозатратами при эксплуатации и низкими природоохранными функциями.

4. Таким образом, поиск путей решения народно-хозяйственных проблем качественной и добротной работы водозаборных сооружений оросительных систем и определил необходимость дополнительных научных ис-

следований, теоретических и конструкторских предложений решения этих вопросов с учётом системного и комплексного подхода, с учётом природных и техногенных компонентов.

## 2 ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ЮГЕ РОССИИ

Приведены результаты анализа состояния очистки оросительной воды от мусора растительного происхождения, водорослей и дрейссены, определены недостатки функциональной работы действующих водозаборов оросительных систем в бассейнах рек Волги, Дона, Кубани и других рек. Рассмотрены проблемы, касающиеся сохранения ихтиофауны на водных объектах, защиты оросительной воды от механических и биологических загрязнений, явления биообрастания инженерно-технологического оборудования.

### 2.1 Оценка технического и технологического состояния водозабора Райгородской оросительной системы (Волгоградская область)

В период с 15–18 июля 2014 г. проведён анализ состояния очистки оросительной воды от мусора растительного происхождения, водорослей и дрейссены в мелиоративном водозаборе и регулирующих элементах крупной оросительной системы, расположенной на юге Волгоградской области.

Забор воды для Райгородской оросительной системы осуществляется из поверхностного источника реки Волга плавучими насосными станциями (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Плавучие насосные станции

Мелиоративный водозаборный ковш имеет следующие размеры: длина стороны, расположенной выше по течению р. Волга,  $320 \pm 2$  м, длина стороны, находящейся ниже по течению р. Волга, составляет 300 м. Ширина ковша колеблется в пределах  $79 \pm 1$  м.

Водозаборные трубы плавучих насосных станций оборудованы сменными промывающими рыбозащитными барабанами (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Рыбозащитные барабаны плавучей насосной станции Райгородской ОС

Измерения параметров водозаборного ковша проводились с лодки (рис. 2.3)

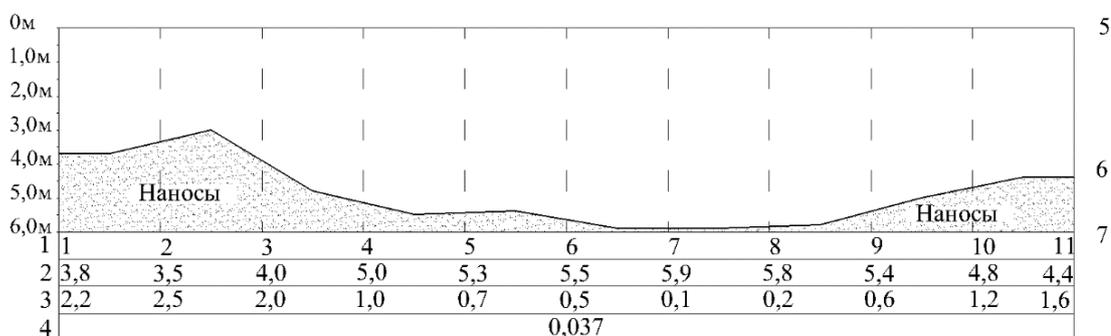


Рисунок 2.3 – Гидрометрические измерения глубин и скоростей чаши водозаборного ковша

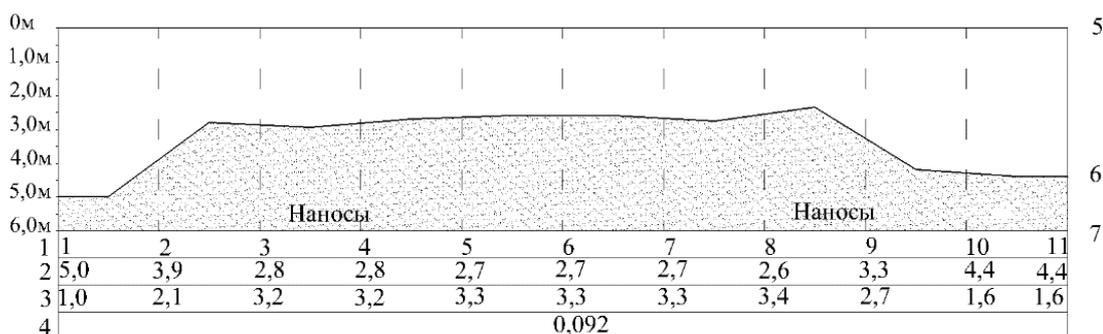
По результатам проведённых исследований построены профили дна

водозаборного сооружения, с нанесением объёма наносов и на рисунках 2.4 приведены профили конкретно по опасным створам.

### Створ у берегов ковша



### Створ у водозаборных оголовков



1 – номер вертикали; 2 – глубина воды, м; 3 – толщина отложений наносов, м;  
4 – средняя скорость по створу, м/с; 5 – уровень воды; 6 – уровень поверхности донных отложений; 7 – уровень дна до заиления

Рисунок 2.4 – Профили водозаборного ковша по опасным створам

Результаты промеров глубин и толщины донных отложений в ковше показали наибольшее скопление отложившихся наносов у берегов ковша и водозаборных оголовков, что затрудняет работу водоприёмных отверстий.

Для оценки скоростного режима у водоприёмных сооружений с позиции рыбозащиты были выполнены расчёты критической скорости в зависимости от размеров защищаемых рыб [138, 139, 140]. Критическая скорость – это минимальная скорость потока, при которой рыб сносит течением. Её величина зависит от многих абиотических и биотических факторов (температура воды, освещённость, вид и размер рыб, количество рыб в движущейся

группе и других) и определяется по эмпирической формуле (СП 101.13330.2012):

$$V_{\text{мин}} = 10 \cdot l, \quad (2.1)$$

где  $V_{\text{мин}}$  – минимальная скорость сноса рыб потоком воды, см/с;

$l_p$  – длина рыб, см.

Для наглядности сравнения критических скоростей рыб размером от 15 до 60 мм со скоростями в створах А – А, Б – Б, В – В, Г – Г результаты расчётов представлены в виде эпюр скоростей (рис. 2.5).

Скорости течения воды измерялись в створах, находящихся на разном расстоянии от водоприёмных головок насосных станций:

- створ А – А расположен в 2 м от входа в рыбозащитный барабан;
- створ Б – Б расположен в 1,5 м от входа в рыбозащитный барабан;
- створ В – В расположен непосредственно у входа в барабан;
- створ Г – Г – расположен внутри всасывающего трубопровода.

По результатам можно сделать выводы о возможном принудительном попадании рыбы в водозаборные сооружения на расчётных створах. Створ А – А, как следует из рисунка 2.5, не является опасным, потому что значения критических скоростей рыб превышают значения сносящих скоростей.

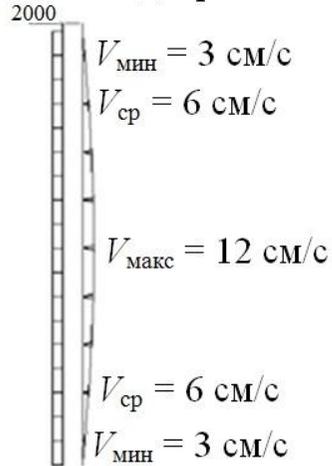
Створ Б – Б. В этот створ только при максимальных значениях скоростей попадут в водозабор рыбы размерами от 15 до 20 мм.

Створ В – В. В этот створ при максимальных значениях скоростей попадут в водозабор рыбы размерами от 15 до 45 мм, а при средних и минимальных значениях скоростей попадут рыбы размерами от 15 до 20 мм.

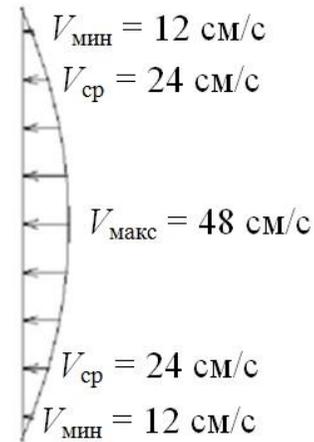
Створ Г – Г. В этот створ попадут в водозабор рыбы размерами от 15 до 60 мм при любых значениях скоростей.

По построенным эпюрам скоростей (см. рис. 2.5) можно сделать вывод, что особо опасные сносящие скоростные режимы наблюдаются в трубопроводе и по мере удаления от него они уменьшаются.

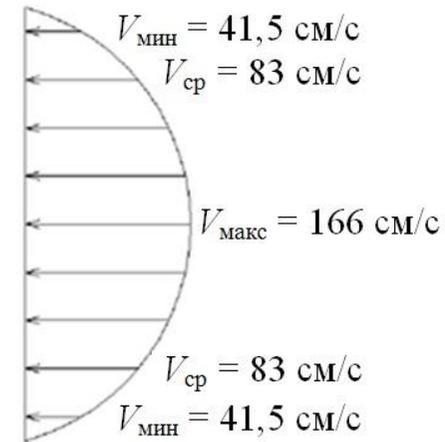
А – А  
2 м от входа в водоприёмник



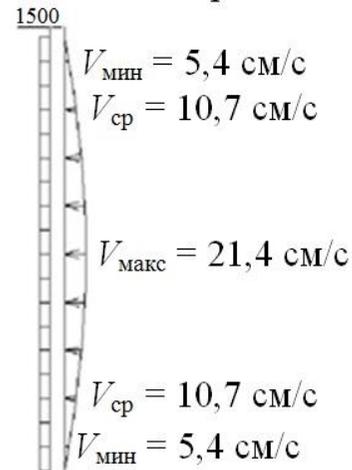
В – В  
у входа в водоприёмник



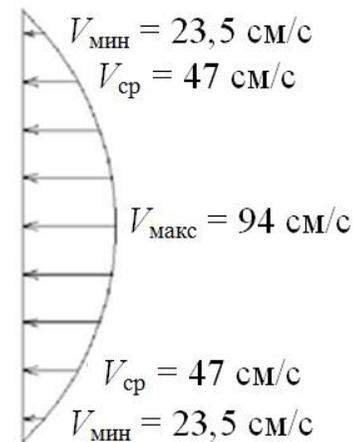
Д – Д  
узкая часть водоприёмника



Б – Б  
1,5 м от входа в барабан



Г – Г  
у входа в узкой части



Е – Е  
в трубопроводах

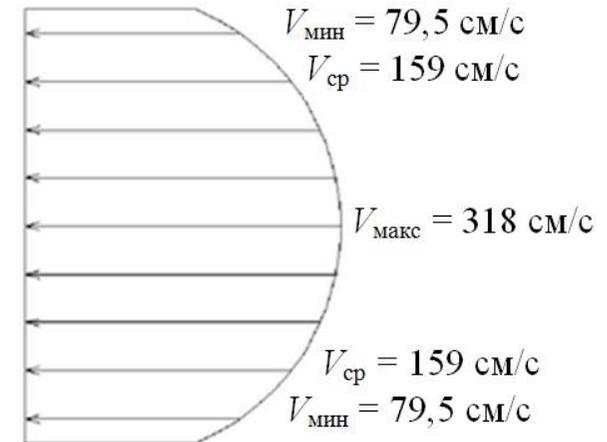


Рисунок 2.5 – Эпюры скоростей течения воды

Например, на расстоянии 2 м и более от входа в водоприёмник скорости не опасны для разных размеров рыб, потому что на таком расстоянии от водозабора скорости течения потока меньше критических скоростей рыб.

Эта закономерность заставила нас сделать расчёты критических скоростей в зависимости от размеров защищаемых рыб. Основным требованием закона об охране и восстановлении рыбных запасов [141,142]. является защита рыб размером от 15 до 60 мм на водозаборных сооружениях.

На настоящее время водозаборные сооружения Райгородской оросительной системы не обеспечивают защиты от шуго-водно-биологических и фитопланктонных загрязнений. Гидрометрическим обследованием установлено, что скорость воды перед водоприёмными отверстиями может увлечь рыбную молодь в водозаборные сооружения.

Из анализа эпюр скоростей можно сделать вывод, что особо опасные, сносящие рыб в водозабор скоростные режимы наблюдаются в трубопроводе, и по мере удаления от него они уменьшаются. Около 90 % рыб размером до 50 мм, находящихся в радиусе 1500 мм вокруг рыбозащитных барабанов, всасываемым потоком насосных агрегатов присасываются к защитным сеткам и травмируются.

Цветение водоёма (рис. 2.6) в оросительный сезон снижает пропускную способность водозаборного сооружения на 35–40 % и приводит к дополнительным расходам по очистке барабанов от сине-зелёных водорослей.



Рисунок 2.6 – Цветение водоёма в оросительный сезон

Количественное определение биомассы осуществлялось по акваториям водозабора и по длине канала на расстояния от водовыпуска 50, 100, 150, 250, 650, 1000 и 1200 м., а также по горизонтам от поверхности 0,1, 0,35, 35-70, 70-100 см. Взвешивание биомассы производилось через 100 секунд после подъёма из воды «Ерша» на технических весах, что составляло 3-6 г/л или 0,1кг на 1 пог. м «Ерша». Регенерацию проводили через 8-10 дней, в зависимости от температурного режима окружающей среды.

При ухудшении качественного состава воды, забираемой на мелиоративные системы, снижается плодородие почвы, нарушается нормальное функционирование насосных станций и дождевальных машин. Перечисленные выше проблемы усугубляются ещё и тем, что забираемый насосами недостаточно очищенная вода с дрейссеной попадает в конструкции мелиоративных систем, засоряя до 25 % дождевальных аппаратов и насадок дождевальных машин, приводит к зарастанию напорных трубопроводов закрытой оросительной сети. В результате увеличивается нагрузка на насосные станции, соответственно это способствует энергозатратам на перекачку оросительной воды. Попадание в водозаборные сооружения мусора, наносов, шуги, льда, сине-зелёных водорослей и рыбы приведёт к следующим последствиям: увеличению нагрузки на насосные станции (50–70 %), ухудшению процесса энергосбережения (40–57 %), ухудшению обстановки и уменьшению рыбных запасов (ущерб рыбному хозяйству 50–70 %).

*Оценка технического состояния водозабора и краткие проектные решения планируемых работ.* Эксплуатирующая организация – Волгоградский филиал ФГБУ «Управление Волгоградмелиоводхоз» Райгородской оросительной системы Светлоярского района Волгоградской области. Форма собственности – государственная. Категория земель: земли сельскохозяйственного назначения. Насосная станция мелиоративная и рассчитана на круглосуточную работу в вегетационный период по орошению в течение 5 месяцев в году. Проектом предполагается демонтаж существующего основного оборудования, подлежащего замене (4 насоса на орошение и прочего вспомога-

тельного оборудования), трубопроводов и монтаж нового технологического оборудования.

Необходимо демонтировать:

- существующее технологическое оборудование, в т. ч. насосное оборудование, находящееся на водозаборном сооружении;
- трубопроводы и арматуру водозаборного сооружения, в т. ч. проложенные в грунте и технологические трубопроводы, находящиеся внутри здания насосной станции.

Исходя из требуемой подачи и напора насосов, а также с учётом конструктивной особенности существующих сооружений насосной станции в качестве основных насосов приняты горизонтальные насосы, размещаемые на местах демонтируемых насосов.

Проектируемые насосы устанавливаются не под заливом, в связи с чем проектом предусмотрена вакуумная система залива насосов.

Существующая система вакуумного залива насосов находится в работоспособном состоянии и остаётся без изменений для возможности эксплуатации существующего и заменяемого оборудования.

*Водозаборное сооружение с рыбозащитными устройствами (РЗУ).* В качестве РЗУ приняты механические сетчатые рыбозащитные устройства (МСРЗ) с подвижным промывным устройством (флейтой) и неподвижным сетчатым барабаном. Конструкция МСРЗ представляет собой несущий металлический каркас, обтянутый сетчатым полотном из нержавеющей стали с размером ячейки  $2 \times 2$  мм. Размеры восьмигранного сетчатого барабана – высота 2,9 м, диаметр 2,4 м. Две грани барабана не покрыты сеткой и примыкают к входным отверстиям всасывающих камер. Питание промывных флейт осуществляется от центробежного насоса марки «К» с электродвигателем мощностью 15 кВт с забором воды из камеры после прохождения РЗУ по стальному трубопроводу (диаметр 300 мм), каждая отдельная флейта подключается к трубопроводу с помощью гибкой гофрированной трубы (диаметр 100 мм). Флейта представляет собой

прямоугольную раму, выполненную из стальной трубы диаметром 89 мм, опирающуюся на подшипники в верхней и нижней частях. Вращение флейты происходит под действием реактивной силы промывных струй. Расстояние от отверстий флейты до сетчатого полотна составляет 7–10 см. Гидравлический режим транзитного течения должен соответствовать требованию п. 9.13 СП 101.13330.2020 [184]. Рыбозащитные барабаны (МСРЗ) установлены в подводящем канале на расстоянии около 700 м от русла р. Волга. Транзитные течения, направленные в сторону русла реки, отсутствуют, что способствует скоплению рыб вокруг водозаборных оголовков и соответственно попаданию их вместе с забираемой водой на оросительные поля.

Сооружение обследовано водолазами. Согласно актам водолазного обследования, надводная часть труб имеет коррозионные разрушения до 60 %, подводная часть имеет разрушение до 30 %.

По результатам обследования Райгородского водозаборного сооружения были предложены мероприятия по усовершенствованию конструкций и технологий водозаборного устройства:

1. Возможно для защиты ковша от донных наносов необходимо удлинить струенаправляющую дамбу (рис. 2.7 и 2.8).
- 2.



Рисунок 2.7 – Существующая дамба

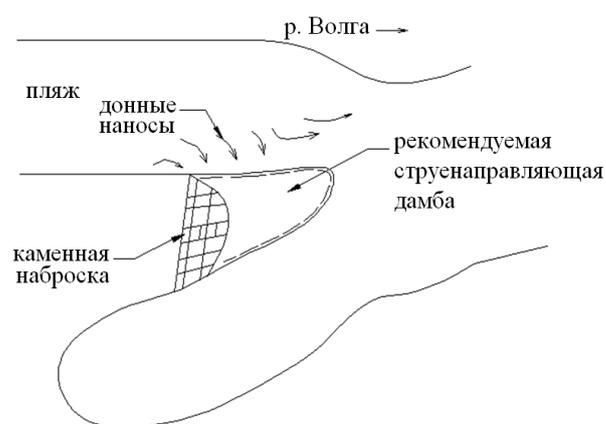


Рисунок 2.8 – Рекомендуемая дамба

Посредством струенаправляющей дамбы речной поток отведёт основную массу увлекаемых им примесей от входа в ковшовый водозабор. Ис-

пользование продольной струенаправляющей дамбы позволит значительно повысить эффективность защиты.

2. Для защиты ковша от поверхностных наносов рекомендуем к боновым ограждениям (рис. 2.9) приварить защитные щиты на глубину 1,5 м (рис. 2.10). Использование рекомендуемых технологий позволит значительно повысить защиту водозабора от поверхностных наносов и соответственно эффективность работы оросительной системы.

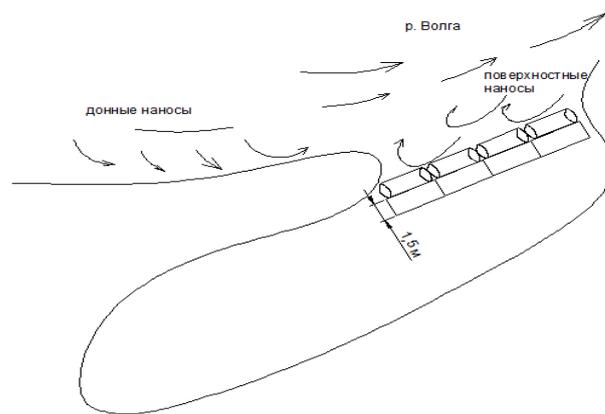


Рисунок 2.9 – Исходное ограждение    Рисунок 2.10 – Рекомендуемая схема

3. Для уменьшения эрозии берегов и сокращения твердого стока рекомендуем берегоукрепления с применением габионов и грунтоармированных сооружений (рис. 2.11)



Рисунок 2.11 – Крепление берега

4. Для сохранения рыбных запасов предлагается 5 вариантов конструктивных решений:

**1 вариант.** Для обеспечения условий рыбоотведения восстановить существующий проход течения воды под дамбой или прорыть канал для соединения ковша с пляжем (рис. 2.12). В канале создать условия для передвижения рыб и построить рыбоходный канал (рис.2.13). Такие технологические решения позволят защитить рыбу от попадания в водоприёмные отверстия и соответственно от гибели на оросительные поля.



Рисунок 2.12 – Пляж

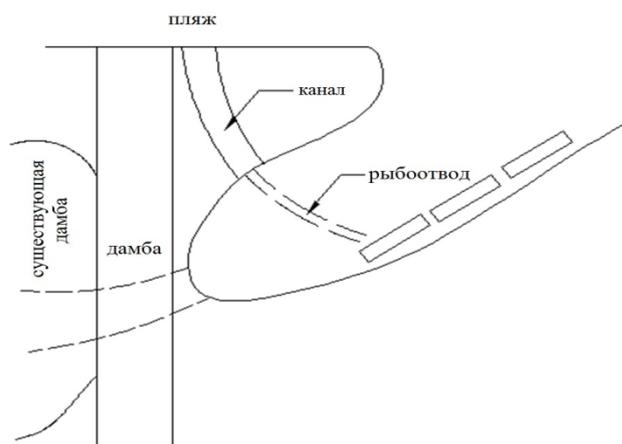


Рисунок 2.13 – Рекомендуемый рыбоход

**2 вариант.** Не допустить заход молоди рыбы в ковш. Для этого рекомендуем перегородить вход ковша физиологическими рыбозаградителями, которые вызывают у них различные раздражители. Рекомендуем применить рыбозащитные сооружения, использующие в качестве защитного экрана воздушно-пузырьковую завесу (ВПЗ). При этом боновые заграждения расположить под углом течения реки. Воздушно-пузырьковая завеса будет отпугивать рыбу, а также поднимать вверх молодь рыб, боны направят их к транзитному течению, которое будет транспортировать в безопасное место, т. е. в Волгу. При подъёме уровня в реке будет необходимо увеличить давление воздуха в трубе или выполнить дополнительное двухуровневое расположение воздушно-пузырьковой завесы (возможно горизонтальное или вертикальное расположение защитного экрана [153]) (рис.2.14).

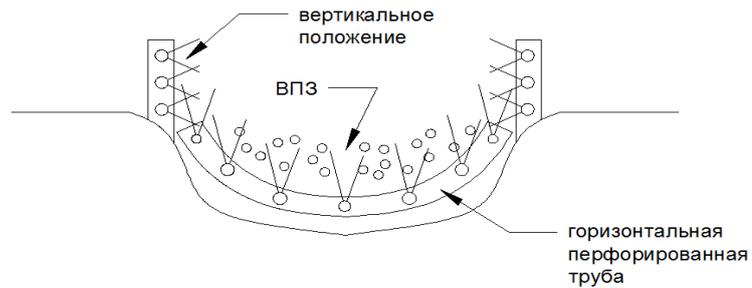


Рисунок 2.14 – Воздушно-пузырьковая завеса

**3 вариант.** На входе в ковш в качестве рыбозащиты использовать электро-рыбозаградитель. Это электроды, расположенные вертикально в воде и подключённые к электрическому источнику. Рыба, подходящая к электрическому заградителю, получает электрический импульс (раздражение) и уходит назад по течению в реку (рис.2.15).

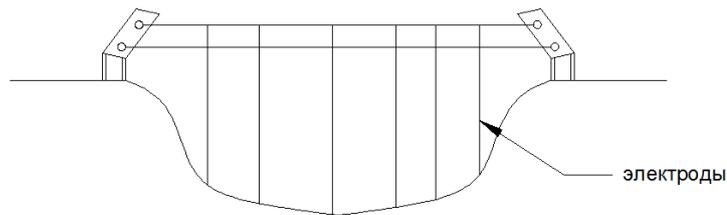


Рисунок 2.15 – Электрорыбозаградитель

**4 вариант.** Установить фильтрующую рыбозащитную конструкцию. Перекрыть вход ковша фильтрующими самопромывающимися кассетами (фильтрующими заполнителями кассет могут быть пластмассовые шарики или керамзит). Для повышения эффективности промывки кассет возможна установка промывных флейт (рис.2.16).

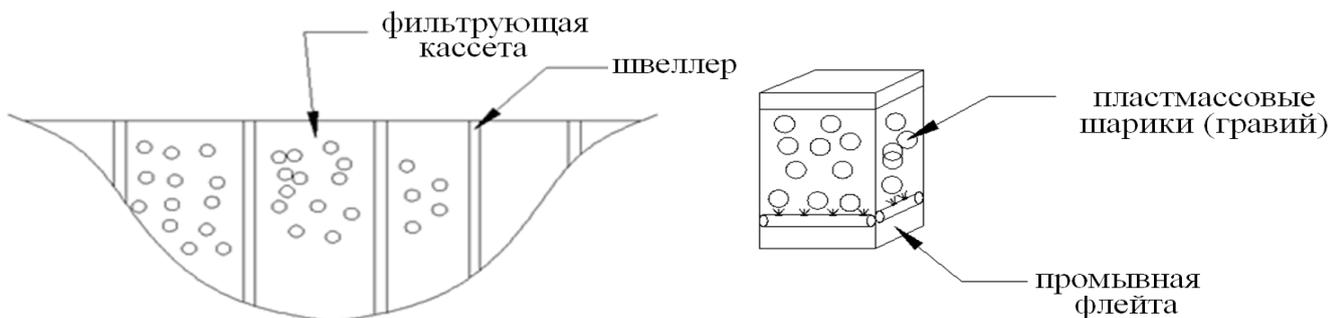


Рисунок 2.16 – Фильтрующая рыбозащитная конструкция

**5 вариант.** Перекрыть вход ковша мягкими мембранными сооружениями. Их положение может регулироваться в зависимости от изменения уровня воды в реке (рис.2.17).

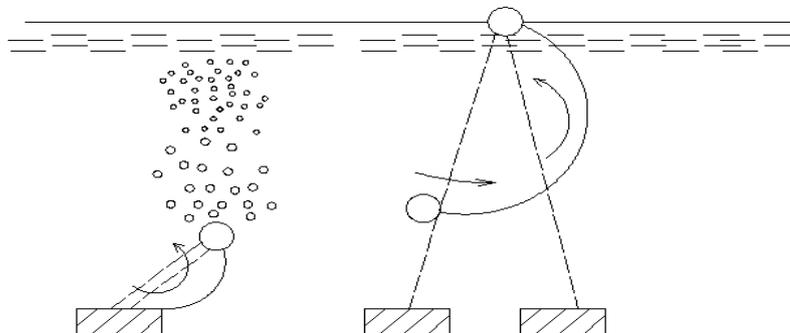


Рисунок 2.17 – Мягкие мембранные сооружения

Можно также предложит разработки автора [262, 264, 299].

Результаты проведённых исследований:

**ПРОБЛЕМА 1.** Результаты промеров глубин и толщины донных отложений в ковше показали наибольшее скопление отложившихся наносов у берегов ковша и водозаборных оголовков, что затрудняет работу водоприёмных отверстий.

**ПРОБЛЕМА 2.** По построенным эпюрам скоростей можно сделать вывод, что 90 % рыб размером до 50 мм, находящихся в радиусе 1500 мм вокруг рыбозащитных барабанов, всасывающим потоком насосных агрегатов присасываются к защитным сеткам и травмируются, что приводит к ухудшению экологической обстановки и уменьшению рыбных запасов (ущерб рыбному хозяйству 50–70 %)

**ПРОБЛЕМА 3.** Цветение водоёма в оросительный сезон снижает пропускную способность водозаборного сооружения на 35-40 % и приводит к дополнительным расходам по очистке барабанов от сине-зелёных водорослей. При ухудшении качественного состава воды, забираемой на мелиоративные системы, снижается плодородие почвы (за счёт забивания пор земельного покрова и соответственно ухудшения кислородного питания почв),

нарушается нормальное функционирование насосных станций и дождевальных машин.

**ПРОБЛЕМА 4.** Забираемая насосами оросительная вода с дрейссеной попадает в конструкции мелиоративных систем, засоряя до 25% дождевальных аппаратов и насадок дождевальных машин, приводит к зарастанию напорных трубопроводов закрытой оросительной сети. В результате увеличивается нагрузка на насосные станции, соответственно это способствует энергозатратам на перекачку оросительной воды.

Попадание в водозаборные сооружения мусора, наносов, шуги, льда, сине-зелёных водорослей и рыбы приводит к увеличению нагрузки на насосные станции (50–70 %), ухудшению процесса энергосбережения (40–57 %).

## 2.2 Оценка технического и технологического состояния оросительного водозабора на Донском магистральном канале

Основное назначение Донского магистрального канала (ДМК) (рис.2.18) - сохранение активной и пассивной рыбной молоди, а также очистка оросительной воды от крупных и мелких механических загрязнителей.



Рисунок 2.18 – Рыбозащитное оборудование ДМК

Оценка технического и технологического состояния оросительного водозабора на Донском магистральном канале в период с мая по июль 2014 г.

были проведены после ознакомления с научными работами [17, 19, 20, 21, 138, 141, 258]. В результате обследования рыбозащитного сооружения, выявлены недостатки плоской сетки. Главным из них является высокий уровень травмируемости молоди рыб на сетчатом полотне и в процессе отведения в рыбоотвод. В журнале наблюдений отмечены неоднократные прорывы сеток, что связано с увеличением нагрузок на сетчатые полотна во время скопления большого количества рыб и мусора, прошедшего через деформированные решётки сороудерживающего сооружения (рис.2.19). Кроме того, такая конструкция достаточно сложная и требует значительных энергозатрат при эксплуатации.

Результаты обследования указывают на неоднократный выход из строя датчиков контроля промывного устройства (см. рис. 2.20) при дождливой погоде и во время промывки сетки, чему способствует попадание влаги внутрь конструкции датчика.



Рисунок 2.19 – Решётка грубой очистки      Рисунок 2.20 - Датчики контроля

Отключение датчиков контроля промывного устройства влечёт с собой засорение сетки и соответственно разрыв полотна.

Эффективность и надёжность работы сетчатых рыбозащитных сооружений (РЗС) зависит от качества очистки их рыбозащитных экранов и организации отвода молоди рыб и мусора. Одними из конструктивных элементов, обеспечивающих очистку сетчатых рыбозащитных сооружений, являются гидравлические промывные устройства. Эксплуатация этих устройств вы-

явила наличие существенной неравномерности качества промывки сетки, и, кроме того, в процессе работы струеформирующие насадки быстро забиваются мелким мусором.

Проведённые обследования показали наличие ряда проблем, которые в первую очередь связаны с рыбоотводом, его конструктивным решением, качеством строительства и эксплуатации. Для перераспределения и выравнивания скоростей потока внутри корпуса байпаса установлен распределительный профиль. Обследование байпаса показало, что распределительный профиль и опорные элементы внутри него являются, во-первых, местом накопления поступающего плавающего сора, а во-вторых, способствуют травмированию рыб. По данным исследований, скорость потока перед отверстием из байпаса в донную галерею достигает величины 3,8 м/с. С учётом стеснённости условий движения потока такая скорость является губительной для молоди рыб как в пределах самого байпаса, так и в донных галереях. Разность уровней воды в магистральном и рыбоотводящем каналах составляет более 6 м. Это создаёт большие скорости в концевой части рыбоотводящей галереи и в сжатом сечении струи при её затопленном истечении в рыбоотводящий канал (порядка 6–10 м/с). Это равносильно условиям, в которых находится рыба, попадающая под затворы сбросной плотины при напоре на гидроузле не менее 5 м. Наличие больших перепадов давления и градиентов скорости существенно будет травмировать молодь рыб.

Таким образом, оценка работы рыбоотводящего сооружения в Донском магистральном канале показала сложность его конструкций, в первую очередь рыбоприёмных элементов, низкое качество строительства, а также высокую травмируемость рыб вследствие соприкосновения с элементами проточной части рыбоотвода (рис.2.21). В целом это является причиной низкой эффективности всего рыбозащитного узла, что сказывается на выживаемости молоди рыб. Результаты инструментального обследования несущих, бетонных и стальных конструкций (рис.2.22) показывают образование трещин в бетонных конструкциях.



Рисунок 2.21 - Приёмное окно

Рисунок 2.22 – Несущие конструкции

Установлено, что размеры приёмного окна (см. рис.2.21), выполненного в виде щели шириной 0,35 м, высотой (глубиной) 6,0 м и протяжённостью вдоль потока 1,8 м, не позволили качественно осуществить бетонирование и выполнить затирку бетона, в итоге на стенках окна выступают остатки арматуры и наплывы бетона. В таких условиях при движении потока вдоль узкой щели при средних скоростях до 0,95 м/с вероятность контакта молоди с поверхностью бетонной стенки и гибели молоди резко возрастает. Подобные условия сохраняются и на всём пути перемещения молоди в пределах байпаса, имеющего такую же ширину. Принятые размеры отдельных элементов рыбоотвода, например, рыбоприёмных окон (0,35 × 6,0 м), входных отверстий донной галереи (0,35 × 0,90 м), донных галерей (0,6 × 1,0 м), выполненных в монолитном бетоне, не позволяют осуществлять необходимые обслуживающие (техническое обследование, удаление наносов, сора) и ремонтные работы и практически не подлежат реконструкции.

По результатам визуального и инструментального обследования можно судить об изношенности конструкций на 50 %, что вызывает беспокойство по обеспечению безопасной работы сооружения в целом, установлено, что данные сооружения выработали свой ресурс и требуют реконструкции и технического перевооружения на основе научных подходов и инновационных методов проектирования.

Результаты проведенных исследований:

**ПРОБЛЕМА 1.** Выявлены недостатки плоской сетки. Главным из них является высокий уровень травмируемости молоди рыб на сетчатом полотне и в процессе отведения в рыбоотвод. В журнале наблюдений отмечены неоднократные прорывы сеток, что связано с увеличением нагрузок на сетчатые полотна во время скопления большого количества рыб и мусора, прошедшего через деформированные решётки сороудерживающего сооружения.

**ПРОБЛЕМА 2.** Результаты обследования указывают на неоднократный выход из строя датчиков контроля промывного устройства при дождливой погоде и во время промывки сетки, чему способствует попадание влаги внутрь конструкции датчика. Отключение датчиков контроля промывного устройства влечёт с собой засорение сетки и соответственно разрыв полотна.

**ПРОБЛЕМА 3.** Эффективность и надёжность работы сетчатых рыбозащитных сооружений (РЗС) зависит от качества очистки их рыбозащитных экранов и организации отвода молоди рыб и мусора. Одними из конструктивных элементов, обеспечивающих очистку сетчатых рыбозащитных сооружений, являются гидравлические промывные устройства. Эксплуатация этих устройств выявила наличие существенной неравномерности качества промывки сетки, и, кроме того, в процессе работы струеформирующие насадки быстро забиваются мелким мусором.

**ПРОБЛЕМА 4.** Проведённые обследования показали наличие ряда проблем, которые в первую очередь связаны с рыбоотводом, его конструктивным решением, качеством строительства и эксплуатации. Наличие больших перепадов давления и градиентов скорости существенно будет травмировать молодь рыб. Так, размеры приёмного окна, выполненного в виде щели шириной 0,35 м, высотой (глубиной) 6,0 м и протяжённостью вдоль потока 1,8 м, не позволили качественно осуществить бетонирование и выполнить затирку бетона, в итоге на стенках окна выступают остатки арматуры и наплывы бетона. В таких условиях при движении потока вдоль узкой щели при средних скоростях до 0,95 м/с вероятность контакта молоди с поверхностью бетонной стенки и гибели молоди резко возрастает.

**ПРОБЛЕМА 5.** Результаты инструментального обследования несущих, бетонных и стальных конструкций показывают образование трещин в бетонных конструкциях. По измеренным размерам можно судить об изношенности конструкций на 50%, что вызывает беспокойство по обеспечению безопасной работы сооружения в целом. По результатам обследования установлено, что данные сооружения выработали свой ресурс и требуют реконструкции и технического перевооружения на основе научных подходов и инновационных методов проектирования.

### 2.3 Оценка технического и технологического состояния водозабора Александровский Ростовской области

Водозабор осуществляется из реки Дон ковшовым водозабором с производительностью 460 тыс. м<sup>3</sup>/сут и русловым водозабором с производительностью 290 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Схема ковшового водозабора показана на рисунке 2.23.

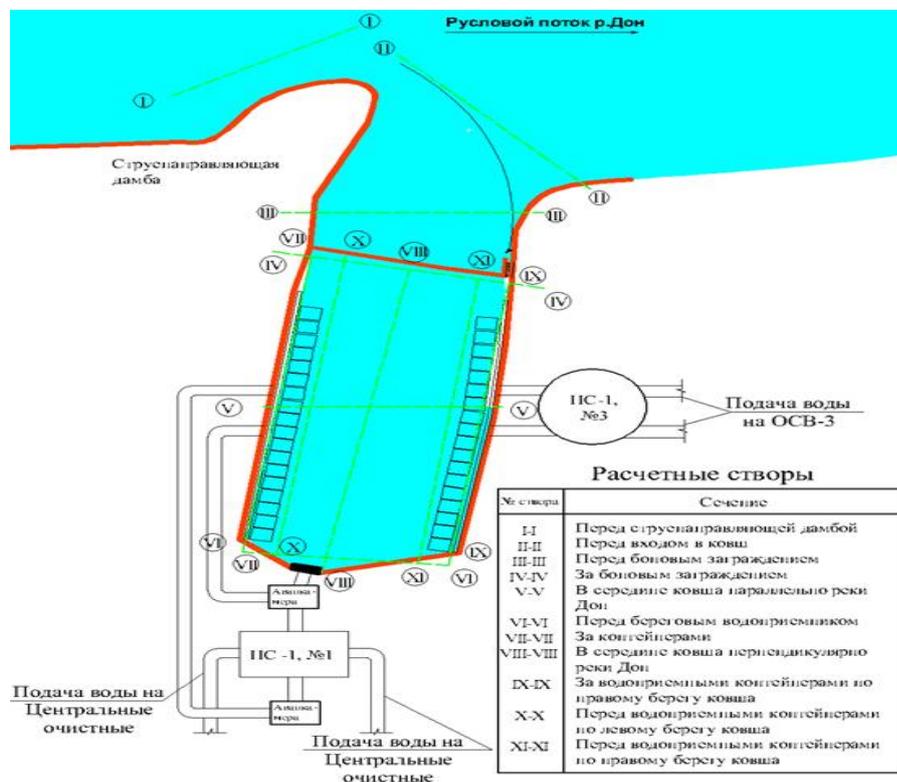


Рисунок 2.23 – Схема ковшового водозабора Александровский

На первом этапе выполнен визуальный осмотр сооружений, замеры глубин ковша, скоростей течения воды, а также сделаны фотографии в летний (рис.2.24–2.31) и зимний (рис.2.34 – 2.38) периоды года. Для решения поставленной задачи использовались источники, в которых даны рекомендации по оценке шуго-рыбо-планктонной защите водозаборных сооружений [77, 92, 13, 139, 140, 141, 142].

*Водозаборный ковш* (рис.2.24). Ковшовый водозабор имеет длину 120 м и ширину 39 м. В ковше имеется береговой водоприёмник, оборудованный решёткой и щитовым затвором.



Рисунок 2.24 – Водозаборный ковш

*Струенаправляющая дамба* (рис.2.25). Для защиты ковша от донных наносов имеется струенаправляющая дамба длиной 25 м и шириной в середине 3 м.



Рисунок 2.25 – Струенаправляющая дамба

*Бонные заграждения* (рис.2.26–2.29). Для защиты ковшового водозабора от поверхностных наносов имеются бонные заграждения, которые представляют собой трубы диаметром 700 мм, сваренные между собой. Со стороны реки на трубах приварены щиты, погружённые в воду на 1500 мм.



Рисунок 2.26 – Плавучие боны



Рисунок 2.27 – Разворот заграждения



Рисунок 2.28 – Коррозия металла



Рисунок 2.29 – Незащищённый пролёт

*Крепление берегов ковша* (рис.2.30). Выполнено в виде сплошных вертикальных заграждений. Представляло собой железобетонные сваи с перекрытием в виде железобетонных плит размерами  $6,0 \times 1,0$  м.



Рисунок 2.30 – Свайное укрепление берега

*Рыбозащитные кассеты* (рис.2.31). Выполнены в виде водоприёмников фильтрующего типа, представляют собой сменные самоуплотняющиеся контейнеры. Рамка изготовлена из металлического уголка  $100 \times 100$  мм, внутри которой вставлены деревянные решётки  $25 \times 25$  мм и пролёт между ними 25 мм.



Рисунок 2.31 – Рыбозащитная кассета (контейнер)

Контейнер имеет следующие размеры: длина 2400 мм, ширина 2000 мм, высота передней части 700 мм, высота задней части 1000 мм. Внутри контейнера фильтрующая загрузка отсутствует.

Водозаборный ковш оборудован 36-ю сменными контейнерами. Схема водоприёмника с фильтрующей кассетой и вихревой камерой представлена

на рисунке 2.32.

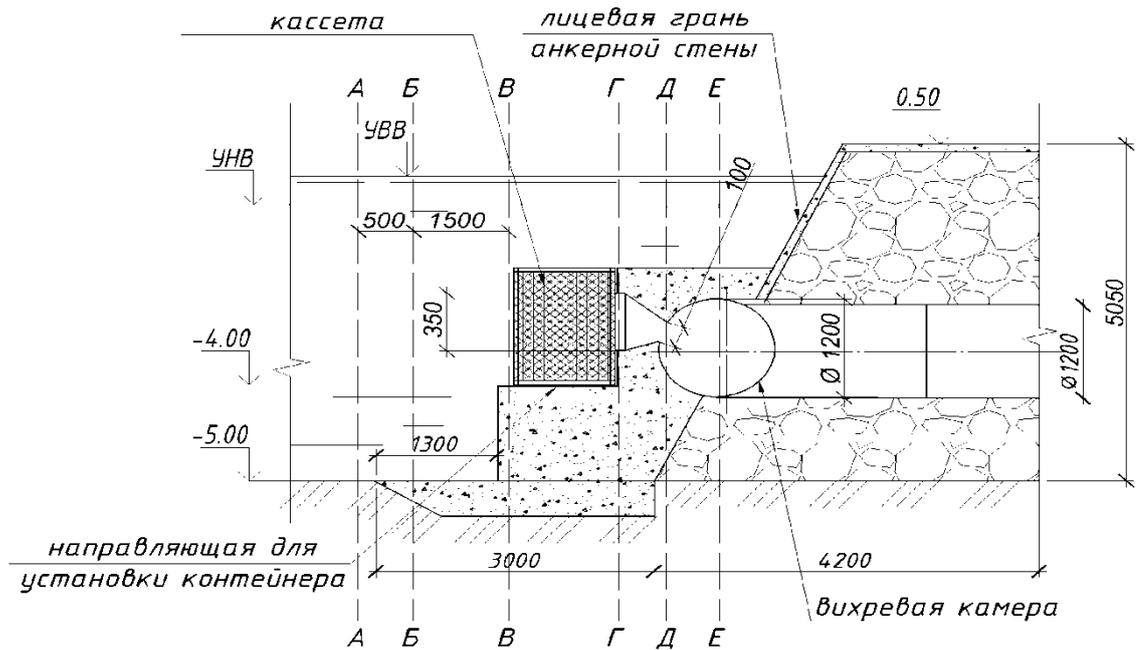


Рисунок 2.32 – Схема водоприёмника с фильтрующей кассетой и вихревой камерой

В ковше имеется береговой водоприёмник, оборудованный решётками грубой очистки и щитовыми затворами. В результате осмотра выявлены нарушения технологических требований вследствие коррозии площадки обслуживания и щитовых затворов (рис.2.33).



Рисунок 2.33 – Береговой водоприёмник

Обследование в зимний период года (рис.2.34 -2.37). Обследование про-

водилось в зимний период, когда температура окружающей среды длительное время поддерживалась от минус 2 до минус 20 °С.



Рисунок 2.34 – Ковша



Рисунок 2.35 – Струенаправляющая дамба



Рисунок 2.36 – Боновое заграждение

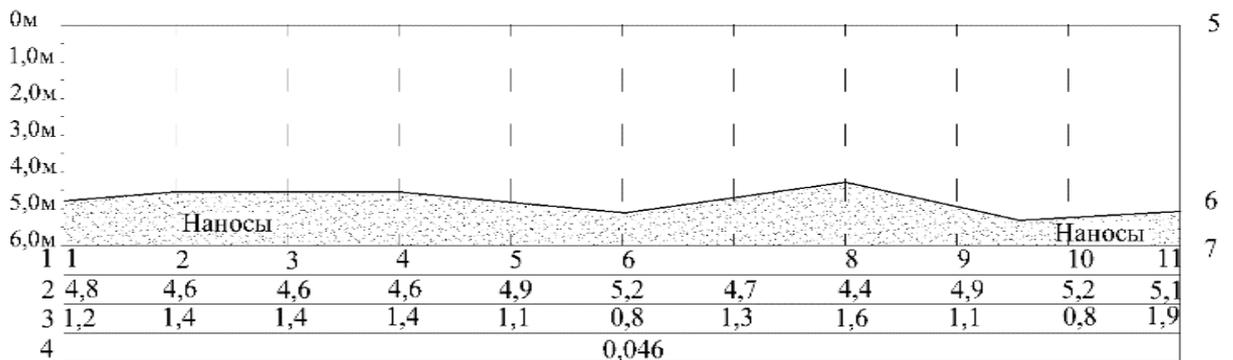


Рисунок 2.37 – Лёд над кассетами

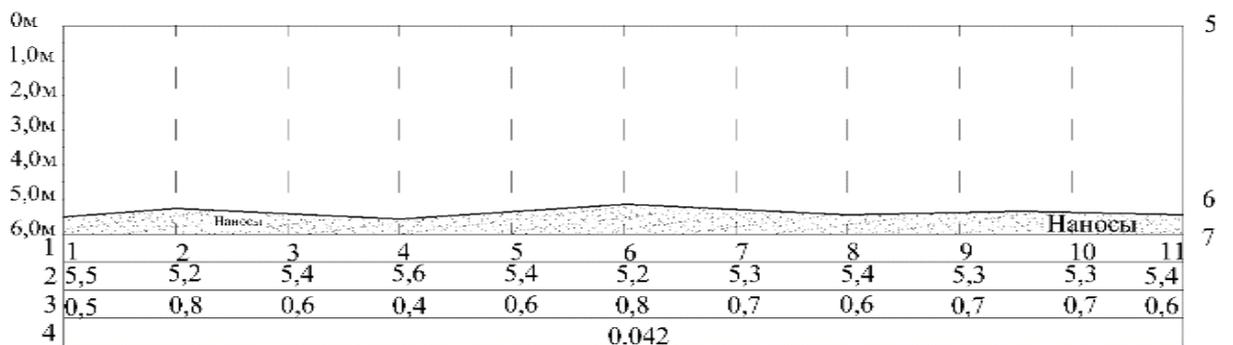
В ходе визуального и инструментального обследования установлено следующее: при понижении температуры до минус 15 °С по всей площади ковша произошло обледенение (см. рис.2.34). Снежный покров составлял 150–200 мм; толщина льда в районе струенаправляющей дамбы составил 250–300мм (см. рис.2.35); толщина льда над боновыми заграждениями достигала 400–500 мм (см. рис.2.36); в период 16–18 января 2012 г. при падении температуры до минус 10 °С уровень воды в ковше снизился на 500–600 мм (см. рис.2.37).

На втором этапе исследования были измерены профили ковша, толщина наносов и определены скорости течения воды. Гидрометрические измерения проводили как с берега, так и с надувной лодки в створах (см. рис.2.23). Замеры глубин проводились наметками. Для определения глубины ковша использовался щуп длиной 6 м с квадратной площадкой  $35 \times 35$  см. Толщину донных отложений измеряли щупом такой же длины с острым наконечником. Толщина слоя наносов определялась как разница между результатами показаний щупов. Для определения скорости потока использовали гидрометрическую вертушку марки ГР-21М. Измерения проводили в соответствии с действующими инструкциями трехточечным методом на расстоянии  $0,2h$ ;  $0,6h$ ;  $0,8h$  от поверхности воды. Результаты второго этапа исследования представлены на рисунках 2.38–2.42.

Створ I – I



Створ II – II



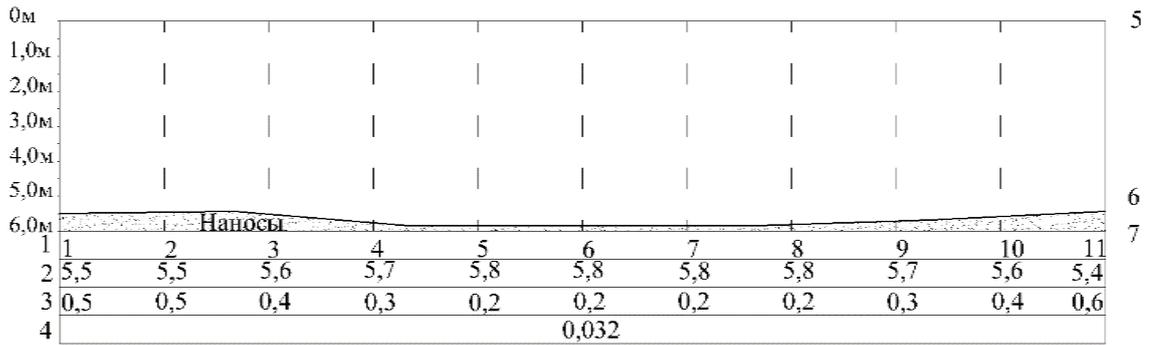
1 – номер вертикали; 2 – глубина воды, м; 3 – толщина наносов, м;

4 – средняя скорость по створу в наносах, м/с; 5 – уровень воды;

6 – уровень свободной поверхности до заиления дна; 7 – уровень дна

Рисунок 2.38 – Профили дна ковша по створам I – I и II – II

Створ III – III



Створ IV – IV

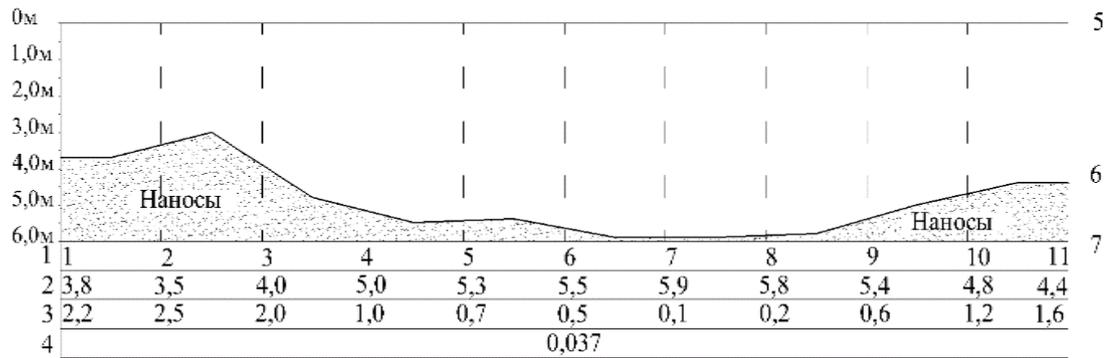
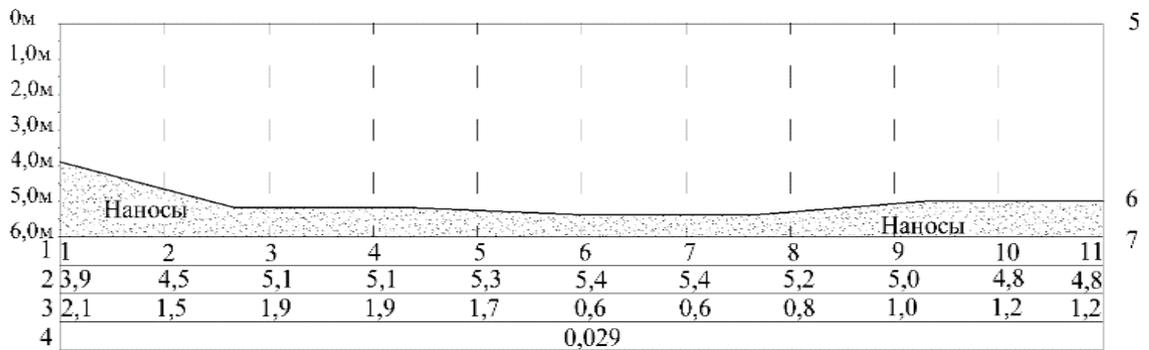


Рисунок 2.39 – Профили дна ковша по створам III – III и IV – IV

Створ V – V



Створ VI – VI

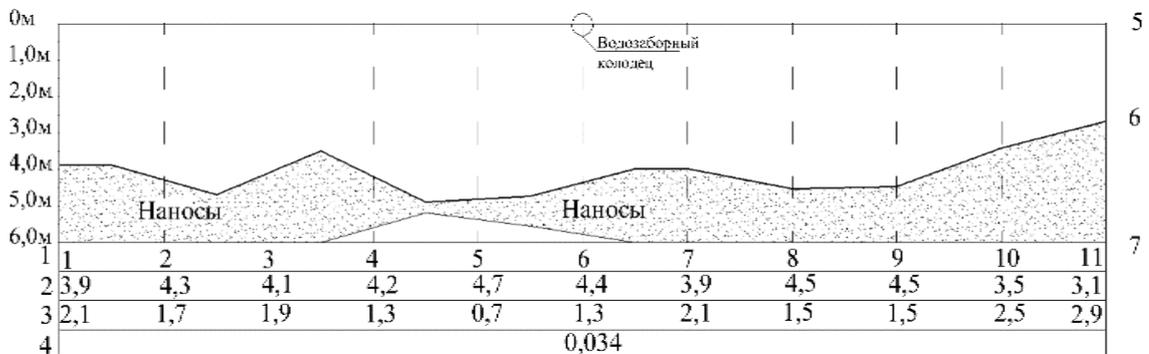
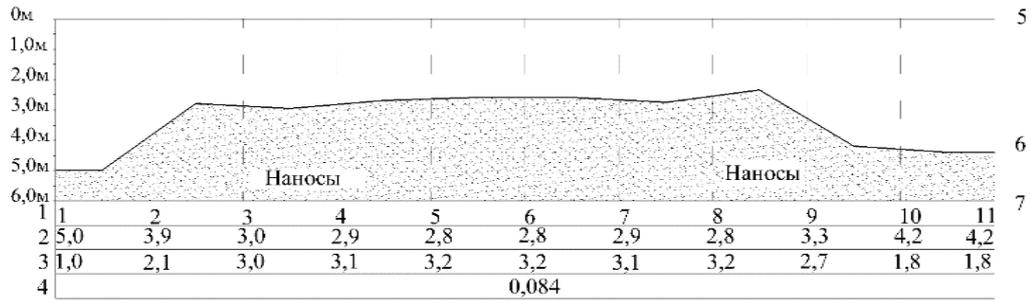


Рисунок 2.40 – Профили дна ковша по створам V – V и VI – VI

## Створ VII – VII



## Створ VIII – VIII

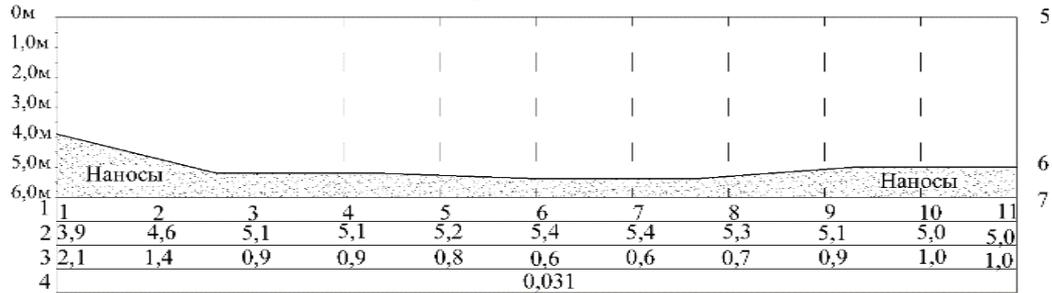
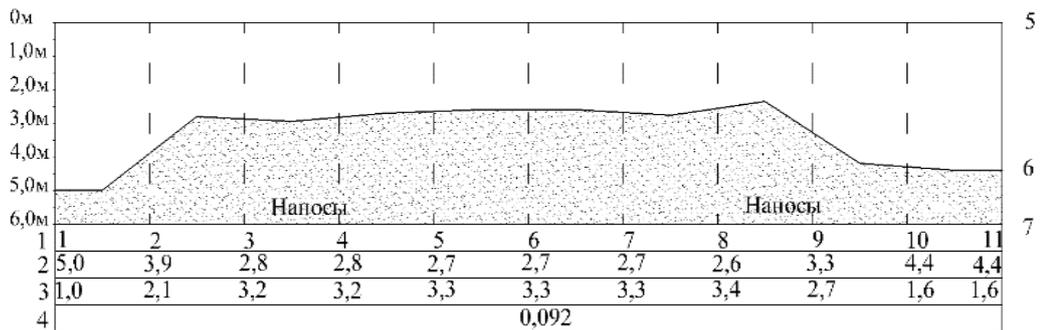


Рисунок 2.41 – Профили дна ковша по створам VII – VII и VIII – VIII

## Створ IX – IX



## Створ X – X

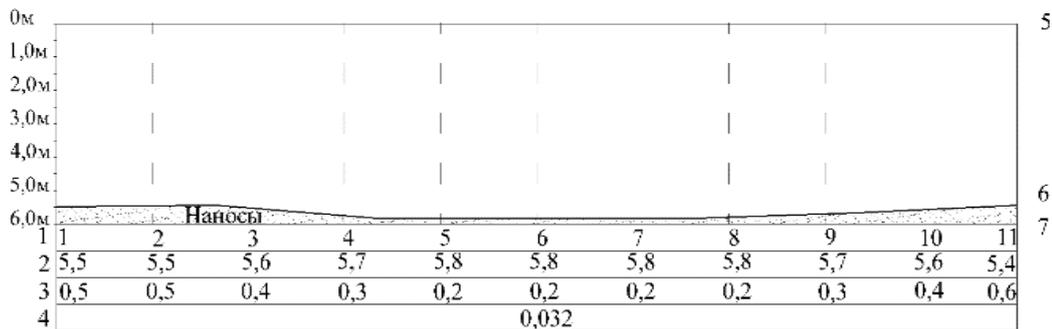


Рисунок 2.42 – Профили дна ковша по створам IX – IX и X – X

Для удобства и наглядности сравнения критических скоростей рыб размером от 15 до 60 мм со скоростями в створах А – А, Б – Б, В – В, Г – Г, Д – Д, Е – Е результаты расчётов представлены в табличной форме (таблицы 2.1 и 2.2).

Таблица 2.1 – Результаты обследования попадания рыб в водозаборный узел НС № 3 с расчётным расходом 310000 м<sup>3</sup>/сут

Размер рыб, см	Критическая скорость, см/с	Скорость на участке, см/с													
		Скорость потока воды на участке, см/с	Створ А – А		Створ Б – Б		Створ В – В		Створ Г – Г		Створ Д – Д		Створ Е – Е		
			2 м от входа в контейнеры	возможность принудительного попадания	1,5 м от входа в контейнеры	возможность принудительного попадания	у входа в контейнеры	возможность принудительного попадания	у входа в вихревую камеру	возможность принудительного попадания	узкая часть вихревой камеры	возможность принудительного попадания	в трубопроводе	возможность принудительного попадания	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
6	60	макс.	12	нет	21,4	нет	48	нет	94	да	166	да	318	да	
		сред.	6	нет	10,7	нет	24	нет	47	нет	83	да	159	да	
		мин.	3	нет	5,35	нет	12	нет	23,5	нет	41,5	нет	79,5	да	
5,5	55	макс.	12	нет	21,4	нет	48	нет	94	да	166	да	318	да	
		сред.	6	нет	10,7	нет	24	нет	47	нет	83	да	159	да	
		мин.	3	нет	5,35	нет	12	нет	23,5	нет	41,5	нет	79,5	да	
5	50	макс.	12	нет	21,4	нет	48	нет	94	да	166	да	318	да	
		сред.	6	нет	10,7	нет	24	нет	47	нет	83	да	159	да	
		мин.	3	нет	5,35	нет	12	нет	23,5	нет	41,5	нет	79,5	да	
4,5	45	макс.	12	нет	21,4	да	48	да	94	да	166	да	318	да	
		сред.	6	нет	10,7	нет	24	нет	47	да	83	да	159	да	
		мин.	3	нет	5,35	нет	12	нет	23,5	нет	41,5	нет	79,5	да	

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	40	макс.	12	нет	21,4	нет	48	да	94	да	166	да	318	да
		сред.	6	нет	10,7	нет	24	нет	47	да	83	да	159	да
		мин.	3	нет	5,35	нет	12	нет	23,5	нет	41,5	да	79,5	да
3,5	35	макс.	12	нет	21,4	нет	48	да	94	да	166	да	318	да
		сред.	6	нет	10,7	нет	24	нет	47	да	83	да	159	да
		мин.	3	нет	5,35	нет	12	нет	23,5	нет	41,5	да	79,5	да
3	30	макс.	12	нет	21,4	нет	48	да	94	да	166	да	318	да
		сред.	6	нет	10,7	нет	24	нет	47	да	83	да	159	да
		мин.	3	нет	5,35	нет	12	нет	23,5	нет	41,5	да	79,5	да
2,5	25	макс.	12	нет	21,4	нет	48	да	94	да	166	да	318	да
		сред.	6	нет	10,7	нет	24	нет	47	да	83	да	159	да
		мин.	3	нет	5,35	нет	12	нет	23,5	нет	41,5	да	79,5	да
2	20	макс.	12	нет	21,4	да	48	да	94	да	166	да	318	да
		сред.	6	нет	10,7	нет	24	да	47	да	83	да	159	да
		мин.	3	нет	5,35	нет	12	нет	23,5	да	41,5	да	79,5	да
1,5	15	макс.	12	нет	21,4	да	48	нет	94	да	166	да	318	да
		сред.	6	нет	10,7	нет	24	да	47	да	83	да	159	да
		мин.	3	нет	5,35	нет	12	да	23,5	да	41,5	да	79,5	да

Таблица 2.2 – Результаты обследования попадания рыб в водозаборный узел НС № 1 с расчётным расходом 110000

м<sup>3</sup>/сут

Размер рыб, см	Критическая скорость, см/с	Скорость на участке, см/с										
		Скорость потока воды на участке, см/с	Створ Б – Б		Створ В – В		Створ Г – Г		Створ Д – Д		Створ Е – Е	
			1,5 м от входа в контейнеры	возможность принудительного попадания	у входа в контейнеры	возможность принудительного попадания	у входа в вихревую камеру	возможность принудительного попадания	узкая часть вихревой камеры	возможность принудительного попадания	в трубопроводе	возможность принудительного попадания
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6	60	макс.	7,4	нет	16,8	нет	33,6	нет	58,8	нет	112,6	да
		сред.	3,7	нет	8,4	нет	16,8	нет	29,4	нет	56,3	нет
		мин.	1,85	нет	4,2	нет	8,4	нет	14,7	нет	28,15	нет
5,5	55	макс.	7,4	нет	16,8	нет	33,6	нет	58,8	да	112,6	да
		сред.	3,7	нет	8,4	нет	16,8	нет	29,4	нет	56,3	да
		мин.	1,85	нет	4,2	нет	8,4	нет	14,7	нет	28,15	нет
5	50	макс.	7,4	нет	16,8	нет	33,6	нет	58,8	да	112,6	да
		сред.	3,7	нет	8,4	нет	16,8	нет	29,4	нет	56,3	да
		мин.	1,85	нет	4,2	нет	8,4	нет	14,7	нет	28,15	нет
4,5	45	макс.	7,4	нет	16,8	нет	33,6	нет	58,8	да	112,6	да
		сред.	3,7	нет	8,4	нет	16,8	нет	29,4	нет	56,3	да
		мин.	1,85	нет	4,2	нет	8,4	нет	14,7	нет	28,15	нет

Продолжение таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	40	макс.	7,4	нет	16,8	нет	33,6	нет	58,8	да	112,6	да
		сред.	3,7	нет	8,4	нет	16,8	нет	29,4	нет	56,3	да
		мин.	1,85	нет	4,2	нет	8,4	нет	14,7	нет	28,15	нет
3,5	35	макс.	7,4	нет	16,8	нет	33,6	нет	58,8	да	112,6	да
		сред.	3,7	нет	8,4	нет	16,8	нет	29,4	нет	56,3	да
		мин.	1,85	нет	4,2	нет	8,4	нет	14,7	нет	28,15	нет
3	30	макс.	7,4	нет	16,8	нет	33,6	да	58,8	да	112,6	да
		сред.	3,7	нет	8,4	нет	16,8	нет	29,4	нет	56,3	да
		мин.	1,85	нет	4,2	нет	8,4	нет	14,7	нет	28,15	нет
2,5	25	макс.	7,4	нет	16,8	нет	33,6	да	58,8	да	112,6	да
		сред.	3,7	нет	8,4	нет	16,8	нет	29,4	да	56,3	да
		мин.	1,85	нет	4,2	нет	8,4	нет	14,7	нет	28,15	да

Результаты проведённого анализа и экспериментального исследования по оценке проблемы рыбозащиты показывают изменение гидравлических параметров течения воды в водозаборном сооружении, в частности скоростного режима, что способствует попаданию рыб, наносов, шуги и мусора в ковш и впоследствии на оросительные поля.

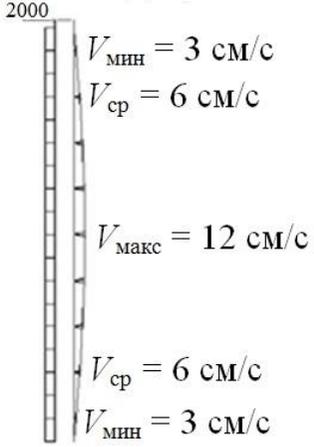
На основе полученных данных измерений построены эпюры скоростей течения воды и представлены на рисунках 2.43 и 2.44.

По построенным эпюрам скоростей можно сделать вывод, что особо опасные для рыб сносящие скоростные режимы наблюдаются в трубопроводе, и по мере удаления от него они уменьшаются. Например, на расстоянии 2 м и более от контейнера скорости не опасны для разных размеров рыб, потому что на таком расстоянии от водозабора скорости течения потока меньше критических скоростей рыб. По требованию Федерального агентства по рыболовству защитные устройства на водозаборах должны обеспечивать защиту молоди рыб длиной более 12 мм. Минимальная скорость сноса рыб потоком воды определялась по эмпирической формуле (см. формулу 2.1). Минимальная скорость сноса потоком воды для рыб длиной 12 мм равна 10,2 см/с. Эти скорости меньше скоростей входа воды в водоприёмную кассету, следовательно, данный водозабор не отвечает требованиям Федерального агентства «Росрыболовство» по защите молоди рыб.

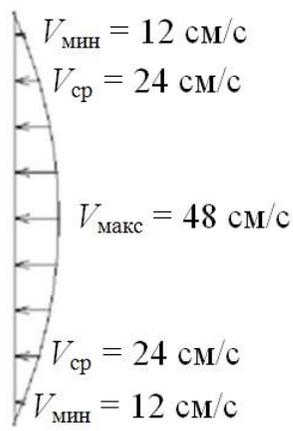
По результатам гидравлических исследований можно сделать следующие выводы:

- створ А – А – не является опасным, поскольку значения критических скоростей рыб превышают значения сносящих скоростей;
- створ Б – Б – только при максимальных значениях скоростей попадут в водозабор рыбы размерами от 15 до 20 мм;
- створ В – В – при максимальных значениях скоростей попадут в водозабор рыбы размерами от 15 до 45 мм, а при средних и минимальных значениях скоростей попадут рыбы размерами от 15 до 20 мм;

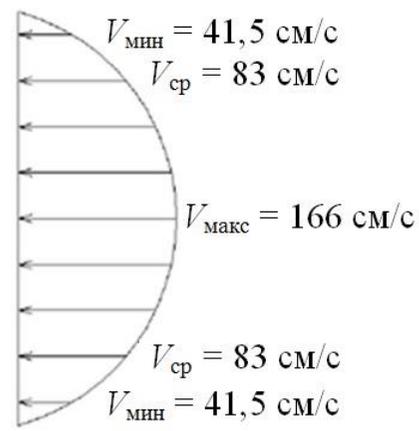
А – А  
2 м от входа в водоприёмник



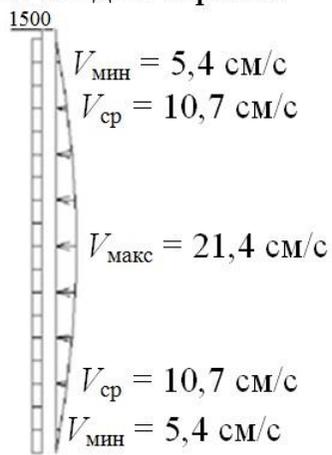
В – В  
у входа в водоприёмник



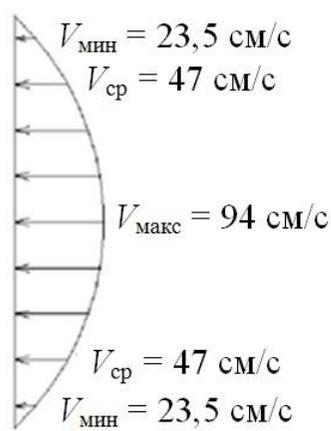
Д – Д  
узкая часть водоприёмника



Б – Б  
1,5 м от входа в барабан



Г – Г  
у входа в узкой части



Е – Е  
в трубопроводах

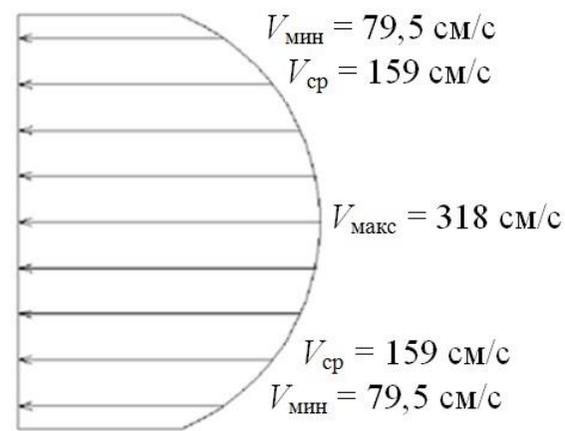
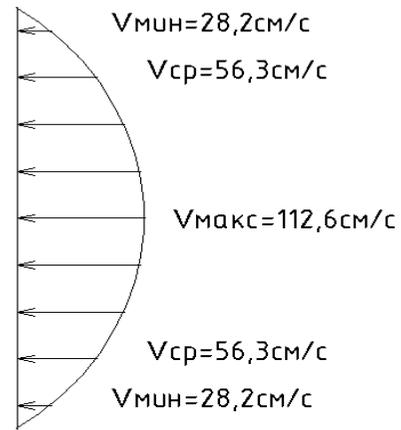
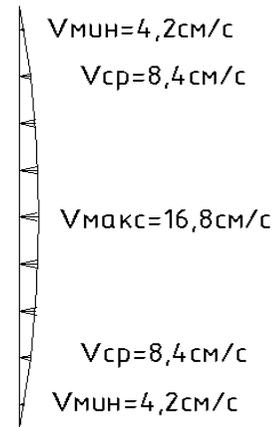


Рисунок 2.43 – Эпюры скоростей (водозабор НС № 3)

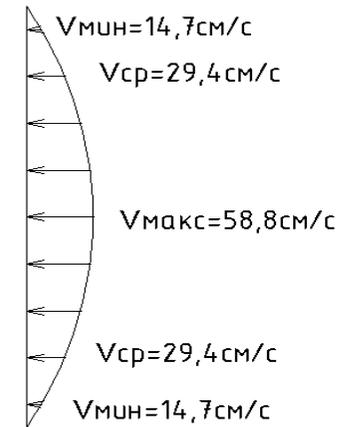
в трубопроводах (Е-Е)



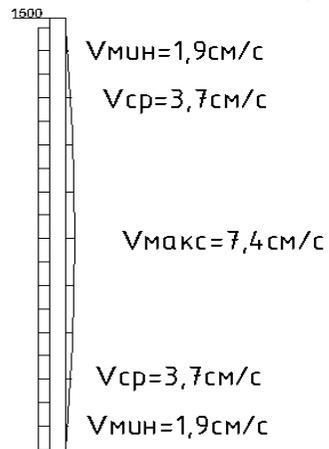
у входа в контейнеры (В-В)



узкая часть вихревой камеры (Д-Д)



1,5 м от входа в контейнеры (Б-Б)



у входа в вихревую камеру (Г-Г)

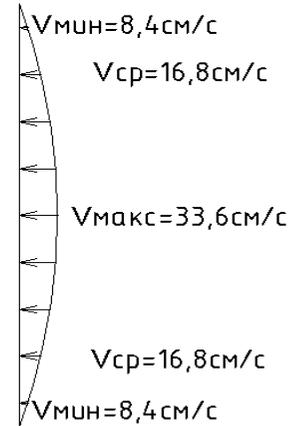


Рисунок 2.44 – Эпюры скоростей (водозабор НС № 1)

- створ Г – Г – попадут в водозабор только при максимальных значениях скоростей рыбы размерами от 15 до 60 мм, а при средних и минимальных значениях скоростей попадут рыбы размерами от 15 до 45 мм, а при минимальных скоростях – рыбы размерами от 15 до 20 мм;

- створ Д – Д – попадут в водозабор при средних и максимальных значениях скоростей рыбы размерами от 15 до 60 мм, а при минимальных скоростях попадут только рыбы размерами от 14 до 40 мм;

- створ Е – Е – попадут в водозабор рыбы размерами от 15 до 60 мм при любых значениях скоростей (минимальные, средние и максимальные).

Более опасным для шуго-рыбо-водно-биологических-фитопланктонных показателей является береговой водоприёмник, который не оборудован даже пустыми контейнерами. Береговой водоприёмник имеет только грубую решётку размером 40 × 60 мм.

На основании гидрометрического обследования была установлена скорость воды в ковше, которая может увлечь рыбную молодь в водозаборные сооружения. Более опасным для шуго-рыбо-водно-биологических-фитопланктонных показателей является береговой водоприёмник, который не оборудован даже пустыми контейнерами. Отсутствие загрузки в контейнерах приводит к изменению гидравлических параметров течения воды в водохозяйственно-технологическом комплексе, в частности, скоростного режима воды, что не препятствует попаданию рыб, наносов, шуги и мусора в ковш и соответственно на ВС.

По построенным эпюрам скоростей можно сделать вывод, что особо опасные сносящие скоростные режимы наблюдаются в трубопроводе и по мере удаления от него они уменьшаются. Рыба размером до 50 мм, находящаяся в зоне радиуса 1500 мм вокруг кассет, попадет в водоприёмную трубу в 90 % случаев. Обледенение ковша снизит пропускную способность водохозяйственно-технологического комплекса на 15–20 % при толщине льда до 700 мм. Обледенение ковша при толщине льда более 700 мм может вызвать обледенение водоприёмных кассет, что соответственно приведёт к уменьше-

нию пропускной способности водоприёмных сооружений.

Оценка эффективности работы ковшового водозабора по сохранению молоди рыб и защите его от сине-зелёных водорослей и механических загрязнений проводилась после:

- измерения скоростей сноса рыб потоком воды у входа в водоприёмные кассеты;

- определения причин интенсивного размножения сине-зелёных водорослей;

- определения причин механического загрязнения отбираемой воды из ковша. Состояние водозаборного ковша определяется также концентрацией сине-зелёных водорослей в воде. В августе 2012 г. средняя температура воды в реке Дон была 25 °С, а температура воды в ковше 28 °С. Повышение температуры в ковше на 3 °С произошло из-за увеличения времени прогрева воды солнцем, так как скорость течения воды в ковше, в сравнении со скоростью воды в реке Дон, уменьшается в 1,6 раза. При таких условиях в ковше сине-зелёные водоросли интенсивно размножаются, а их концентрация по биомассе увеличивается с 9 до 35 мг/л.

Слабым цветение воды считается при содержании водорослей до 1 мг/л, умеренным – 1–10 мг/л. Водоприёмник (ковш) в «Водохозяйственном комплексе» предназначен для защиты отбираемой воды от механических загрязнений. Для защиты водоприёмных кассет от шуги и плавающих предметов используется боновое ограждение из труб диаметром 700 мм с забральной стенкой, погружённой в воду на 1500 мм. Для защиты ковша от донных влекомых наносов используется струенаправляющая дамба длиной 25 м и шириной 3 м.

Результаты обследования:

**ПРОБЛЕМА 1.** По построенным профилям глубин ковша можно сказать, что большое количество наносов образовалось за контейнерами (створ VII-VII, IX-IX); перед струенаправляющей дамбой (створ I-I) и возле правого угла бонового ограждения. Перед контейнерами почти нет наносов, и это

говорит о том, что большинство наносов (летний период) и шуги (зимний период) попадают в водозаборные узлы через пустые контейнеры; Отбираемая вода из ковша имеет повышенную мутность из-за малой эффективности струенаправляющей дамбы без предварительной очистки в водоприёмных кассетах.

**ПРОБЛЕМА 2.** Более опасным для шуго-рыбо-водно-биологических-фитопланктонных показателей является береговой водоприёмник, который не оборудован даже пустыми контейнерами. Береговой водоприёмник имеет только грубую решётку размером 40x60 мм, не обеспечивается защита молоди рыб из-за повышенной скорости входа воды в водоприёмные кассеты; Установлено, что на водозаборном сооружении не обеспечивается защита молоди рыб из-за повышенной скорости входа воды в водоприёмные кассеты;

**ПРОБЛЕМА 3.** В августе (2012 г.) средняя температура воды в реке Дон была +25 °С, а температура воды в ковше +28°С. Повышение температуры в ковше на 3°С произошло из-за увеличения времени прогревания воды солнцем, так как скорость течения воды в ковше, в сравнении со скоростью воды в реке Дон, уменьшается в 1,6 раза. При таких условиях в ковше сине-зелёные водоросли интенсивно размножаются, а их концентрация по биомассе увеличивается с 9 мг/л до 35 мг/л. Слабым цветение воды считается при содержании водорослей до 1 мг/л, умеренным – (1-10) мг/л. Отбираемая вода в летний период имеет повышенную концентрацию по мутности и цветности, в результате повышения температуры воды и отсутствия средств защиты от водорослей, а также недостаточная длина струенаправляющей дамбы и отсутствие фильтрующей загрузки в водоприёмных кассетах;

**ПРОБЛЕМА 4.** Обледенение ковша снизит пропускную способность водозаборного сооружения на 15-20% при толщине льда до 700 мм, толщина льда, местами составляющая 400-500 мм, создает опасность в режиме работы водозаборного оголовка, в частности сокращается полезный объём воды в ковше, который соответственно приведёт к увеличению скорости у водопри-

ёмных кассет. А это будет способствовать попаданию рыб, льда, шуги и мусора в водоприёмные сооружения.

## 2.4 Оценка технического и технологического состояния водозабора Невиномысского оросительного канала (г. Ставрополь)

В 2017–2020 гг. была проведена оценка технического и технологического состояния водозабора г. Ставрополь, расположенного на Сенгилеевском водохранилище с подачей кубанской воды по Невинномысскому оросительному каналу. Основным назначением Сенгилеевского водохранилища являются: аккумулярование части стока Невинномысского канала в многоводный период года для расходования его в маловодный период, обводнения р. Егорлык, каскада Манычских водохранилищ и обеспечении работы гидроэлектростанций; покрытие водопотребления в период текущих ремонтов Невинномысского канала; создание бесперебойной работы Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы. Водозабор, совместно с насосной станцией первого подъёма НС-3, в 1971 году был построен на свайной платформе площадью 236 м<sup>2</sup> на расстоянии 80 м от берега водохранилища (рис.2.46). В состав сооружений водохранилища входят: сооружения для наполнения водохранилища, земляная плотина, водовыпуск, обеспечивающий пропуск необходимых расходов в р. Егорлык, прокоп, головные водозаборные сооружения Ставропольского водопровода. Насосная станция НС-3 состоит из десяти погружных насосов. Каждый насос с производительностью 1200 м<sup>3</sup>/ч опущен в обсадную стальную трубу диаметром 700 мм.



Вода забирается насосом с глубины 10 м и подаётся в накопительный резервуар насосной станции НС-3А. НС-3А перекачивает воду в накопительный резервуар станции второго подъёма НС-4, а затем в резервуар станции третьего подъёма НС-5. Биологические обрастания снижают пропускную способность мелиоративных систем и эффективность дождевальных установок. Обрастания моллюском *Dreissena* за несколько месяцев способны полностью перекрыть просвет труб. При работе Невинномысского оросительного канала в трубах и отстойных сооружениях складываются гидродинамические и гидротермические условия, способствующие не только существованию в них моллюска *Dreissena*, но и его высокой скорости роста (проточность, постоянный приток кислорода и питательных веществ). Кроме взрослых моллюсков, их личинки (велигеры), попадая с водой из естественных водоёмов в оросительные каналы, расселяются, вызывая обрастание трубопроводов и технологического оборудования.

В связи с перечисленными выше проблемами возникает необходимость периодической чистки труб в период остановки водозабора, а также разработки прогрессивных методов очистки или предотвращения системы трубопроводов от биообрастаний. По индивидуальному проекту института «Гипрокоммунводоканал» (Кисловодское отделение) построены водозаборные сооружения, совмещённые с насосной станцией «Островная». Населённых пунктов по берегам водохранилища нет. Вода Сенгилеевского водохранилища имеет минерализацию не более 420 мг/л (норма не более 1000 мг/л) и мутность не более 1,7 мг/л (норма не более 2 мг/л).

Для сохранения рыб в местах всасывания воды установлена сетка из нержавеющей стали с ячейками 22 × 22 мм. Скорость фильтрации воды через рыбозащитную сетку равна 10 см/с. При такой скорости всасывания воды обеспечивается сохранность рыб длиной 10 мм и более. Основной проблемой на водозаборном сооружении является обрастание технологического оборудования дрейссеной и, как следствие, снижение эффективности водозабора и увеличение энергозатрат. Дрейссена – двустворчатый моллюск, интенсивно

размножаясь в Сенгилеевском водохранилище, является активным фильтратом воды, снижая её мутность, и ценным кормом для многих рыб и раков. В то же время дрейссена выделяет большое количество азота и фосфора, стимулирующих рост водорослей, попадая в погружные насосы, разрушает их (рис.2.47а), прикрепляясь колониями на внутренних стенках водопроводов (рис.2.47б) и на рыбозащитных решётках (рис.2.47в, увеличивает их гидравлическое сопротивление, т. е. препятствует забору воды насосами).



Рисунок 2.47 – Разрушение рабочих колёс погружного насоса (а), перекрытие водопроводов (б) и решёток (в) дрейссеной

Так как размер велигеров (личинки дрейссены) составляет 0,1–0,2 мм, они свободно проникают через сетки и песчаные фильтры в водопроводную сеть и в накопительные резервуары для воды, развиваясь там и отмирая, ухудшают качество питьевой воды. Обнаружены большие скопления дрейссены на дне накопительного резервуара насосной станции НС-3.

Толщина слоя обрастания дрейссеной внутренней или внешней поверхности водопроводов за год составляет 25–50 мм.

Борьба с дрейссеной на водозаборе города Ставрополь осуществляется двумя методами: зарыблением, с целью сокращения дрейссены в водохранилище, и механической очисткой накопительных резервуаров и внешней поверхности водоподъёмных труб.

Через 2–3 года водоподъёмные трубы с обрастаниями дрейссеной внутренней поверхности из-за крайне затратной механической очистки заменяются новыми, так как их пропускная способность снижается в два и более раза. В последние годы в Сенгилеевском водохранилище получил распространение моллюск дрейссена (рис.2.48 и 2.49).



Рисунок 2.48 – Дрейссена

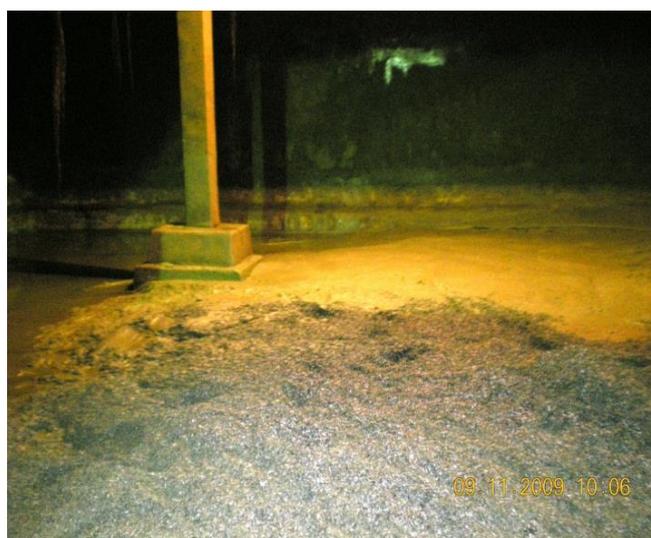


Рисунок 2.49 – «Залежи» в резервуаре НС

Обрастание зачастую может быть значительным. Это может привести к критическим потерям напора во всасывающей системе водозабора и, как следствие, к нарушению работы насосных станций.

Результаты обследования выявили следующие проблемы:

**ПРОБЛЕМА 1.** Основной проблемой на водозаборном сооружении является обрастание технологического оборудования дрейссеной и, как следствие, снижение эффективности водозабора и увеличение энергозатрат. Дрейссена – двустворчатый моллюск, интенсивно размножаясь в Сенгилеевском водохранилище, прикрепляясь колониями на внутренних стенках водоводов и на рыбозащитных решётках, увеличивает их гидравлическое сопротивление, т. е. препятствует забору воды насосами. При работе Невинномысского оросительного канала в трубах и отстойных сооружениях складываются гидродинамические и гидротермические условия, способствующие не

только существованию в них моллюска *Dreissena*, но и его высокой скорости роста (проточность, постоянный приток кислорода и питательных веществ). Кроме взрослых моллюсков, их личинки (велигеры), попадая с водой из естественных водоёмов в оросительные каналы, расселяются вызывая обрастание трубопроводов и технологического оборудования.

**ПРОБЛЕМА 2.** В связи с перечисленными выше проблемами возникает необходимость периодической чистки труб в период остановки водозабора, а также разработки прогрессивных методов очистки или предотвращения системы трубопроводов от биообрастаний. Толщина слоя обрастания дрейссеной внутренней или внешней поверхности водопроводов за год составляет 25-50 мм. Борьба с дрейссеной на водозаборе города Ставрополь осуществляется двумя методами: зарыблением, с целью сокращения дрейссены в водохранилище, и механической очисткой накопительных резервуаров и внешней поверхности водоподъёмных труб. Через 2-3 года водоподъёмные трубы с обрастаниями дрейссеной внутренней поверхности из-за крайне затратной механической очистки заменяются новыми, так как их пропускная способность снижается в два и более раза. В последние годы в Сенгилеевском водохранилище получил распространение моллюск дрейссена. Обрастание зачастую может быть значительным. Это может привести к критическим потерям напора во всасывающей системе водозабора и, как следствие, к нарушению работы насосных станций.

**ПРОБЛЕМА 3.** Отсутствуют технические средства защиты водозабора от дрейссены; – зарыбление водохранилища, как показала практика, малоэффективно для борьбы с обрастанием дрейссеной технологического оборудования водозабора. На водозаборе города Ставрополь с производительностью 190 тысяч кубометров воды в сутки, из-за отсутствия защитных устройств от биообрастания, ежегодно на борьбу с дрейссеной расходуется более 60 миллионов рублей (издание «Блокнот Ставрополь», 29.12.2020 г.).

## 2.5 Оценка технического и технологического состояния водозабора Константиновской оросительной системы

В 2018 г. был проведён мониторинг технического и технологического состояния ковшового водозабора. Ковшовый водозабор имеет длину 70 м и заглубление в берег 30 м. Константиновская оросительная система расположена на правобережной пойме и I, II и III надпойменных террасах р. Дон на землях Константиновского района, Ростовской области в зоне подпора Константиновского гидроузла. Проектная площадь орошения системы определена в 7,4 тыс. га. Запитка системы осуществлялась ковшовым водозабором из реки Дон, в котором размещены донный водоприёмник с производительностью 480 м<sup>3</sup>/ч и береговой водоприёмник с проектной производительностью 500 м<sup>3</sup>/ч. Водозаборный ковш не оборудован струенаправляющей дамбой и боновым ограждением. Поэтому в нём ежегодно накапливаются влекомые наносы до 0,6 м, плавающий мусор и шуга. На рисунке 2.50 показана схема ковшового водозабора.



1 – донный водоприёмник; 2 – насосная станция с береговым колодцем; 3 – береговой водоприёмник; 4 – насосная станция

Рисунок 2.50 – Схема ковшового водозабора

Время пребывания воды в ковше недостаточное для седиментации взвешенных твёрдых частиц, так как береговой и донный водоприёмники расположены не более 30 м от реки Дон, по которой проходят грузовые суда, значительно увеличивая мутность воды в реке из-за судовых волн и работы гребных винтов.

Осветления воды в ковше почти не происходит, и она с мутностью 250–500 мг/л свободно всасывается донным и береговым водоприёмниками. От донного водоприёмника 1 с гравийной обсыпкой по двум трубам диаметром 300 мм речная вода поступает в водоприёмную камеру берегового колодца 2. В береговом колодце четыре погружных насоса типа ЭЦВ12-160-100 для подачи воды потребителю. Скорость входа воды в донный водоприёмник равна 4 см/с, что соответствует требованиям Федерального агентства «Росрыболовство» по защите молоди рыб. Водоприёмная камера берегового водозабора имеет рыбозащитную нержавеющую сетку с размером  $3 \times 3$  м с ячейками  $0,3 \times 0,3$  мм. Скорость входа воды в водоприёмную камеру не превышает 5 см/с, что соответствует требованиям Федерального агентства «Росрыболовство» по защите молоди рыб. Результат химического анализа исходной воды представлен лабораторией очистных сооружений (табл.2.3).

Таблица 2.3 – Химический состав исходной воды (2013 г.)

Наименование показателей качества воды	Результат исследования, мг/дм <sup>3</sup>							
	22.01	26.02	22.03	22.04	25.05	25.06	20.07	22.07
Взвешенные вещества	25,40	23,20	21,70	–	–	–	–	–
Сухой остаток	400	500	355,2	345,2	418,0	558,70	378,50	419,05
БПК <sub>полн.</sub>	2,5	2,2	2,3	–	–	–	–	–
БПК <sub>5</sub>	2,0	1,76	1,84	–	–	–	–	–
Нитриты	0,01	0,018	0,02	0,025	0,02	0,02	0,03	0,02
Нитраты	0,60	0,60	0,70	0,77	0,77	1,50	1,30	1,30
Фосфаты	0,08	0,09	0,07	–	–	–	–	–

Продолжение табл. 2.3								
Хлориды	60,0	70,0	56,0	54,0	54,0	52,0	48,0	54,0
Сульфаты	144,6	165,90	174,8	197,5	154,40	155,70	171,8	151,50
Азот аммонийный	0,04	0,083	0,07	0,083	0,08	0,08	0,08	0,09
Железо общее	0,08	0,185	0,10	0,12	0,14	0,1	0,16	0,12
Сульфиды	0	0	0	0	0	0	0	0
Температура	7,8	7,3	10,8	14,3	24,8	23,0	26,2	22,0
pH	7,7	7,6	6,7	8,2	8,2	7,9	7,7	8,2
Жесткость общая	5,0	5,6	5,4	4,6	5,0	4,0	4,2	4,2
Марганец	0,01	0,01	0,03	0,07	0,03	0,07	0,12	0,09
Цветность	17,40	17,40	27,9	24,4	24,47	24,4	34,9	66,3
Мутность	0,77	0,77	2,14	2,14	2,96	0,77	1,86	1,59

По качеству воды источник водоснабжения был отнесён к I классу (табл.2.3). Для получения воды из источника водоснабжения I класса, соответствующей ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая» и СанПиН 2 1.4.559-96, требуется фильтрование воды без коагулирования и её обеззараживание.

Очистка воды (фильтрование) рекомендована на основании технологических исследований и опыта работы и эксплуатации очистных сооружений в аналогичных условиях, проводимых на медленных двухслойных фильтрах с усовершенствованной конструкцией гидравлического рыхлителя. К настоящему времени выявлен ряд существенных проблем, связанных с содержанием большого количества фитопланктона в воде водоисточника в период «цветения» водоёма. В июле 2012 г. наблюдалось максимальное за последние 5 лет содержание сине-зелёных водорослей. Присутствие их будет негативно влиять на ведение технологического процесса водоподготовки (снижает эффективность работы очистных сооружений, образуют, так называемый, «панцирь» на поверхностях фильтрующих сооружений).

Результаты обследования:

**ПРОБЛЕМА 1.** Отбираемая вода из ковша имеет повышенную мутность из-за отсутствия струнаправляющей дамбы, бонового ограждения и

предварительной очистки от механических загрязнений в береговом и донном водоприёмниках. Время пребывания воды в ковше недостаточное для седиментации взвешенных твёрдых частиц, так как береговой и донный водоприёмники расположены не более 30 м от реки Дон, по которой проходят грузовые суда, значительно увеличивая мутность воды в реке из-за судовых волн и работы гребных винтов. Осветления воды в ковше почти не происходит, и она с мутностью 250-500 мг/л свободно всасывается донным и береговым водоприёмниками.

**ПРОБЛЕМА 2.** Отбираемая вода в летний период имеет повышенную концентрацию сине-зелёных водорослей из-за отсутствия в акватории ковша средств инактивации водорослей. Присутствие большого количества фитопланктона в воде в оросительный период негативно влияет на ведение технологического процесса и водоподготовки (снижает эффективность работы дождевальных машин, образуют, так называемый, «панцирь» на поверхностях фильтрующих сооружений).

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. По результатам оценки технического и технологического состояния действующих водозаборов оросительных систем определены проблемные вопросы: летом – большое содержание мусора растительного происхождения и сине-зелёных водорослей, зимой – ледовые помехи и шуга; проблема сохранения биоразнообразия на водных объектах; защита сооружений от загрязнений биогенного характера – обрастание насосно-силового и распределительного оборудования мелиоративных систем, которые не могут решаться или требуют значительных финансовых затрат. Намного проще и эффективнее избавляться от подобных загрязнений на этапе забора воды из водисточника, чем устраивать дополнительные сооружения для их задержания на насосные станции и оросительные каналы.

2. В результате анализа по определённым причинам недостаточной функциональной работы водозаборных сооружений выявлены отрицательные последствия недостаточного качества воды на элементы рассматриваемых оросительных систем. Результаты загрязнения от некачественной работы водозаборных сооружений представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Обобщённые результаты анализа действующих водозаборов оросительных систем

Наименование объекта	Оросительная вода			
	Механические загрязнения, %	Сине-зелёные водоросли, %	Дрейссена, %	Ихтиофауна, %
Магистраль. каналы	73	53	85	70
Тупиковые каналы	63	43	70	64
Напорные трубопроводы	25	70	80	70
Аппараты и насадки дождевальных машин	25	70	80	57
Насосные станции	70	70	90	78
г. Волгодонск	-	2009 г. – (остановка водозабора)	-	-
г. Ставрополь	-	-	Более 60 млн. руб. ежегодно	-
Ущерб рыбному хозяйству	-	-		24,8 тыс. руб. на 1 м <sup>3</sup> /с воды

3. Оценивая техническое и технологическое состояние оросительных систем по таблице 1, можно сказать, что недостаточно очищенная оросительная вода приводит к ухудшению показателей функциональной работы насосных станций до 73% от механических загрязнений, до 70% от водорослей, до 90% от обрастания дрейссеной и приносит ущерб рыбному хозяйству до 78%. Все перечисленные факторы нарушают работоспособность насосных станций, дождевальных аппаратов и насадок дождевальных машин, приводят

зарастанию напорных трубопроводов закрытой оросительной сети, соответственно это способствует энергозатратам на перекачку оросительной воды, при этом качество и эффективность полива в значительной степени снижаются, ухудшается плодородие почвы, что приводит к потере урожайности сельскохозяйственных культур.

4. Интенсивное водопользование в сочетании со сбросом в водные объекты большого количества загрязнённых и нормативно очищенных сточных вод позволяет констатировать факт о том, что внутренние водоёмы России находятся в чрезвычайно неудовлетворительном состоянии. Данное обстоятельство требует реализации широкого комплекса мероприятий по защите и восстановлению водных объектов, в том числе восстановлению биологического потенциала этих водоёмов и, в частности, по защите молоди рыб от попадания в водозаборы мелиоративных систем.

5. Перечисленные выше причины усугубляются ещё и тем, что качество и эффективность полива в значительной степени снижаются, что в целом приводит к потере урожая сельскохозяйственных культур, а попавшие в поливную воду семена сорной растительности прорастают в каналах и приводят к их разрушению. Также при этом увеличиваются потери воды на фильтрацию, с зарастанием русла снижаются скорости течения потока с уменьшением его расхода.

6. В связи с вышеизложенным представляется как никогда актуальным научное обеспечение и разработка безопасных конструкций функциональной работы оросительных водозаборов с целью очистки оросительной воды от механических и биологических загрязнений, зелёных водорослей, явления обрастания мелиоративных систем, с сохранением рыбных запасов в водные объекты, в составе природно-технической системы специализированного типа (ПТС) «Водный объект – Водозаборные сооружения – Оросительная система», который представляет с собой единый блок защитных мероприятий, осуществляющий комплексное решение всех перечисленных проблем, с учётом взаимосвязи техногенного и природных компонентов.

### 3. НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ТИПА ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Представлены теоретические аспекты обоснования актуальности создания концептуальной модели по обеспечению ресурсосберегающих водозаборных сооружений оросительных систем, направленных на повышение качества воды и эффективности эксплуатации мелиоративного оборудования [151, 152, 244, 245] .

#### 3.1 Научные концепции создания специализированного типа природно – технической системы

Современные тенденции развития многогранных видов хозяйственной деятельности неотъемлемо взаимосвязаны с увеличением объёмов использования водных ресурсов, в том числе в отрасли мелиорации. Как установлено, только ежегодно из водных объектов бассейновых геосистем изымается около 100 км<sup>3</sup> пресной воды, что определяет важные проблемы по сохранению многообразия биоресурсов, в особенности рыбного природного потенциала [73, 74, 75, 83, 84, 90, 93].

На примере бассейна реки Дон пространственная схема бассейновой геосистемы представлена на рисунке 3.1.

Пространственная схема бассейновой геосистемы представляет собой открытую природную систему, при отсутствии в её пределах объектов хозяйственной деятельности, или природно-технической системы (ПТС) «Водный объект (ВО) – Водозаборное сооружение (ВС) – Оросительная система (ОС)», когда в её пределах находится тот или иной объект хозяйственной деятельности. Природная среда в ПТС «ВО – ВС – ОС» рассматривается в пространственных пределах бассейновой геосистемы того или иного иерархического уровня.

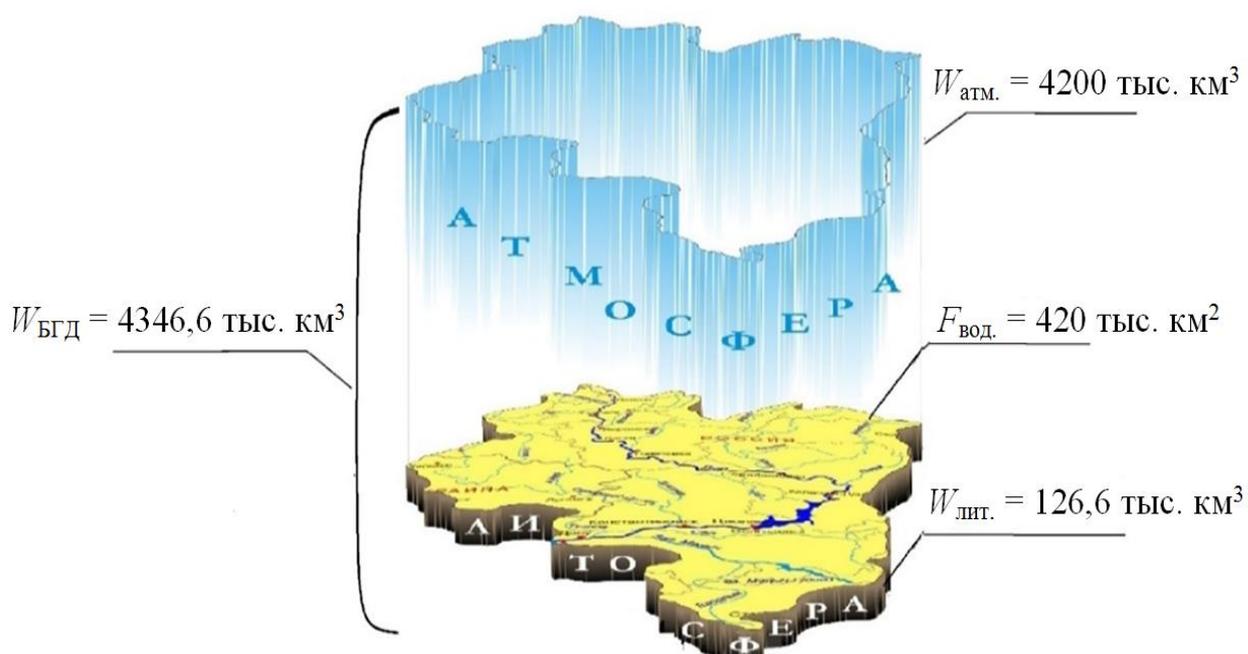


Рисунок 3.1 – Пространственная схема бассейновой геосистемы р. Дон

Необходимо учитывать при этом, что природная среда является важнейшей составляющей в рассматриваемом типе ПТС, так как от её состояния зависят основы мелиоративной системы, растительного и животного миров водного объекта [18, 32, 35, 46, 60, 289, 375]. Направление тенденции функционирования ПТС «ВО – ВС – ОС» определяется проводимыми комплексными защитными мероприятиями. Если проводимые защитные мероприятия способствуют росту свободной энергии в создаваемой ПТС и отвечают нормативным природоохранным требованиям, то взаимодействие техногенных компонентов (ВС и ОС) с природными компонентами в пространственных пределах бассейновой геосистемы будет формировать направление тенденции на дальнейшее развитие ПТС «ВО – ВС – ОС», которое определяется процессами по упорядочению и усложнению структурных образований и связей между ними [53, 54, 68, 69, 70, 71, 72]. При сформировавшейся тенденции на развитие ПТС вектор самоорганизации совпадает с вектором самоорганизации окружающей ПТС «ВО – ВС – ОС» среды, и соответственно проводимые защитные мероприятия будут отвечать требованиям функциональной работы водозаборов мелиоративных систем (рис.3.2).

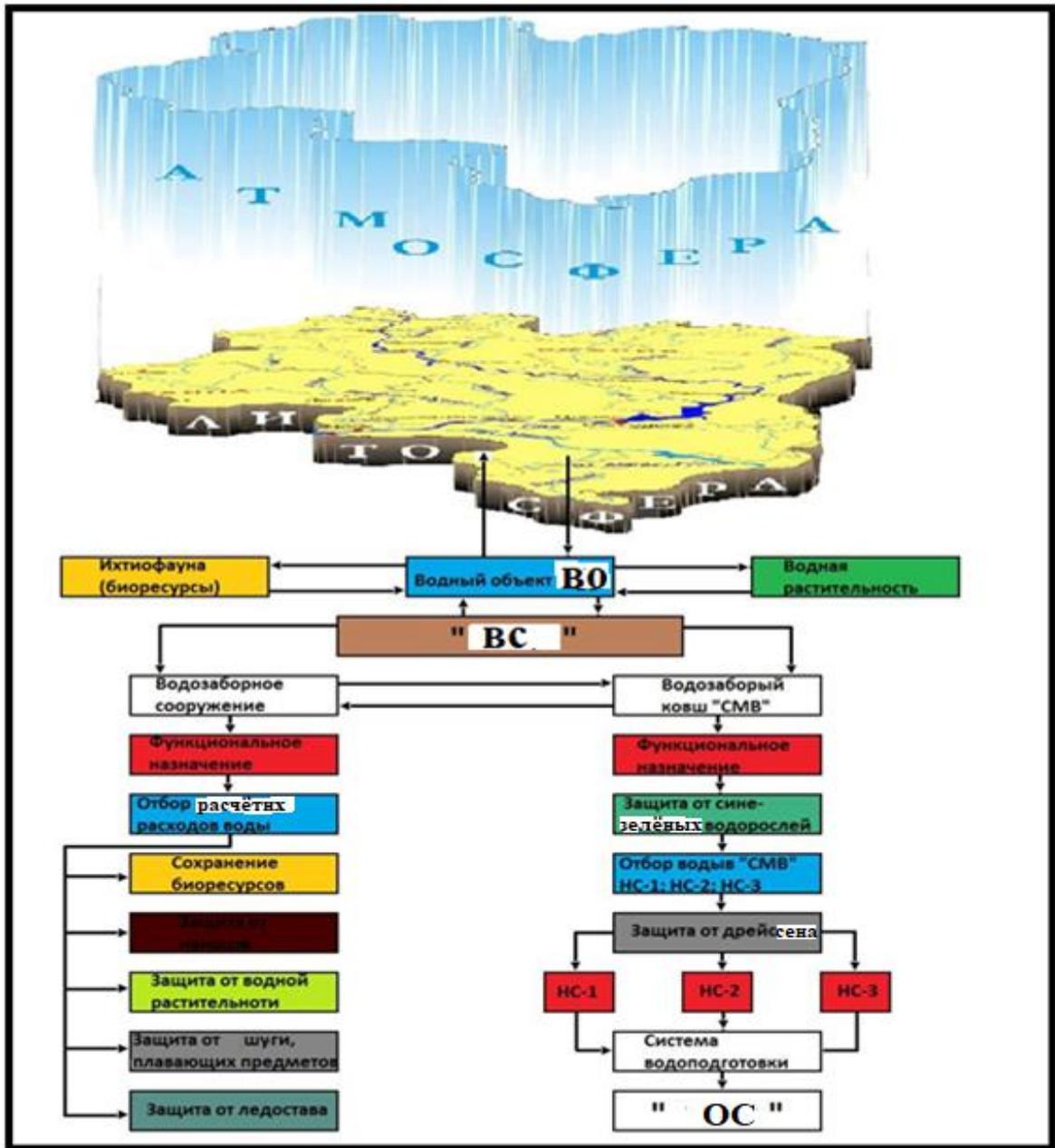


Рисунок 3.2 – Функционально-технологическая схема специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС»

### 3.2 Концептуальная модель специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС»

Для обеспечения функциональной работы оросительных водозаборов, необходимо создание специализированного типа природно-технической системы, в которой под компонентом «**Природная среда**» рассматривается - «**Водный объект**», под «**Объектом деятельности**» рассматривается - «**Водо-**

заборные сооружения», а под социальным компонентом «Население» – «Оросительная система».

Взаимосвязь, взаимодействия и взаимоотношения (ВВВ) между природными (биотическими, абиотическими), техногенными компонентами в зонах влияния водозаборных сооружений (ВС) мелиоративной системы определяет собой специализированный тип ПТС «ВО – ВС – ОС», которая функционирует на водном объекте локальной бассейновой геосистемы, где формируются водные ресурсы (рис.3.3).

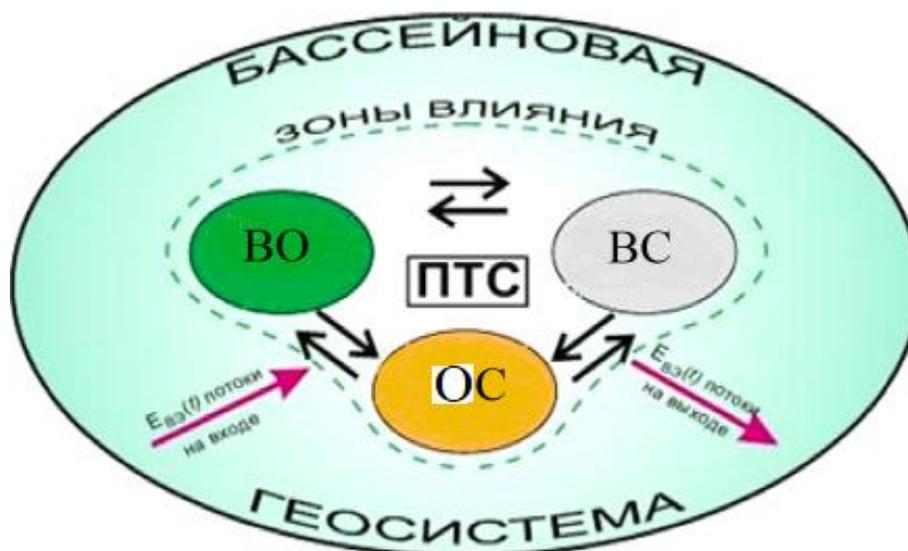


Рисунок 3.3 – Схема модели взаимодействия природных и техногенных компонентов в составе специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС» в пространственных пределах бассейновой геосистемы

К основным принципам методологии ПТС «ВО – ВС – ОС» относятся следующие:

- любая ПТС «ВО – ВС – ОС» обуславливается целью, функциональным назначением и структурой. При этом функциональное назначение порождает собственно ПТС «ВО – ВС – ОС», а её структура интерпретирует функциональное назначение и цель;

- эмерджентность наиболее ярко проявляется, к примеру, при получении органами чувств человека (зрением, слухом, кожным покровом и т. п.) какой-либо информации из окружающей его среды. В ПТС «ВО – ВС – ОС»

эмерджентность проявляется при взаимодействии ВС с русловым речным потоком, который тесно связан с пространственными пределами бассейновой геосистемы;

- ПТС «ВО – ВС – ОС» предопределяет природу её частей (компонентов, элементов). Появление других не системных частей – в виде других хозяйственных объектов, вырубки лесов на водосборной территории или распашки лугов и т. п., нарушает или разрушает структуру;

- все компоненты и элементы ПТС «ВО – ВС – ОС» взаимосвязаны, взаимозависимы. Данное свойство обуславливает собой устойчивость, стабильность и функциональную надёжность;

- ПТС «ВО – ВС – ОС» и её части в виде компонентов и элементов должны изучаться во ВВВ между собой и окружающей средой;

- ПТС «ВО – ВС – ОС» не сводится к сумме составляющих её компонентов и элементов, так как любое произвольное расчленение на отдельные части приводит к утрате существенных свойств данной системы.

Информационное обеспечение является необходимым инструментом для эффективного управления водными ресурсами. Основными элементами информационного обеспечения являются базы данных и системы поддержки принятия решений на основе геоинформационных систем (ГИС). Разработка аналитического ГИС-проекта бассейна водоисточника представлена на рисунке 3.4.

Разработка аналитического ГИС-проекта бассейна водоисточника предполагает выполнение следующих этапов:

**На первом этапе** определяются цели проекта. При создании ГИС-проекта бассейна реки учитываются конкретные особенности объекта. Конкретизация целей и задач, для решения которых создается ГИС-проект, позволяет определить перечень источников необходимой информации. Как правило, к ним относятся: исследовательские материалы; проектная документация; нормативно-законодательная база; данные наблюдений и др.

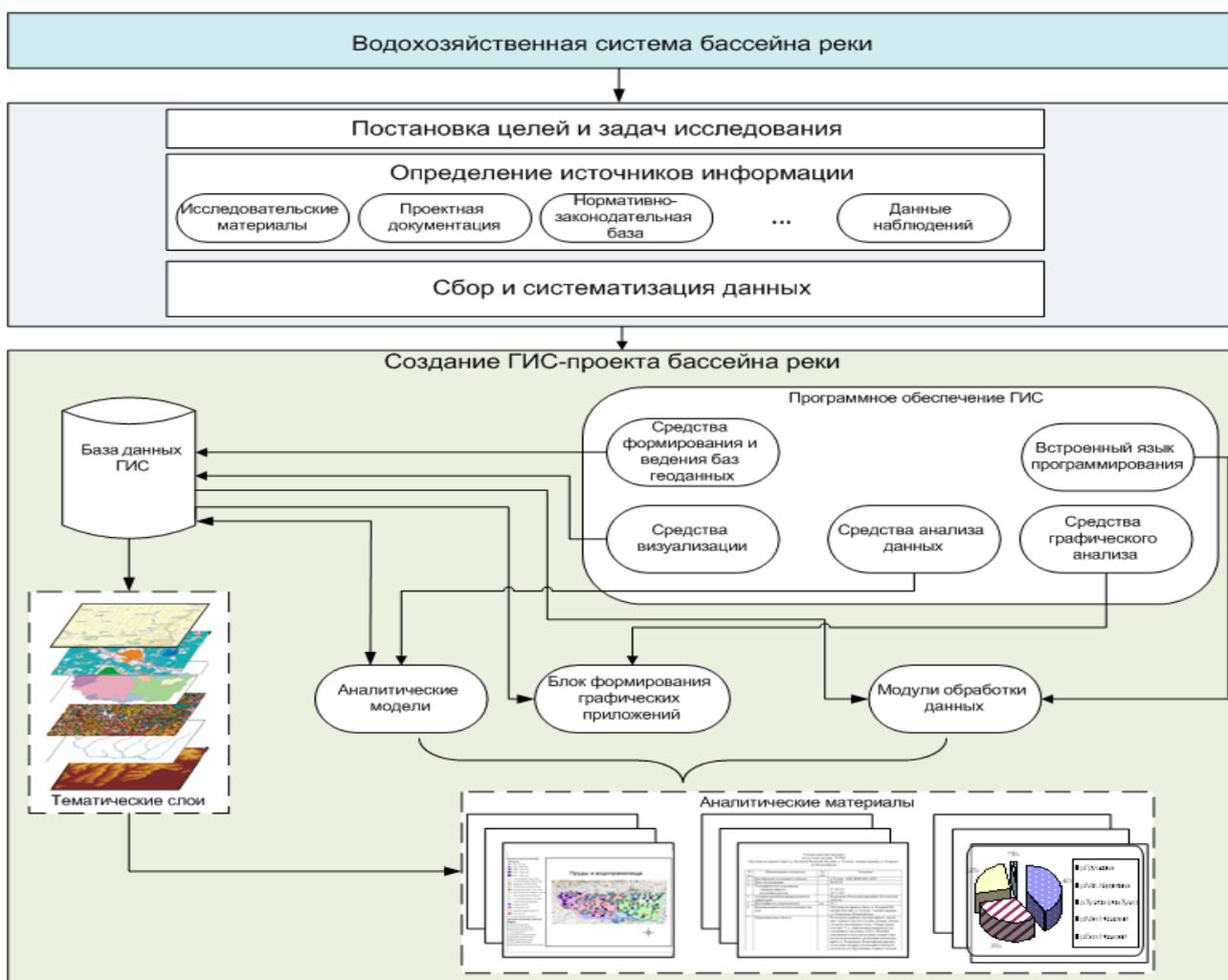


Рисунок 3.4 - Аналитический ГИС-проект бассейна водоисточника

**Второй этап** – создание базы данных проекта: разработка структуры базы данных проекта, ввод информации, включая оцифровку и преобразование данных из других форматов в используемый формат, а также проверку данных и исправление ошибок; создание средств управления базой данных.

**Третий этап** создания ГИС-проекта - визуализация и анализ данных. Анализ данных в ГИС варьирует от простого картирования до построения сложных пространственных моделей.

**На последнем этапе** осуществляется разработка процедур подготовки аналитических материалов. Для этого в составе ГИС предусмотрены следующие средства: построение диаграмм, отчётов на основе данных, введённых в базу проекта.

Для обеспечения бесперебойной работы водозаборных сооружений

оросительных систем, на основе результатов проведённых исследований по разработке специализированного типа природно-технической системы (ПТС) «Водный объект (ВО) – Водозаборное сооружение (ВС) – Оросительная система (ОС)», обоснованы и сформулированы основополагающие принципы и этапы организации и динамики развития концептуальной модели, представленные на рисунке 3.5.

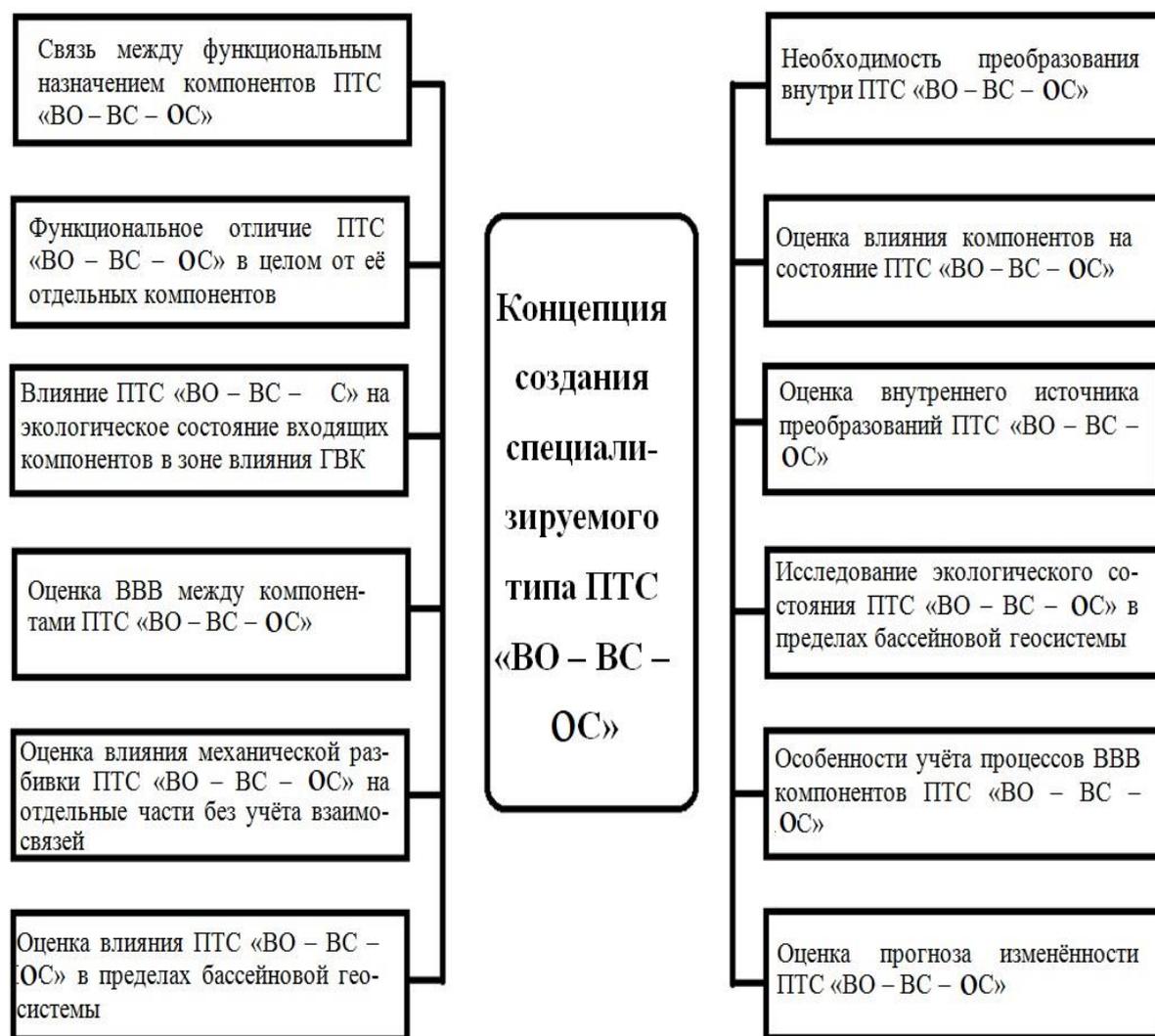


Рисунок 3.5 – Основополагающие принципы и этапы организации и динамики развития концептуальной модели специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС»

На основе сформированных принципов ОМС представим предметную область принципов организации и динамики ПТС «ВО – ВС – ОС».

К предметной области принципов организации и динамики ПТС «ВО – ВС – ОС» могут быть отнесены следующие:

1 Функционирование и характер поведения ПТС «ВО – ВС – ОС» является следствием взаимодействия компонентов и элементов между собой и окружающей её средой в пространственных пределах бассейновой геосистемы.

2 Доминирующее влияние на функционирование ПТС «ВО – ВС – ОС» оказывают те звенья, которые включают в себя обратные связи.

3 Состояние и обобщённая структура ПТС «ВО – ВС – ОС» служат причиной, а не результатом происходящих в ней изменений. Изучение обуславливает собой ВВВ между компонентами, элементами и окружающей их внешней средой в пространственных пределах зон влияния ВС мелиративных систем.

4 При изучении ПТС «ВО – ВС – ОС» важно установить связь с её обобщённой структурой.

5 При изучении ПТС «ВО – ВС – ОС» необходимо учитывать два важных обстоятельства, которые касаются объекта и предмета исследования и имеют существенное значение при моделировании, системном анализе.

Во-первых, трудоёмкость моделирования и системного исследования ПТС «ВО – ВС – ОС».

Во-вторых, следует отметить сложность прецизионного прогнозирования имеющихся интегральных показателей ПТС «ВО – ВС – ОС».

Поэтому при моделировании процессов взаимодействия между компонентами, элементами и окружающей их средой следует уделять больше внимание внутренним и внешним закономерностям устанавливаемых в процессе исследований.

При формировании основополагающих принципов и этапов организации и динамики развития концептуальной модели специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС» были проанализированы работы ФГБНУ «РосНИИПМ», ГНУ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова.

### 3.3 Научные основы методологии системного анализа и синтеза специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС»

Теоретической и методологической основой в создании и развитии методологии изучения моделей ПТС «ВО – ВС – ОС» является системный анализ и системный подход как общая концептуальная основа, как научный метод интерпретации и использования в качественном описании системы, это базовый принцип исследования, при котором система рассматривается в целом, а не её отдельные подсистемы (части) [5, 9, 10, 14, 40, 41, 377].

Анализ различных определений понятия системы позволяет свести их к двум основным типам. Один тип – когда под системой понимается множество элементов с отношениями на нём, причём на эти отношения не накладывается никаких ограничений. Это выражается в виде формулы:  $(m)S \Leftrightarrow R(m)$ , где  $m$  обозначает множество,  $S$  – свойство «быть системой»,  $R$  – отношение.

Другой тип определений предполагает, что для того, чтобы множество образовывало систему, отношения на нём должны определяться не всякие, а лишь определённого типа. Какого именно типа - это зависит от взглядов исследователя. Так, Баргаланфи полагает, что это отношение должно быть отношением взаимодействия. Акофф считает такое отношение слишком частным и предлагает заменить его более общим отношением взаимосвязи [41].

В. Н. Садовский отмечает, что системообразующим является отношение порядка. «Мелиоративная система» как социально-техногенный компонент включает в себя научно обоснованные технические и технологические решения по очистке оросительной воды от механических и биологических загрязнений, направленные на повышение качества воды, эффективности эксплуатации инженерно-мелиоративных систем.

Модели отдельных компонентов в ПТС «ВО – ВС – ОС» отражают определённые конструкции сооружений, устройств, схемы взаимодействия компонентов между собой, которые в значительной степени упрощают логи-

ческие рассуждения, построения, проведения исследований и, соответственно, объективное представление об окружающей среде в пространственных пределах рассматриваемой бассейновой геосистемы и конкретно в водном объекте.

Следовательно, можно отметить, что модель в ПТС «ВО – ВС – ОС» играет роль некоторого знаменателя реальной окружающей среды, в пределах которой функционирует ВС, на основе сделанных пояснений сформулированы определения модели и моделирования.

Модель в ПТС «ВО – ВС – ОС» – это представляемый блок сооружений, который в процессе изучения защищает оросительную систему и сохраняет при этом основные определяющие процессы ВВВ с рассматриваемой окружающей средой как на локальном уровне (водной, геологической, воздушной), так и в пределах пространства бассейновой геосистемы.

В стохастических моделях значения всех или отдельных параметров в рассматриваемой ПТС «ВО – ВС – ОС» определяются случайными величинами задаваемой вероятности по нормальной или экспоненциальной распределённости. В случайных моделях отдельные или все параметры являются случайными величинами, которые определяются в результате статистической обработки результатов исследований [38, 52, 96, 101, 117, 118, 133].

Интервальные модели характеризуются более неопределёнными параметрами, в которых вместо точечных оценок их значений, как в случайных моделях, используются интервальные. Интервалы задаются только граничными значениями (наименьшими и наибольшими из возможных).

На основе приведённых и систематизированных математических моделей, которые могут быть использованы при моделировании ПТС «ВО – ВС – ОС», составлена схема их классификации, где в качестве оснований для деления рассматриваемых моделей были приняты их природа и тип формализованного представления.

Как известно, дифференциальные уравнения математической физики характеризуют некоторые основные свойства целого класса явлений. Задание

пограничных и начальных условий и существенных для процесса физических констант, иначе говоря, задание условий однозначности позволяет выделить из всего множество явлений данного класса единичное конкретное явление.

Тождественность основной системы уравнений и подобие условий однозначности являются, с точки зрения общей теории, необходимыми и достаточными условиями подобия группы явлений. И только в пределах указанной группы, строго говоря, закономерно обобщение данных единичного опыта.

Подобие условий однозначности при равенстве критериев, построенных из осреднённых значений тех величин, которые входят в состав условий однозначности (такие критерии называются «определяющими»), необходимое и достаточное условие подобия явлений; равенство остальных (неопределяющих) критериев, являющихся однозначными функциями определяющих критериев, есть следствие существования подобия.

Доказано, когда левая часть уравнения, дающего математическую модель явления, представляет собой простую сумму степенных комплексов, число определяющих критериев на единицу меньше числа слагаемых, входящих в состав этой суммы. Таким образом, одночленные уравнения не дают ни одного критерия, и любое подобное преобразование условий однозначности автоматически приводит к подобию самих явлений, называемых в этом случае автомодельными.

При приложении общей теории подобия к гидродинамическим процессам возникают определённые трудности. Основные из них возникают, по видимому, в том, что в связи с не решённой ещё проблемой турбулентности и другими обстоятельствами ни для одной из практически интересных задач гидродинамики не представляется пока возможным сформулировать условия однозначности, кроме того, при переходе от рассмотрения системы материальных точек к континууму турбулентно движущейся жидкости возникают дополнительные трудности.

В связи с этим современные концепции теории подобия, относящиеся к гидродинамике, не отличаются достаточной отчётливостью и законченно-

стью. В конкретных случаях приходится обращаться не столько к исследованию свойств дифференциальных уравнений, сколько к рассмотрению физической природы изучаемого явления. Исходя из принципа размерности, рассмотрены основные критерии подобия и изложены вопросы их использования практикой моделирования гидротехнических сооружений в виде ВС в составе ПТС «ВО – ВС – ОС» [121, 122, 124, 346, 347, 348, 378].

Две системы (натура и модель)  $S$  и  $s$ , измеряемые единицами длины, времени и массы, будут подобны:

- геометрически, если существует постоянное соотношение  $L$  между линейными размерами рассматриваемого сооружения:

$$L_H / l_M = L \rightarrow L_H = L l_M. \quad (3.1)$$

Откуда, в свою очередь, для живого сечения водного потока:

$$\Omega_H / \omega_M = L^2 \rightarrow \Omega_H = \omega_M \cdot L^2. \quad (3.2)$$

Для объёма  $W_H$  и модели  $w_M$ :

$$W_H / w_M = L^3 \rightarrow W_H = L^3 w_M; \quad (3.3)$$

- кинематически, если соответственные частицы водного потока обеих систем совершат геометрически подобные перемещения в промежутки времени, находящиеся в постоянном соотношении, т. е. если, кроме (3.1), будет иметь место отношение:

$$T_H / t_M = r \rightarrow T_H = t_M r; \quad (3.4)$$

- динамически, если, кроме соотношений (3.3) и (3.4) и силы, принад-

лежащей системам  $S$  и  $s$ , будет находиться в некотором постоянном соотношении. Воспользовавшись методом размерности, покажем, что для этого достаточно постоянного соотношения между плотностями частиц, составляющих системы:

$$e'_H / e_M = \delta \rightarrow e'_H = \delta e_M. \quad (3.5)$$

Действительно, из (3.3), (3.4) и (3.5) вытекают следующие переходные соотношения между массами, скоростями, ускорениями и силами.

Масса равна плотности, умноженной на объём, следовательно:

$$\frac{M}{m} = \frac{e' \mathbb{L}^3}{e l^3}. \quad (3.6)$$

Скорость есть путь в единицу времени:

$$\begin{aligned} V/v &= L/t \div l/t \cdot t/T = \mathbb{L}/\tau t/T = \mathbb{L}/\tau \\ V &= \mathbb{L}/\tau t \end{aligned} \quad (3.7)$$

Ускорение имеет размерность длины, делённой на квадрат времени:

$$\frac{A}{a} = \frac{L}{T^2} \cdot \frac{l}{t^2} = \frac{\mathbb{L}}{\tau^2} = \frac{\mathbb{L}^2}{\tau^2 \mathbb{L}}. \quad (3.8)$$

Или, принимая во внимание (3.7) и (3.8):

$$\frac{A}{a} = \frac{V^2}{v^2} \cdot \frac{l}{L} = \frac{V^2}{L} \div \frac{v^2}{l}. \quad (3.9)$$

Наконец, сила равна массе, умноженной на ускорение, и, принимая во внимание (3.8) и (3.9):

$$\frac{F}{f} = \frac{MA}{ma} = \left( e' L^3 \frac{V^2}{L} \right) \left( el \frac{v^2}{l} \right).$$

Или окончательно:

$$\frac{F}{f} = \frac{e'_H \cdot L_H^2 \cdot V_H^2}{e'_M \cdot l_M^2 \cdot v_M^2}. \quad (3.10)$$

Выражение (3.10) даёт общий закон подобия Ньютона и может быть прочтено следующим образом: в динамически подобных системах каждые два соответственные силы  $F$  и  $f$  должны относиться как соответственные произведения из квадрата длины, квадрата скорости и первой степени плотности, или, что равносильно, безразмерное число  $Ne$  в динамически подобных системах должно иметь одно и то же значение (*idem*).

Выражение (3.10) является наиболее общим законом подобия и должно оставаться справедливым для любого рода сил, будь то сила тяжести, внутреннего трения (проявляющаяся при перемещении слоёв жидкости друг по другу), поверхностного натяжения, упругости, равным образом, как и сила инерции или сила реакции, или вообще любая сила, действующая по определённом физическому закону.

*Закон гравитационного подобия или закон Фруда (1869 г.).* На изучаемую нами систему, характеризуемую весом единицы объёма вещества  $\Delta'$ , действует только сила тяжести, равная:

$$F_q = \Delta' L^3, \quad (3.11)$$

где  $\Delta'$  – вес единицы объёма вещества;

$L$  – некоторый характерный линейный размер системы.

Подставляя в уравнение (3.11) выражение:

$$F = F_q f = f_q, \quad (3.12)$$

получаем:

$$\frac{F_q}{f_q} = \frac{\Delta' L^3}{\Delta l^3} = \frac{e' \cdot L^2 \cdot V^2}{e \cdot l^2 \cdot v^2} \quad (3.13)$$

или

$$\frac{\Delta' L}{\Delta l} = \frac{e' \cdot V^2}{e \cdot v^2}. \quad (3.14)$$

Так как сила равна массе, умноженной на ускорение, в данном случае на ускорение силы тяжести  $g$ , то  $\Delta' = e' g'$ ,  $\Delta = e g$ , откуда:

$$\begin{cases} e' / \Delta' = 1 / g' \\ e / \Delta = 1 / g \end{cases}. \quad (3.15)$$

Подставляя выражение (3.14) в (3.15):

$$\frac{V^2}{g' L} = \frac{v^2}{g l} = Fr = idem, \quad (3.16)$$

где  $Fr$  – безразмерное число, называемое числом Фруда.

Выражение (3.16) представляет собой основной закон гравитационного подобия, иначе называемый закон Фруда, и может быть сформулировано следующим образом: для всех подобных процессов, протекающих под действием силы тяжести, безразмерное числовое значение  $Fr$  (число Фруда должно иметь одно и то же значение).

Во всех дальнейших выводах мы будем считать это подразумевающим-

ся. Однако, в написании самого числа Фруда (3.16) полезно сохранить значение ускорения в обеих частях, что сделает величину числа Фруда безразмерной.

Найдем теперь те соотношения, которым должны удовлетворять различные элементы двух динамически подобных систем, находящихся под воздействием только силы тяжести.

Сокращая (3.15) на  $g$  и учитывая (3.16), получается соотношение для скоростей:

$$\frac{V^2}{v^2} = \frac{L}{l} = \Lambda.$$

Откуда:

$$V = v\sqrt{\Lambda}. \quad (3.17)$$

Для расходов:

$$\frac{Q}{q} = \frac{\Omega V}{\omega v} = \Lambda^2 \sqrt{\Lambda} = \Lambda^{5/2}, \quad Q = q\Lambda^{5/2}. \quad (3.18)$$

Соотношение для времен исходит из формулы (3.18), используя её в следующей записи:

$$T = t\Lambda^{0.5}. \quad (3.19)$$

*Закон подобия Рейнольдса (1883 г.).* Рассмотрим случай, когда в изучаемой нами системе действует только сила внутреннего трения жидкости, определяемая коэффициентом вязкости  $\mu$  и по своей размерности равная:

$$F_{\text{тр}} = \mu' \cdot V \cdot L. \quad (3.20)$$

Действительно, закон внутреннего трения жидкости Ньютона в дифференциальной форме:

$$F_{\text{тр}} = -\mu \cdot S \frac{du}{dn}, \quad (3.21)$$

где  $F_{\text{тр}}$  – сила внутреннего трения, проявляющаяся при перемещений слоёв жидкости друг по другу;

$\mu$  – коэффициент вязкости, учитывающий свойства жидкости;

$S$  – величина рассматриваемого участка поверхности (площади);

$\frac{du}{dn}$  – градиент скорости  $u$  по внутренней нормали  $n$ ; последняя представляет собой линейную величину.

Выражая размерность  $F_{\text{тр}}$  через размерности  $\mu$ ,  $V$ ,  $L$  определяется размерность:

$$[F_{\text{тр}}] = \mu \cdot V \cdot L. \quad (3.22)$$

Отметим, что силы внутреннего трения целиком определяют сопротивление лишь в случае ламинарного режима движения жидкости. Таким образом, приводимые в настоящем параграфе формулы и положения, за исключением особо оговоренных случаев, относятся в полной мере только к ламинарному режиму движения жидкости.

Подставляя в основной закон динамического подобия (3.16) значения:  $F = F_{\text{тр}}$  и  $f = f_{\text{тр}}$ , получаем:

$$\frac{V \cdot L}{\nu'} = \frac{\nu \cdot l}{\nu} = \text{Re} = \text{idem}. \quad (3.23)$$

Выражение (3.23) представляет с собой закон моделирования Рейнольдса, который может быть сформулирован следующим образом: для всех подобных между собой процессов, протекающих под действием внутренних сил трения, число Рейнольдса (отвлечённая величина) должно быть постоянно.

Из уравнения (3.23) следует:

$$\frac{V}{v} = \frac{v'}{v} \cdot \frac{l}{L} = \frac{v'}{v} \text{Л}^{-1}. \quad (3.24)$$

Откуда:

$$V = v \cdot \frac{v'}{v} \text{Л}^{-1}. \quad (3.25)$$

Или в случае одной и той же жидкости (воды) в натуре и на модели:

$$V = v \cdot \text{Л}^{-1}. \quad (3.26)$$

Из выражения (3.26), между прочим, видно, что при моделировании по закону Рейнольдса и наличии одной и той же жидкости скорость на модели меньших по сравнению с прототипом размеров должна превышать скорость в действительности.

Переходя к расходам, получается:

$$\frac{Q}{q} = \frac{\Omega \cdot V}{\omega v} = \text{Л}^2 \text{Л}^{-1} \frac{v'}{v} = \text{Л} \frac{v'}{v}. \quad (3.27)$$

Откуда для расхода:

$$Q = qL. \quad (3.28)$$

Для времени:

$$\frac{T}{t} = \frac{L}{l} = \text{Л} = \text{Л}^2 \text{ или } T = t\text{Л}^2. \quad (3.29)$$

Для сил:

$$\frac{F_{\text{тр}}}{f_{\text{тр}}} = \frac{\mu' \cdot V \cdot L}{\mu \cdot v \cdot l}. \quad (3.30)$$

При одинаковых жидкостях  $\mu' = \mu$ :

$$\frac{F_{\text{тр}}}{f_{\text{тр}}} = \frac{V \cdot L}{v \cdot l} = \text{Л}^{-1} \cdot \text{Л} = \text{Л}^0 = 1. \quad (3.31)$$

Для давлений:

$$\frac{P}{p} = \frac{F_{\text{тр}}}{\Omega} \cdot \frac{f_{\text{тр}}}{\omega} = \frac{F_{\text{тр}}}{f_{\text{тр}}} \cdot \frac{\omega}{\Omega} = \text{Л}^{-2} \rightarrow P = p\text{Л}^{-2}. \quad (3.32)$$

Для работ:

$$\frac{B}{b} = \frac{F_{\text{тр}}L}{f_{\text{тр}}l} = \text{Л}' \rightarrow B = b\text{Л}. \quad (3.33)$$

Для мощностей:

$$\frac{N}{n} = \frac{B}{T} \cdot \frac{b}{t} = \frac{B}{b} \cdot \frac{t}{T} = \text{Л} \cdot \text{Л}^{-2} = \text{Л}^{-1} \rightarrow N = n \cdot \text{Л}^{-1}. \quad (3.34)$$

Сила внутреннего трения жидкости  $dF_{\text{тр}}$ , проявляющаяся на боковой поверхности элемента ламинарно движущейся жидкости, будь то целый ламинарный поток или тот тонкий ламинарный «пограничный слой», который по современным воззрениям имеет место у стенок при турбулентном режиме, по закону Ньютона, как уже указывалось, будет:

$$dF_{\text{тр}} = -\mu \cdot \frac{du}{dn} \cdot ds, \quad (3.35)$$

где  $\mu$  – коэффициент вязкости;

$u$  – некоторая местная скорость потока;

$n$  – нормаль к боковой поверхности элемента, направленная во вне от того слоя, по которому мы считаем градиент скорости.

Исходя из закона динамического подобия Ньютона, были установлены частные его выражения, отвечающие случаям, когда на изучаемую систему действует по определённому физическому закону какая-либо одна сила.

Критерии подобия при действии одной силы приведены следующими формулами:

При действии силы тяжести:

$$\frac{V^2}{g'L} = \frac{v^2}{gl} = \text{Fr} = \text{idem}. \quad (3.36)$$

При действии сил внутреннего трения:

$$\frac{V \cdot L}{\nu'} = \frac{vl}{\nu} = \text{Re} = \text{idem}. \quad (3.37)$$

При действии сил поверхностного натяжения:

$$\frac{V^2 \cdot L}{\sigma'} = \frac{l \cdot v^2}{\sigma} = W_e = idem. \quad (3.38)$$

Таким образом, каждая действующая по определённому физическому закону сила требует своего особого закона подобия.

В таблице 3.1 приведена сводка законов подобия применительно к случаю одинаковой среды (например, воды) в природе и на модели. Наряду с другими характеристиками ПТС «ВО – ВС – ОС» не менее важной является состояние, которое характеризует систему в каждый момент времени.

Таблица 3.1 – Условия подобия для случая одинаковой среды в природе и на модели

Наименование величины	Обозначение		Соотношение между элементами подобных систем, находящихся под воздействием сил			Примечание
	Природа	Модель	тяжести (закон Фруда)	трения (закон Рейнольдса)	поверхностного натяжения	
Длина	$L$	$l$	Л	Л	Л	Геометрическое подобие есть исходная предпосылка подобия динамического
Площадь	$\Omega$	$\Omega$	Л <sup>2</sup>	Л <sup>2</sup>	Л <sup>2</sup>	
Объём	$W$	$w$	Л <sup>3</sup>	Л <sup>3</sup>	Л <sup>3</sup>	
Скорость	$V$	$v$	Л <sup>0,5</sup>	Л <sup>-1</sup>	Л <sup>-0,5</sup>	
Расход	$Q$	$q$	Л <sup>2,5</sup>	Л	Л <sup>1,5</sup>	
Время	$T$	$t$	Л <sup>0,5</sup>	Л <sup>2</sup>	Л <sup>1,5</sup>	
Сила	$F$	$f$	Л <sup>3</sup>	Л <sup>0</sup> = 1	Л	
Давление	$P$	$p$	Л	Л <sup>-2</sup>	Л <sup>-1</sup>	
Работа	$B$	$b$	Л <sup>4</sup>	Л	Л <sup>2</sup>	
Мощность	$N$	$n$	Л <sup>3,5</sup>	Л <sup>-1</sup>	Л <sup>0,5</sup>	

Данная характеристика является неотъемлемым атрибутом функциони-

рования любой ПТС «ВО – ВС – ОС» и определяется всей совокупностью её существенных свойств на момент их проявления.

Динамику (временное изменение) ПТС «ВО – ВС – ОС» можно проиллюстрировать на примере создания водохранилищного гидроузла для целей внутрибассейнового регулирования стока, начиная с этапа проектирования и момента заполнения водохранилища водой. В качестве интегральных переменных и характерных показателей будем использовать – период эксплуатации ( $T$ ) (от 30 до 100 лет), полный объём водохранилища ( $W_B$ , м<sup>3</sup>), мёртвый объём наносов ( $W_H$ , м<sup>3</sup>). Так, полезный объём водохранилища ( $W_{\Pi}$ ) с каждым годом эксплуатации будет уменьшаться, а объём наносов ( $W_H$ ) будет увеличиваться. К концу периода эксплуатации водохранилище должно практически заполниться наносами, а полезная ёмкость, т. е. объём воды в водохранилище станет равным нулю, и водохранилище прекратит выполнять целевое предназначение. Линии же, соединяющие все соответствующие его точки (концы векторов), и есть «траектория функционального периода водохранилища». Перемещение конца любого вектора для наглядности удобно проектировать на какую-либо плоскость этого пространства (рис.3.6).

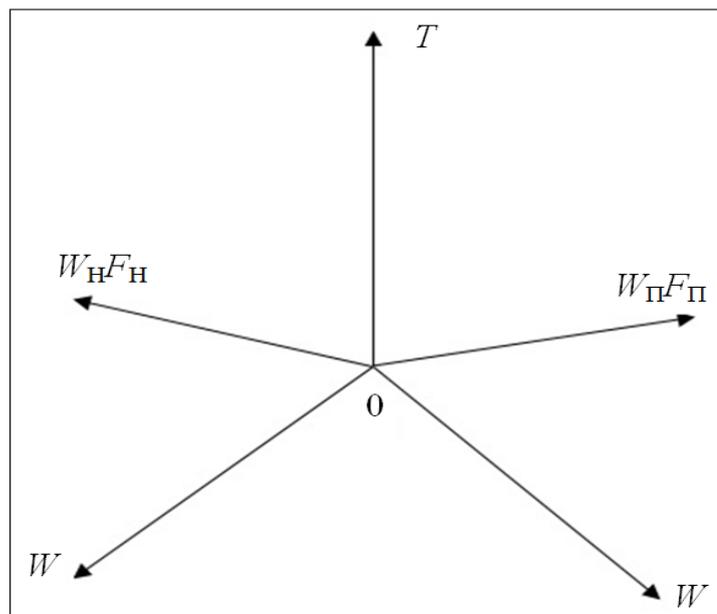


Рисунок 3.6 – Векторная схема функционирования ВС мелиоративной системы в составе ПТС «ВО – ВС – ОС»

Рассматривая системный анализ и моделирование процессов ВВВ между компонентами и их элементами в ПТС «ВО – ВС – ОС», важно учитывать следующие обстоятельства: первое связано с ограниченностью числа возможных состояний системы; второе связано с тем, что любая такая система не может выбирать их по своему усмотрению, т. е. совершенно произвольно.

Это объясняется стремлением ПТС «ВО – ВС – ОС» к сохранению динамической устойчивости в пространственных пределах рассматриваемой бассейновой геосистемы. Принимая, что каждому диапазону внешних воздействий на ВС соответствует только одно, вполне определённое, состояние данной системы.

Изменение состояний в ПТС «ВО – ВС – ОС» обычно сопровождается структурной перестройкой, происходит скачкообразно и, как правило, связано с определённым ущербом. Это объясняется тем, что защитные или компенсационные механизмы системы уже не способны сохранять её прежнее состояние. Исходя из стремления сохранения системной своей устойчивости и стабильности, определяется направление смены её состояний. Переход системы в новое состояние может завершиться возникновением кризисов катастроф и катаклизмов [47, 65, 78, 91, 102, 103, 104].

С появлением кризисного состояния в ПТС «ВО – ВС – ОС» необходимо выполнить определённые мероприятия по её обоснованию. Катастрофа в ПТС «ВО – ВС – ОС» сопровождается значительными и резкими изменениями интегральных показателей системы вследствие преобразования и коренной переработки её морфологии и структуры, к примеру, снижение или резкое повышение уровней воды на водном объекте. Катаклизм в ПТС «ВО – ВС – ОС» характеризуется коренной переработкой морфологии и структуры, обусловленной более радикальными изменениями, приводящими к разрушению системы, к примеру, гидродинамическая волна от разрушения вышерасположенного водохранилища.

### 3.4 Экономико-математическая модель специализированного типа природно-технической системы

Для обеспечения эффективной функциональной работы специализированного типа ПТС была разработана экономика-математическая модель, структурная схема которого представлена на рисунке 3.7. Структурная схема включает три базовых блока: I – блок водоиспользования (водный объект); II – блок очистки воды (водозаборные сооружения); II - блок производства продукции на орошаемых участках (мелиоративная система).

В блоке I располагается водоём с определённым запасом загрязнённой воды ( $V_0$ ). Контрольным индикатором является оценка состояния воды (ОСВ). Выходным параметром является объём воды, постоянно подаваемый в блок II на очистку ( $V_0 = const$ ).

Блок II включает в себя три совмещённые конструктивно-технологические разработки (КТР). КТР – 1 защищает от мусора, льда, шуги и других крупных включений. КТР -2 защищает от проникновения водорослей. КТР – 3 предусматривает задержку дрейссены. После очистки вода поступает в водозаборник, объём которой несколько уменьшается в связи с задержкой инородных включений, то есть  $V_1 = V_0 - (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3)$ . Выходным параметром блока II является объём очищенной воды ( $V_1$ ). Контрольным индикатором является оценка технического состояния водозаборника (ОТСВ). Задержанные в процессе очистки воды инородные включения ( $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  и  $\Delta_3$ ) используются после переработки в качестве органического удобрения при выращивании сельскохозяйственных культур.

Согласно схемы, блок III включает в себя системы орошения выращиваемых культур: овощных (OK), технических (TK), кормовых (KK). Входным параметром является подача заданных объёмов очищенной воды ( $V_1$ ), которая через системы специализированной техники подаётся на орошаемые площади ( $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$ ).

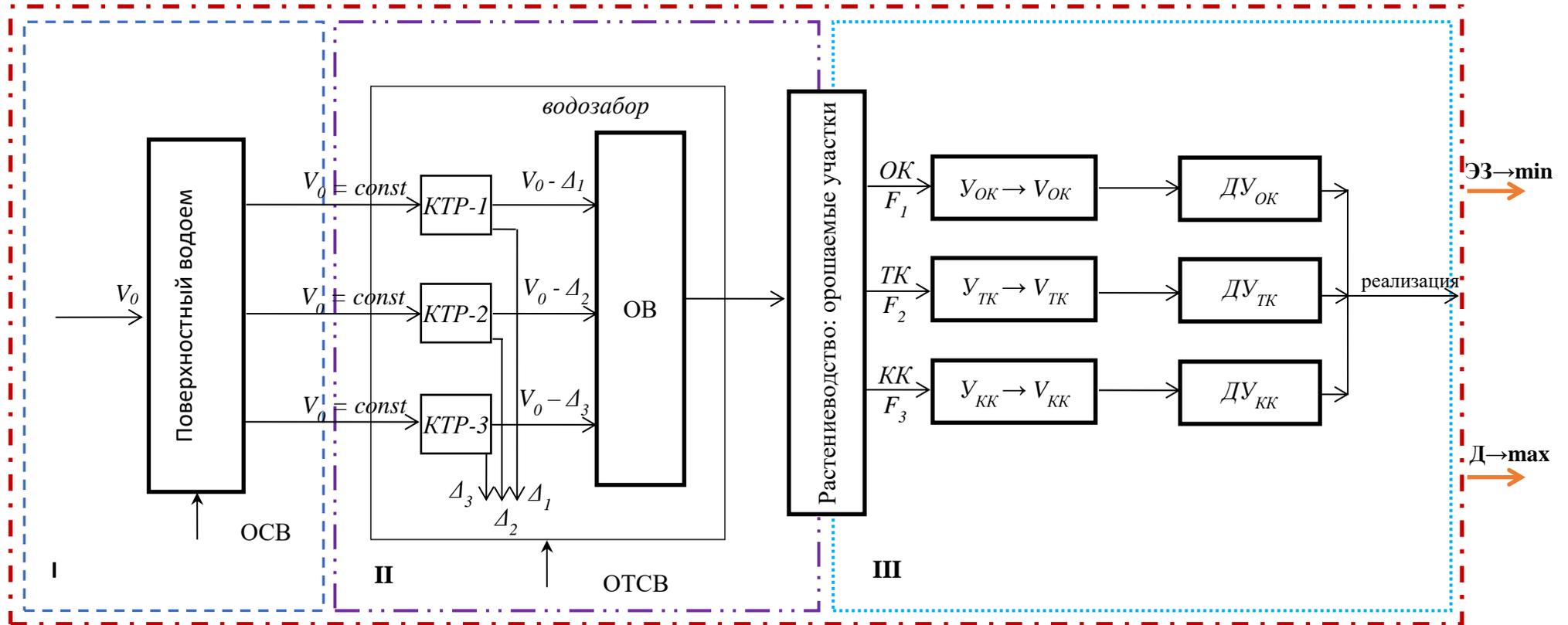


Рисунок 3.7 – Экономико-математическая модель специализированного типа природно-технической системы «ВО – ВС – ОС»

Урожайность выращиваемых культур ( $Y_{OK}$ ,  $Y_{TK}$ ,  $Y_{KK}$ ) предусматривает получение заданных объёмов продукции ( $V_{OK}$ ,  $V_{TK}$ ,  $V_{KK}$ ) и их дополнительные урожаи ( $DU_{OK}$ ,  $DU_{TK}$ ,  $DU_{KK}$ ). Полученные объёмы продукции поступают на переработку и реализацию.

Критериями оптимизации рассматриваемой структурной схемы являются: минимум эксплуатационных затрат ( $\text{ЭЗ} \rightarrow \min$ ) и максимум получаемого дохода от реализованной продукции ( $D \rightarrow \max$ )

Согласно схемы, блок III включает в себя системы орошения выращиваемых культур: овощных ( $OK$ ), технических ( $TK$ ), кормовых ( $KK$ ). Входным параметром является подача заданных объёмов очищенной воды ( $V_I$ ), которая через системы специализированной техники подается на орошаемые площади ( $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$ ). Урожайность выращиваемых культур ( $Y_{OK}$ ,  $Y_{TK}$ ,  $Y_{KK}$ ) предусматривает получение заданных объёмов продукции ( $V_{OK}$ ,  $V_{TK}$ ,  $V_{KK}$ ) и их дополнительные урожаи ( $DU_{OK}$ ,  $DU_{TK}$ ,  $DU_{KK}$ ). Полученные объёмы продукции поступают на переработку и реализацию. Критериями оптимизации рассматриваемой структурной схемы являются: минимум эксплуатационных затрат ( $\text{ЭЗ} \rightarrow \min$ ) и максимум получаемого дохода от реализованной продукции ( $D \rightarrow \max$ ).

Эксплуатационные затраты I блока ( $\text{ЭЗ}_I$ ) характеризуются расходами на забор воды, амортизационными отчислениями на применяемое технологическое оборудование. Блок II также относится к затратным с позиции реализации процесса очистки воды от инородных примесей. На данном этапе учитываются капитальные затраты на оборудование для очистки, его амортизацию. Рассматриваются затраты на материалы и сырьё для очистки, энергозатраты процесса очистки.

В блоке III реализуется непосредственно орошение сельскохозяйственных культур, затраты предусматривают расходы на оборудование для орошения, его амортизацию. Наиболее значимая часть затрат приходится на возделывание сельскохозяйственных культур с применением орошения. Однако

данный блок располагает доходной частью – это доход от реализации сельскохозяйственных культур, выращенных при применении орошения.

На основе проанализированных причинно-следственных связей блоков функционирования природно-технической системы «ВО-ВС-ОС» предлагается экономико-математическая модель комплаенс-системы доходов и расходов при возделывании сельскохозяйственных культур с применением орошения. Цель разработки модели состоит в обосновании оптимального размера сельскохозяйственных площадей, используемых для возделывания различных культур, который позволит дополнительным доходом от применения орошения окупить затраты на очистку загрязнённой воды и на процессы орошения.

В качестве переменных экономико-математическую модели комплаенс-системы доходов и расходов при возделывании сельскохозяйственных культур с применением орошения принимаем площадь под сельскохозяйственными культурами. В качестве переменных модели принимаем  $x_{ij}$  – площадь возделывания  $i$  – вида сельскохозяйственной культуры  $j$  – й группы.

Целевая функция при этом принимает следующий вид:

$$\max z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} - k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ijo} x_{ijo} - k_0, \quad (3.39)$$

где  $c_i$  – объём валовой продукции в денежном выражении, получаемый с 1 га посевов  $i$ -й культуры, руб.;

$x_{ij}$  – посевная площадь  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, га;

$k$  – производственные затраты на возделывание множества культур А из множества групп В, руб.;

$c_{ijo}$  – объём валовой продукции в денежном выражении, получаемой с 1 га посевов  $i$ -ой культуры  $j$ -той группы при использовании очищенной воды поверхностного водоёма для орошения, руб.;

$x_{ij0}$  – посевная площадь  $i$ -й культуры  $j$ -той группы при использовании очищенной воды поверхностного водоёма для орошения, га;

$k_{ij0}$  – производственные затраты на возделывание множества культур  $A$  из множества групп  $B$  при орошении очищенной водой из поверхностного водоёма в системе сельскохозяйственного производства, руб.;

$I$  – множество видов сельскохозяйственных культур;

$J$  – множество видов групп сельскохозяйственных культур.

Система ограничений модели комплаенс-системы доходов и расходов при возделывании сельскохозяйственных культур с применением орошения имеет следующий вид.

1. Группа ограничений по использованию пашни:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} \leq d_{ij} \quad (d \in D), \quad (3.40)$$

где  $d_{ij}$  – площадь пашни для возделывания  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, га;

$D$  – множество видов посевных площадей.

2. Группа ограничений по производственным затратам в общем виде:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} l_{ijk} x_{ij} = k_{ij} \quad (k \in K), \quad (3.41)$$

где  $l_{ij}$  – производственные затраты возделывания  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, руб./га;

$k_{ij}$  – общий объём производственных затрат на возделывание  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, руб.;

$K$  – множество видов производственных затрат.

Группа ограничений по производственным затратам включает следующие ограничения.

2.1 Ограничения по материальным затратам (включает затраты на очищенную воду для целей орошения):

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} e_{ij} x_{ij} = m_{ij} (m \in M), \quad (3.42)$$

где  $e_{ij}$  – материальные затраты возделывания  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, руб./га;

$m_{ij}$  – объём материальных затрат на возделывание  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, руб.;

$M$  – множество видов материальных затрат.

2.2 Ограничения по затратам на оплату труда и отчисления на социальные нужды:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} f_{ij} x_{ij} = r_{ij} (r \in R), \quad (3.43)$$

где  $f_{ij}$  – затраты на оплату труда и отчисления на соц. нужды работников, занятых на возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, руб./га;

$r_{ij}$  – объём на оплату труда и отчисления на соц. нужды работников, занятых на возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, руб.;

$R$  – множество видов затрат на оплату труда и отчисления на соц. нужды работников.

2.3 Ограничения по амортизационным отчислениям на технику и оборудование, используемое при возделывании сельскохозяйственных культур и их орошения, а также затраты обслуживанию и ремонту:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} n_{ij} x_{ij} = t_{ij} (t \in T), \quad (3.44)$$

где  $n_{ij}$  – затраты на амортизацию, периодическое обслуживание и ремонт техники и оборудования, применяемых при возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы с орошением, руб./га;

$t_{ij}$  – объём затрат на амортизацию, периодическое обслуживание и ремонт техники и оборудования, применяемых при возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы с орошением, руб.;

$T$  – множество видов затрат на амортизацию, периодическое обслуживание и ремонт техники и оборудования.

2.4 Ограничения по прочим затратам при возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы с орошением:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} v_{ij} x_{ij} = p_{ij} (p \in P), \quad (3.45)$$

где  $v_{ij}$  – прочие затраты при возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы с орошением, руб./га;

$p_{ij}$  – объём прочих затрат, применяемых при возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы с орошением, руб.;

$P$  – множество видов прочих затрат.

3. Группа ограничений по выполнению агротехнических требований, выполняемых при возделывании сельскохозяйственных культур и организационно-экономических условий:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} \leq q_{ij} (q \in Q), \quad (3.46)$$

где  $q_{ij}$  – пределы насыщения севооборотов по  $i$ -й культуре  $j$ -той группы;

$Q$  – множество агротехнических требований возделывания сельскохозяйственных культур и организационно-экономических условий.

3.1 Пределы насыщения севооборотов отдельными  $i$ -ми культурами или  $j$ -ми группами культур определяются:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{ij} x_{ij} \leq a_{ij}^{\ominus} x_{ij}, \quad (3.47)$$

где  $a_{ij}$ ,  $a_{ij}^{\ominus}$  – коэффициенты соотношения между предшественниками и отдельной  $i$ -й культурой  $j$ -й группы.

3.2 Ограничения по минимальным пределам присутствия сельскохозяйственных культур или  $j$ -й групп культур в структуре посевных площадей – для сельскохозяйственной культуры:

$$x_{ij} \geq \beta_{ij}^{\min} \cdot d_{ij}, \quad (3.48)$$

– для группы сельскохозяйственных культур:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \geq \beta_{ij}^{\min} \cdot d_j \quad (3.49)$$

где  $\beta_{ij}^{\min}$  – минимальный предел возделывания  $i$ -ой сельскохозяйственной культуры или  $j$ -й группы культур в структуре посевных площадей.

3.3 Ограничения по максимальным пределам присутствия тех или иных сельскохозяйственных культур или  $j$ -й группы культур в структуре посевных площадей:

– для сельскохозяйственной культуры:

$$x_{ij} \geq \beta_{ij}^{\max} \cdot d_{ij}, \quad (3.50)$$

– для группы сельскохозяйственных культур:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \geq \beta_{ij}^{\max} \cdot d_j \quad (3.51)$$

где  $\beta_{ij}^{max}$  – максимальный предел присутствия  $i$ -ой сельскохозяйственной культуры или группы культур в структуре посевных площадей.

Условия неотрицательности переменных экономико-математической модели: переменные всех групп неотрицательны.

Исходя из обобщенного понятия «Система» в создании научных основ методологии по обеспечению ФР в использовании водных ресурсов в мелиоративных системах, рассматривались основные базовые вопросы анализа оценки состояния бассейновой геосистемы реки Дон, где в пространственных пределах формируются количественные и качественные показатели водных ресурсов, которые используются в нижнем течении Дона; анализа функциональной работы действующих (порядка 44) ВС в нижнем течении р. Дон; разработке научных основ по созданию специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС» и научных основ расчётно-конструктивных методов создания приемлемых конструктивных решений по обеспечению ФР в зонах влияния ВС в составе ПТС «ВО – ВС – ОС». Водозаборные технологические комплексы мелиоративных систем, включающие в себя водозаборные сооружения с комплексом различных типов гидротехнических сооружений и защитных устройств в составе специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС», являются многофункциональными техногенными компонентами, обеспечивающими отбор расчётных расходов воды из водного объекта с обеспечением нормативных требований ФР в природных средах зон влияния. В методологии обеспечения функциональной работы в водозаборы мелиоративных систем одним из важных вопросов, требующих неотъемлемого решения, является определение и оценка границ зон влияния водозаборов, которые осуществляются на основе анализа инженерно-экологических изысканий, системного мониторинга и оценки функциональной работы действующих водохозяйственных систем. В результате анализа исследований разработан специализированный алгоритм решения задач по созданию специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС» (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Блок-схема синтеза КИЗ по созданию КТР водозаборного сооружения в составе мелиоративной системы

На основе результатов системного анализа многолетних исследований (2007–2021 гг.) ВС в бассейне Нижнего Дона сформулированы концептуальные утверждения понятия ФР в зонах влияния ВС в составе ПТС «ВО – ВС – ОС»:

1. Нарушение «Функциональной работы» в зонах влияния ВС в бассейне Нижнего Дона является причинно-следственной взаимосвязью предпосылок, обусловливаемых на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации;

2. Инициаторами и звеньями причинно-следственной взаимосвязи ФР и ВС может являться ВС, не отвечающая нормативным требованиям.

Для решения задач по бесперебойной работе действующих и создаваемых ВС весь комплекс входящих в состав ВТК конструктивных сооружений, защитных устройств и технологического оборудования был разделён на три взаимосвязанные между собой конструктивно-технологические схемы: путём использования результатов теоретических исследований по созданию специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС»; разработке конструктивных решений на водозаборном сооружении с использованием высокопрочных синтетических тканевых материалов; разработке новых конструктивно-технологических способов защиты от сине-зелёных водорослей и оборудования ВС и мелиоративной системы от обрастания речной дрейссеной.

В составе открытой неравновесной ПТС «ВО – ВС – ОС» техногенный компонент ВС, которые непосредственно взаимодействуют с ПВС водного объекта до аванкамеры насосной станции (рис.3.9).

Системный подход для разработки обустройства водозаборных сооружений оросительных систем подразумевает комплексную работу конструктивно-технологических разработок (КТР-1, КТР-2, КТР-3) защиты отбираемой воды и определяет устойчивое функционирование специализированного типа ПТС, где формируются количественные и качественные показатели.

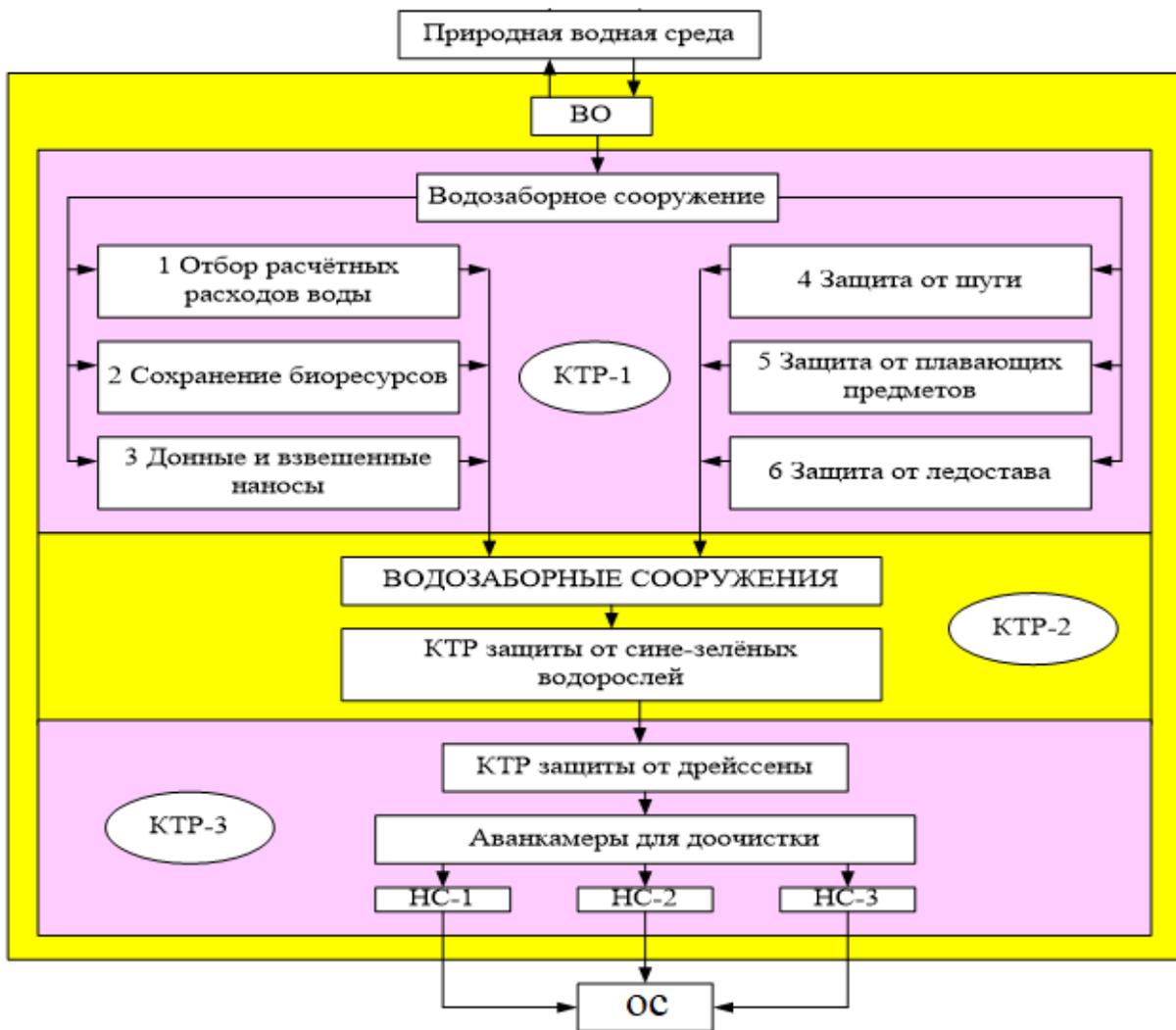


Рисунок 3.9 – Специализированный тип ПТС «ВО – ВС – ОС»

Водозаборные сооружения, как подсистема в составе ПТС «ВО – ВС – ОС», по функциональному назначению состоит из трёх взаимосвязанных между собой конструктивно-технологических решений (КТР-1, КТР-2, КТР-3) (см. рис. 3.9). Каждая конструктивно-технологическая разработка обеспечивает защиту объекта защиты (ОЗ), где под ОЗ выступает ВС водного объекта, водохозяйственный технологический комплекс, технологическое оборудование и МС. Обеспечение ФР в процессах ВВВ ВС в составе ПТС «ВО – ВС – ОС» осуществляется предназначением ОЗ и защитными мероприятиями (ЗМ), взаимодействие которых рассматривается в системе «ОЗ – ЗМ» [132, 253, 254, 255, 256, 273, 342].

По результатам анализа исследований процессов ВВВ природной водной среды с главным техногенным компонентом ВС в составе рассматриваемой ПТС «ВО – ВС – ОС» можно сделать вывод, что системный анализ, как метод анализа организации и управления, и системный подход, как способ создания обобщённой конструктивно-технологической схемы, включающей в себя КТР-1, КТР-2, КТР-3, в которых решаются отдельные этапы технологических задач под воздействием процессов взаимодействия водозаборных сооружений с водной средой водного объекта, по отбору расчётных расходов воды формируются количественные и качественные показатели уровня защищённости путём сохранения естественного биоразнообразия в водном объекте (ихтиофауны, молоди рыб и т. п.), защиты сооружения от токсичных сине-зелёных водорослей, от явления процессов обрастания технологического оборудования дрейссеной и негативных факторов, снижающих функциональную эффективность работы ВС оросительных систем.

КТР-1, включающая в себя водозаборное сооружение в виде мягкой наплавной конструкции (МНК), обеспечивает отбор расчётных расходов воды ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с) из водного объекта с выполнением 4 функций в соответствии с требованиями критериальных показателей. ФР на первом конструктивно-технологическом этапе.

КТР-2 на втором технологическом этапе обеспечивает защиту мелиоративной системы от токсичных сине-зелёных водорослей в соответствии с критериальным показателем путём определённого размещения конструкции мягких ершей в акватории водохозяйственного технологического комплекса, функциональная эффективность (70 %) которых была определена лабораторными исследованиями и производственными испытаниями.

КТР-3 на третьем технологическом этапе обеспечивает защиту конструктивно-технологического оборудования и отдельных элементов мелиоративной системы от явления обрастания дрейссеной в соответствии с критериальным показателем по др., путём использования разработанных

установок на принципе электрокупирования дрейссены, которые устанавливаются на входных оголовках в аванкамере насосных станций. В данной главе представлено научное обоснование устойчивого функционирования специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС», в составе которой функционируют три блока конструктивно-технологических разработок (КТР-1, КТР-2 и КТР-3), взаимосвязь, взаимодействие и взаимоотношение которых обеспечивает бесперебойную работу оросительных систем на уровне 90–95 % (см. рис. 3.9).

Формируемое состояние как фактор функциональной работы в зонах влияния водозаборов мелиоративных систем в составе специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС» обуславливается комплексом защитных мероприятий и разработкой технических устройств защиты водохозяйственных систем. Эти мероприятия определяют направление развития достигнутых результатов по обеспечению функциональной работы водозаборов оросительных систем, что в системном рассмотрении представляет собой устойчивое развитие данного вида хозяйственной деятельности. Системный подход обеспечения функциональной работы водозаборов мелиоративных систем подразумевает взаимосвязь, взаимодействие и взаимоотношения между конструктивно-технологическими разработками (КТР-1, КТР-2, КТР-3) защиты отбираемой воды и определяет устойчивое функционирование специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС», где формируются количественные и качественные показатели водных ресурсов.

Анализ результатов исследования функциональной приемлемости действующих ВС определил важность разработанных базовых критериев безопасности как факторов функциональной работы (ФР). Принимая в качестве предмета исследований, рассматривался ВС, действующий в составе ПТС «ВО – ВС – ОС», изучались процессы взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения ВО с ВС и МС по обеспечению сохранения биоразнообразия в водном объекте, защиты мелиоративной системы от токсичных сине-зелёных водорослей и технологического оборудования

насосных станции от обрастания дрейссеной.

### 3.5 Зоны влияния оросительных водозаборов в пределах рассматриваемых бассейновых геосистем

В методологии обустройства водозаборных сооружений оросительных систем одним из важных вопросов, требующих неотъемлемого решения, является определение и оценка границ зон влияния водозаборов.

Зона санитарной охраны для поверхностных источников должна состоять из трёх поясов:

- первого – строгого режима;
- второго и третьего – режимов ограничений.

Первый пояс ЗСО охватывает часть используемого водоёма в месте водозабора и территорию расположения водозабора мелиоративной системы, которую ограждают забором и озеленяют. Там запрещаются: все виды строительства; выпуск стоков; купание; водопой и выпас скота; рыбная ловля; применение для растений ядохимикатов и удобрений.

Граничные значения первого пояса ЗСО водотока устанавливаются в зависимости от местных условий, где прописаны обязательные условия расположения:

- вверх по течению – не менее 200 м от водозабора;
- вниз по течению – не менее 100 м от водозабора;
- по прилегающему к берегу водозабора – не менее 100 м от линии уреза воды при наивысшем её уровне;
- в направлении от прилегающего от берега водозабора в сторону водоёма при ширине реки или канала менее 100 м (рис.3.10) – вся акватория и противоположный берег 50 м от линии уреза воды при наивысшем её уровне;

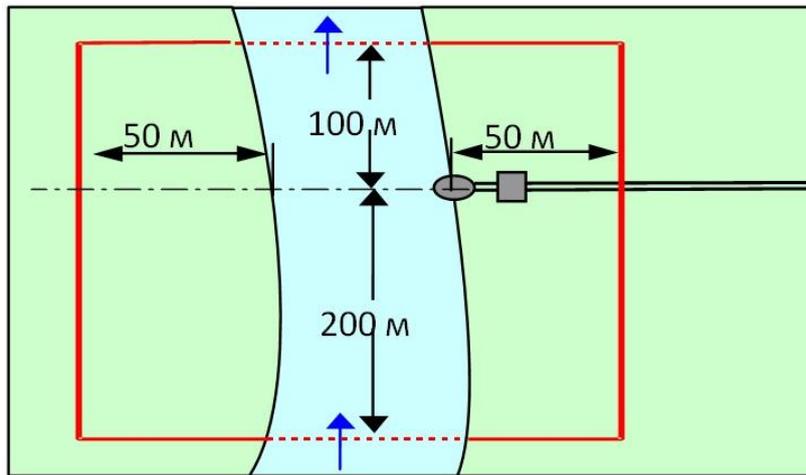


Рисунок 3.10 – Размеры санитарной зоны

- при ширине реки или канала более 100 м – полоса акватории не менее 100 м.

Границы второго пояса ЗСО должны быть:

- вверх по течению, исходя из пробега воды от границ пояса до водозабора при расходе воды 95%-й обеспеченности;
- вниз по течению – не менее 250 м от водозабора;
- боковые границы по водоразделам.

Границы второго пояса санитарной охраны водохранилища или озера определяют исходя из продолжительности протекания воды от них до водозабора в течение не менее пяти суток. Во всех случаях границы второго пояса должны обеспечивать качество воды по ГОСТ 2761-74 [75] на расстоянии от водозабора для проточных источников – 1 км вверх по течению, для непроточных источников и водохранилищ 1 км в обе стороны.

Границы третьего пояса ЗСО поверхностного источника водоснабжения должны быть вверх и вниз по течению водотока или во все стороны по акватории такими же, как для второго пояса. Боковые границы – по водоразделу, но не более 3–5 км от поверхностного водного объекта [132, 271].

### 3.6 Классификация зон влияния действующих водозаборов оросительных систем как фактора обеспечения функциональной работы

Мониторинг по оценке воздействия ВС мелиоративных систем в составе специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС» на природные среды и, в частности, на водный объект, как водоисточник мелиоративной системы, базируется на основных понятиях теории эволюционирующих систем.

Преобладание естественных преобразований над искусственными преобразованиями, связанными с ВС, сохраняет тенденцию к устойчивому развитию окружающей природной среды. При изучении специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС», для которых внешней средой являются пространственные пределы бассейновой геосистемы соответствующего иерархического уровня, нами исследовались методологические подходы, которые базируются на законах сохранения и изменения, где объединяющим началом является закон сохранения полной мощности  $N_{\text{пол}}$ . Согласно этому закону, изменение полезной мощности  $P$  компенсируется изменением мощности потерь  $G$ :

$$N = P + G[L^5T^{-5}]. \quad (3.52)$$

В системе пространственно-временных величин  $(L^R T^S)$  энергия имеет размерность  $(L^5 T^{-5})$ , мощность  $(T^{-5})$ . Исходя из основного свойства энергии, полная энергия системы  $E_{\text{пол}}$  выражается суммой двух частей – свободную энергию  $E_{\text{свб}}$ , которая способна совершать работу, и связанную энергию  $E_{\text{свз}}$ , непригодную для совершения работы:

$$E_{\text{пол}} = E_{\text{свб}} + E_{\text{свз}}(T^{-5}). \quad (3.53)$$

Для рассматриваемых ПТС «ВО – ВС – ОС» условия устойчивой неравновесности выражаются уравнениями:

$$N_{\text{пол}}(t + \tau_{\text{ос}}) = P(t) \cdot \xi, \quad (3.54)$$

где  $\xi = N_{\text{пол}} / P > 1$  характеризует способность системы к воспроизводству.

$$P(t + \tau_{\text{ос}} + \tau_{\text{ПТС}}) = N_{\text{пол}}(t + \tau_{\text{ос}}) \cdot \eta, \quad (3.55)$$

где  $\eta = P / N_{\text{пол}} \leq 1$  определяет КПД использования ресурсов за период времени  $t$ .

Решением, которых является выражение:

$$P(t) = P_0 \cdot \gamma \frac{1}{\tau_{\text{ос}} + \tau_{\text{ПТС}}} (L^5 T^{-5}), \quad (3.56)$$

где  $\lambda = \xi \cdot \eta$  эффективность полной мощности  $N_{\text{пол}}$ ;

$\tau_{\text{ос}} + \tau_{\text{ПТС}} = 0$  – период цикла.

Необходимым условием устойчивой неравновесности является неравенство  $N_{\text{пол}} > G$ , а достаточным условием устойчивой неравновесности является рост  $E_{\text{пол}}$  за счёт повышения эффективности  $N_{\text{пол}}$  и соответственно уменьшения  $G$ . В создаваемых ПТС «ВО – ВС – ОС» важным условием является то, что сохраняется и что изменяется в процессах взаимодействия ВС с природными средами и МС. Взаимодействие ВС с природными средами и МС, определяемое по результатам комплексных исследований, анализом характера и уровня воздействий ВС на системные элементы окружающей среды (атмосфера, гидросфера, литосфера, почвенный покров) и МС, в пространственных пределах бассейновой геосистемы

выражается зонами влияния.

По результатам анализа мониторинговых исследований действующих водозаборов оросительных систем сформулированы характерные зоны влияния и разработана классификационная их оценка: малоактивные, активные и гиперактивные. Примером таких зон влияния действующих водозаборных сооружений может являться участок нижнего течения Дона.

На основе анализа результатов комплексных исследований действующих ВС в составе ПТС «ВО – ВС – ОС» на участке нижнего течения реки Дон были выявлены характерные зоны влияния, которые определили их классификационную характеристику: малоактивные (МАЗВ), активные (АЗВ) и сильно активные (ГАЗВ) и представлены на рисунке 3.11.



Рисунок 3.11 – Зоны влияния на действующих ВС в нижнем течении  
 р. Дон

**Малоактивная зона влияния** – пространственные пределы бассей-

новой геосистемы нижнего течения реки Дон в границе земной поверхности водосборной территории речной гидрографической сети ( $F_{\text{вод.н.т.}} = 113,5 \text{ тыс. км}^3$ ), где происходят определённые изменения в гидрографии речной сети за счёт изменения количественных и качественных показатели водных ресурсов, использующихся в мелиоративных системах.

**Активная зона влияния** – границы прибрежных береговых зон, в пределах которых происходят изменения в гидравлическом режиме руслового речного водного потока вверх и вниз по течению от створов расположения береговых водозаборов мелиоративных систем, связанные с перестроением берегов.

**Гиперактивная зона влияния** – русловой участок водного объекта, вверх и вниз по течению реки, в пределах которого происходят определённые изменения в процессах жизнедеятельности речной ихтиофауны, которые не должны изыматься из источника оросительной воды при отборе расчётных расходов ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с) воды.

Функционирование ВС во ВВВ с природными средами зон влияния неотъемлемо сопровождается усложнением в процессах организации между природными и техногенными структурными образованиями в зонах его влияния. Возникающее при этом явление необратимости в процессах ВВВ ВО с ВС приводит к появлению таких новых образований, как уменьшение руслового расхода воды, изменение гидрологической структуры водного потока, захват донных и взвешенных наносов, попадание плавающих предметов и шуги, поступающих из руслового потока в водозаборный ковш, наиболее важным - попадание молоди и взрослых особей видов рыб [142, 270, 272, 274, 280, 282, 361].

В результате проведённых исследований на примере Александровского ВС и анализа количественных и качественных критериальных показателей были определены их количественные и качественные значения, которые соответствуют современным требованиям по обеспечению ФР в установленных зонах влияния нижнего течения реки Дон [284, 285, 286].

На основе результатов комплексных исследований, действующих в нижнем течении реки Дон ВС в составе специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС», сформулированы концептуальные утверждения ЭП конструктивно-технологических принципов в создании новых и совершенствовании действующих ВС для мелиоративных систем. В развитии основ методологии оценки зон влияния ВС на природные среды в пространстве и времени локальных бассейновых геосистем на примере Александровского ВС в соответствии требованиям определены количественные и качественные критериальные показатели функциональной работы ВС по обеспечению ФР в установленных зонах влияния. По результатам СКЭМ на действующих ВС в нижнем течении реки Дон на примере действующего Александровского ВС определены границы зон его влияния с обоснованием классификационной характеристики, включающей в себя МАЗВ, АЗВ и ГАЗВ.

### ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. В развитии класса ПТС «ПС – ОД – Н» в различных отраслях хозяйственной деятельности при разработке научных основ специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС» для водозаборов мелиоративных систем представлены результаты теоретических исследований, включающие в себя следующие вопросы:

- представлены теоретические аспекты обоснования актуальности создания концептуальной модели по обеспечению бесперебойной работы водозаборов оросительных систем;

- теоретической и методологической основой изучения взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношений между природной водной средой, объектом деятельности и компонентом жизнеобеспечения населения являются системный анализ, как метод организации управления, и системный подход, как способ создания защитных устройств мелиоративных си-

стем, где водозабор, как техногенный компонент, рассматривается в составе природно-технической системы (ПТС);

- на основе системного анализа и системного подхода разработаны основы методологии создания специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС»;

- разработана аналитическая геоинформационная система (ГИС) проекта бассейна водоисточника;

- на основе обобщённой структуры системного анализа и синтеза результатов исследований сформулированы обобщённые принципы физического моделирования конструктивных элементов водозаборов оросительных систем в составе ПТС «ВО – ВС – ОС»;

- для оценки функциональной работы и состояния рассматриваемых ВС мелиоративных систем сформулированы основные этапы методологии концепции создания специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС»;

- разработана математическая модель и структурная схема функционирования природно-технической системы «ВО-ВС-ОС»;

- на основе результатов проведённых исследований по разработке специализируемого типа ПТС обоснованы и сформулированы основополагающие принципы и этапы организации и динамики развития концептуальной модели.

2. Исходя из концепции рационального использования водных ресурсов в мелиоративных системах на основе экосистемного подхода процессов взаимосвязи, взаимоотношения и взаимопонимания (ВВВ) техногенных водозаборных сооружений (ВС) и природных – природная водная среда (ПВС) компонентов в составе специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС» были разработаны:

- методика обоснования и классификационная характеристика зон влияния ВС в пределах рассматриваемой бассейновой геосистемы;

- в развитии понятия техногенной составляющей принципа главенствующей роли целого сформулированы концептуальные основы кон-

структивно-технологических элементов в составе мелиоративных систем;

3. По результатам анализа мониторинговых исследований действующих водозаборов мелиоративных систем сформулированы характерные зоны влияния и разработана классификационная их оценка: малоактивные, активные и гиперактивные.

4. По результатам комплексных исследований процессов ВВВ техногенного компонента ВС в составе специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС» в зонах влияния разработаны три конструктивно-технологические схемы:

- КТР-1, включающая в себя многофункциональную защитную конструкцию, которая обеспечивает отбор расчётных расходов воды для мелиоративных систем, сохранение биоразнообразия ихтиофауны в водном объекте, реализует защиту водохозяйственного технологического комплекса от донных и взвешенных наносов и шуги;

- КТР-2, включающая в себя конструктивно-технологические защитные мероприятия от сине-зелёных водорослей до 95 %;

- КТР-3 включает в себя конструктивно-технологические установки по защите технологического оборудования и конструктивных элементов оросительной системы от негативного явления обрастания речной дрейссеной.

5. Системный подход обеспечения функциональной работы водозаборов мелиоративных систем подразумевает взаимосвязь, взаимодействие и взаимоотношения между конструктивно-технологическими разработками (КТР-1, КТР-2, КТР-3) защиты отбираемой воды и определяет устойчивое функционирование специализируемого типа ПТС, где формируются количественные и качественные показатели водных ресурсов.

## 4 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА (КТР-1) ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ВОДОЗАБОРОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

### 4.1 Основные аспекты проблемы функциональной работы водозаборов оросительных систем

Анализом функциональной работы на действующих ВС в пределах бассейновой геосистемы Нижнего Дона в Ростовской, Волгоградской областях, Ставропольском и Краснодарском краях и республике Калмыкия было установлено, что при отборе расчётных расходов воды из водного объекта наряду с проблемой по сохранению многообразия ихтиофауны, важными проблемами функциональной работы оросительных систем являются защита водозаборов от донных и взвешенных наносов, шуги и плавающих предметов, поступающих из водного объекта [287, 288, 290, 291].

На водных объектах Российской Федерации и, в частности, в пределах бассейновой геосистемы Нижнего Дона наблюдается процесс повышения уровня трофности и, соответственно, ухудшение качественных показателей воды, вызванное процессами развития сине-зелёных водорослей.

Каждая из отмеченных проблемных задач представляет собой по отдельности достаточно глобальные мероприятия, которые требуют своего разрешения в обширных исследованиях по разработке расчётно-конструктивных методов. Одним из наиболее перспективных направлений в настоящее время являются методологические основы синтеза мягких наплавных конструкций в составе водозаборных сооружений.

Конструктивное направление с использованием новых биопозитивных материалов из высокопрочных синтетических тканей определило необходимость в разработке методологических основ конструкторско-изобретательских задач (КИЗ) по созданию новых и совершенствованию существующих конструктивно-технологических схем. Научные методы

поиска новых решений КИЗ [293, 294, 305, 306, 315, 317, 374] имели достаточно успешное развитие в последние десятилетия прошлого века и широко используются в настоящее время. В разработке теоретических основ КИЗ для различных устройств и сооружений известны работы А.И. Половинкина [185], Г.С. Альтшулера [9], Ф. Хазена [242] и др. Применительно для водохозяйственной отрасли - это работы Б.И.Сергеева [216], В.А. Волосухина [55, 56, 57, 58], и других. Для класса конструктивных решений (КР) применительно к техническим системам ВС алгоритм КИЗ потребовал определённых исследований в части наполнения его спецификой функциональной работы ВС в составе специализированного типа ПТС «ВО-ВС-ОС».

В работах Б.И. Сергеева [216], В.А. Волосухина [55, 56, 57, 58], Алексеева С.А. [8], Друзь [761], и др. приводится классификационный перечень большого числа методов решения различных конструкторских задач гидротехнического класса. Учитывая условия функциональной работы мягких наплавных конструкций (МНК), в качестве водозаборных сооружений в составе ПТС «ВО-ВС-ОС» сформулировано 15 дополнительных приёмов.

1. Приём разделения: - разделить элементы конструкции на части.
2. Приём совмещения: - совместить в одной конструкции разные принципы приемлемости при обеспечении различных защитных мероприятий.
3. Принципы упрощения: - сложные функциональные взаимосвязи между конструктивными элементами и ПВС водного объекта заменить на простые; ввести оптимальную координацию в процессе взаимосвязи, взаимодействия и взаимоотношения между конструктивными элементами, между собой и конструкции в целом с ПВС водного объекта.
4. Приёмы переноса решений из другой области.
5. Приёмы преобразования формы: - оценить влияние формы вертикальных тканевых полотнищ на функциональные показатели водозаборно-

го сооружения.

6. Приём нарушения симметрии в конструктивных элементах и конструкции в целом: - использовать форму для управления гидравлической структурой водного потока; использовать форму для образования винтового поступательного движения водного потока; использовать запасы линейных размеров тканевых полотнищ на изменение формы при взаимодействии с водным потоком.

7. Приём использования новых узлов, деталей, материалов, природных форм энергии и т.п.: - использование тканевых материалов на заданный срок выполнения функциональных задач; использование энергии водного потока для защиты водозаборного окна от донных наносов.

8. Приём «наоборот» с переориентацией: - сделать движущиеся части в конструкции неподвижными, а неподвижные – движущимися; сблизить удалённые конструктивные элементы и наоборот.

9. Приём профилактической компенсации: - предусмотреть в монтажных узлах между секциями тканевых полотнищ возможность их замены при работе сооружения.

10. Приём количественного изменения: - изменить традиционные величины параметров конструкции или технологического процесса..

11. Приёмы изменения условий работы: - изменить условия работы гибкого экрана на частично проницаемый.

12. Приём изменения среды: - окружающую водную среду дополнить другими факторами (пузырьками воздуха, химическими элементами и т.п.).

13. Приёмы частичного решения: - поэтапное решение задачи на пути движения водного потока.

14. Приёмы динамизации и автоматизации: - использовать материалы с различной жёсткостью.

15. Приёмы «Скачка к идеалу»: - после решения КИЗ определить приемлемость обеспечения ФР в зонах влияния ВС.

Основываясь на полученные нами результаты КИЗ для МНК, используемых в качестве водозаборных сооружений в составе оросительной системы, а также анализ ранее полученных конструктивных решений с использованием высокопрочных синтетических тканевых материалов (около 2.000), можно показать, что с помощью 15 приёмов были решены задачи по созданию конструктивных решений для осуществления отбора расчётных расходов воды ( $Q \text{ м}^3/\text{с}$ ) для оросительных систем. Базовым конструктивным решением явилась МНК водозаборного сооружения, разработанные Бондаренко В.Л. и др. (рис.4.1).

МНК включает в себя подвижный и неподвижный вертикальные экраны по глубине водного потока, которые удерживаются в задаваемом положении по глубине и в плане системами поверхностных и заглублённых поплавков, гибкими связями и якорными устройствами.

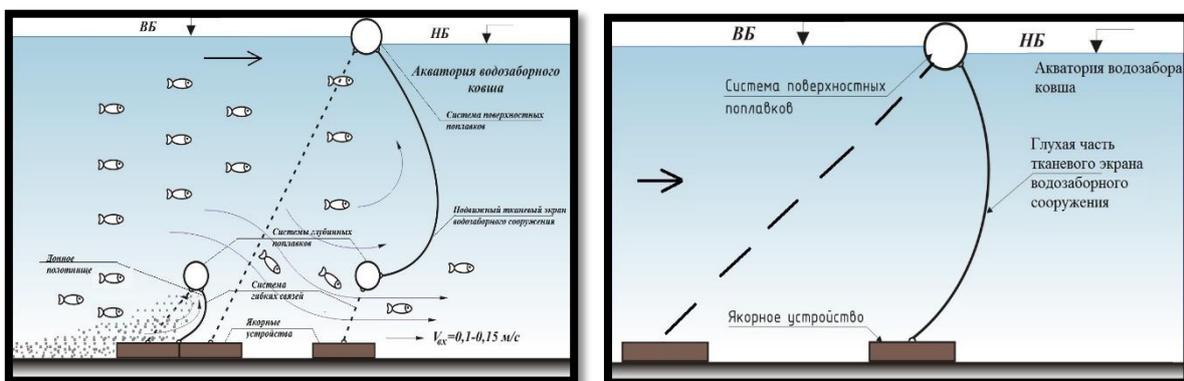


Рисунок 4. 1 – Базовые мягкие наплавные конструкции водозаборного сооружения в составе мелиоративной системы

Для сопряжения МНК водозаборного сооружения с береговыми устоями используются глухие секции. На основе базового МНК были разработаны мягкие наплавные биопозитивные конструкции водозаборного сооружения в составе оросительной системы, в которых основным защитным средством является предложенная автором впервые для очистки оросительной воды ершовая фильтрующая загрузка. На рисунках 4. 2 – 4.5 пред-

ставлены усовершенствованные мягкие наплавные конструкции водозаборного сооружения в составе оросительной системы.

Особенность разновидности конструкций заключается в том, что в зависимости от уровня режима воды и загрязнения защитное устройство может работать в разных слоях водоприёма:

1. С двойным водопрёмом из поверхностных и донных слоёв воды, если вода чистая, уровни достаточны и концентрация рыб незначительна (см. рис.4.2).

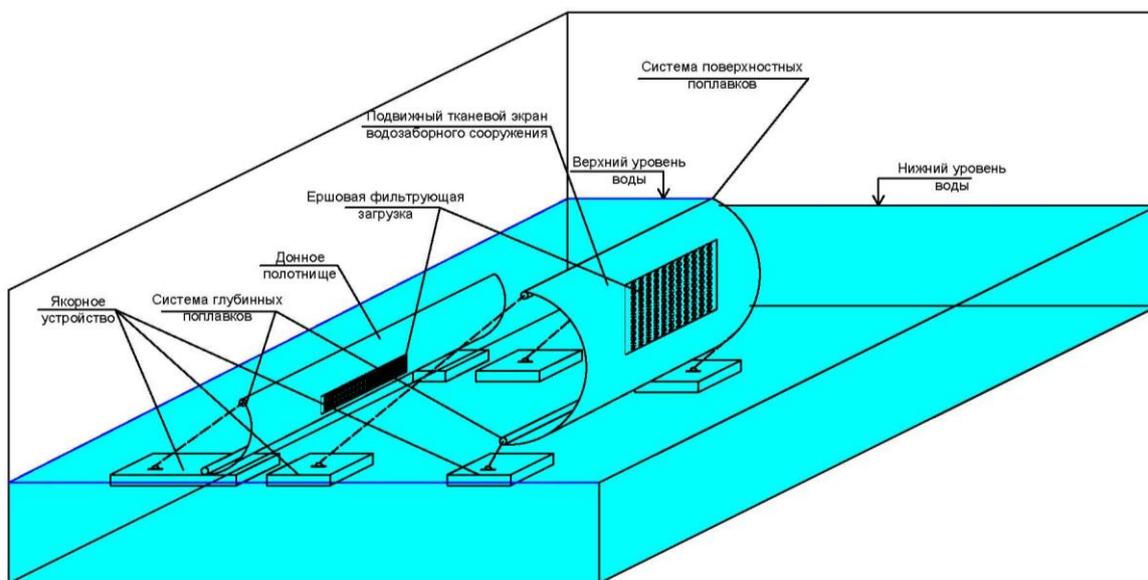


Рисунок 4. 2 – Мягкая наплавная ершовая конструкция с двойным водопрёмом из поверхностных и донных слоёв воды

2. С одним вертикальным водопрёмом воды, если для очистки воды от загрязнений требуется меньше времени осаждения, а концентрация рыб больше (в ночное время), и рыбозащитная функция требует большего внимания. (см. рис.4.3).

3. С одним горизонтальным водопрёмом воды, если для очистки воды от загрязнений требуется больше времени осаждения (во время обильного цветения водоёма), а концентрация рыб меньше, и рыбозащитная функция требует меньшего внимания. (см. рис.4.4).

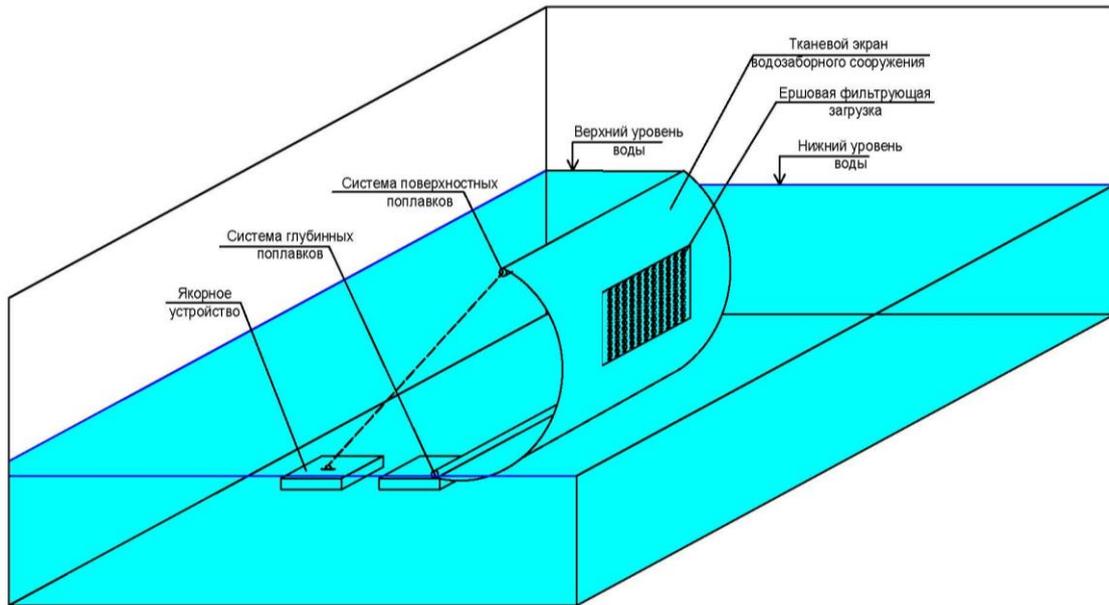


Рисунок 4. 3 - Мягкая наплавная ершовая конструкция с одним вертикаль-  
ным водопрёмом воды

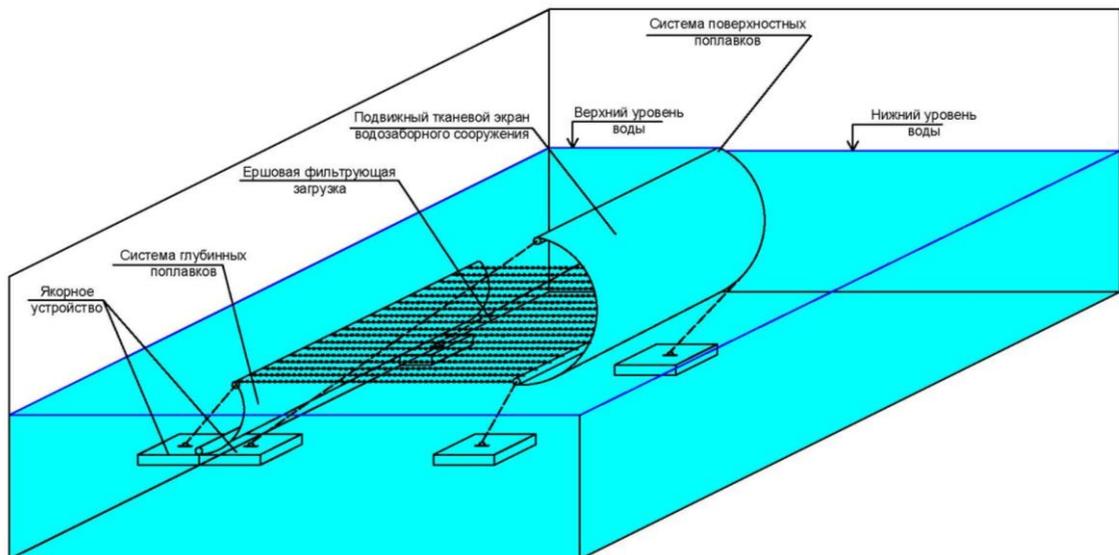


Рисунок 4. 4 - Мягкая наплавная ершовая конструкция с одним гори-  
зонтальным водопрёмом воды

4. С одним вертикальным водопрёмом из донных слоёв воды, если уровень воды не позволяет забрать воду из поверхностных слоёв в связи с их загрязнением, и концентрация поверхностных рыб превышает допустимые нормы. (см. рис.4.5).

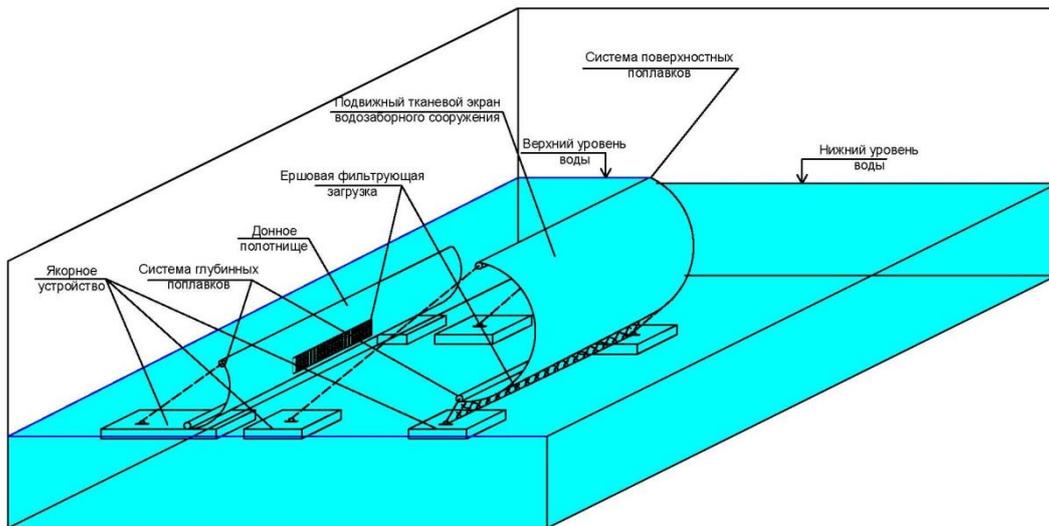


Рисунок 4. 5 - Мягкая наплавная ершовая конструкция с водопрёмом из  
ДОННЫХ СЛОЁВ ВОДЫ

В зависимости от конструкции и материала ерша защитные функции конструкции биопозитивного устройства меняются. Мягкий шерстяной ёрш выполняет функцию очистки оросительной воды от сине-зелёных водорослей. Жёсткие ерши, изготовленные из лески, являются орудием отпугивания (раздражителем после контакта с рыбой) мальков рыб, т.е. рыбозащитным устройством. А если конструкцию ершвого фильтра подключить к электроимпульсному устройству, предложенному автором, тогда биопозитивная конструкция МНК становится ещё и устройством электрокупирования дрейссены. В целом переоборудование водоприёмника такой конструкции обеспечивает исправность мелиоративного водозабора, путём предпочистки оросительной воды поверхностных и донных наносов от сине-зелёных водорослей и дрейссены с целью сохранения рыбных запасов в источнике.

#### 4.2 Расчёт мягких наплавных конструкций оросительного водозабора

В первую очередь рассмотрим равновесие элемента конструкции произвольной формы, заданной в системе координат  $\dot{a}$ ,  $\beta$ ,  $z$  (рис.4.6).

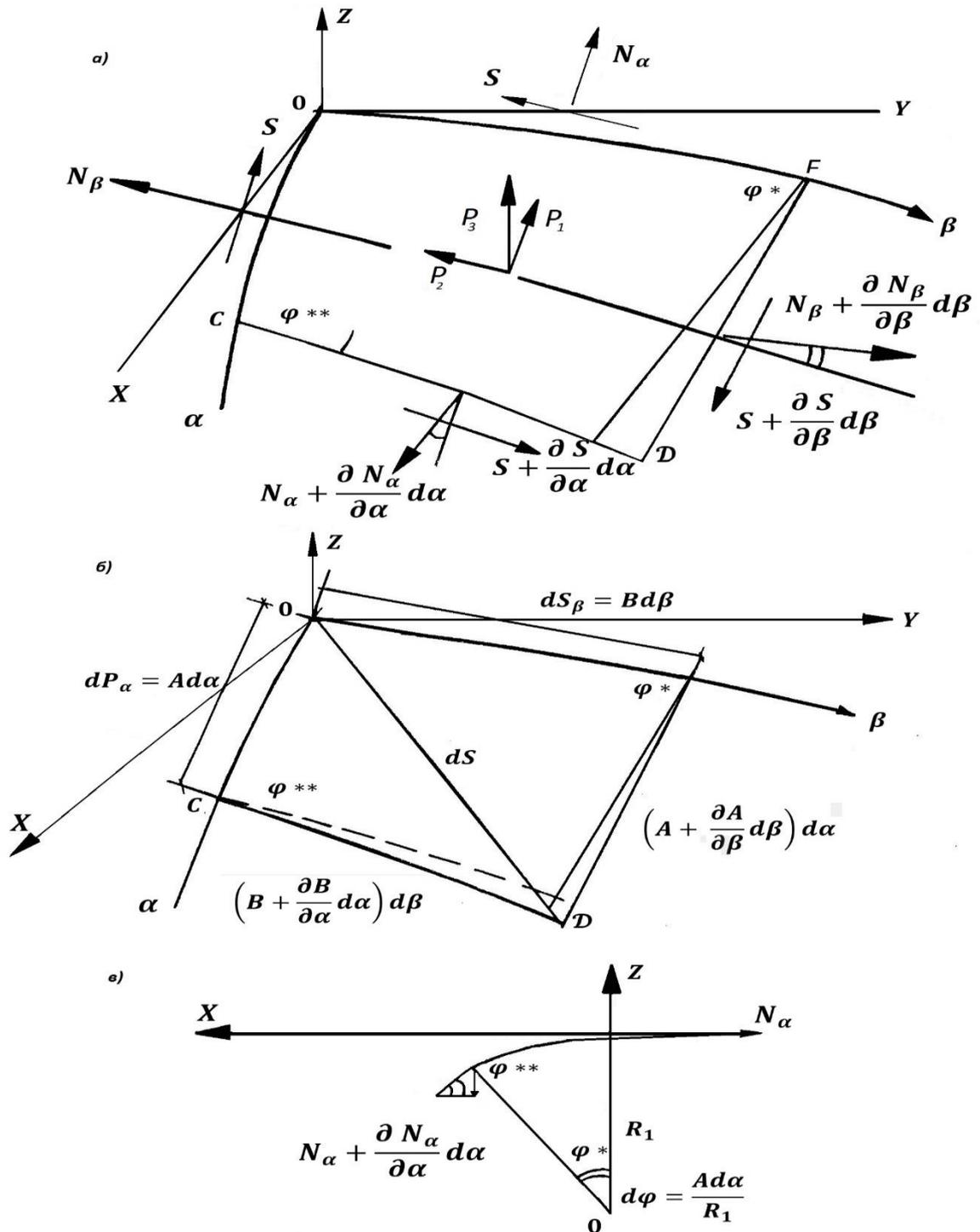


Рисунок 4.6 - Расчётные схемы оболочки МК

Квадрат линейного элемента в ортогональной системе координат равен:

$$dS^2 = dS_\alpha^2 dS_\beta^2 = A d\alpha^2 + B^2 d\beta^2 \quad (4.1).$$

Сумма проекций, действующих сил на ось ОХ даёт (см. рис.4.3 а, б)

$$N_{\alpha}Bd\beta - \left(N_{\alpha} + \frac{\partial N_{\alpha}}{\partial \alpha}d\alpha\right)\left(B + \frac{\partial B}{\partial \alpha}d\alpha\right)\partial\beta + SAd\alpha - \left(S + \frac{\partial S}{\partial \beta}d\beta\right)\left(A + \frac{\partial A}{\partial \beta}d\beta\right)d\alpha + \left(N_{\beta} + \frac{\partial N_{\beta}}{\partial \beta}d\beta\right)\left(A + \frac{\partial A}{\partial \beta}d\beta\right)d\alpha \frac{\partial B}{\partial \alpha} \frac{d\beta}{A} - \left(S + \frac{\partial S}{\partial \alpha}d\alpha\right)\left(B + \frac{\partial B}{\partial \alpha}d\alpha\right)d\beta \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{d\alpha}{B} + P_1 ABd\alpha d\beta = 0,$$

отсюда:

$$-\frac{\partial(BN_{\alpha})}{\partial \alpha} - \frac{\partial(SA)}{\partial \beta} + N_{\beta} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - S \frac{\partial A}{\partial \beta} + P_1 AB = 0, \quad (4.2),$$

где  $\Psi * \approx \frac{\partial B}{\partial \alpha} \frac{d\beta}{A},$   $\Psi ** \approx \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{d\alpha}{B}.$

Полученное (4.2) запишем в следующем виде:

$$\frac{\partial(BN_{\alpha})}{\partial \alpha} - N_{\beta} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - \frac{1}{A} \frac{\partial(SA)^2}{\partial \beta} + P_1 AB = 0. \quad (4.3)$$

Получим уравнение равновесия в направлении оси ОУ аналогичным образом:

$$N_{\beta}d\alpha - \left(N_{\beta} + \frac{\partial N_{\beta}}{\partial \beta}d\beta\right)\left(A + \frac{\partial A}{\partial \beta}d\beta\right)\partial\alpha + SBd\beta - \left(S + \frac{\partial S}{\partial \alpha}d\alpha\right)\left(B + \frac{\partial B}{\partial \alpha}d\alpha\right)d\beta - \left(S + \frac{\partial S}{\partial \beta}d\beta\right)\left(A + \frac{\partial A}{\partial \beta}d\beta\right)\frac{\partial B}{\partial \alpha} \frac{d\beta}{A} + \left(N_{\alpha} + \frac{\partial N_{\alpha}}{\partial \alpha}d\alpha\right)\left(B + \frac{\partial B}{\partial \alpha}d\alpha\right)d\beta \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{d\alpha}{B} + P_1 ABd\alpha d\beta = 0,$$

отсюда:

$$-\frac{\partial N_{\beta}}{\partial \beta} - \frac{\partial(SB)}{\partial \alpha} - S \frac{\partial B}{\partial \alpha} + N_{\alpha} \frac{\partial A}{\partial \beta} + P_2 AB = 0$$

или:

$$\frac{\partial(AN_\beta)}{\partial\beta} - N_\alpha \frac{\partial A}{\partial\beta} + \frac{1}{B} + \frac{\partial(B^2S)}{\partial\alpha} + P_2AB = 0 \quad (4.4).$$

Спроектировав действующие силы на ось Z, получаем (см. рис.4.3 а, б):

$$\begin{aligned} & - \left[ N_\alpha + \frac{\partial N_\alpha}{\partial\alpha} d\alpha + \left( S + \frac{\partial S}{\partial\alpha} d\alpha \right) \frac{\partial A}{\partial\beta} \frac{d\alpha}{B} \right] \left( B + \frac{\partial B}{\partial\alpha} d\alpha \right) d\beta \frac{Ad\alpha}{R_1} \\ & - \left[ N_\beta + \frac{\partial N_\beta}{\partial\beta} d\beta + \left( S + \frac{\partial S}{\partial\beta} d\beta \right) \frac{\partial B}{\partial\alpha} \frac{d\beta}{A} \right] \left( A + \frac{\partial A}{\partial\beta} d\beta \right) d\alpha \frac{Bd\beta}{R_2} + P_1 AB d\alpha d\beta \\ & = 0 \end{aligned}$$

отсюда:

$$\frac{N_\alpha}{R_1} + \frac{N_\beta}{R_2} = P_3 \quad (4.5).$$

Следовательно, получена система из 3х уравнений равновесия:

$$\begin{cases} \frac{\partial(BN_\alpha)}{\partial\alpha} - N_\beta \frac{\partial B}{\partial\alpha} - \frac{1}{A} \frac{\partial(SA)^2}{\partial\beta} + P_1AB = 0 \\ \frac{\partial(AN_\beta)}{\partial\beta} - N_\alpha \frac{\partial A}{\partial\beta} + \frac{1}{B} \frac{\partial(B^2S)}{\partial\alpha} + P_2AB = 0 \\ \frac{N_\alpha}{R_1} + \frac{N_\beta}{R_2} = P_3 \end{cases} \quad (4.6).$$

Для равнопрочной поверхности  $N_\alpha = N_\beta$  система упрощается и имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial N_\alpha}{\partial\alpha} + \frac{1}{A} \frac{\partial A^2S}{\partial\beta} + P_1AB = 0 \\ A \frac{\partial N_\beta}{\partial\beta} + \frac{1}{B} \frac{\partial(B^2S)}{\partial\alpha} + P_2AB = 0 \\ \frac{N_\alpha}{R_1} + \frac{N_\beta}{R_2} = P_3 \end{cases} \quad (4.7).$$

Если равнопрочная поверхность находится под гидростатической нагрузкой, выражение (4.7) имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial N_\alpha}{\partial \alpha} = \frac{1}{A} \frac{\partial A^2 S}{\partial \beta} \\ \frac{\partial N_\beta}{\partial \beta} = \frac{\partial (B^2 S)}{\partial \alpha} \\ N_\alpha \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = P_3 \end{array} \right. \quad (4.8).$$

Рассмотрим физические уравнения, связывающие компоненты деформаций  $(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy})$  с компонентами напряжения  $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz})$  в срединной поверхности. В общем случае анизотропии закон Гука в декартовой системе координат имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_x = \dot{a}_{11} \sigma_x + \dot{a}_{12} \sigma_y + \dot{a}_{13} \sigma_z + \dot{a}_{14} \sigma_x \sigma_y + \dot{a}_{15} \tau_{yz} + \dot{a}_{16} \tau_{xz} \\ \varepsilon_y = \dot{a}_{21} \sigma_x + \dot{a}_{22} \sigma_y + \dot{a}_{23} \sigma_z + \dot{a}_{24} \sigma_x \sigma_y + \dot{a}_{25} \tau_{yz} + \dot{a}_{26} \tau_{xz} \\ \gamma_{xy} = \dot{a}_{61} \sigma_x + \dot{a}_{62} \sigma_y + \dot{a}_{63} \sigma_z + \dot{a}_{64} \sigma_x \sigma_y + \dot{a}_{65} \tau_{yz} + \dot{a}_{66} \tau_{xz} \end{array} \right. \quad (4.9).$$

Закон Гука для изотропного тела имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_x = \dot{a}_{11} \sigma_x + \dot{a}_{12} \sigma_y + \dot{a}_{13} \sigma_z \\ \varepsilon_y = \dot{a}_{21} \sigma_x + \dot{a}_{22} \sigma_y + \dot{a}_{23} \sigma_z \\ \varepsilon_z = \dot{a}_{31} \sigma_x + \dot{a}_{32} \sigma_y + \dot{a}_{33} \sigma_z \end{array} \right. \quad (4.10).$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_{xy} = \dot{a}_{44} \tau_{xy} \\ \gamma_{yz} = \dot{a}_{55} \tau_{yz} \\ \gamma_{xz} = \dot{a}_{66} \tau_{xz} \end{array} \right. \text{При этом } \dot{a}_{ij} = \dot{a}_{ji}$$

Отсутствие напряжения в направлении нормали к поверхности позволяет рассматривать более простую систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_x = \dot{a}_{11} \sigma_x + \dot{a}_{12} \sigma_y \\ \varepsilon_y = \dot{a}_{21} \sigma_x + \dot{a}_{22} \sigma_y \\ \gamma_{xy} = \dot{a}_{44} \tau_{xy} \end{array} \right. \quad (4.11).$$

Выразив упругие постоянные, получаем выражения вида:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E_1} - \frac{\mu_{21}\sigma_y}{E_2} \\ \varepsilon_y &= -\frac{\mu_{12}}{E_1}\sigma_x + \frac{\sigma_y}{E_2} \\ \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G}\end{aligned}\quad (4.12),$$

Примем обозначения:

$$E = \sqrt{E_1 E_2}, \quad C = \sqrt{\frac{E_1}{E_2}}, \quad \nu = \frac{\mu_{12}}{C} \quad (4.13),$$

где  $C$ - показатель энтропии, тогда:

$$\nu = \mu_{12}C \quad (4.14),$$

так как  $\dot{\alpha}_{12} = \dot{\alpha}_{21} \frac{\mu_{21}}{E_2} = \frac{\mu_{12}}{E_1}$ ,

из 4.14 получаем:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{1}{E} \left( \frac{\sigma_x}{C} - \nu \sigma_y \right) \\ \varepsilon_y = \frac{1}{E} (C \sigma_y - \nu \sigma_x) \\ \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \end{cases} \quad (4.15).$$

Отсюда следует:

$$\begin{cases} \sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (C \varepsilon_x - \nu \varepsilon_y) \\ \sigma_y = \frac{Eh}{1-\nu^2} \left( \frac{\varepsilon_y}{C} + \nu \varepsilon_x \right) \\ \tau_{xy} = \gamma_{xy} Gh \end{cases} \quad (4.16).$$

Усилия в зависимости от деформации, так как напряжения по толщине распределены равномерно, получаем в виде:

$$\begin{cases} N_\alpha = \frac{Eh}{1-v^2} (C_{\varepsilon_x} v_{\varepsilon_y}) \\ N_\beta = \frac{Eh}{1-v^2} \left( \frac{\varepsilon_y}{C} + v_{\varepsilon_x} \right) \end{cases} \quad (4.17).$$

Уравнения, связывающие компоненты перемещения ( $u, v, \dot{\omega}$ ) с компонентами деформации ( $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ ), имеют вид:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{1}{A} \frac{\partial U}{\partial \alpha} + \frac{v}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta} + \frac{\dot{\omega}}{R_1} \\ \varepsilon_y = \frac{1}{B} \frac{\partial v}{\partial \beta} + \frac{U}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha} + \frac{\dot{\omega}}{R_2} \\ \gamma_{xy} = \frac{B}{A} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left( \frac{v}{B} \right) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial \beta} \left( \frac{U}{A} \right) \end{cases} \quad (4.18).$$

При известных усилиях  $N_\alpha, N_\beta, S$  упругие перемещения срединной поверхности определяются из системы, которая получена из выражений:

$$\begin{aligned} \frac{1}{A} \frac{\partial U}{\partial \alpha} + \frac{v}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta} + \frac{\dot{\omega}}{R_1} &= \frac{1}{Eh} \left( \frac{N_\alpha}{C} - v N_\beta \right) \\ \frac{1}{B} \frac{\partial U}{\partial \beta} + \frac{U}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha} + \frac{\dot{\omega}}{R_2} &= \frac{1}{Eh} (C N_\beta - v N_\alpha) \end{aligned}$$

$$\frac{B}{A} \frac{\partial}{\partial \alpha} + \left( \frac{v}{B} \right) \frac{A}{B} + \frac{\partial}{\partial \beta} \left( \frac{U}{A} \right) = \frac{1}{Gh} S \quad (4.19).$$

Так как величины  $A, B, R_1, R_2$  не могут быть заданы произвольно, то они должны удовлетворять равенствам, именуемым в дифференциальной геометрии условием Кодации-Гаусса, которые имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left( \frac{1}{A} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) + \frac{\partial}{\partial \beta} \left( \frac{1}{B} \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) &= \frac{-AB}{R_1 R_2} \\ \frac{\partial}{\partial \alpha} \left( \frac{B}{R_2} \right) &= \frac{1}{R_1} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \left( \frac{A}{R_1} \right) = \frac{1}{R_1} \frac{\partial A}{\partial \beta}.$$

В ходе экспериментальных исследований, следует отметить, что сдвигающие напряжения значительно меньше растягивающих для мягких тканевых сооружений, тогда вышеприведённые уравнения равновесия можно представить в виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial(BN_\alpha)}{\partial \alpha} - N_\beta \frac{\partial B}{\partial \alpha} = -P_1 AB \\ \frac{\partial(AN_\beta)}{\partial \beta} - N_\alpha \frac{\partial A}{\partial \beta} = -P_2 AB \\ \frac{N_\alpha}{R_1} + \frac{N_\beta}{R_2} = P_3 \end{cases} \quad (4.20).$$

Из дифференциальной геометрии для ортогональной системы координат известно:

$$A^2 = \left( \frac{\partial x}{\partial \alpha} \right)^2 + \left( \frac{\partial y}{\partial \alpha} \right)^2 + \left( \frac{\partial z}{\partial \alpha} \right)^2$$

$$BA^2 = \left( \frac{\partial x}{\partial \beta} \right)^2 + \left( \frac{\partial y}{\partial \beta} \right)^2 + \left( \frac{\partial z}{\partial \beta} \right)^2$$

$$L = \frac{1}{AB} \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 x}{\partial \alpha} & \frac{\partial^2 y}{\partial \alpha} & \frac{\partial^2 z}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial x}{\partial \alpha} & \frac{\partial z}{\partial \alpha} & \frac{\partial z}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial x}{\partial \alpha} & \frac{\partial z}{\partial \alpha} & \frac{\partial z}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial x}{\partial \beta} & \frac{\partial z}{\partial \beta} & \frac{\partial z}{\partial \beta} \end{vmatrix} \quad (4.21).$$

$$N = \frac{1}{AB} \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 x}{\partial \beta} & \frac{\partial^2 y}{\partial \beta} & \frac{\partial^2 z}{\partial \beta} \\ \frac{\partial x}{\partial \beta} & \frac{\partial y}{\partial \beta} & \frac{\partial z}{\partial \beta} \\ \frac{\partial x}{\partial \beta} & \frac{\partial y}{\partial \beta} & \frac{\partial z}{\partial \beta} \\ \frac{\partial x}{\partial \beta} & \frac{\partial y}{\partial \beta} & \frac{\partial z}{\partial \beta} \end{vmatrix} \quad R_1 = \frac{A^2}{L}; R_2 = \frac{B^2}{N}; K_{cp} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{2} \frac{A^2 N + B^2 L}{A^2 B^2}.$$

При отсутствии волнения на водном объекте очевидно, что и выражение (4.21) принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial(BN_\alpha)}{\partial\alpha} = N_\beta \frac{\partial B}{\partial\alpha} \\ \frac{\partial(AN_\beta)}{\partial\beta} = N_\alpha \frac{\partial A}{\partial\beta} \\ \frac{N_\alpha}{R_1} + \frac{N_\beta}{R_2} = P_3 \end{cases} (4.22).$$

Выражения (4.23) сводятся к системе 2 дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} N_\alpha f_1(\beta) + \frac{\partial N_\alpha}{\partial\beta} f_2(\beta) = f_3(\beta) \\ N_\beta f_4(\alpha) + \frac{\partial N_\beta}{\partial\alpha} f_5(\alpha) = f_6(\alpha) \end{cases} (4.23),$$

Где

$$f_1(\beta) = \frac{\partial A}{\partial\beta} + \frac{\partial}{\partial\beta} \left( \frac{AR_2}{R_1} \right)$$

$$; f_2(\beta) = \frac{AR_2}{R_1}; f_3(\beta) = \frac{\partial}{\partial\beta} (AR_2 P_3),$$

$$f_4(\alpha) = \frac{\partial B}{\partial\alpha} + \frac{\partial}{\partial\alpha} \left( \frac{BR_1}{R_2} \right);$$

$$f_5(\alpha) = \frac{BR_1}{R_2}; f_6(\alpha) = \frac{\partial}{\partial\alpha} (BR_1 P_3).$$

Форма поверхности МНК считается известной, функции  $f_1(\beta), f_2(\beta), f_3(\beta), f_4(\alpha), f_5(\alpha), f_6(\alpha)$  тоже известны, следовательно, можно получить два дифференциальных уравнения (4.23), которые решаем одним из численных методов.

При выполнении на водном объекте предположения  $P_1 = P_2 = 0$  несправедливо. Из выражения (4.23) получаем:

$$N_\beta = R_2(P_3 \frac{N_\alpha}{R_1}). \quad (4.24).$$

Подставив (4.24.) в (4.22) и (4.23), будем иметь:

$$\left\{ \begin{array}{l} N_\beta \frac{\partial B}{\partial \alpha} + B \frac{\partial N_\alpha}{\partial \alpha} + N_\alpha \frac{R_1}{R_2} \frac{\partial B}{\partial \alpha} = R_2 P_3 \frac{\partial B}{\partial \alpha} - P_1 AB \\ N_\alpha \frac{\partial A}{\partial \beta} + A \frac{R_1}{R_2} \frac{\partial N_\alpha}{\partial \alpha} + N_\alpha \frac{\partial B}{\partial \beta} \left( A \frac{R_1}{R_2} \right) = P_2 AB + \frac{\partial}{\partial \beta} (AR_2 P_3) \end{array} \right.$$

Или

$$\left\{ \begin{array}{l} N_\alpha \left( \frac{\partial B}{\partial \alpha} + \frac{R_1}{R_2} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) + B \frac{\partial N_\alpha}{\partial \alpha} = P_3 P_3 \frac{\partial B}{\partial \alpha} - P_1 AB \\ N_\alpha \left[ \frac{\partial A}{\partial \beta} + \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{R_2}{R_1} + A \frac{\partial}{\partial \beta} \left( \frac{R_2}{R_1} \right) \right] + A \frac{R_2}{R_1} \frac{\partial N_\alpha}{\partial \beta} = P_2 AB + \frac{\partial}{\partial \beta} (AR_2 P_3) \end{array} \right. \quad (4.25).$$

Из (4.25) имеем:

$$N_\alpha = \frac{1}{\frac{\partial \beta}{\partial \alpha} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)} \left[ R_2 P_3 \frac{\partial B}{\partial \alpha} - P_1 AB \frac{\partial N_\alpha}{\partial \alpha} \right] \quad (4.26).$$

Подставив (4.25) в (4.26), получаем:

$$f_1(\alpha, \beta) \frac{\partial N_\alpha}{\partial \alpha} + f_2(\alpha, \beta) \frac{\partial N_\alpha}{\partial \beta} = f_3(\alpha, \beta) \quad (4.27),$$

Где

$$f_1(\alpha, \beta) = \frac{B \frac{\partial A}{\partial \beta}}{\frac{\partial \beta}{\partial \alpha}} - \frac{AB \frac{\partial}{\partial \beta} \left( \frac{R_1}{R_2} \right)}{\frac{\partial \beta}{\partial \alpha} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)},$$

$$f_2(\alpha, \beta) = A \frac{R_2}{R_1};$$

$$f_3(\alpha, \beta) = P_2 AB + \frac{\partial}{\partial \beta} (AR_2 P_3) + \frac{f_1(\alpha, \beta)}{B} R_2 P_3 \frac{\partial \beta}{\partial \alpha}.$$

Определив  $N_\alpha = \Phi_1(\alpha, \beta)$  из выражения (4.27), находим  $N_\beta = \Phi(\alpha, \beta)$ . Численные методы позволят решить дифференциальное уравнение первого порядка в частных производных. Полученные номограммы для расчёта МНК представлены на рисунке 4.7.

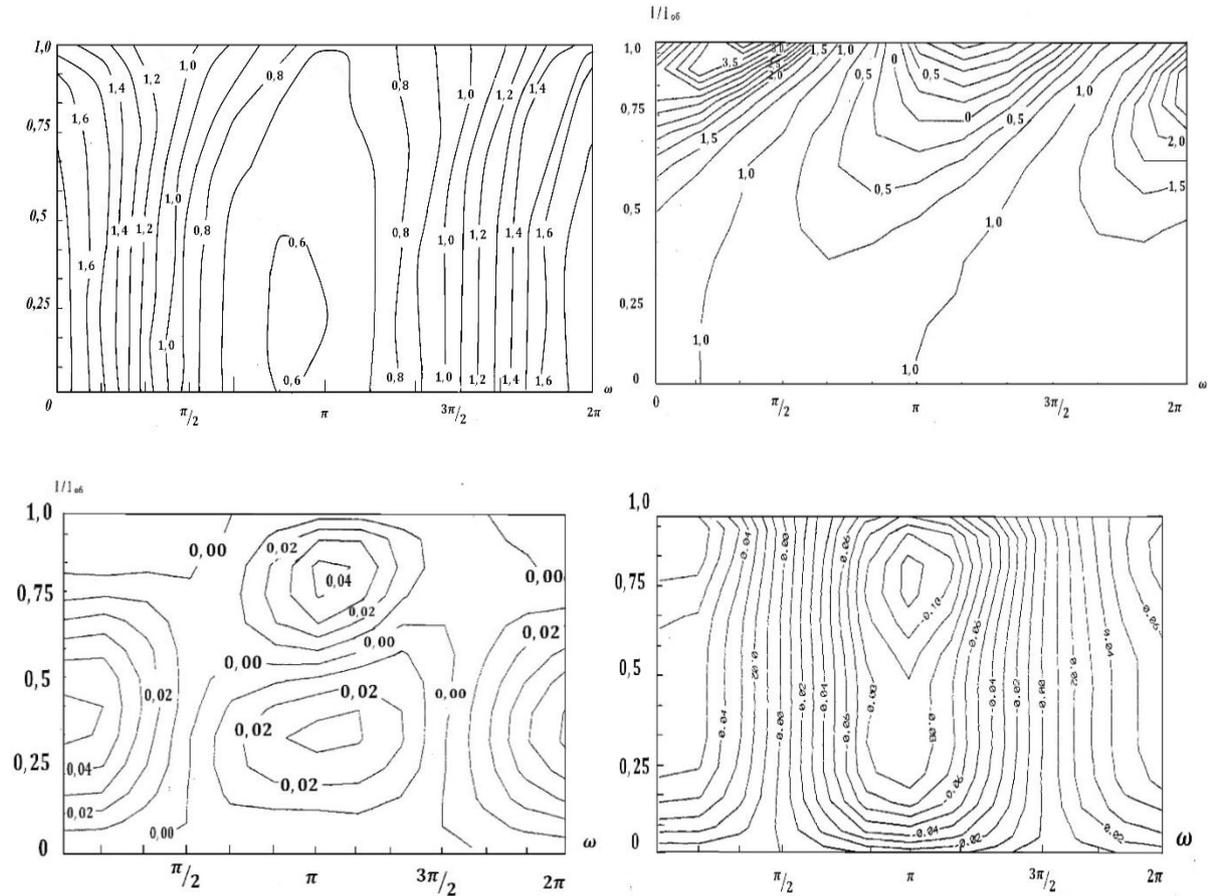


Рисунок 4.7 - Номограмма для расчёта МНК

Для цилиндрических МНК выражения (4.26) и (4.27) значительно упрощаются, так как в этом случае  $V=1$ ,  $R_2 \rightarrow \infty$ , то

$$N_\alpha = R_1 P_3 \quad (4.28),$$

$$\frac{\partial}{\partial \beta} (AN_\beta) = P_2 A + R_1 P_3 \frac{\partial \alpha}{\partial \beta} \quad (4.29).$$

Усилия в мягкой оболочке должны отвечать требованиям:

$$N_{\alpha} + N_{\beta} > 0, \quad N_{\alpha} N_{\beta} \geq 0. \quad (4.30).$$

#### 4.3 Оптимизация параметров мягких конструкций водоохраных сооружений.

Отличительной особенностью МНК является то, что в процессе эксплуатации несущие элементы, выполненные из анизотропных тканевых материалов, изменяют свои физико-механические свойства, например, даже при небольших деформациях ( $\varepsilon=10\%$ , разрушающие составляют 35-40%) изменение длины полотна составляет до 1,0 м, и это существенно влияет на регулируемые параметры сооружения. В связи с вышеизложенным, весьма важно принимать при проектных проработках и изготовлении конструкций в заводских условиях параметры тканевых элементов МНК на заданный (расчётный) год эксплуатации.

Рассмотрим однооснонапряжённую тканевую оболочку. Кривизна её элемента, как известно, может быть записана в виде:

$$K = \frac{1}{R} = \frac{d\varphi}{d_s} = \frac{\gamma(h_0 - y)}{T} \quad (4.31).$$

Так как  $\frac{d\varphi}{d_s} = \sin\varphi$ , то

$$\frac{\gamma(h_0 - y)}{T} \cdot dy = \sin d\varphi \quad (4.32).$$

Проинтегрировав (4.32), используя начальное условие  $\gamma = 0$ ,  $\varphi = 0$  (при скользящей системе координат), получаем:

$$\frac{\gamma}{2T} (y^2 + h_0 y) = -(\cos \varphi - 1) \quad (4.33)$$

или

$$y^2 + h_0 y = \frac{2T}{\gamma} (\cos \varphi - 1) \quad (4.34),$$

отсюда

$$(y + h_0)^2 = h_0^2 - \frac{2T}{\gamma} (\cos \varphi - 1) \quad (4.35).$$

Следовательно, в соответствии с физическими условиями задачи имеем:

$$z = (y + h_0) = \sqrt{h_0^2 - \frac{2T}{\gamma} (1 - \cos \varphi)} \quad (4.36).$$

При  $y=H$ ,  $\varphi = \varphi_D$  из (4.36) имеем:

$$H_0^2 - h_0^2 = H[2H_0 - H] = \frac{2T}{\gamma} (L - \cos \varphi)$$

Полагаем,  $\varphi = \pi - 2\varphi$ , тогда

$$H[2H_0 - H] = \frac{4T}{\gamma} \cos^2 \varphi_D$$

или

$$\beta^2 = \frac{T}{\gamma H} = \frac{2\alpha - 1}{4 \cos^2 \varphi_D} \quad (4.37),$$

Где

$$\alpha = \frac{H_0}{H} \quad (4.38).$$

В соответствии с введёнными обозначениями выражение (4.38) примет вид:

$$z = \frac{2\sqrt{T}}{L} \sqrt{1 - L^2 \cos^2 \varphi} \quad (4.39)$$

или

$$\frac{z}{H} = \frac{2\beta}{\sin \theta} \sqrt{1 - (\sin \theta \cdot \sin v)^2} \quad (4.40),$$

где

$$L^2 = \cos^2 \theta = \frac{1}{1 + \frac{(\alpha-1)^2}{4\beta}} \quad (4.41).$$

Из выражения (34.41) имеем:

$$\theta = \arcsin \frac{1}{\sqrt{L + \left[\frac{\alpha-1}{2\beta}\right]^2}} \quad (4.42).$$

В преобразованном виде кривизну однооснонапряжённой оболочки имеем в виде:

$$K = \frac{1}{R} = \frac{2\sqrt{L - L^2 \cos^2 v}}{L \sqrt{\frac{T}{\gamma}}}$$

или

$$\frac{R}{H} = \frac{L\beta}{2\sqrt{1 - L^2 \cos^2 v}} \quad (4.43).$$

Так, как при  $v = \frac{\pi}{2}$  ( $\varphi = 0$ ) и ( $\gamma = 0$ ) из (4.43), следует:

$$\frac{R}{H} = 0,5\beta t g \theta \quad (4.44).$$

Применяя полученные выражения для однооснонапряжённой оболочки замкнутого типа, получаем выражение для периметра и характерного линейного размера.

$$\frac{L_{OC}}{H} = 0,5\beta t g \theta \cdot \arccos \left[ 1 - \frac{1}{0,5\beta t g \theta} \right] \quad (4.45),$$

$$\frac{CN}{H} = \sqrt{0,5\beta t g \theta - 1} \quad (4.46),$$

$$\frac{L_{OD}}{H} = \beta \sin \theta \left[ F \left( \theta, \frac{\pi}{2} \right) - F(\theta, \varphi_D) \right] \quad (4.47),$$

$$\frac{N_D}{H} = \frac{2\beta}{\sin \theta} \left\{ (1 - 0,5 \sin^2 \theta) \left[ F \left( \theta, \frac{\pi}{2} \right) - F(\theta, \varphi_D) \right] - \left[ E \left( \theta, \frac{\pi}{2} \right) - E(\theta, \varphi_D) \right] \right\} \quad (4.48).$$

Оптимизация параметров МНК водоохраных сооружений на заданный год эксплуатации производится в следующей последовательности:

1. Имея данные о регулируемых уровнях воды и расчётном сроке эксплуатации водоохранного сооружения, используя диаграммы длительной прочности композиционного анизотропного тканевого материала, вычисляем для расчётного года эксплуатации безразмерный параметр:

2.

$$\beta = \sqrt{\frac{T}{\gamma H^2}}$$

Из выражения  $2\beta \geq \sqrt{2\alpha - 1}$  находим диапазон изменения безразмерного параметра  $\alpha$  (верхний предел). Далее вычисляем значение  $\alpha$ , которому соответствует минимальное значение функции выражения (4.47) и (4.48):

$$\frac{L}{H} = \frac{L_{OC}}{H} + \frac{L_{OD}}{H} = 1 (\alpha) \quad (4.49).$$

Расчётное значение  $\alpha$  удобно находить численно с использованием ЭВМ. Для этой цели разработана прикладная программа на ЭВМ ЕС-1033 и IBM 486. Определив безразмерный параметр  $\alpha$ , находим оптимальные параметры сооружения на заданный год эксплуатации.

#### 4.4 Расчёт водоохраных сооружений напорного типа на волновые нагрузки.

Используемые в технологических схемах МНК представляют собой линейные гидротехнические сооружения, состоящие из гибкого вертикального подвижного экрана, системы поверхностных и глубинных поплавков, удерживаемых в заданном положении гибкими связями (тросы), закрепляемыми к донным якорным устройствам.

МНК обычно воспринимают очень небольшой статический напор  $H_0$ , необходимый для создания требуемой гидравлической структуры потока в зоне действия сооружения. Основные же нагрузки эти конструкции воспринимают от волнового воздействия.

Наибольшие нагрузки сооружение будет испытывать при одновременном воздействии волны по всему фронту сооружения [8, 55, 56, 57, 58], следовательно, задача расчёта экрана сводится к плоской (рис.4.8).

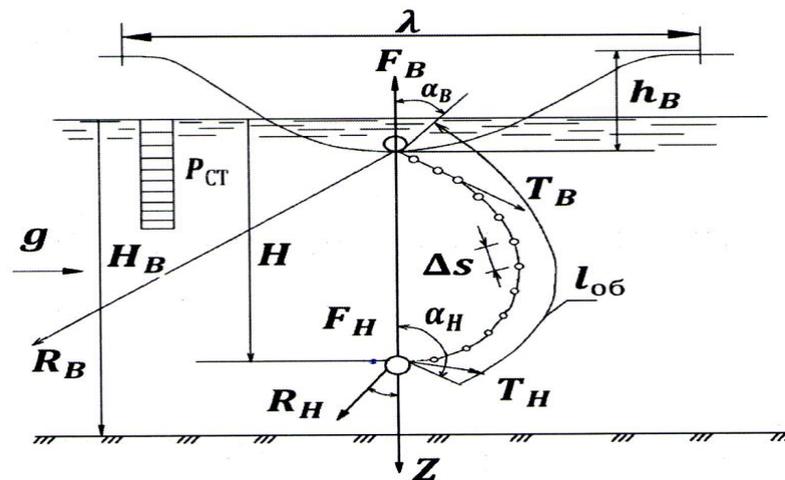


Рисунок 4.8 - Расчётная схема МНК при волновом воздействии.

Рассмотрим случай, когда на сооружение воздействует плоская потенциальная волна. Потенциал скорости для плоской волны запишется в виде:

$$\varphi(x, y, z) = \cos(t) F(x, z) \quad (4.50),$$

Где  $x, z$  - координаты точки в жидкости;

$t$  - момент времени;

$\sigma$  - параметр, определяющий скорость изменения угла  $\theta$ ,  $\theta = \sigma t$ , то есть это угловая скорость или угловая частота. Цикл колебаний определяется углом  $\theta = 2\pi$ , время, в течение которого осуществляется этот цикл – период колебаний  $\tau$ .

Таким образом, при  $e = 2\pi u t = \tau, \sigma\tau = 2\pi$  и  $\sigma = 2\pi\tau$ .

Скорости воды по оси X ( $V_{b_x} x, y, z$ ) и Y ( $V_{b_y} x, y, z$ ) в любой точке определяются:

$$V_{b_x} x, y, z = \frac{\partial\varphi}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} [Ce^{kz} \cos \sigma t \cdot \sin kx] = Ce^{kz} \cos \sigma t \cdot \sin kx \quad (4.51).$$

$$V_{b_z} x, y, z = \frac{\partial\varphi}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} [Ce^{kz} \cos \sigma t \cdot \sin kx] = kCe^{kz} \cos \sigma t \cdot \sin kx \quad (4.52),$$

где  $k$  — волновое число;  $k = \frac{\sigma^2}{g}$ ,

$C$  — постоянная интегрирования;  $\frac{C\sigma}{g} = a$ ;  $C = \frac{ag}{\sigma}$ ,

где  $a$  - амплитуда волны.

Абсолютная величина динамического давления на движущийся предмет очевидно определится:

$$|P_{дин}| = \rho g A |V_{отн}^n|^n \quad (4.53),$$

где  $V_{отн}^n$  — скорость предмета относительно воды, спроецированная на нормаль к поверхности предмета;

$A, B$  - некоторые коэффициенты ( $A \cong 0,4 \div 0,7 B \cong 1,3 \div 2,2$ ), которые зависят от вязкости жидкости, от формы и размеров конструкции, а также, возможно, и от величины относительной скорости, что для конкретной задачи следует уточнить.

Чтобы учесть направление потока, выражение (4.53) следует записать в векторном виде  $b$  ввести коэффициент  $\frac{V_{отн}^n}{|V_{отн}^n|}$ , тогда:

$$|P_{\text{дин}}| = \rho g A |V_{\text{отн}}^n| \frac{V_{\text{отн}}^n}{|V_{\text{отн}}^n|} = \rho g A |V_{\text{отн}}^n|^{n-1} V_{\text{отн}}^n \quad (4.54).$$

Примем расчётную схему так, что верхний поплавок удерживается гибкой оттяжкой со стороны верхнего бьефа, а нижний одной оттяжкой закреплён за анкер (см. рис. 4.8).

Для получения первоначальной формы оболочки рассмотрим случай при отсутствии волнового воздействия.

Рассмотрим процедуру расчёта конструкций при заданной функции давления по длине оболочки  $P = f'(g_{об}; t)$ ,  $P = f(x, y, z)$ . При отсутствии волнового воздействия ( $P_{\text{дин}} = 0$ ) функция давления выразится в виде:

$$P = (l_{об}; t) = \rho g H_0 \quad (4.55),$$

где  $H_0$  — перепад, необходимый для отбора воды из нижних слоёв.

При условии, что плавучесть верхнего поплавка достаточна, а его рассчитывают из условия необходимой плавучести, то его положение в пространстве не будет зависеть от усилия в полотнище, а зависит от координаты взволнованной поверхности. Положение же нижнего поплавка будет зависеть от его плавучести  $F_{nl}$ , усилия в полотнище  $T$  и длины троса  $L_{mp}$ . Для того, чтобы увязать положение нижнего поплавка при расчёте оболочки, необходимо знать какой-либо параметр его положения в зависимости от  $F_{nl}$  и  $T$ .

Угол наклона троса  $\varphi_1$  определяется из условия равновесия нижнего поплавка:

$$\sum F_x = T \sin \left( \alpha_H - \frac{\pi}{2} \right) - R_{mp} \sin \varphi_1 = 0 \quad (4.56).$$

$$\sum F_x = P + T \sin\left(\alpha_H - \frac{\pi}{2}\right) - R_{mp} \sin \varphi_1 = 0 \quad (4.57),$$

откуда:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{T \sin\left(\alpha_H - \frac{\pi}{2}\right)}{P + T \sin\left(\alpha_H - \frac{\pi}{2}\right)} \quad (4.58).$$

Определив положение нижнего поплавка, можно приступить к расчёту оболочки (рис.4.9).

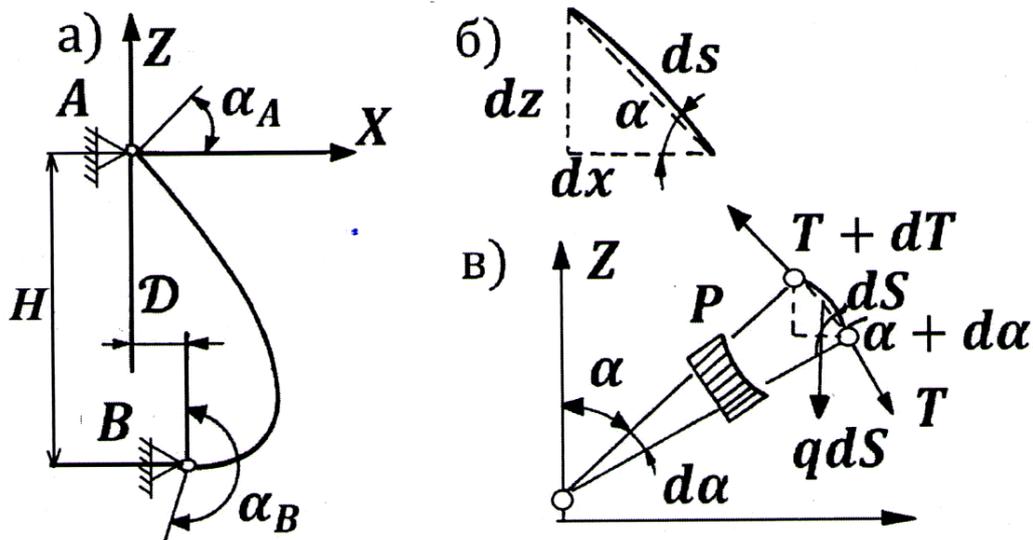


Рисунок 4.9 - Расчётная схема для составления дифференциального уравнения.

Составим уравнение равновесия элемента оболочки:

$$\sum F_z = T \sin \alpha (T + dT) \sin \alpha (\alpha + d\alpha) + P ds \cos\left(\alpha + \frac{d\alpha}{2}\right) - q ds = 0 \quad (4.59)$$

$$\sum F_z = -T \sin \alpha (T + dT) \cos \alpha (\alpha + d\alpha) + P ds \sin\left(\alpha + \frac{d\alpha}{2}\right) - q ds = 0 \quad (4.60)$$

где  $P = f_1(S_{об}); ds = f_2(T)$

Проведя ряд преобразований, получим:

$$T d\alpha \cos \alpha + dT \sin \alpha - Pd \cos \alpha + q ds = 0 \quad (4.61).$$

$$-T d\alpha \sin \alpha + dT \cos \alpha - Pd \sin \alpha = 0 \quad (4.62).$$

Учитывая, что из уравнений треугольника, следует:

$$\frac{dz}{dx} = tg \alpha; \quad \frac{dx}{ds} = \cos \alpha; \quad \frac{dz}{ds} = \sin \alpha; \quad (4.63),$$

а также из уравнения оболочки:

$$\frac{P}{T} = \frac{d\alpha}{ds} \quad (4.64).$$

Получаем систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} dz &= \frac{d(T \sin \alpha) \sin \alpha}{P \cos \alpha - q} \\ dx &= \frac{d(T \cos \alpha) \cos \alpha}{P \sin \alpha - q} \\ ds &= \frac{T d\alpha}{P} \end{aligned} \quad (4.65).$$

Решение этой системы при учёте нелинейности функциональных зависимостей  $P = f_1(S_{об})$ ;  $ds = f_2(T)$  сопряжено со значительными затруднениями. Поэтому нами применены инженерные методы расчёта, основанные на разбиении мягкой оболочки на конечное число взаимосвязанных элементов.

Оболочка рассчитывается следующим образом:

- задаются начальные значения угла  $\alpha_0$ , усилия  $T_0$  при верхнем крае полотнища, а также шаг  $\Delta S_0$ . Поскольку оболочка рассчитывается весомой

и  $ds = f_2(T)$ , т.е.  $l_{об} = f(T)$ , то усилие  $T_i$  и шаг  $\Delta s_i$  будут меняться,  $x_0$  и  $y_0$  — начальные координаты оболочки. Они приравняются к нулю.

- вычисляются текущие значения  $T_i, \Delta s_i, \Delta \alpha_i, x_i, y_i$ , где  $\Delta \alpha_i$  - шаг по  $\alpha$ ;  $\alpha_i$  — текущее значение угла.

$$T_{i+1} = T_i - q \left( z_i + \Delta s_i \frac{\sin \alpha_i}{2} \right) \quad (4.66),$$

$$\Delta s_{i+1} = \frac{l_{об}(T_i)}{n} \quad (4.67),$$

$$\Delta \alpha = P \left( z_i + \Delta s_i \frac{\sin \alpha_i}{2} \right) \quad (4.68),$$

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + \Delta \alpha_i \quad (4.69),$$

$$x_{i+1} = x_i + \Delta s_i \cos \alpha \quad (4.70),$$

$$z_{i+1} = z_i + \Delta s_i \sin \alpha \quad (4.71),$$

Где  $q_0$  — поверхностная плотность оболочки, кН/м;

$n$  - число разбиений ( $n > 100$ ).

Эти вычисления вводятся в цикл, в конце которого получаем координаты нижнего конца оболочки ( $x_n, z_n$ ). Начальные координаты оболочки  $x_0$  и  $z_0$  приравняются к нулю, и вычисляются текущие значения  $T_i, \Delta s_i, \Delta \alpha_i, x_i, z_i$ , где  $\Delta \alpha_i$  - шаг по  $\alpha$ ;  $\alpha_i$  — текущее значение угла.

Далее производится корректировка по методу Ньютона-Контаровича, где процедура расчёта распадается на две функции  $x_{об}(T_\epsilon, \alpha_\epsilon)$  и  $z_{об}(T_\epsilon, \alpha_\epsilon)$ , представленные как функции координат  $x$  и  $z$ , зависящие от параметров  $T_\epsilon$  и  $\alpha_\epsilon$  в верхнем крае полотнища. Таким образом, чтобы определить значения  $T_\epsilon$  и  $\alpha_\epsilon$  так, чтобы нижний край полотнища со-

ответствовал координате  $B(x; z)$  (рис. 3.8), нужно решить систему нелинейных уравнений:

$$\begin{aligned}x_{o\bar{o}}(T_g; \alpha_g) &= D \\z_{o\bar{o}}(T_g; \alpha_g) &= h\end{aligned}\quad (4.72)$$

При выполнении процедуры расчёта оболочки автоматически определяются и значения усилий  $T_n$  и угла  $\alpha_n$  в нижнем крае оболочки.

Далее составляется уравнение геометрических параметров конструкции по рисунку 3.7. Зная угол наклона  $\varphi_1$ , удерживающий нижний поплавков гибкой связью, имеем:

$$\sum x = \sqrt{L_{omm}^2 - H_{\bar{o}\bar{o}}^2} + x_{o\bar{o}}(T_g; \alpha_g) - L_{mp} \sin \varphi_1 - B \quad (4.73),$$

$$\sum x = z_{o\bar{o}}(T_g; \alpha_g) - L_{mp} \cos \varphi_1 - H_{\bar{o}\bar{o}} = 0$$

При решении этой системы уравнений определяются все геометрические параметры положения конструкции, а также усилия в любой точке оболочки, в тросах, оттяжках и на поплавках.

После выполнения процедуры расчёта оболочки без волнового воздействия, то есть при функции нагрузки  $P = H_0$ , получение координат “узлов” оболочки-массива  $K(x; z)$  приложим к оболочке воздействие волны, т.е. приложим к ней функцию давления, обусловленного скоростями частиц воды при волновых колебаниях.

$$P(s_{o\bar{o}}; t) = \rho g H_0 + P_{дин} = \rho g H_0 + \rho g A |V_{отн}^n|^{n-1} V_{отн}^n \quad (4.74).$$

В первом приближении относительная скорость  $V_{отн}^n$  между частицами воды и узлами оболочки будет равна абсолютной скорости частиц воды по направлению к нормали оболочки, а массив скоростей узлов будет сведён к нулевым значениям  $V_0 = 0$ . Вообще относительная скорость определится:

$$V_{отн} = V_6^n - V_0 \quad (4.75),$$

$$V_{отн}^n = V_{отн} n_{об} \quad (4.76).$$

Получив массив относительных скоростей узлов оболочки и воды, спроецированных на нормаль к оболочке  $V_{отн}^n(s_{об})$  в момент времени  $t = 0 + \Delta t$ ,

Повторяем процедуру расчёта оболочки уже с функцией давления, учитывающей относительные скорости воды. Получим новый массив координат узлов оболочки и массивы относительных скоростей (4.77) и переходим к следующему циклу.

$$V_0(s_{об}) = \frac{K'(x;z) - K(x;z)}{\Delta t} \quad (4.77)$$

Процедуру выполняем до тех пор, пока не установится (перестанет изменяться) скорость узлов оболочки, т.е. массив  $V_0$ . Это условие можно сформулировать так:

$$\sum_{i=1}^n \left| |V'_{01}| - |V_{01}| \right| < \varepsilon \quad (4.78).$$

После этого как условие выполняется, переходят к следующему шагу по времени, т.е.  $t_{i+1} = t_1 + \Delta t$  и так далее.

Таким образом, «прогнав» несколько волн, добившись установившейся динамики взаимодействия сооружения с волновым потоком, можно

определить интересующие параметры (геометрические, физико-механические).

Для выполнения практических расчётов составлены полиграммы, которые позволяют определять геометрические и физико-механические параметры в оболочке подвижного экрана (рис.4.10 – 4.12)

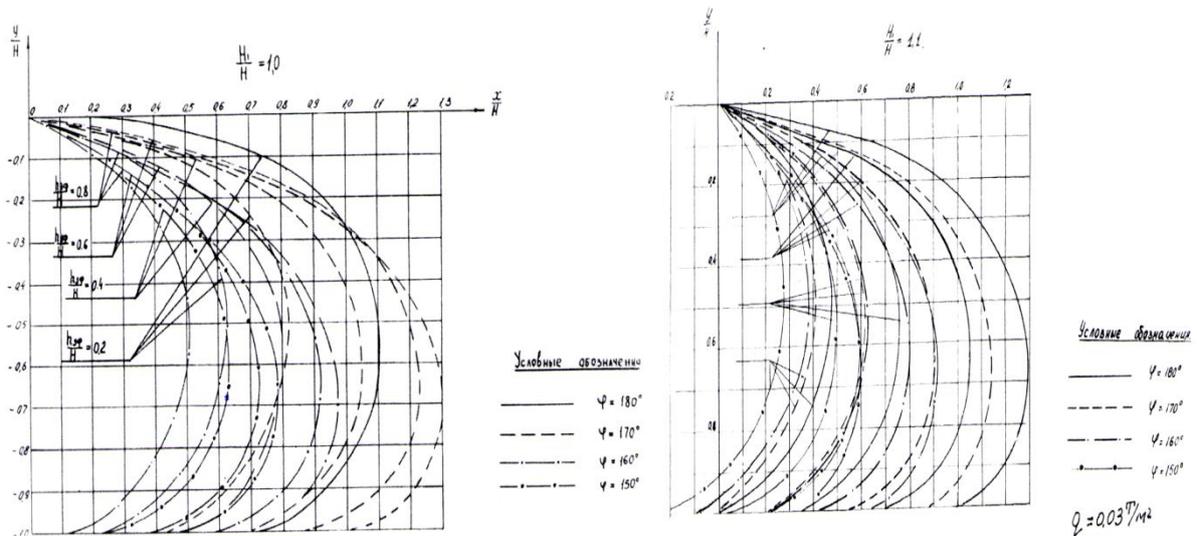


Рис. 4.10 - Номограмма для расчета незамкнутых оболочек МК  
Водоохраннх сооружений

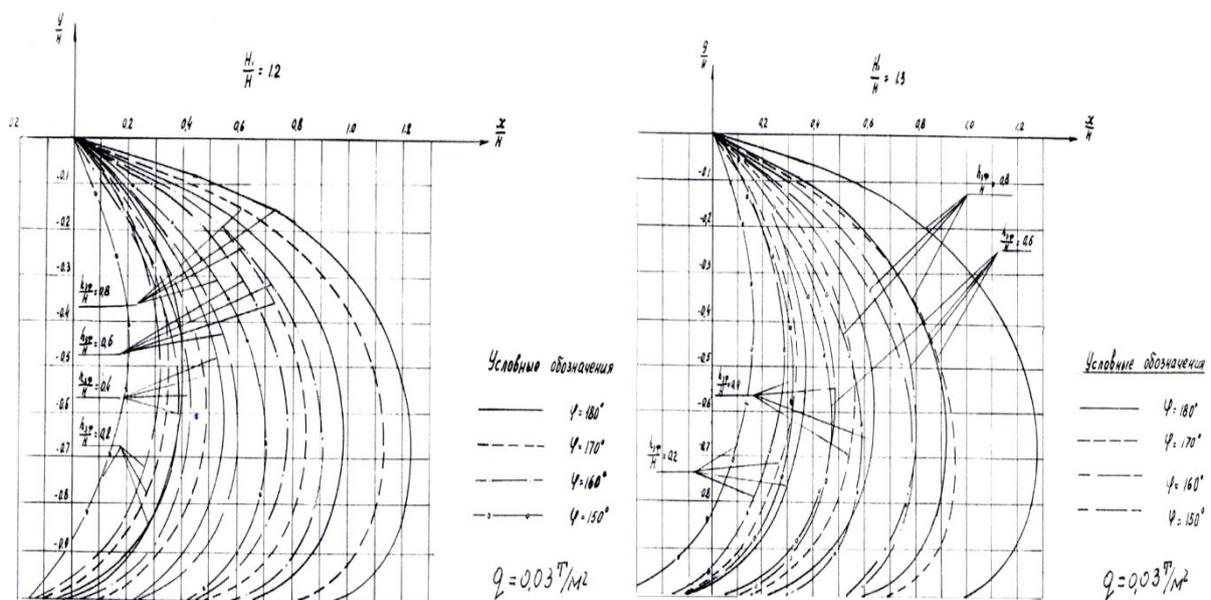


Рис. 4.11 - Номограмма для расчета незамкнутых оболочек МК Водо-  
охраннх сооружений

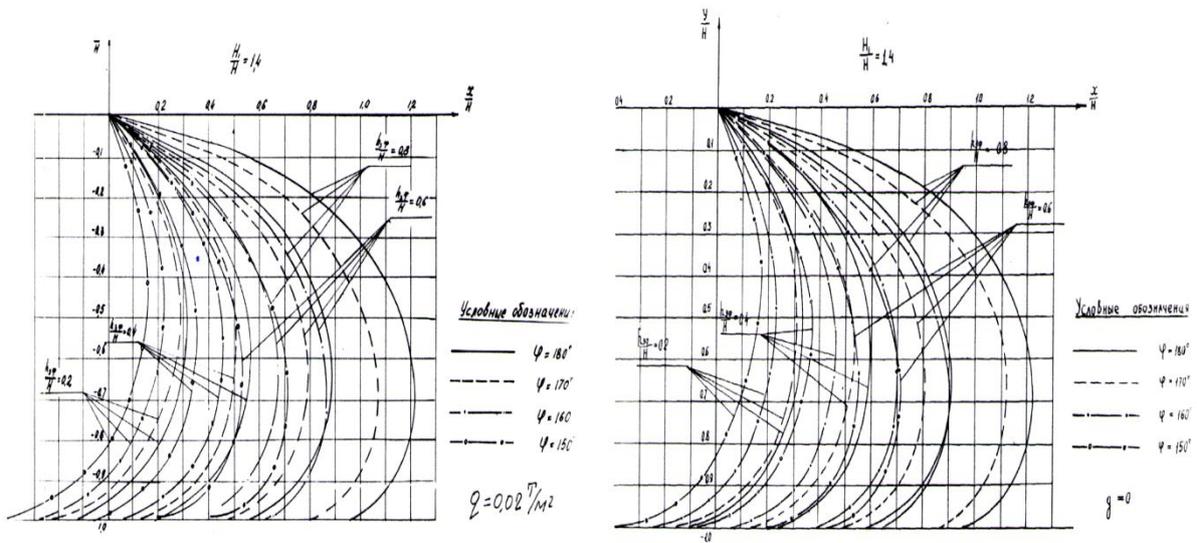


Рис. 4.12 - Номограмма для расчета незамкнутых оболочек МК Водоохраннх сооружений

Физико-механические характеристики капроновых тканей представлены в таблице 4.1.



Таблица 4.1 Физико-механические характеристики капроновых тканей

Наименование ткани	Масса 1м <sup>2</sup> , г	Ширина ткани, см	Число нитей на 10см		Разрывное усилие		Удлинение тка- ни при разрыве		Раздирающая нагрузка, Н		Толщина ткани	Переплетение	
			основа	уток	основа	уток	основа	уток	основа	уток			
Ткань капроновая, арт.56241 ГОСТ 23114-87 ТК-50р	220±15	110,120, 140	100±2	114±2	49,04	58,86	Не более 23	25	343	343	0,55	саржа равност. двух рем. по- лотно $Y_2 =$ $X(1/1)$	
Ткань капроновая, арт.56243 ГОСТ 23114-78 ТК-120р	340±20	-«-	78±2	90±2	78,48	88,28		26	30	589	589	0,70	-«-
Ткань капроновая, арт.56243 ГОСТ 23114-78 ТК-120р	480±30	-«-	72±2	78±2	117,72	127,5 2		26	30	883	883	0,95	-«-
Ткань капроновая, техн.56247 ГОСТ 18215-87 ТК-100	325±20	-«-	98±2	62±2	98,0	64,8		28	26	усадка, % 8,0±2,6	6,0±1,5	0,75±0,15	саржа равност. ремизная по- лотняная $Y_2 = X(1/1)$
Ткань, техн. арт.56265 ГОСТ 18215-87 ТК-100	590±30	-«-	104±2	40±2	25×200 108,0	50×2 00 78,4		36	24	усадка, % 9,0±2,0	6,5±1,5	1,25±0,15	саржа равност. двухрем. по- лотно $Y_2 =$ $X(1/1)$

#### 4.5 Лабораторные исследования по поиску оптимальных решений на основе математического моделирования

Все исследования проводились на экспериментальной установке в лаборатории (рис.4.13).



Рисунок 4.13- Экспериментальная установка

Целью лабораторных исследований являлось изучение минимального задержания донных наносов перед входом водозаборного сооружения.

Исследования на модели проводились при расходах  $Q=5.0; 8,2; 14,3$  л/сек, глубинах  $H = 4,8; 6,0; 5,9$  см и скоростях  $V_{cp} = 6,94; 9,1; 16,1$  см/сек.

В нашем исследовании на модели в качестве направляющего порога устанавливался металлический уголок с длиной основания 230 мм и высотой стенки 25 мм. Участок модели с оголовком без порогов представлен на рисунке 4.14.

Парные пороги на модели, установлены под определённым углом к направлению движения водного потока. Угол между осью порога и направлением движения потока в опытах варировался в пределах  $10 - 15^\circ$ . Зафиксированная картина движения донных наносов в районе водозаборного оголовка. Представлена на рисунке 4.15.



Рисунок 4.14- Участок модели с водоприёмным оголовком без порогов



Рисунок 4.15 - Модель с водоприёмным оголовком с рекомендуемым положением порогов

Оптимальный угол между продольной осью порога и направлением течения потока составил  $15^\circ$ , между осями порогов -  $30^\circ$ .

При постановке опытов были использованы методы планирования экспериментов [21, 173, 181, 221]. На основе полученных данных в лабораторных исследованиях находим долю донных наносов, осевших у водозабора.

Исследуемые факторы: угол между направляющими стенками  $\varphi$ , средняя скорость  $V_{cp}$ , глубина  $h$ . Параметры соответствуют условиям управле-

мости, независимости и совместимости. Выбранные уровни варьирования факторов следующие: первый фактор - угол между направляющими стенками - варьируется от  $\varphi=30^\circ$  (нижний предел) до  $\varphi=60^\circ$  (верхний предел); второй фактор - средняя скорость – варьируется от  $V_{cp}=6,94$  см/с (нижний предел) до  $V_{cp}=16,1$  см/с (верхний предел); третий фактор - глубина - варьируется от  $h=4,8$  см (нижний предел) до  $h=6,8$  см (верхний предел).

Первоначально в ходе исследования была сформулирована рабочая гипотеза, предполагающая линейный характер влияния факторов на долю донных наносов, осевших около направляющих стенок.

Проверку сформулированной гипотезы проводили путём постановки полного факторного эксперимента. При проведении эксперимента факторы варьировались на трёх уровнях, что позволило построить линейную модель первого порядка и проверить гипотезу.

План эксперимента в кодированном виде, значения факторов в некодированном виде и значения исследуемого параметра представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2- План эксперимента в кодированном виде

№ оп.	Уровни факторов кодир.			Уровни факторов некодированные			Значения функции отклика		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$\varphi(x_1)$ град.	$V_{cp}(x_2)$ см/с	$h(x_3)$ см	$y_1(\omega)\%$	$y_2(\omega)\%$	$y_3(\omega)\%$
1	-	-	+	30	6,94	6,8	0,4	0,5	0,3
2	-	+	-	30	16,1	4,8	5,6	4,0	4,8
3	+	-	-	60	6,94	4,8	4,0	0,7	1,0
4	+	+	+	60	16,1	6,8	3,8	3,8	3,7
5	-	-	-	30	6,94	4,8	6,8	5,0	3,2
6	-	+	+	30	16,1	6,8	10,0	10,0	7,6
7	+	-	+	60	6,94	6,8	9,6	4,8	7,2
8	+	+	-	60	16,1	4,8	1,8	0,9	1,22

Поставленные опыты соответствуют в факторном пространстве вершинам куба с центром, который находится в начале координат (рис.4.16).

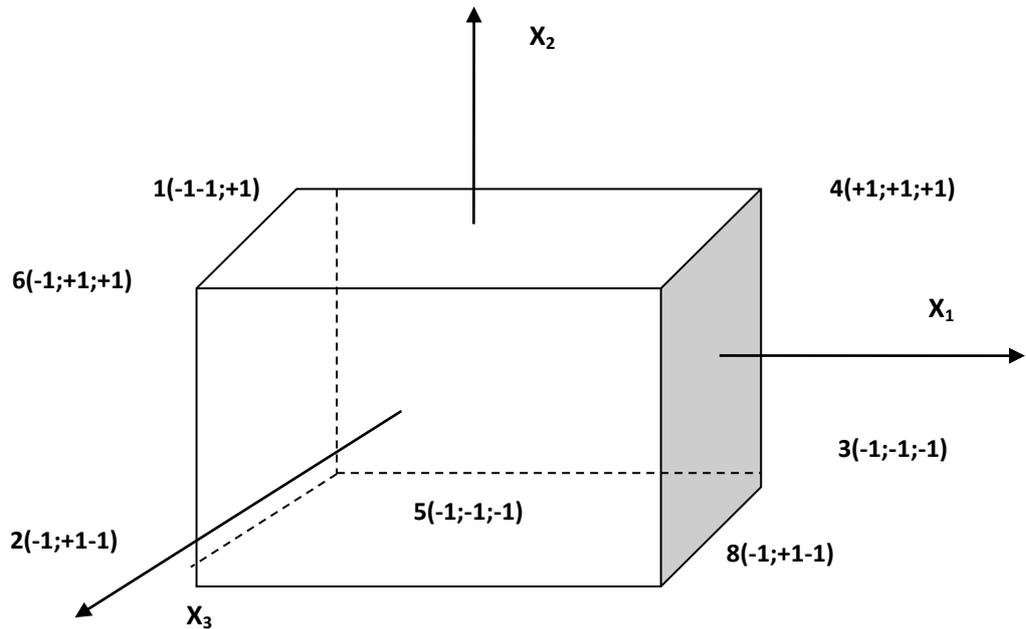


Рисунок 4.16 – Графическая интерпретация трёхфакторного эксперимента

По формуле  $\bar{y}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_{ji}$  (1) считаем средние выборочные результаты для каждого эксперимента [237].

С учётом всех взаимодействий и средних значений отклика построим матрицу планирования (табл.4.3).

Коэффициенты модели рассчитываем по формуле:

$$b = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{in} \bar{y}_n \quad (4.31),$$

$$b_1 = \frac{(-1) \cdot 0.4 + (-1)4.8 + 1.9 + 3.76 + (-1)5.0 + (-1)9.2 + 7.2 + 1.3}{8} = -0.65 \quad (4.32),$$

$$b_2 = \frac{(-1) \cdot 0.4 + 4.8 + (-1)1.9 + 3.76 + (-1)5.0 + 9.2 + (-1)7.2 + 1.3}{8} = 2.045 \quad (4.33),$$

Таблица 4.3- Матрица планирования для обработки результатов эксперимента

№ опыта	Фактор			Взаимодействие				Результат опы- тов			Среднее результатов
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$	$X_1X_2X_3$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	
1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	0,4	0,5	0,3	0,4
2	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	5,6	4,0	4,8	4,8
3	+1	-1	-1	-1	-1	+1	-1	4,0	0,7	1,0	1,9
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	3,8	3,8	3,7	3,76
5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	6,8	5,0	3,2	5,0
6	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	10,0	10,0	7,6	9,2
7	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	9,6	4,8	7,2	7,2
8	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	1,8	0,9	1,22	1,3

$$b_3 = \frac{0.4 + (-1)4,8 + (-1)1,9 + 3,76 + (-1)5.0 + 9.2 + 7,2 + (-1)1.3}{8} = 0,945 \quad (4.34),$$

$$b_{1,2} = \frac{0.4 + (-1)4,8 + (-1)1,9 + 3,76 + (-1)5.0 + (-1)9.2 + (-1)7,2 + 1.3}{8} = -2,83 \quad (4.35),$$

$$b_{1,3} = \frac{(-1)0,4 + 4,8 + (-1)1,9 + 3,76 + (-1)5.0 + (-1)9.2 + 7,2 + (-1)1.3}{8} = -0,255 \quad (4.36),$$

$$b_{2,3} = \frac{(-1)0.4 + (-1)4,8 + 1,9 + 3,76 + (-1)5.0 + 9.2 + (-1)7,2 + (-1)1.3}{8} = -0,48 \quad (4.37),$$

$$b_{1,2,3} = \frac{(-1)0.4 + (-1)4,8 + (-1)1,9 + 3,76 + (-1)5.0 + 9.2 + 7,2 + 1.3}{8} = 1,17 \quad (4.38).$$

В модели коэффициент  $b_0$  рассчитывается как среднеарифметическое

значение функций отклика, полученных в эксперименте:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_n = \frac{0,4 + 4,8 + 1,9 + 3,76 + 5 + 9,2 + 7,2 + 1,3}{8} = 4,195 \quad (4.39).$$

Для сводного анализа строим таблицу 4.4. В эту таблицу заносим найденные коэффициенты уравнения регрессии 4.39.

Таблица 4.4- Коэффициенты уравнения регрессии

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{1,2}$	$b_{1,3}$	$b_{2,3}$	$b_{1,2,3}$
4,195	-0,65	2,045	0,945	-2,83	-0,255	-0,48	1,17

По формуле  $s_{(y)}^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j^2$  (14) находим дисперсию воспроизводимости.

Внутренние суммы являются выборочными дисперсиями результатов опытов для  $j$ -го эксперимента ( $j=1, \dots, n$ ). Расчёты сводим в таблицу 4.5.

Таблица 4.5-Расчёт выборочных дисперсий

$j$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\bar{y}_j$	$(y_{j1} - \bar{y}_j)^2$	$(y_{j2} - \bar{y}_j)^2$	$(y_{j3} - \bar{y}_j)^2$	$S_j^2$
1	0,4	0,5	0,3	0,4	0	0,01	0,01	0,01
2	5,6	4,0	4,8	4,8	0,64	0,64	0	0,64
3	4,0	0,7	1,0	1,9	4,41	1,44	0,81	3,33
4	3,8	3,8	3,7	3,76	0,0016	0,0016	0,0036	0,0034
5	6,8	5,0	3,2	5,0	3,24	0	3,24	3,24
6	10,0	10,0	7,6	9,2	0,64	0,64	2,56	1,92
7	9,6	4,8	7,2	7,2	5,76	5,76	0	5,76
8	1,8	0,9	1,22	1,3	0,25	0,16	0,01	0,21

Значения последнего столбца таблицы 4.5 суммируем и получаем:

$$\sum_{j=1}^8 S_j^2 = 15,113 \quad (4.40).$$

Дисперсия воспроизводимости рассчитывается по формуле 4.41:

$$S_{(y)}^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j^2 = \frac{1}{8} \cdot 15,113 = 1,89 \quad (4.41).$$

Среднее квадратическое отклонение коэффициентов получаем, используя нижеприведенную формулу:

$$S_{\text{коэф}} = \sqrt{\frac{S_{(y)}^2}{n \cdot m}} = \sqrt{\frac{1,89}{8 \cdot 3}} = 0,28 \quad (4.42).$$

Коэффициент Стьюдента определяем по числу степеней свободы  $n(m-1) = 8 \cdot 2 = 16$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .  $t_{кр} = 2,12$ . Следовательно,

$$t_{кр} \cdot S_{\text{коэф}} = 2,12 \cdot 0,28 = 0,59 \quad (4.43).$$

Полученное значение сравниваем с коэффициентами уравнения регрессии, представленными в таблице 4.3. Все коэффициенты, кроме  $b_{1,3}, b_{2,3}$ , больше по абсолютной величине 0,59. Следовательно, все коэффициенты, кроме  $b_{1,3}, b_{2,3}$ , значимы. Получаем уравнение регрессии в кодированных переменных при  $b_{1,3} = 0, b_{2,3} = 0$ :

$$y = 4,195 - 0,65x_1 + 2,045x_2 + 0,945x_3 - 2,83x_1x_2 + 1,17x_1x_2x_3 \quad (4.44).$$

Полученное уравнение проверяем на адекватность по критерию Фишера. Дисперсия воспроизводимости найдена в предыдущем пункте, необходимо вычислить остаточную дисперсию  $S_{ост}^2$  для определения расчётного значения критерия  $F_{расч}$  [181].

Подставляя +1 или -1 вместо  $x_i$  в соответствии с номером  $j$  эксперимента из таблицы 4.2 значения изучаемого параметра по полученному уравнению регрессии  $\tilde{y}_j$  ( $j=1, \dots, 8$ ),:

$$\square y_1 = 4,195 - 0,65(-1) + 2,045(-1) + 0,945 - 2,83 + 1,17(-1) = -0,255 ; \quad (4.45),$$

$$\square y_2 = 4,195 - 0,65(-1) + 2,045 + 0,945(-1) - 2,83(-1) + 1,17(-1) = 7,605 ; \quad (4.46),$$

$$\square y_3 = 4,195 - 0,65 + 2,045(-1) + 0,945(-1) - 2,83(-1) + 1,17(-1) = 2,215 ; \quad (4.47),$$

$$\square y_4 = 4,195 - 0,65 + 2,045 + 0,945 - 2,83 + 1,17 = 4,875 ; \quad (4.48),$$

$$\square y_5 = 4,195 - 0,65(-1) + 2,045(-1) + 0,945(-1) - 2,83(-1) + 1,17(-1) = 3,515 ; \quad (4.49),$$

$$\square y_6 = 4,195 - 0,65(-1) + 2,045 + 0,945 - 2,83(-1) + 1,17 = 11,835 ; \quad (4.50),$$

$$\square y_7 = 4,195 - 0,65 + 2,045(-1) + 0,945 - 2,83(-1) + 1,17 = 6,445 ; \quad (4.51),$$

$$\square y_8 = 4,195 - 0,65 + 2,045 + 0,945(-1) - 2,83 + 1,17 = 2,985 . \quad (4.52).$$

По формуле рассчитываем остаточную дисперсию  $S_{ост}^2$  :

$$S_{ост}^2 = \frac{3}{8-7} \sum_{j=1}^8 (y_j - \bar{y}_j)^2 = 3 \cdot \left[ \begin{aligned} &(-0,255-0,4)^2 + (7,605-4,8)^2 + (2,215-1,9)^2 + (4,875-3,76)^2 + (3,515-5)^2 + (11,835-9,2)^2 + \\ &+(6,445-7,2)^2 + (2,985-1,3)^2 \end{aligned} \right] = 66,2 \quad (4.53)$$

По формуле определяем расчётное значение критерия Фишера  $F_{расч.}$ :

$$F_{расч.} = \frac{S_{ост}^2}{S_{(y)}^2} = \frac{66,2}{1,89} = 35,03 \quad (4.54).$$

Из таблиц критических точек распределения Фишера при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  по соответствующим степеням свободы находим табличное значение критерия  $F_{табл.}$ :

$$F_{табл.} = 233,4.$$

Т.к.  $F_{расч.} = 35,03 < F_{табл.} = 233,4$ , то уравнение регрессии считается адекватным.

Осуществим интерпретацию полученной модели:

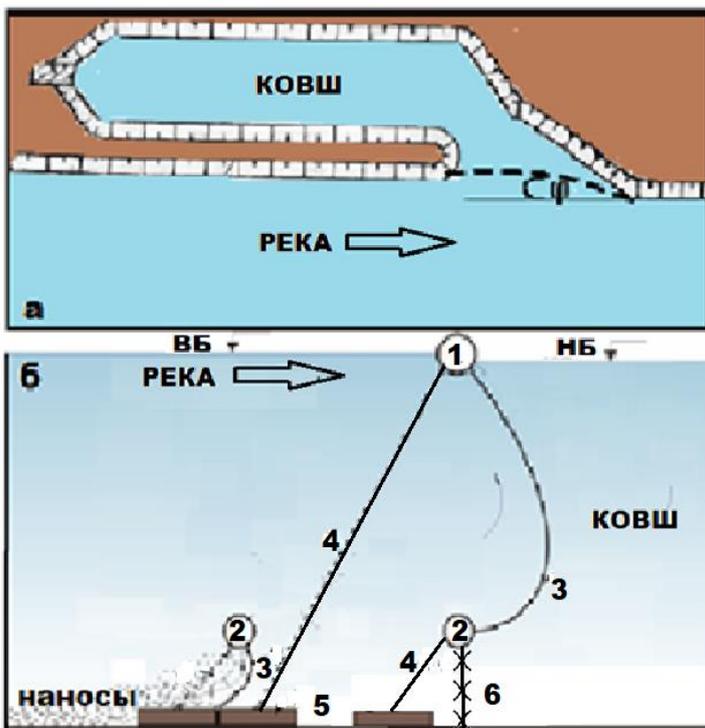
$$y = 4,195 - 0,65X_1 + 2,045X_2 + 0,945X_3 - 2,83X_1X_2 + 1,17X_1X_2X_3. \quad (4.55)$$

Из проведённых расчётов видно, что наиболее сильное влияние на отложение наносов оказывают парные факторы  $x_1 x_2$  - угол между направляющими стенками и средняя скорость. Это можно объяснить тем, что они имеют наибольший по абсолютной величине коэффициент.

Следующими по силе влияния на отклик идут: фактор  $x_2$  - средняя скорость; тройное взаимодействие факторов  $x_1 x_2 x_3$ ; фактор  $x_3$  - глубина. Т.к. коэффициенты при  $x_2$ ,  $x_3$  и  $x_1 x_2 x_3$  положительны, то с увеличением этих факторов увеличивается отклик, т.е. увеличивается доля наносов. Коэффициенты при  $x_1, x_1 x_2$  отрицательны.

Поэтому можно говорить о том, что с уменьшением фактора  $x_1$  и переносных взаимодействий значение отклика будет возрастать, а с увеличением – убывать до предела 10%, затем опять начнёт возрастать.

Полученное уравнение проверялось на адекватность по критерию Фишера. Расчётное значение критерия  $F_{РАС} = 35,03$ , табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 0,05 –  $F_{табл} = 233,4$ . Следовательно, уравнение регрессии является адекватным. Оптимальный угол между осями течения потока и мягкого наносозащитного устройства, обеспечивающий защиту водоприёмника от влекаемых наносов с эффективностью 90-95%, находится в пределах 10-20 град. По результатам теоретического обоснования новой конструктивно-технологической разработки (КТР-1), устройства защиты от механических загрязнений водозаборного ковша и экспериментальные подтверждения оптимальности технических параметров мягкого биопозитивного устройства, для повышения эффективности защиты водоприёмника от влекаемых наносов, шуги и плавающих предметов отпугивания рыб, автором предложено при входе в водоприёмник устанавливать мягкое биопозитивное устройство с рыбозащитными капроновыми ершами (рис.4.17).



а - схема расположения мягкого биопозитивного наносозащитного устройства в водоприёмнике; б – вертикальный разрез мягкого биопозитивного наносозащитного устройства;  $\varphi$  – угол между осями течения потока и мягкого биопозитивного наносозащитного устройства;

1 – боновые поплавки;  
2 – глубинные поплавки;  
3 – тканевый экран;  
4 – удерживающий трос;  
5 – анкер; 6 – завеса капроновых ершей

Рисунок 4.17 – Схема мягкого биопозитивного наносозащитного устройства.

Устройство включает в себя подвижный и неподвижный вертикальные экраны по глубине водного потока, которые удерживаются в задаваемом положении по глубине и в плане системами поверхностных и заглублённых поплавков, гибкими связями и якорными устройствами. Для сопряжения устройства водозаборного сооружения с береговыми устоями используются глухие секции. Система поверхностных поплавков 1 с тканевым биопозитивным экраном защищает водоприёмник от поверхностных наносов (шуги и других плавающих предметов), тканевый биопозитивный экран 3 с глубинными поплавками 2 защищает от донных наносов, а капроновые ерши отпугивают рыбу.

#### ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. Разработаны решения конструктивно-изобретательских задач (КИЗ) по совершенствованию существующих конструктивно-технологических схем оросительных систем, для которых была создана многофункциональная МНК водозаборного сооружения;

2. Выполнен расчёт МНК водозаборного сооружения, осуществляющего отбор расчётных расходов воды ( $Q$  м<sup>3</sup>/с) с обеспечением защиты: - по сохранению биоразнообразия ихтиофауны в водном объекте; от попадания донных, взвешенных наносов, шуги и плавающих предметов, поступающих из водного объекта при различных гидрологических режимах;

3. В результате проведённого математического моделирования полученное уравнение регрессии проверялось на адекватность по критерию Фишера. Расчётное значение критерия  $F_{\text{рас}} = 35,03$ , табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 0,05 –  $F_{\text{табл}} = 233,4$ . Следовательно, уравнение регрессии является адекватным.

4. В результате проведённых лабораторных исследований установлено, оптимальный угол между осями течения потока и мягкого наносозащитного устройства, обеспечивающий защиту водоприёмника от влекаемых наносов с

эффективностью 90-95%, находится в пределах 10-20 град.

5. По результатам теоретического обоснования новой конструктивно-технологической разработки (КТР-1) автором предложено при входе в водоприёмник устанавливать мягкое биопозитивное устройство с рыбозащитными капроновыми ершами.

5. Разработаны новые многофункциональные конструктивно-технологические схемы (см. рисунки 4.2 – 4.5) КТР-1 защиты водоприёмника от механических и биологических загрязнений, при различных уровнях режимов в водном объекте с сохранением биоразнообразия ихтиофауны (видов рыб и т.п.), и эффективность защиты при этом составляет 90-95%.

## 5. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА (КТР-2) ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ВОДОЗАБОРОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТ СИНЕ-ЗЕЛЁНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

### 5.1 Изменение качества забираемой на полив воды

Состояние водных объектов в пределах бассейна Нижнего Дона в значительной степени зависит от естественных процессов эвтрофикации, которая в причинно-следственной цепи взаимосвязана с массовым развитием цианобактерий (сине-зелёных водорослей), как вредоносного «цветения» воды на действующих водохранилищах, прудах, озёрах, неотъемлемо взаимосвязанных с речной гидрографической сетью [86, 88, 116, 119, 123, 135, 137]. Следует отметить, что в пределах речной гидрографической сети Нижнего Дона функционируют порядка 44 водозаборных технологических комплексов мелиоративных систем, где проживает более 5 млн. городского и сельского населения.

Как уже говорилось, родоначальные формы жгутиконосцев в разных отделах водорослей неодинаковы. Однако сами они могли произойти от одного общего корня. Этим объясняется то, что некоторые отделы водорослей, по-видимому, филогенетически больше связаны друг с другом, чем с другими отделами. Это относится, например, к группам, имеющим ряд общих признаков (окраска, запасные продукты, строение оболочки, жгутиков), сближающих их друг с другом. Во многих системах их даже принято объединять (в качестве классов) в один общий таксон, но в более широком смысле. Одним из наиболее изученных токсинов сине-зелёных водорослей является микроцистин. Микроцистины – это циклические токсины, которые являются пептидами, они имеют кольцевую структуру семь или пять аминокислот, соответственно, составляют одну уникальную фенил-дека кислоту, содержат че-

тыре неизменные D – аминокислоты и две переменные L-аминокислоты. Среди более чем 80 микроцистинов, выявленных на сегодняшний день, лишь немногие из них встречаются часто и в высоких концентрациях. Microcystin-LR является одним из наиболее частых и наиболее токсичных соединений цианобактерий. Множество видов цианобактерий содержат эти токсины. Зарождение микроцистинов происходит внутри клетки, а значительное количество их попадает в воду вследствие клеточного разрушения либо защитных реакций клетки. Предварительное нормальное содержание Microcystin-LR, принятое Всемирной Организацией Здравоохранения, в воде составляет 0,001 мг/л. Рекомендуемое значение является предварительным, так как оно распространяется только на Microcystin-LR. Из-за широкого распространения эвтрофикации в водоёмах эти токсины могут встречаться чаще и в неестественно высокой концентрации. На сегодняшний день информации по токсинам цианобактерий крайне мало [11, 163, 164, 168, 182, 188195].

Для действующих и строящихся ВС на Нижнем Дону и других речных бассейнах в проектных решениях учитывается высокое содержание фитопланктона в воде в летне-осенний период года. В связи с этим рассматривался механический метод борьбы с сине-зелёными водорослями путём фильтрования через фильтрующие кассеты. В фильтре исходная вода фильтруется снизу-вверх через удерживаемую в затопленном состоянии верхней системой загрузку, собирается в пространстве над загрузкой. Предварительно осветленная таким образом вода поступает в фильтрующий слой, где, фильтруясь снизу-вверх, освобождается от мелкодисперсной взвеси. На нижней границе мелкогранульной загрузки задерживается основная масса загрязнений, впоследствии участвующая в процессе фильтрования. В водах реки Дон сотрудниками Южного научного центра РАН обнаружены цианотоксины в 2016 году [129]. В результате исследования двух проб по выбранным идентификационным признакам микроцистина - RR и анатоксина-а установлено: проба цианопрокариот, полученная с тростниковой соломины,

содержит анатоксин-*a* в концентрации не менее 1,67 мкг/г сухой массы плёнки; проба цианопрокариот, отобранная сетью в протоке Свиное Гирло, содержит микроцистин-RR и анатоксин-*a* в количестве не менее  $2,2 \cdot 10^{-2}$  пкг на клетку и  $5 \cdot 10^{-2}$  пкг на трихом соответственно. Для забора оросительной воды на мелиоративные системы используется поверхностный источник – река Дон, качество воды в котором в летне-осенний период года по концентрации фитопланктона превышает более, чем в 4 раза допустимый норматив для водоисточников, пригодных для использования в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения (ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора») [52120] .

К качеству питьевой воды предъявляются жёсткие гигиенические требования: вода должна быть безопасна в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Массовое развитие микрофитов в водах поверхностных источников водоснабжения в периоды цветения воды создаёт значительные трудности при водоподготовке и существенно влияет на такие нормируемые показатели, как «запах» и «привкус».

Микрофиты присутствуют в донской воде в створе водозаборов мелиоративных систем во все периоды года и представлены в основном 3 отделами: сине-зелёные водоросли (Cyanophyta), диатомовые водоросли (Bacillariophyta) и зелёные водоросли (Chlorophyta). Из отдела сине-зелёных водорослей в донской воде присутствуют виды *Synechocystis*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon*; из отдела диатомовых водорослей – *Melosira*, *Navicula*, *Diatoma*, *Synedra*, *Nitzschia*, *Asterionella*, *Cyclotella*, *Pinnularia*; из отдела зелёных водорослей – *Scenedesmus*, *Chlamidomonas*, *Pediastrum*. Отмечается рост количества клеток микроводорослей в водоисточнике, а также изменение их видового состава. Так до 1990 года среднегодовая концентрация микрофитов в донской воде была 2000-4000 клеток/мл, в отдельные дни до

25000 клеток/мл, а начиная с 1990 года, наблюдается интенсивное развитие фитопланктонов. Микроводоросли являются индикаторами качества водоемного источника, в зависимости от степени загрязненности водоемного источника могут развиваться различные организмы. Так до 1990 года видовой состав микроводорослей водоемного источника был очень разнообразен, с преобладанием микроводорослей рода *Synechocystis*, которые свидетельствовали о принадлежности реки Дон по уровню загрязнения к олигасопробной зоне, то есть водоемный источник с незначительными загрязнениями, с высоким содержанием кислорода в воде. Начиная с 2000 годов, возрастает количество микроводорослей родов *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Anabaena*, микроорганизмов-индикаторов  $\beta$ -мезасопробной зоны, а с 2007 года начинают интенсивно развиваться в теплые периоды года микроорганизмы-индикаторы  $\alpha$ -мезасопробной зоны, такие как *Aphanizomenonflos-aqua*. В период интенсивного «цветения» водоема в августе-сентябре 2013 года вид микроводорослей *Aphanizomenonflos-aqua* был преобладающим. Снижение количества доминирующих микроорганизмов, при значительном развитии определенного вида в мезотрофных водоемах, является признаком его эвтрофикации.

Анализ литературных данных показал, что некоторые виды микроводорослей в результате своей жизнедеятельности, а также при отмирании и разложении, при помощи актиномицетов являются продуцентами «пахнущих» веществ, к таким микроводорослям могут относиться виды *Oscillatoria agardhii*, *Aphanizomenonflos-aqua*, *Anabaena flos-aqua*, *Melosiragranulate*, *Nodularie* и другие. На интенсивность образования одорирующих веществ в процессе жизнедеятельности микроводорослей влияет их стадия роста, а также условия среды обитания: освещенность, температура окружающей среды, причём при снижении последних двух параметров интенсивность образования одорирующих веществ увеличивается. В результате развития различных микроводорослей наиболее часто встречаются следующие запахи: гнилостно-землистый, гнилостный, землисто-гнилостный, гнилостно-

тинистый, травянисто-гнилостный, землистый, навозный, гнилостно-сточный, рыбный. Обуславливают данные запахи такие выделяемые микроводорослями и актиномицетами летучие природные органические вещества, как геосмин, 2-метилизоборнеол (МИБ) и др. Данные показатели могут определяться в воде с помощью хромато-масс-спектрометрического анализа.

Как уже было отмечено выше, пик развития водорослей в водоисточнике река Дон приходится на август-сентябрь месяцы, именно в эти периоды вода приобретает специфический запах, интенсивность которого может превышать 2 балла, характер запаха определяется как «травянисто-гнилостный», «гнилостно-сточный».

В результате анализа воды, отобранной из реки Дон, реки Аксайки, реки Маныч, были определены высокие концентрации микроводорослей во всех пробах воды, в среднем 70000 кл/мл, с преобладанием вида *Arhanizomenonflos-aqua*, кроме пробы воды из реки Маныч, где температура воды, мутность, фосфор, ХПК и концентрация микроводорослей были значительно ниже, чем во всех остальных пробах воды.

Такие свойства воды как «запах» и «привкус», определяемые органолептическим путём, во многом зависят от индивидуальных особенностей каждого человека. Анализ воды показал наличие летучего органического вещества «геосмин», являющегося продуцентом ряда микроводорослей, в количестве, соответствующем нижнему пределу порога влияния на органолептический показатель «запах». При этом в отобранной пробе воды концентрация микроводорослей составляла 5160 кл/мл, из них концентрация микроводоросли *Arhanizomenonflos-aqua* составляла 800 кл/мл, лаборатория идентифицировала запах как «болотный» или «травянисто-гнилостный» интенсивностью 0/1 балл. Однако в течение августа-сентября 2013 года концентрация микроводорослей вида *Oscillatoria agardhii* достигала – 42000 кл/мл, *Arhanizomenonflos-aqua* – 70000 кл/мл, безусловно, в данный период концентрации продуктов их жизнедеятельности геосмина и МИБ были значительно выше.

Предложена новая конструктивно-технологическая разработка (КТР-2) в виде универсальных ершей из лавсановых волокон и капроновых лесок. Лавсановые волокна ерша обеспечивают электроосаждение сине-зелёных водорослей в воде ковша, а капроновые лески отпугивают рыб от водозабора.

## 5.2 Лабораторные исследования по определению электрического заряда цианобактерий

Для обоснования режима работы и технологических параметров фильтра выполнялось определение знака электрического заряда цианобактерий. С этой целью использовались пробы воды, отобранные в Цимлянском водохранилище в районе водозаборных сооружений (г. Волгодонск) в период массового «цветения» воды (рис.5.1). Для определения знака заряда цианобактерий была использована U-образная трубка с графитовыми анодом и катодом (рис.5.2).



Рисунок 5.1– Общий вид пробы воды Цимлянского водохранилища

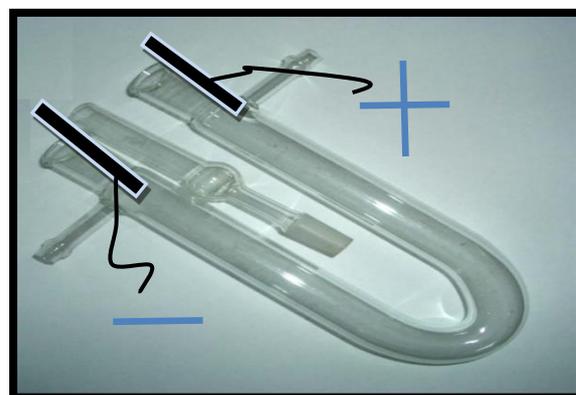


Рисунок 5.2 - U-образная трубка с графитовыми анодом и катодом

Целью данного опыта являлось визуальное определение знака заряда крупных колоний цианобактерий при движении их в сторону одного из электродов. В ходе проведённых опытов было установлено, что колонии «живых» цианобактерий имеют отрицательный знак заряда, так как обнаруживали характерное движение в сторону ано-

да, а колонии «отмерших» водорослей показали отсутствие характерного движения к аноду или катоду, что свидетельствует об отсутствии заряда (рис.5.3).



Рисунок 5.3 – Результат опыта по определению знака заряда «отмерших» цианобактерий

Определение электрокинетического потенциала ( $\xi$ -потенциала) цианобактерий связано с определением электрокинетического потенциала ( $\xi$ -потенциала) колоний «живых» цианобактерий. Исследования проводились при напряжении 200 Вт и силе тока 1,5 А.

Электрокинетический потенциал в изоэлектрической точке равен нулю.

Сине-зелёные водоросли, как известно, имеют отрицательный электрокинетический потенциал, величина которого зависит от вида водорослей. Для сине-зелёных водорослей Цимлянского водохранилища электрокинетический потенциал определялся методом электрофореза. Получены функциональные зависимости, описывающие основные параметры эффективности очистки отбираемой воды от токсичных сине-зелёных водорослей.

Измерение электрокинетического потенциала (дзета-потенциала) сине-зелёных водорослей проводилось с использованием электрофоретической ячейки с графитовыми электродами. Расстояние между электродами 70 мм. Также был использован трансформатор постоянного тока, фотоаппарат SAMSUNG – D980h, линейка измерительная металлическая по ГОСТ 427 с

ценой деления 1 мм и секундомер. Для определения  $\xi$  – потенциала нами было измерено расстояние между «анодом» и «катодом» и время, за которое цианобактерии проходили данное расстояние. При постоянном напряжении 200 В на электродах напряжённость электрического поля в электрофоретической ячейке составляло  $E = 2857,1$  В/м. При такой напряжённости поля граница сине-зелёных водорослей перемещалась от катода к аноду за 6 минут на расстояние 25 мм, то есть со скоростью  $v = 6,5 \cdot 10^{-5}$  м/с. Величина дзета-потенциала водорослей определялась по формуле Гельмгольца-Смолуховского

$$\zeta = \frac{\eta \cdot v}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E} ,$$

$\zeta$  – электрокинетический потенциал, В;

$\eta = 1 \cdot 10^{-3}$  – вязкость воды, Н·с/м<sup>2</sup>;

$\varepsilon = 81$  – диэлектрическая проницаемость воды;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  – электрическая постоянная в вакууме, Ф/м;

$v$  – скорость движения границы водорослей, м/с;

$E$  – напряжённость электрического поля, В/м.

После подстановки численных значений в уравнение и учёта направления движения водорослей в электрофоретической ячейке величина электролитического потенциала для сине-зелёных водорослей Цимлянского водохранилища составила  $\zeta = - 32 \cdot 10^{-3}$  В.

Процесс коагуляции частиц дисперсной фазы в агрегаты вследствие сцепления частиц при их соударениях, а также седиментации.

### 5.3 Экспериментальные исследования по разработке конструктивно-технологической схемы

В экспериментальных исследованиях (2015-2017г.г.) применяли стандартные аналитические и калориметрические методы определения

концентрации веществ в воде. Определяли мутность, цветность, рН, щелочность, температуру.

Исследования проводили в три этапа:

- подбор коагулянтов в лабораторных условиях;
- фильтрование с использованием ершей в лабораторных условиях;
- натурные исследования на пилотной установке.

### **1 этап исследования:**

1. Моделирование очистки велось в 5 стеклянных цилиндрах вместимостью по 1 литр по стандартной методике. Время отстаивания - 60 мин.;

2. В цветущей донской воде определялись: мутность, щелочность, рН, температура. Температура=23, рН=8,82;

3. Доза коагулянта рассчитывалась по мутности воды и уменьшалась на 10-20%. Соотношение железа и алюмосодержащих коагулянтов варьировалось;

4. В начале исследований получаем раствор требуемой концентрации (%) путём смешивания коагулянта и исследуемой пробы с использованием правила креста. Коагулянты использовались как в жидком, так и в сухом состоянии.

#### *Коагулянты в жидком состоянии*

1. Унико ОХА 10 (на 0,5л) 42мл раствора 458 воды
2. СКИФ 180(на 0,5л) 34,48мл раствора 465,52 воды
3. Алюминия сульфат (водный раствор) (на 250мл) 67,6мл раствора 432,4 воды
4. Алюминий хлоргидрат (чистый) (на 0,5л) 21,55 раствора 478,45 воды
5. Уника СА (на 0,5 л) 31,25 мл раствора 468,75 воды
6. Аква-Аурат 102(на 300мл) 30 мл раствора 270 воды
7. Аква-Аурат 110(на 250 мл) 31 мл раствора 219 воды
8. Аква-Аурат 105(на 300 мл) 30 мл раствора 270 воды

9. Аква-Аурат 190(на 300мл) 31,25 мл раствора 218,75 воды

10. Оксихлорид алюминия Н. В. С. (на 500мл) 24,63 мл раствора 475,97 воды  $M=V*X/10C1$ , где  $X=10 C1(\%)$

*Коагулянты в сухом состоянии:*

1. Полиоксихлорид алюминия(порошкообразный)(на 100мл) 3,3 гр вещества 97,7 воды

2. КМП-40 15 гр вещества 135 мл воды

3. КМП-30 20гр вещества 280 мл воды

4. КМП-20 15 гр вещества 485 мл воды

5. КМП-10 12гр вещества 488 мл воды

6. Фенофикс 12,5мл раствора 487, 5мл воды

7. FL454ORWG 12,5мл раствора 487,5 мл воды

Определение мутности производилось по шрифту Снеллена, весовой (фильтрации), колориметрически с помощью Фотоэлектроколориметра (ФЭК) (рис.5.4).



Рисунок 5.4 – Фотоэлектроколориметры (ФЭК)

Для построения калибровочного графика подготовили стандартные растворы с известным показателем  $S$ . Стандартный раствор по Формазину переводим в шкалу по Коалину. По оптической плотности строилась калибровочная кривая, по которой определялась мутность воды. Для определения

цветности строилась аналогичная калибровочная кривая для определения цветности.

Демонстрационные материалы результатов экспериментальных исследований представлены на рисунках 5.5 – 5.25.

Опыт 1 с коагулянтом СИЛФОК (рис.5.5). Дата проведения 14.07.17. Дозы коагулянта 10,15,20,30,40 мг/л. В исследуемой пробе не наблюдается ни хлопьев, ни осадка. Изменение показателей мутности, цветности, рН невелики. Через 1 час отстаивания изменений нет. Графики результатов представлены на рисунках (рис.5.5).

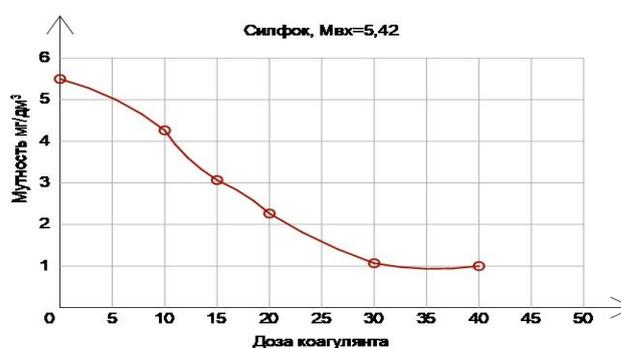


Рисунок 5.5 -Коагуляция с использованием коагулянта СИЛФОК и результаты изменения мутности

Опыт 2 с коагулянтом СУЛЬФАТ АЛЮМИНИЯ (технически очищенный рисунок 5.6) Время проведения 14.07.17. Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л.



Рисунок 5.6 - Коагуляция с использованием коагулянта Сульфат Алюминия

В цилиндре с 20 мг коагулянта на 1-ой минуте образовались белые хлопья и осадок. В цилиндрах с 30 и 40 мг коагулянта на 2-3 минуте образовались хлопья и осадок. Хлопья наблюдается во всех цилиндрах, но в 4 (60 мг) и в 5 (80 мг) менее заметно. В образце с 80 мг коагулянта осадок выше, чем в остальных. Результаты определения мутности, цветности показали, что в цилиндрах с 30,40, и 80 мг коагулянта цветность и мутность уменьшились, что также видно наглядно. Через час отстаивания в цилиндре с 20 мг коагулянта осадок всплыл. Графики результатов представлены на рисунке 5.7.

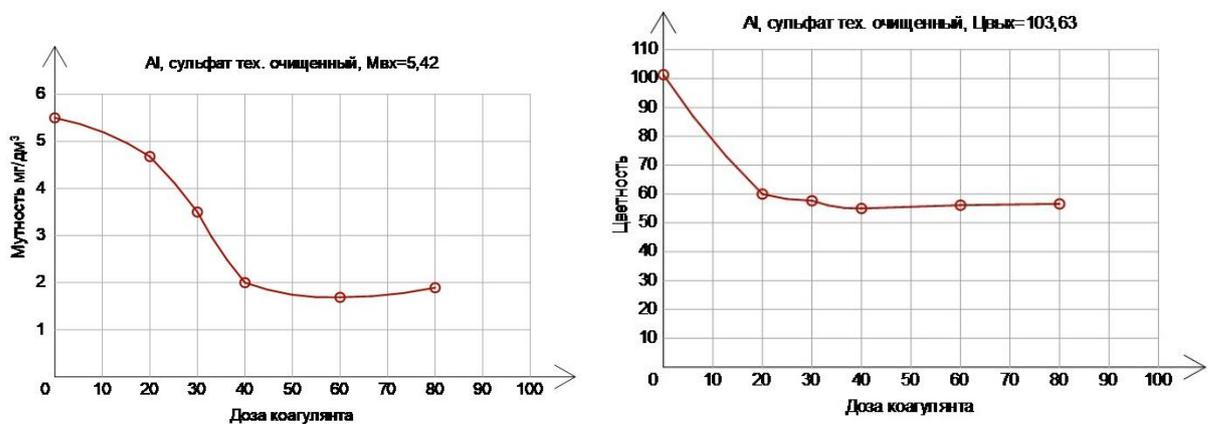


Рисунок 5.7 - Результаты изменения мутности и цветности с использованием коагулянта СУЛЬФАТ АЛЮМИНИЯ (технически очищенный).

Опыт 3 с коагулянт УНИКО-ОХА 10 (рис.5.8). Дата проведения 14.07.17. Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л



Рисунок 5.8 - Коагуляция с использованием коагулянта УНИКО-ОХА 10

При добавлении коагулянта в исследуемую пробу во всех пяти цилиндрах образовались хлопья и осадок, вода помутнела на 1-ой минуте. Через 30 минут отстаивания в цилиндрах образовался хорошо наблюдаемый осадок, по высоте в порядке убывания от цилиндра с 80 мл коагулянта до цилиндра с 20 мл коагулянта, вода мутная. Графики результатов на рисунке 5.9.

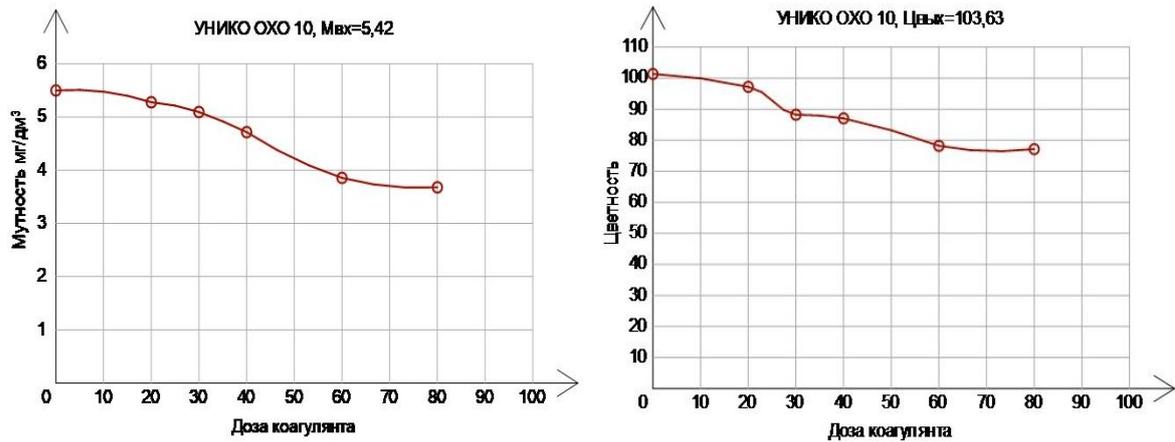


Рисунок 5.9 - Результаты изменения мутности и цветности с использованием коагулянта УНИКО-ОХА 10

Опыт 4 с коагулянтом ОКСИХЛОРИД АЛЮМИНИЯ (В) (рис.5.10).  
Дата проведения 14.07.17. Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л



Рисунок 5.10 -Коагуляция с использованием коагулянта ОКСИХЛОРИД АЛЮМИНИЯ (В)

При добавлении коагулянта в исследуемую пробу вода резко помутнела (стала белой). Через 5-7 минут наблюдался слой прозрачной воды сверху. Наиболее высокий прозрачный слой наблюдается в цилиндрах с 20,30 мл коагулянта. В цилиндрах с содержанием 80 мл коагулянта прозрачный слой меньше, чем в остальных. Слой прозрачной воды увеличивается особенно быстро в 1 цилиндре (20 мл коагулянта). Через 15 минут отстаивания в 1 цилиндре мутность осела, в остальных цилиндрах оседает хуже (медленнее).

Результаты определения мутности и цветности показали, что коагулянт очистил пробу исследуемой воды, наиболее эффективно при добавлении 20 мл коагулянта. Однако для лучшей очистки необходимо дольше отстаивать. Графики результатов представлены на рисунке 5.11.

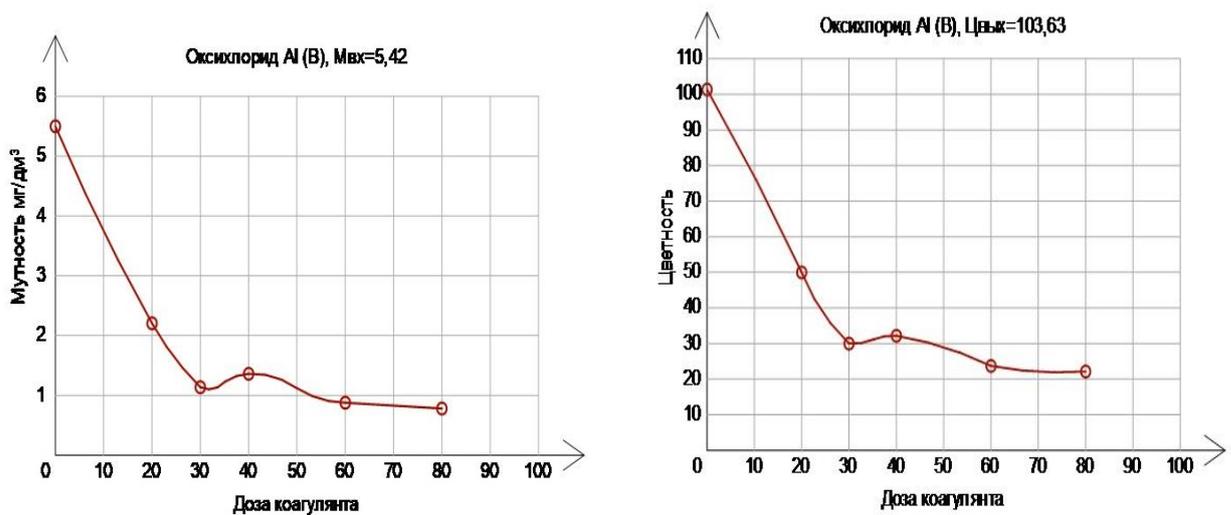


Рисунок 5.11 - Результаты изменения мутности и цветности с использованием коагулянта ОКСИХЛОРИД АЛЮМИНИЯ (В)

Опыт 5 с коагулянтом УНИКО-СА(рис.5.12). Дата проведения 16.07.17 Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л. При добавлении коагулянта УНИКО-СА в исследуемую пробу вода в цилиндрах помутнела, затем образовались белые хлопья, которые постепенно оседали на дно, образуя осадок (рис.5.12 а). Затем осадок всплыл (рис.5.12 б).



Рисунок 5.12 -Коагуляция с использованием коагулянта УНИКО-СА

Особенно чётко этот процесс наблюдается в цилиндрах 1 (20мл коагулянта) – 4 (60 мл коагулянта). В цилиндре с 80 мл коагулянта данный процесс наблюдается менее заметно. По истечению 30 минут весь осадок всплыл вверх, в 5 цилиндре процесс протекает медленнее, но эффективнее. Чем больше добавлено коагулянта, тем эффективнее очищается проба. Графики результатов представлены на рисунке 5.13.

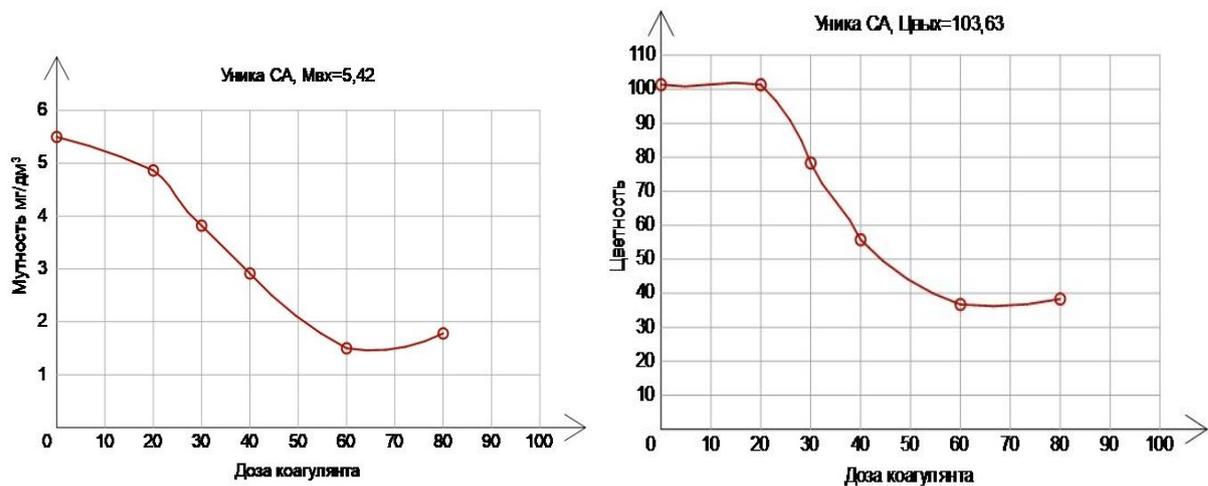


Рисунок 5.13 - Результаты изменения мутности и цветности с использованием коагулянта УНИКО-СА

Опыт 6 с коагулянтом ОКСИХЛОРИД АЛЮМИНИЯ (Н) (рис.5.14).  
Дата проведения 16.07.17 Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л.



Рисунок 5.14 -Коагуляция с использованием коагулянта ОКСИХЛОРИД АЛЮМИНИЯ (Н).

При добавлении коагулянта в исследуемую пробу во всех цилиндрах наблюдалось обильное выпадение осадка. Через 30 минут отстаивания во всех цилиндрах образовался равный по высоте осадок. Вода мутная. Графики результатов представлены на рисунке 5.15.

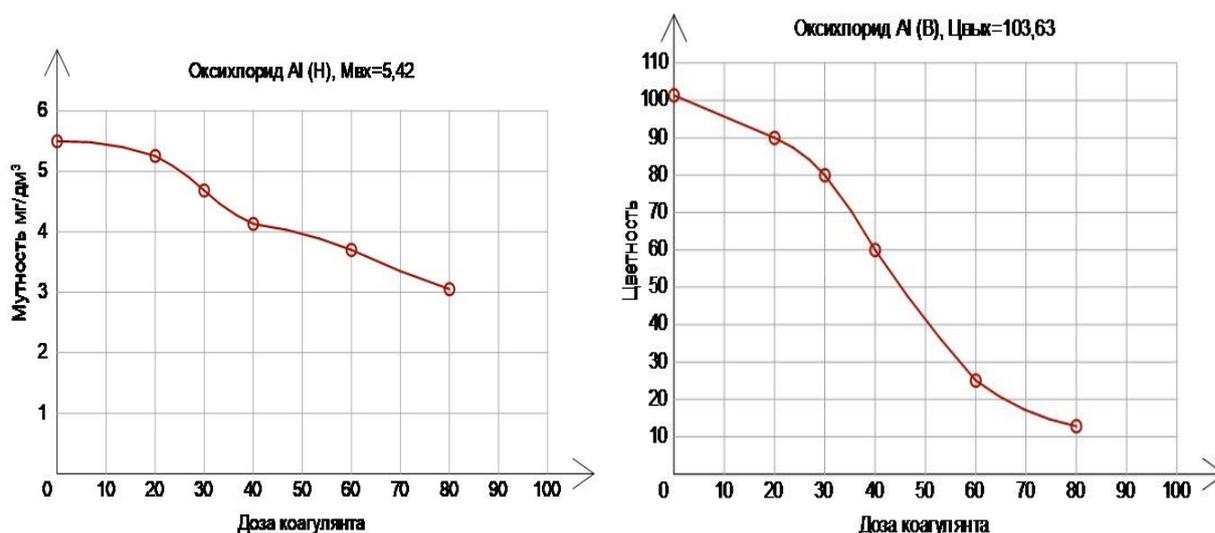


Рисунок 5.15 - Результаты изменения мутности и цветности с использованием коагулянта ОКСИХЛОРИД АЛЮМИНИЯ (Н).

Опыт 7 с коагулянтом КМП-10 (рис.5.16). Дата проведения 17.07.17

Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л.



Рисунок 5.16 - Коагуляция с использованием коагулянта КМП-10

При добавлении коагулянта в исследуемую пробу выпал осадок, в порядке возрастания от цилиндра с 20 мл коагулянта до цилиндра с 80 мл коагулянта. Показатели цветности и мутности изменились, менее всего они в цилиндре с 20 мл коагулянта. Графики результатов представлены на рисунке 5.17.

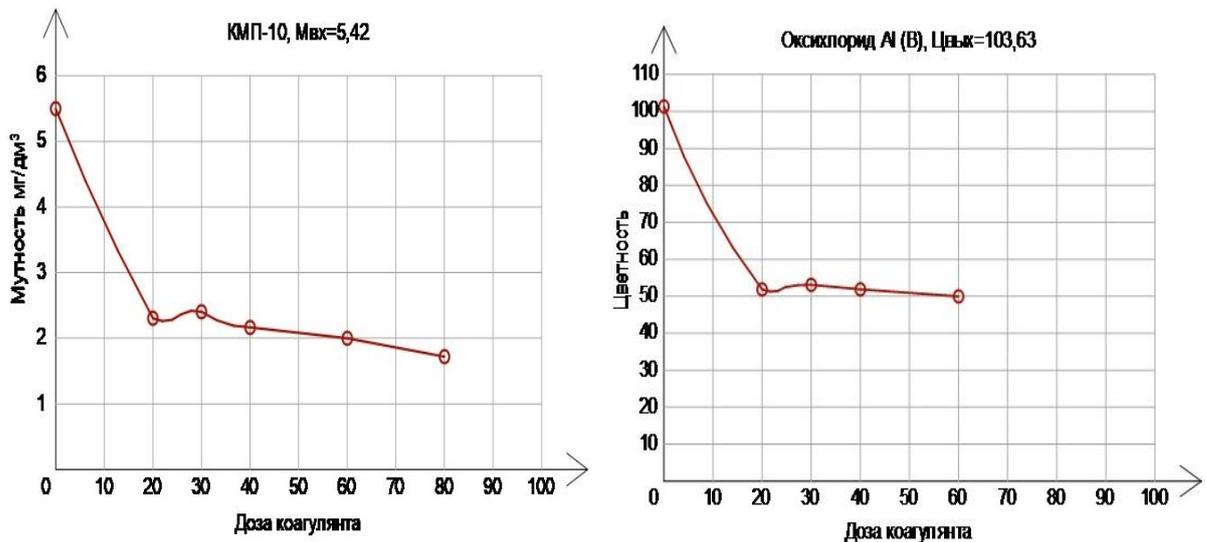


Рисунок 5.17 - Результаты изменения мутности и цветности с использованием коагулянта КМП-10

Опыт 8 с коагулянтом СКИФ-180 (рис.5.18). Дата проведения 17.07.17

Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л.



Рисунок 5.18 - Коагуляция с использованием коагулянта SKIF-180

Наблюдается выпадение осадка. Графики результатов представлены на рисунке 5.19.

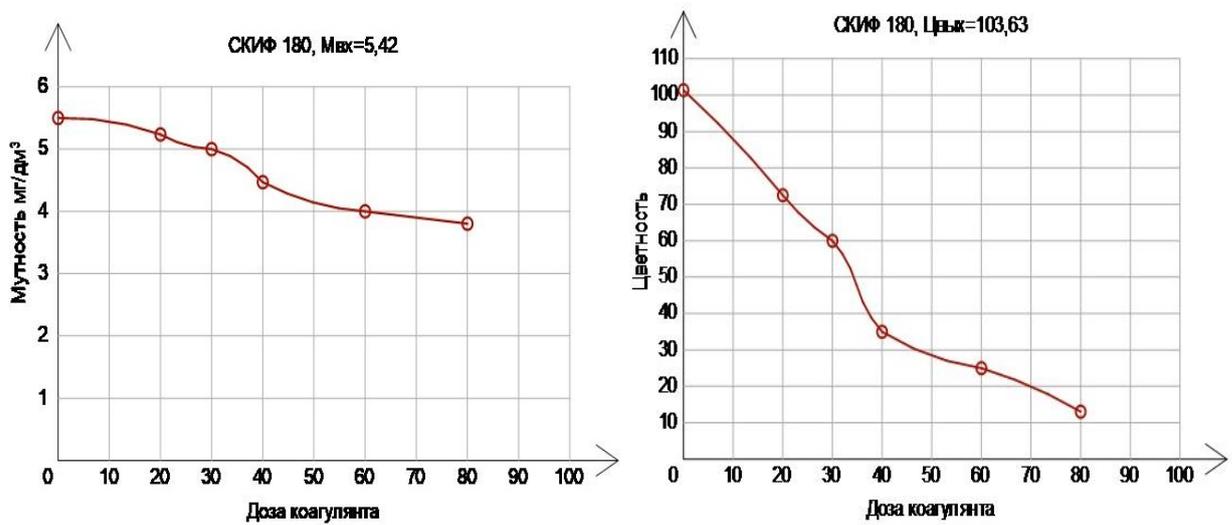


Рисунок 5.19 - Результаты изменения мутности и цветности с использованием коагулянта SKIF 180

Опыт 9 с коагулянтом КМП-20 (рис.5.20). Дата проведения 18.07.17  
Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л.



Рисунок 5.20 - Коагуляция с использованием коагулянта КМП-20

При добавлении коагулянта в исследуемую пробу образовался осадок. Через 30 минут отстаивания в образцах осадок, по высоте в порядке возрастания от цилиндра с 20 мл коагулянта до цилиндра с 80 мл коагулянта.

Графики результатов представлены на рисунке 5.21.

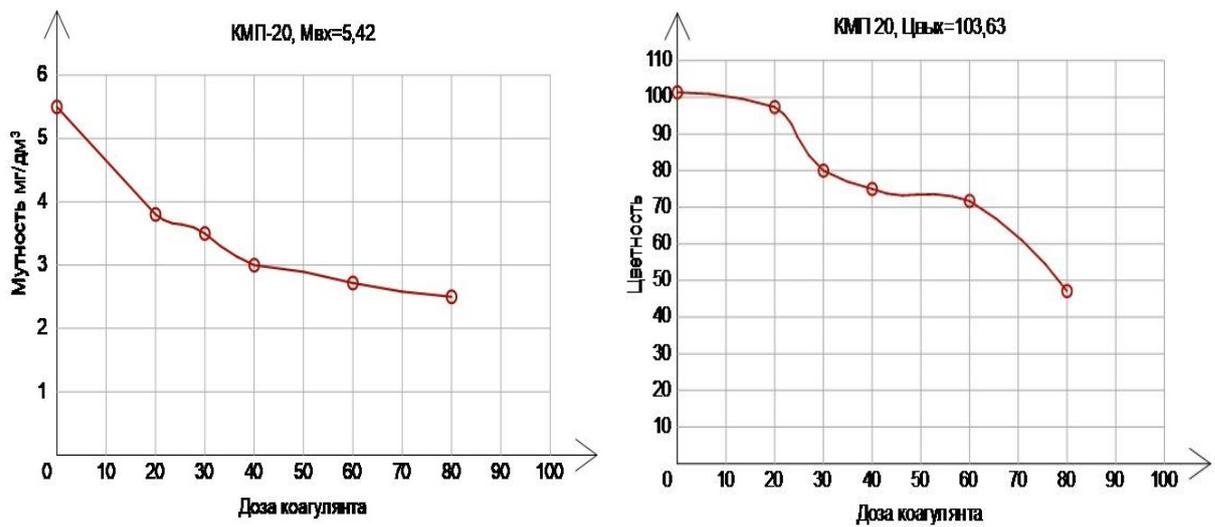


Рисунок 5.21 Результаты изменения мутности с использованием коагулянта КМП-20

Опыт 10 с коагулянтом КМП-40 (рис.5.22). Дата проведения 18.07.17  
Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л.



Рисунок 5.22 - Коагуляция с использованием коагулянта КМП-40

При добавлении коагулянта в исследуемую пробу вода в цилиндрах помутнела, видимых хлопьев и осадка не наблюдается. Через 30 минут отстаивания в цилиндрах с 30 и 40 мл коагулянта небольшой осадок (еле заметный), в остальных цилиндрах изменений нет. Через 45 минут отстаивания изменений не наблюдалось. Графики результатов представлены на рисунке 5.23.

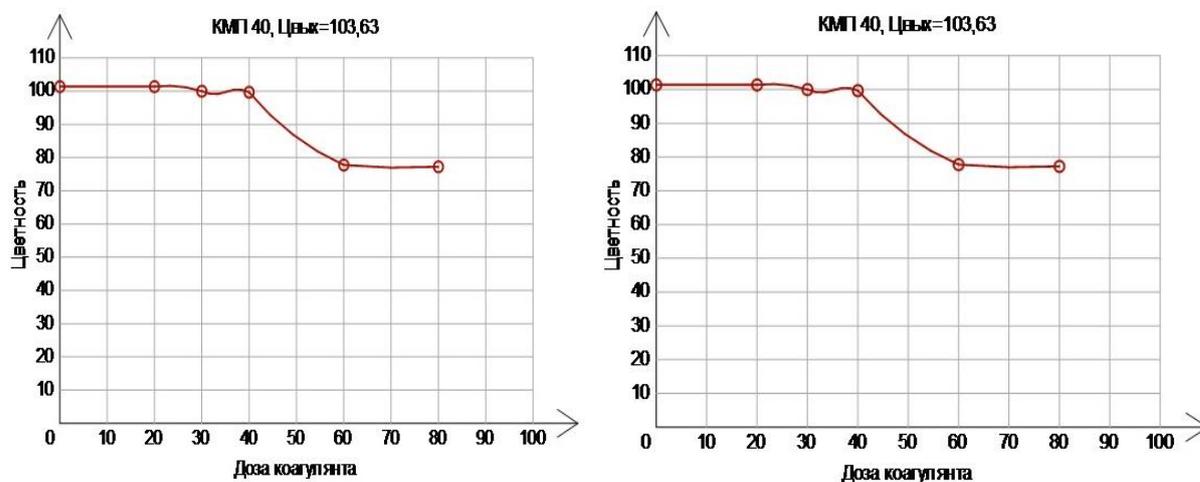


Рисунок 5.23 - Результаты изменения мутности с использованием коагулянта КМП-40

Обобщённые результаты изменений различных показателей в зависимости от добавляемого коагулянта и его дозы представлены в таблице 5.1, по данным которых построены зависимости на рисунках 5.24 и 5.25.

Таблица 5.1 - Изменение показателей качества Донской воды

Название коагулянта	Доза коагулянта	Мутность		Солесодержание		Цветность	
		на входе	на выходе	на входе	на выходе	на входе	на выходе
Силфок	10	5,42	5,33	820	880	103,63	102,97
	15	5,42	5,21	820	970	103,63	102,57
	20	5,42	5,13	820	960	103,63	102,33
	30	5,42	4,91	820	940	103,63	101,53
	40	5,42	4,9	820	945	103,63	101,03
Сульфат алюминия (тех. очищ.)	20	5,42	4,67	820	1228	103,63	60,3
	30	5,42	3,48	820	1188	103,63	57,93
	40	5,42	3	820	1122	103,63	54,4
	60	5,42	2,77	820	1270	103,63	55,33
	80	5,42	2,94	820	1331	103,63	56,99
УНИКООХА-10	20	5,42	5,32	820	1162	103,63	98,13
	30	5,42	5,13	820	1228	103,63	87,4
	40	5,42	4,73	820	1252	103,63	85,34
	60	5,42	3,91	820	1272	103,63	78,3
	80	5,42	3,57	820	1367	103,63	77,13

Продолжение таблицы 5.1							
ОксихлоридAl(B)	20	5,42	2,26	820	1075	103,63	49,22
	30	5,42	1,13	820	1035	103,63	28,5
	40	5,42	1,35	820	1031	103,63	31,09
	60	5,42	0,9	820	927	103,63	23,32
	80	5,42	0,73	820	833	103,63	21,01
УНИКОСА	20	5,42	4,97	820	-	103,63	103,629
	30	5,42	3,84	820	-	103,63	77,72
	40	5,42	2,94	820	-	103,63	56,99
	60	5,42	1,58	820	-	103,63	36,27
	80	5,42	1,81	820	1117	103,63	38,68
ОксихлоридAl(H)	20	5,42	5,23	820	963	103,63	103,1
	30	5,42	4,71	820	987	103,63	102,75
	40	5,42	4,13	820	1006	103,63	101,9
	60	5,42	3,74	820	1040	103,63	100,53
	80	5,42	3,03	820	1201	103,63	100
КМП-10	20	5,42	2,26	820	946	103,63	51,81
	30	5,42	2,43	820	1029	103,63	52,1
	40	5,42	2,13	820	1061	103,63	51,23
	60	5,42	2,03	820	1063	103,63	49,83
	80	5,42	1,73	820	1086	103,63	-

## Продолжение таблицы 5.1

СКИФ180	20	5,42	5,21	820	973	103,63	102,1
	30	5,42	5,01	820	1173	103,63	101,49
	40	5,42	4,53	820	1194	103,63	100,23
	60	5,42	4,02	820	1344	103,63	99,73
	80	5,42	3,74	820	1591	103,63	99,13
КМП-20	20	5,42	3,83	820	1040	103,63	98,1
	30	5,42	3,54	820	1068	103,63	80,23
	40	5,42	3,01	820	1060	103,63	76,3
	60	5,42	2,76	820	1093	103,63	73,3
	80	5,42	2,53	820	1095	103,63	56,99
КМП-40	10	5,42	5,23	820	998	103,63	102,97
	15	5,42	4,91	820	1036	103,63	100,53
	20	5,42	4,53	820	1064	103,63	99,37
	30	5,42	3,87	820	1134	103,63	78,23
	40	5,42	3,13	820	1182	103,63	77,3
Аква-Аурат102	10	5,42	4,52	820	999	103,63	93,27
	15	5,42	4,03	820	1102	103,63	87,93
	20	5,42	3,43	820	1113	103,63	77,43
	30	5,42	3,13	820	1184	103,63	57,33

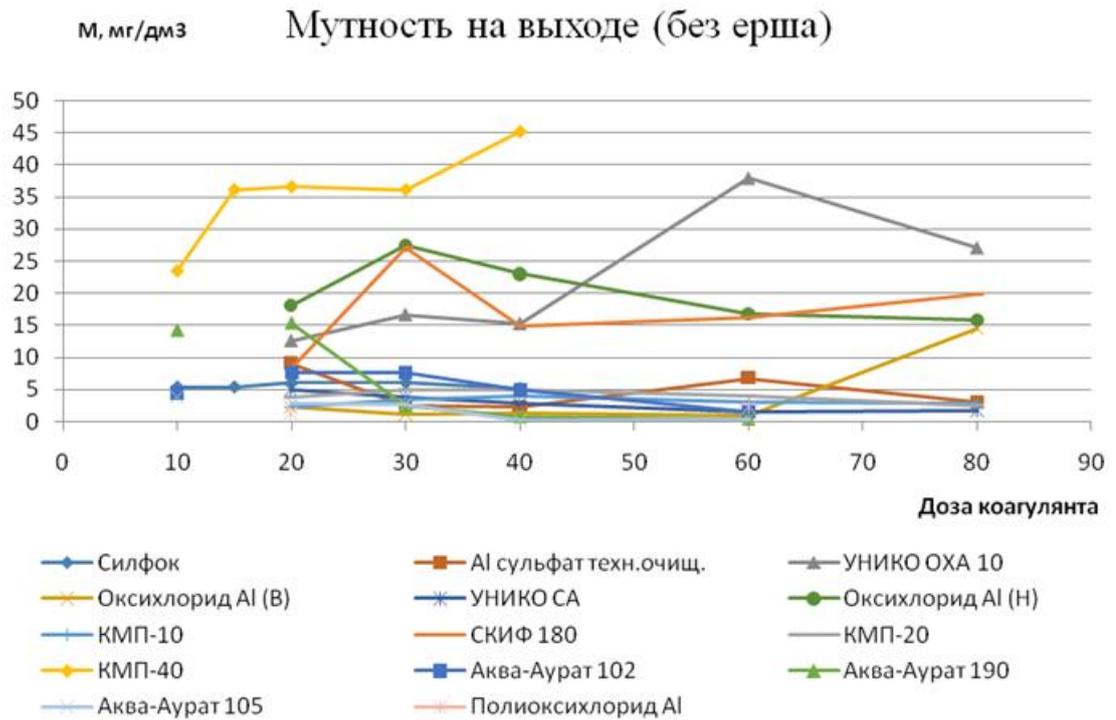


Рисунок 5.24– Результаты изменения мутности

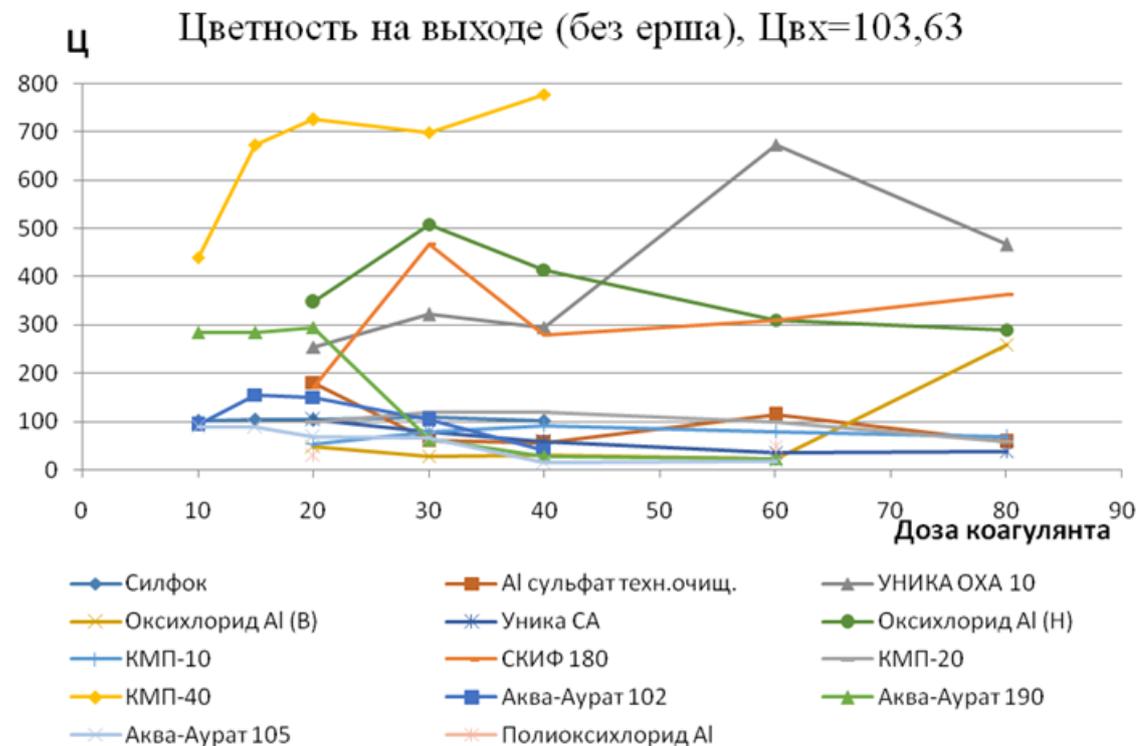


Рисунок 5.25 – Результаты изменения цветности

По результатам проведённых исследований можно сделать вывод, что наиболее эффективными коагулянтами для обработки донской воды

являются: ОКСИХЛОРИД Al(V); УНИКО-СА; КМП-40. С другой стороны, с учётом требований использование коагулянтов в зависимости от объёма их применения является химическим загрязнением с выделением осадка.

**2 этап исследования.** С учётом требований использование коагулянтов является химическим загрязнением с выделением осадка, что не допускается в открытые водоёмы. В связи с этим в диссертационной работе автором предложена конструктивно-технологическая разработка (КТР-2) защиты водоприёмника от токсичных сине-зелёных водорослей, в которой впервые использовалась конструкция «Ерша» для очистки питьевой воды (рис.5.26).



Рисунок 5.26 – Фильтрующий материал «Ёрш»

Получены патенты на полезную модель (Патент на полезную модель 121499 Российская Федерация: С 02 F3/02/; Патент на полезную модель 120096 Российская Федерация: С 02 F3/02/).[175].

*Методика коагулирования с ершом.* В цилиндры (5штук) вместимостью 1л добавляем исследуемую пробу донской воды и коагулянты с различными дозами (20, 30, 40, 60, 80 мг/л). Затем в цилиндры опускаем экспериментальные мягкие ерши. Отстаиваем в течение одного часа и фиксируем результаты. Измерения проводим на градуированных цилиндрах по этой шкале и определяем высоту слоя осадка. Измеряем качественные показатели воды (мутность, цветность, солесодержание). Измерения проводим с помощью

прибора ФЭК. Экспериментальные исследования проводились с наиболее эффективными коагулянтами: КМП-10; КМП 20; КМП-40; Оксихлорид алюминия (В).

Опыт 1 с коагулянтом КМП-10 (рис.5.27 и 5.28). Дата проведения 05.08.14 Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л.



Рисунок 5.27– Коагулянт КМП-10

Рисунок 5.28– Ёрш+КМП-10

В результате установлено, что после использования мягкого ерша качественные показатели воды улучшились и высота слоя осадка в среднем сократилась на 80%.

Опыт 2 с коагулянтом КМП-20 (рис.5.29 и 5.30). Дата проведения 17.07.14 Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л.



Рисунок 5.29– Коагулянт КМП-20



Рисунок 5.30– Ёрш + КМП-20

В результате, установлено что после использования мягкого ерша высота слоя осадка сократилась на 80% при дозе коагулянта 80 мг/л.

Опыт 3 с коагулянтом КМП-40 (рис.5.31 и 5.32). Дата 17.07.14

Дозы коагулянта 20,30,40,60,80 мг/л.



Рисунок 5.31– Коагулянт КМП-40



Рисунок 5.32– Ёрш + КМП-40

хлорид Al (В) (рис.5.33 и 5.34). Дата проведения 24.07.14 Дозы коагулянта 20,30,40,60,80.

Рисунок 5.33–Коагулянт  
Оксидхлорид Al (В)



Рисунок 5.34– Ёрш + Оксидхлорид  
Al (В)



**Этап исследования.** Для подтверждения лабораторных исследований на третьем этапе была изготовлена пилотная установка (рис.5.35). Исследования проводились

на цветущей донской воде, на воде из р. Волги и на водопроводной воде после использования в плавательном бассейне (рис.5.36 - 5.38).



Рисунок 5.35 – Пилотная установка



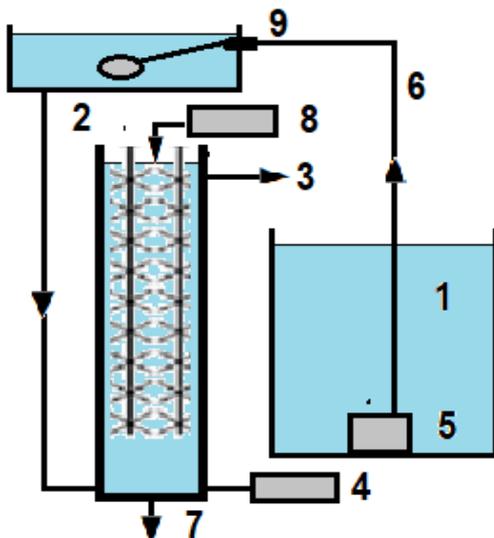
Рисунок 5.36 – Вода из реки Дон



Рисунок 5.37 – Вода из р. Волга



Рисунок 5.38 – Плавательный бассейн



Экспериментальная установка представляет собой прозрачную колонку из органического стекла диаметром 110 мм и высотой 1,6 м (рис.5.39).

- 1 – бассейн с сине-зелёными водорослями;
- 2 – лавсановые ёрши;
- 3 – место отбора проб воды;

- 4 – компрессор для регенерации фильтра;
- 5 – насос;
- 6 – подача исходной «цветущей воды»;
- 7 – отвод воды после промывки фильтра;
- 8 – насос-дозатор раствора коагулянта;
- 9 – регулятор расхода воды.

Рисунок 5.39.- Схема экспериментальной установки с лавсановыми ершами

Для получения сравнительной характеристики эффективности работы пилотной установки с использованием технологий очистки цветущей воды с помощью ершовой загрузки и разных коагулянтов использовались данные опытов, которые проводились в два этапа:

- фильтрация только на ершовой загрузке;
- с добавлением коагулянта «УНИКОСА», коагулянта «КМП-30» и коагулянта «Оксихлорид Al (В)».

Регенерация фильтров проводились по мере достижения потерь напора 2,5 – 3,0 см (в зависимости от изменения уровня и расхода воды) и загрязнения фильтров с ершовой загрузкой. В начале промывки закрывалась задвижка на трубопроводе подачи исходной воды и открывалась задвижка на сбросе промывной воды. Воздух подавался компрессором снизу и за счёт перепада давления в колонке вода обратным током промывала плавающую загрузку. При этом осветлённую воду сбрасывали по самотечному коллектору в экспериментальный бассейн. Осадок из резервуара периодически отбирался на механическое обезвоживание. Результаты этих исследований представлены на рисунках 5.40 и 5.41.

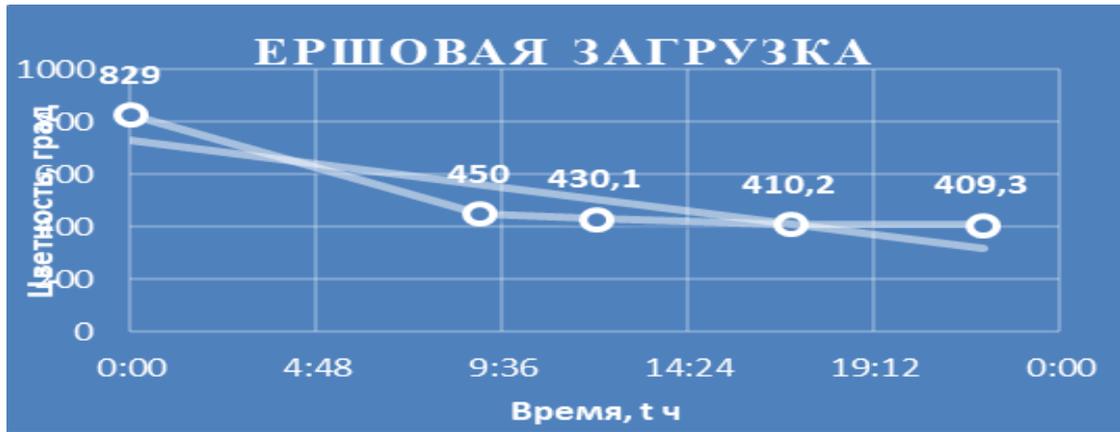


Рисунок 5.40 – Зависимость цветности воды от времени фильтрования воды с сине-зелёными водорослями через лавсановые ерши.

Эффективность очистки воды от сине-зелёных водорослей оценивалась по цветности и мутности воды при её фильтровании через лавсановые ерши. Цветность воды определялась сравнением пробы со шкалой цветности, а мутность воды определялась фотометрическим способом путём сравнения со стандартными суспензиями.



Рисунок 5.41 – Зависимость мутности воды от времени фильтрования воды с сине-зелёными водорослями через лавсановые ерши

На рисунках видно, что эффективность электроосаждения сине-зелёных водорослей на лавсановых ершах составляет 70 %.

С целью повышения эффективности электроосаждения сине-зелёных

водорослей на лавсановых ершах проводились исследования с добавлением в воду коагулянтов: УНИКО-СА, КМП-30, ОКСИХЛОРИД  $Al(V)$ . Результаты этих исследований представлены на рисунках 5.42 и 5.43.

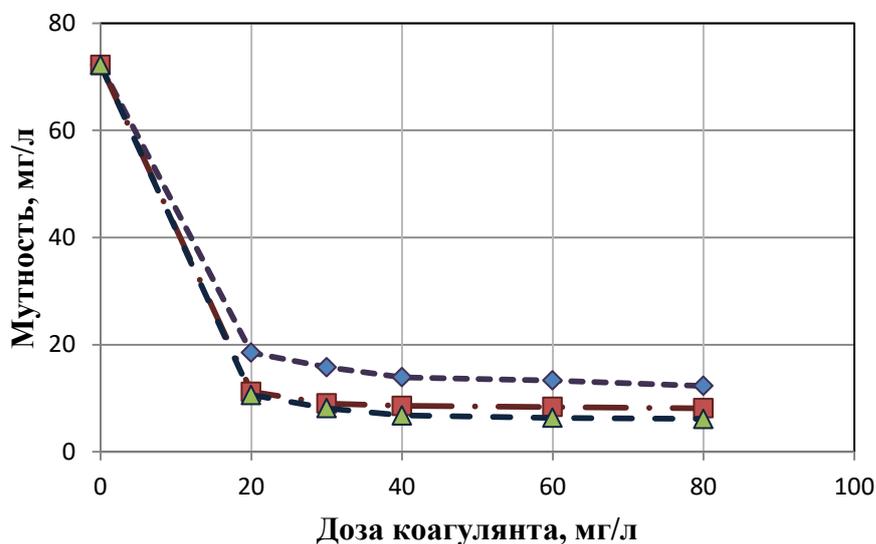


Рисунок 5.42 – Эффективность изменения мутности воды при её фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой

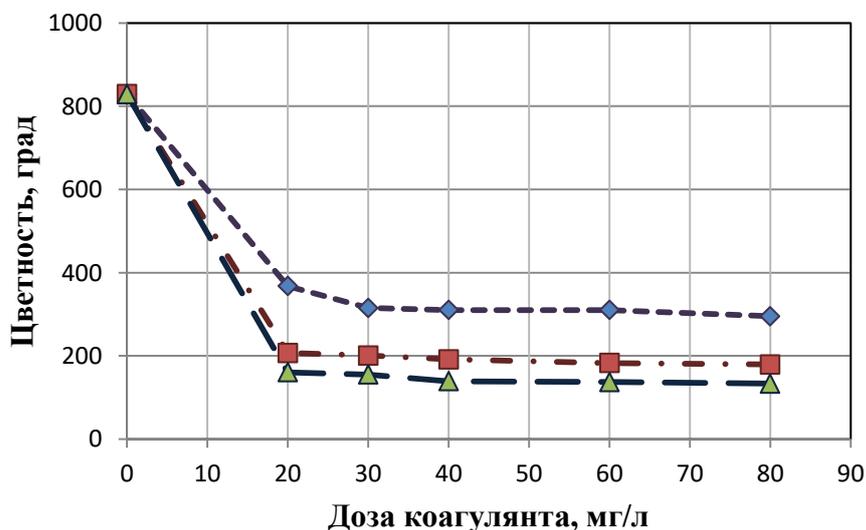


Рисунок 5.43 – Зависимость изменения цветности воды при её фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой

Результаты исследования показали, что использование коагулянтов повышает эффективность электроосаждения сине-зелёных водорослей до 95-

98%. Данный способ защиты от сине-зелёных водорослей может с успехом использоваться в аванкамерах насосных станций.

По результатам анализа проведённых исследований было установлено, что при использовании только ершовой загрузки без коагулянтов удаляется до 60-70% сине-зелёных водорослей, а вместе с коагулянтом – более 90 -98%.

По результатам проведённых исследований автором предложена новая конструктивно-технологическая разработка (КТР-2) для защиты водоприёмника от токсичных сине-зелёных водорослей, впервые с использованием конструкции «Ерша» для очистки питьевой воды. КТР-2 по функциональному назначению обеспечивает защиту от токсичных сине-зелёных водорослей в акватории водозаборного ковша (до 70%) и окончательную защиту в аванкамере насосных станций с добавлением коагулянтов (до 98%). На основе полученных нами результатов комплексных исследований по разработке конструктивно-технологической схемы по обеспечению защиты сооружения от токсичных сине-зелёных водорослей в пределах ВС мелиоративных систем с использованием «Ершей», важным фактором обеспечения эффективной защиты в конструктивно-технологической схеме является плановое размещение «Ершей» в акватории водохозяйственного технологического комплекса (рис.5.44) или дополнительное устройство фильтрующих кассет (рис.5.45).

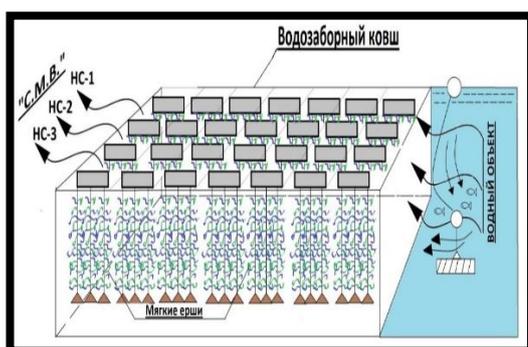


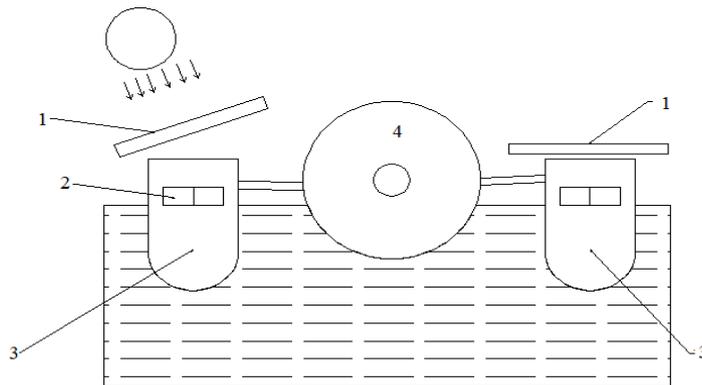
Рисунок 5.44– Размещение ершей



Рисунок 5.45– Фильтрующие ершовые кассеты

Плановое размещение мягких «Ершей» в акватории водозабора и в открытых каналах мелиоративных систем рекомендуется устанавливать на водной поверхности, занимая 70-80% её поверхности. Использование мягких «Ершей» носит сезонный характер - весенне-летний периоды при интенсивном развитии сине-зелёных водорослей.

Предлагается также очистная установка, плавающая и циркулирующая по акватории водохранилища днём и ночью (рис.5.46).

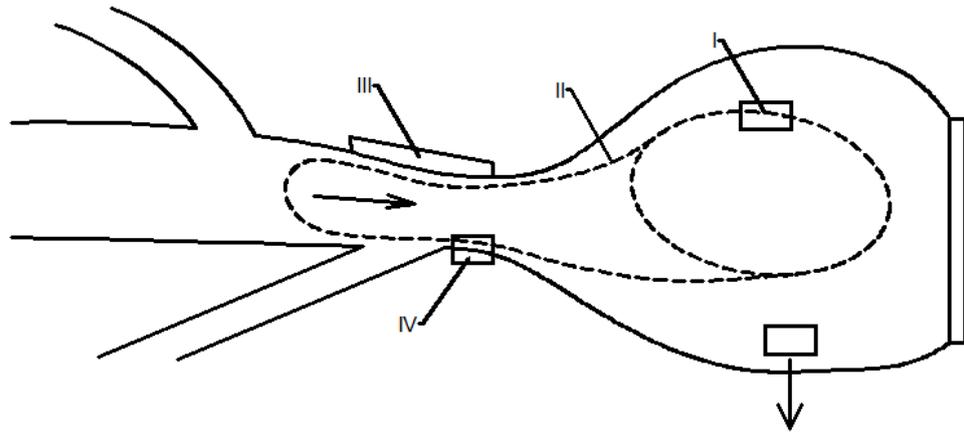


1 - солнечные батареи; 2 - бак с запасом жидкого топлива для дизель-генератора; 3 - плавающие понтоны; 4 - «Ерши»

Рисунок 5.46 – плавающая очистная установка

На рисунке показана комплектность очистной установки устройствами для автономного энергоснабжения, вращения биоротора и перемещения очистной установки по акватории водоёма.

На рисунке 5.47 показана траектория перемещения плавающей очистной установки по акватории водоёма, место размещения пункта для регенерации ершовой загрузки, выделения и переработки выделенной избыточной биомассы гидробионтов, очищаемых воду водоёма в органоминеральное удобрение, пляжная полоса берега, подлежащая обеззараживанию очищенной водой для обеспечения безопасного отдыха людей.



- I. Очистная плавающая станция биологической очистки воды;
- II. Траекторий перемещения очистной станции по акватории водоёма;
- III. Пункт размещения узла регенерации ершовой насадки;
- IV. Береговая полоса, используемая в качестве пляжа.

Рисунок 5.47 - Траектория перемещения плавающей очистной установки по акватории водоёма

Поскольку очистная установка локальная, то она должна быть мобильной и ориентироваться на собственную систему энергообеспечения. Днём источником электроэнергии могут быть источники, использующие световую энергию солнца. В ночное время электроэнергию могут давать аккумуляторы, заряженные днём от преобразования солнечного света в электроэнергию.

При движении комплекса плавучей очистной установки и вращении биобарабана, снабжённого ершовой насадкой в поток воды водохранилища, загрязнённой водной растительностью, пронизывая ерши, очищается от водорослей, вследствие сорбции на волокнах ершей.

Периодически (один раз в сутки) установка прибывает к пристани, и ерши регенирует, удаляя прирост. Способ биологической очистки водоёма, содержащей органические примеси и биогенные элементы воды может быть использован для очистки воды морей, рек, водохранилищ, при водоподготовке оросительной воды, для забора воды в водоочистную станцию питьевого и технического водоснабжения, для обеззараживания пляжной береговой поло-

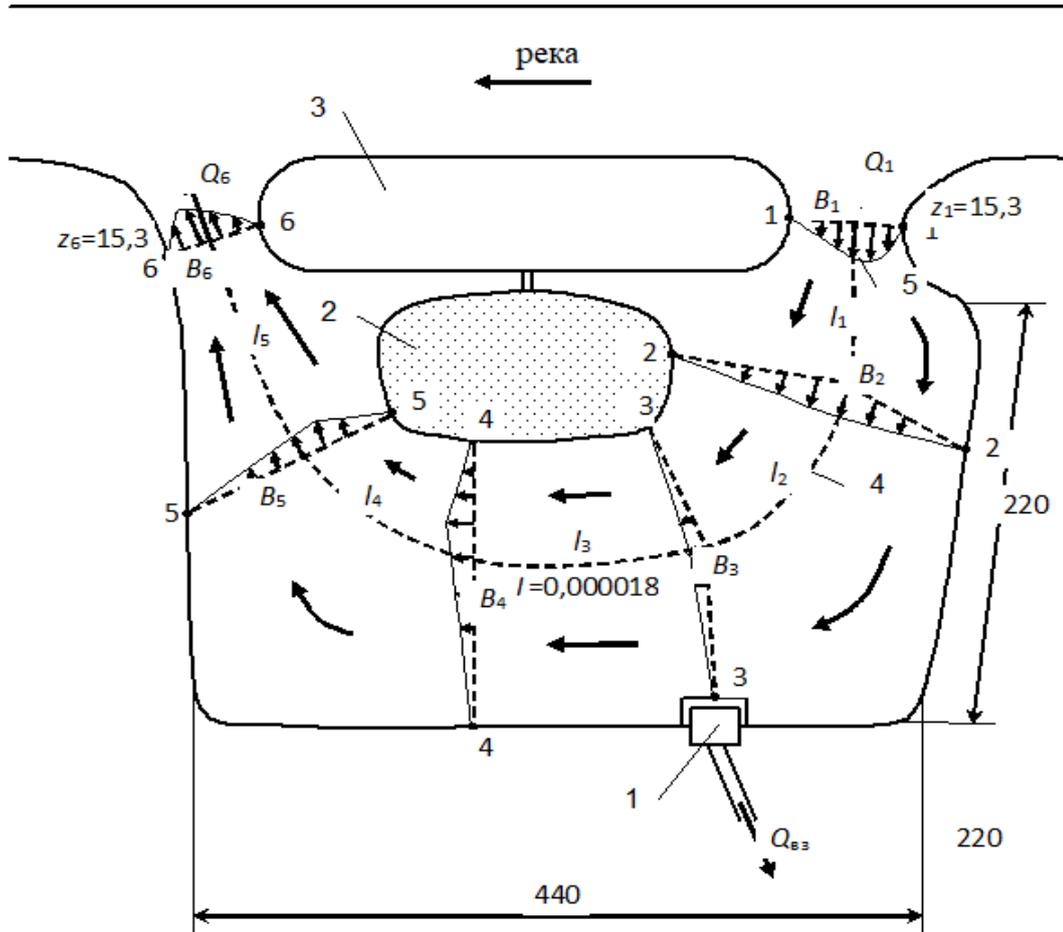
сы, для выделения избыточной биомассы гидробионтов с целью получения органоминеральных удобрений.

В завершении периода использования мягких «Ершей», на их поверхностях накапливается значительное количество биомассы, которая является хорошим кормом для молоди рыб, выращиваемой на действующих рыбзаводах, и используется в мелиорации как зелёные и органо-минеральных удобрения [62, 97, 165, 194, 201, 218, 237, 243].

#### 5.4 Разработка компьютерной гидродинамической модели течения потока для защиты водозаборов от сине-зелёных водорослей в придонных слоях водоёма – водоприёмника

Дополнительно к разработанному защитному устройству для защиты водозаборов от сине-зелёных водорослей в придонных слоях водоёма - водоприёмника был использован программный продукт «Multiphysics» [111, 112, 257, 281]. Программный продукт предназначен для моделирования физических процессов с помощью решения дифференциальных уравнений методом конечных элементов, который обеспечивает получение нужных расчётных значений для проведения инженерных мероприятий по защите отбираемой воды от сине-зелёных водорослей в придонных слоях воды и обеспечения функциональной работы водохозяйственных систем.

Расчёт основных гидравлических характеристик водоприёмника - водозабора на основе гидродинамической модели. Гидродинамическая модель водоприёмника-водозабора представлена на рисунке 5.48.



1 – водозабор; 2 – песчаный остров; 3 – остров, образованный береговой линией р. Казым; 4 – линия, соединяющая середины сечений; 5 – эпюры средних скоростей на вертикалях;  $Q_1$  – расход на входе в водоприёмник;  $Q_6$  – расход на выходе из

**Рисунок 5.48 – Схема гидродинамической модели водоприёмника (затона) водозабора (при  $z = 15,30$  м).**

Расчёт проводился по гидравлическим формулам для условий установившегося равномерного движения с учётом баланса расходов и неразрывности потока.

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 + Q_{вз} = Q_4 + Q_{вз} = Q_5 + Q_{вз} = Q_6 + Q_{вз} = \text{const} \quad (5.1).$$

При этом для вычисления расчётного расхода потока, поступающего из реки во входное сечение водоприёмника 1-1  $Q_1$ , необходимо определить площадь живого сечения, среднюю глубину, гидравлический радиус, среднюю скорость сечения. С целью сравнения проведём также расчёт расхода при уровне в период съёмки  $z = 15,30$  м и при минимальном расчётном

уровне  $z = 14,55$  м.

Найдём площади живого сечения на входе в водоприёмник в сечении 1-1 по построенным поперечным профилям при различных уровнях воды:  
при

$$z_{1P=95\%} = 14,55 \text{ м } \omega_1 = \sum \Delta \omega_i = 8,89 \text{ м}^2; \quad (5.2)$$

$$\text{при } z_{1P=90\%} = 14,69 \text{ м } \omega'_1 = \sum \Delta \omega'_i = 14,21 \text{ м}^2; \quad (5.3)$$

$$\text{при } z_1 = 15,30 \text{ м } \omega''_1 = \sum \Delta \omega''_i = 49,3 \text{ м}^2 \quad (5.4).$$

Средняя глубина воды в живом сечении определяется по формулам:

$$h_{\text{cp1}} \Big|_{z_1=14,55} = \frac{\omega_1}{B_1} = \frac{8,89}{39,0} = 0,23 \text{ м}; \quad (5.5)$$

$$h_{\text{cp}} \Big|_{z_1=14,69} = \frac{\omega'_1}{B'_1} = \frac{14,21}{42,5} = 0,33 \text{ м}; \quad (5.6)$$

$$h_{\text{cp}} \Big|_{z_1=15,30} = \frac{\omega''_1}{B''_1} = \frac{49,3}{72,5} = 0,68 \text{ м} \quad (5.7),$$

где  $B_1$  – ширина сечения по урезу воды:  $B_1 = 39,0$  м при  $z_1 = 14,55$  м;  
 $B'_1 = 42,5$  м при  $z_1 = 14,69$  м;  $B''_1 = 72,5$  м при  $z_1 = 15,30$  м.

Гидравлический радиус для водотоков при  $B \gg h_{\text{cp}}$  принимается приближённо равным  $R \approx h_{\text{cp}}$ :

$$\text{при } z_1 = 14,55 \text{ м} - R_1 = 0,23 \text{ м}; \quad (5.8)$$

$$\text{при } z_1 = 14,69 \text{ м} - R_1 = 0,33 \text{ м}; \quad (5.9)$$

$$\text{при } z_1 = 15,30 \text{ м} - R_1 = 0,68 \text{ м} (5.10).$$

Средняя скорость в живом сечении определяется по формуле Шези для условий равномерного движения [253]:

$$v = C\sqrt{RI} \quad , \quad (5.11)$$

где  $C$  – коэффициент Шези, вычисляемый по формуле (5.11) Н.Н. Павловского [112]:

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (5.12)$$

$n$  – коэффициент шероховатости, принимаем по справочнику [112,, табл. 4.5], как для больших земляных каналов и рек в благоприятных условиях:

$$n = 0,025 (5.13)$$

$y$  – показатель степени: при  $R < 1,0$  м

$$y \approx 1,5\sqrt{n} = 1,5 \cdot \sqrt{0,025} = 0,237 (5.14).$$

Тогда коэффициент Шези будет равен:

$$\text{при } z_1 = 14,55 \text{ м} - C = \frac{1}{0,025} \cdot 0,23^{0,237} = 28,18 \text{ м}^{0,5}/\text{с}; \quad (5.15)$$

$$\text{при } z_1 = 14,69 \text{ м} - C = \frac{1}{0,025} \cdot 0,33^{0,237} = 30,84 \text{ м}^{0,5}/\text{с}; \quad (5.16)$$

$$\text{при } z_1 = 15,30 \text{ м} - C = \frac{1}{0,025} \cdot 0,68^{0,237} = 36,50 \text{ м}^{0,5}/\text{с} \quad (5.17).$$

Средние скорости течения потока в сечении 1-1 составят:

$$\text{при } z_1 = 14,55 \text{ м} - v_1 = 28,18 \cdot \sqrt{0,23 \cdot 0,000018} = 0,057 \text{ м/с}; \quad (5.18)$$

$$\text{при } z_1 = 14,69 \text{ м} - v_1 = 30,84 \cdot \sqrt{0,33 \cdot 0,000018} = 0,076 \text{ м/с}; \quad (5.19)$$

$$\text{при } z_1 = 15,30 \text{ м} - v_1 = 36,50 \cdot \sqrt{0,68 \cdot 0,000018} = 0,127 \text{ м/с} \quad (5.20).$$

Расход воды, поступающей через сечение 1-1 в водоприёмник, найдем как:

$$\text{при } z_1 = 14,55 \text{ м} - Q_1 = \omega_1 \cdot v_1 = 8,89 \cdot 0,057 = 0,51 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (5.21)$$

$$\text{при } z_1 = 14,69 \text{ м} - Q_1 = \omega'_1 \cdot v_1 = 14,21 \cdot 0,076 = 1,07 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (5.22)$$

$$\text{при } z_1 = 15,30 \text{ м} - Q_1 = \omega''_1 \cdot v_1 = 49,3 \cdot 0,127 = 6,24 \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.23).$$

Расход водозабора (проектный) составляет:

$$Q_{\text{вз}} = 15\,000 \text{ м}^3/\text{сут} = 0,174 \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.24)$$

(по другим данным  $Q_{\text{вз}} = 5\,000 \text{ м}^3/\text{сут} = 0,053 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

Тогда расход водозабора при минимальном уровне 95 % обеспеченности  $z_1 = 14,55 \text{ м}$  составляет 33 % от расхода, поступающего через сечение 1-1

в водоприёмник, а при минимальном уровне 90% обеспеченности  $z_1 = 14,69 \text{ м} - 16\%$  от расхода в сечении 1-1.

Расчёт средних скоростей на вертикалях по ширине русла проводится по методике Г.В. Железнякова с использованием следующих формул:

$$\bar{u}_b = C_b \cdot \sqrt{I \cdot h_b} = \frac{\sqrt{I}}{n} \cdot h_b^{1/3} = m^* \cdot h_b^{2/3}, \quad (5.25)$$

где  $\bar{u}_b$  – средняя скорость на вертикали;

$C_b$  – коэффициент Шези на вертикали;

$h_b$  – глубина воды на вертикали;

$m^*$  – коэффициент при  $h_b$ , равный отношению  $m^* = \sqrt{I}/n$ .

Средняя скорость потока в живом сечении по данным скоростей на вертикалях вычисляется как интеграл:

$$v = \frac{1}{\omega} \cdot \int_0^B u_b \cdot h_b \cdot dB. \quad (5.26).$$

Вычислим среднюю скорость на вертикалях для сечения 1-1 при уровне воды  $z_1 = 14,55 \text{ м}$ , предварительно найдя коэффициент:

$$m^* = \frac{\sqrt{I}}{n} = \frac{\sqrt{0,000018}}{0,025} = 0,170 \quad (5.27).$$

Используя полученные данные по глубинам на поперечном профиле в сечении 1-1, найдем:

$$\text{при } \Delta b = 1,0 \text{ м, } h_b = 0,04 \text{ м} - \bar{u}_b = m^* \cdot h_b^{0,67} = 0,170 \cdot 0,04^{0,67} = 0,020 \text{ м/с}; \quad (5.28)$$

$$\text{при } \Delta b = 6,0 \text{ м, } h_{\text{в}} = 0,49 \text{ м} - \bar{u}_{\text{в}} = 0,170 \cdot 0,49^{0,67} = 0,105 \text{ м/с}; \quad (5.29)$$

$$\text{при } \Delta b = 6,0 \text{ м, } h_{\text{в}} = 0,39 \text{ м} - \bar{u}_{\text{в}} = 0,170 \cdot 0,39^{0,67} = 0,09 \text{ м/с}; \quad (5.30)$$

$$\text{при } \Delta b = 12,0 \text{ м, } h_{\text{в}} = 0,19 \text{ м} - \bar{u}_{\text{в}} = 0,170 \cdot 0,19^{0,67} = 0,056 \text{ м/с}; \quad (5.31)$$

$$\text{при } \Delta b = 5,0 \text{ м, } h_{\text{в}} = 0,11 \text{ м} - \bar{u}_{\text{в}} = 0,170 \cdot 0,11^{0,67} = 0,039 \text{ м/с}; \quad (5.32)$$

$$\text{при } \Delta b = 4,5 \text{ м, } h_{\text{в}} = 0,04 \text{ м} - \bar{u}_{\text{в}} = 0,170 \cdot 0,04^{0,67} = 0,020 \text{ м/с}; \quad (5.33)$$

$$\text{при } \Delta b = 3,5 \text{ м, } h_{\text{в}} = 0 - \bar{u}_{\text{в}} = 0 \quad (5.34).$$

Следует отметить, что для других сечений 2-2, 3-3...6-6, кроме сечения 1-1, в гидродинамической модели предусматривается калибровка этих сечений по приведённому коэффициенту шероховатости  $n_{\text{пр}}$ . Калибровка проводится исходя из условия баланса расходов во всех сечениях по вышеприведённому уравнению. При этом приведённый коэффициент шероховатости рассчитывается по зависимости:

$$n_{\text{пр}} = \frac{\omega}{Q} \cdot h_{\text{ср}}^{y+0,5} \cdot I^{0,5} \quad (5.35).$$

Используя вышеприведённые данные, становится возможным рассчитать коэффициент шероховатости для  $z_1 = 14,69$ , в сечениях 2-2, 3-3, 4-4, 5-5, 6-6:

$$n_{\text{пр2-2}} = \frac{\omega}{Q} \cdot h_{\text{ср}}^{y+0,5} \cdot I^{0,5} = \frac{274,3}{10,2} \cdot 2,42^{0,706} \cdot 0,0000163^{0,5} = 0,203 ; \quad (5.36)$$

$$n_{\text{пр3-3}} = \frac{\omega}{Q} \cdot h_{\text{ср}}^{y+0,5} \cdot I^{0,5} = \frac{314,3}{10,2} \cdot 3,59^{0,706} \cdot 0,0000163^{0,5} = 0,306 ; \quad (5.37)$$

$$n_{\text{пр4-4}} = \frac{\omega}{Q} \cdot h_{\text{ср}}^{y+0,5} \cdot I^{0,5} = \frac{134,69}{10,2} \cdot 1,04^{0,706} \cdot 0,0000163^{0,5} = 0,0548 \quad (5.38).$$

Коэффициент шероховатости сечения 4-4 после расчистки русла:

$$n'_{\text{пр4-4}} = \frac{\omega}{Q} \cdot h_{\text{ср}}^{y+0,5} \cdot I^{0,5} = \frac{170,7}{10,2} \cdot 1,31^{0,706} \cdot 0,0000163^{0,5} = 0,0816 ; \quad (5.39)$$

$$n_{\text{пр5-5}} = \frac{\omega}{Q} \cdot h_{\text{ср}}^{y+0,5} \cdot I^{0,5} = \frac{286,25}{10,2} \cdot 2,59^{0,706} \cdot 0,0000163^{0,5} = 0,222 ; \quad (5.40)$$

$$n_{\text{пр6-6}} = \frac{\omega}{Q} \cdot h_{\text{ср}}^{y+0,5} \cdot I^{0,5} = \frac{98,89}{10,2} \cdot 1,94^{0,706} \cdot 0,0000163^{0,5} = 0,0627 \quad (5.41).$$

Исследование плановой и профильной модели течения потока в транзитном русле.

Компьютерная модель распределения глубин. Уровень воды на момент проведения съёмки 15,30 м.

Построение компьютерной модели распределения глубин в водоприёмнике осуществлялось методом конечных элементов в программной среде Femlab (Multiphysics). Последовательность компьютерного моделирования:

1. Создаём режим моделирования для уравнения Лапласа на плоскости:

$$\Delta h = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (5.47),$$

где  $h$  – глубина водного потока;  $x$  – абсцисса;  $y$  – ордината;  $\Delta$  – оператор «лапласиан».

2. Строим геометрию расчётной области, представленную на рисунке 5.49 и включающую 337 опорных точек, 12 поперечных профилей, а также продольный средний профиль.

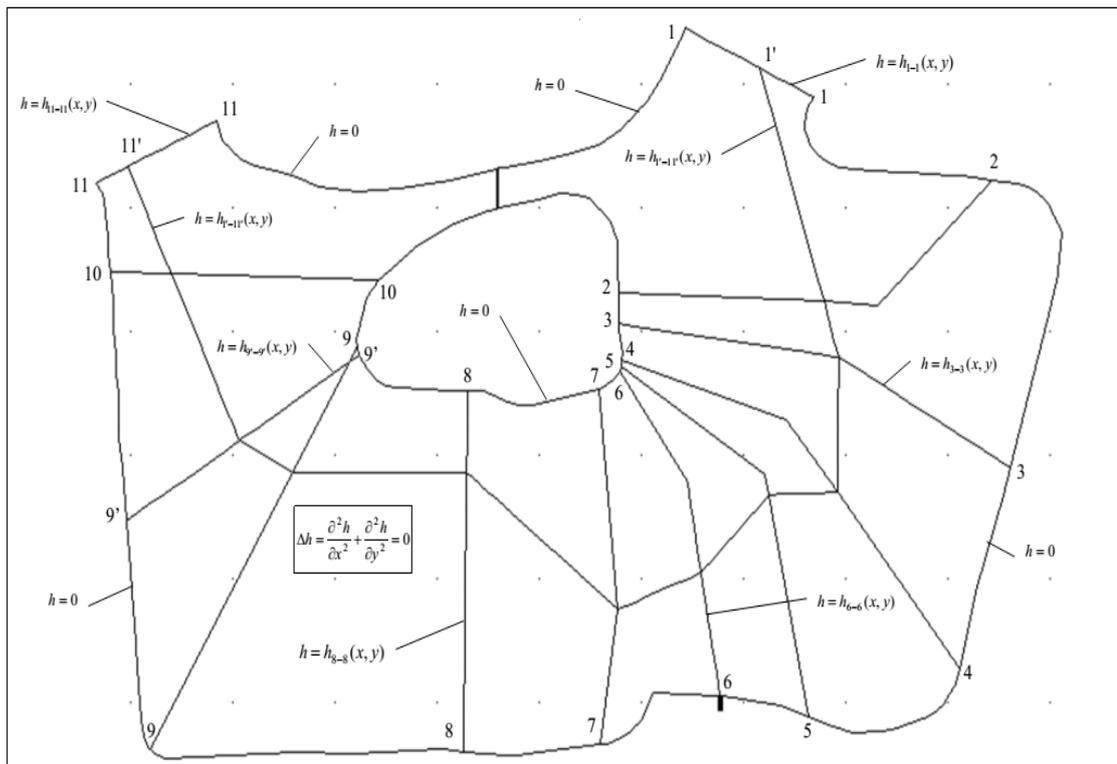


Рисунок 5.49 – Расчётная область и граничные условия в компьютерной модели распределения глубин воды

3. Задаём граничные условия Дирихле.
4. Строим сетку конечных элементов, представленную на рисунке 5.50. Было построено 9598 конечных элементов, представляющих треугольники на плоскости.
5. Произведём расчёт распределения глубин в расчётной области методом конечных элементов. Расчёт занял 0,812 секунды и включал 19655 степеней свободы (или узлов расчётной области).
6. Выполнены настройки вывода результатов, после чего были получены

результаты моделирования распределения глубин в расчётной области. Цветовое распределение глубин представлено на рисунке 5.50.

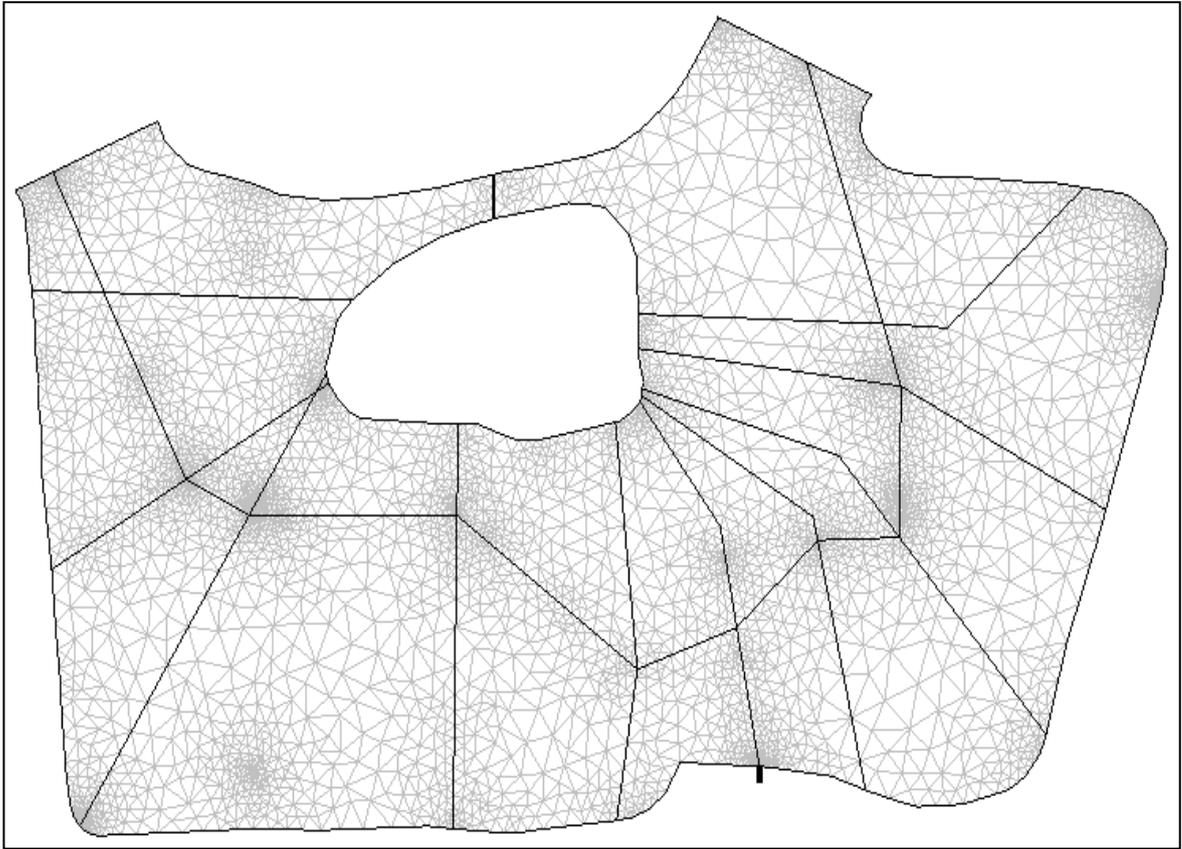


Рисунок 5.50 – Сетка конечных элементов в компьютерной модели распределения глубин воды

Линии равных глубин представлены на рисунке 5.51- 5.52.

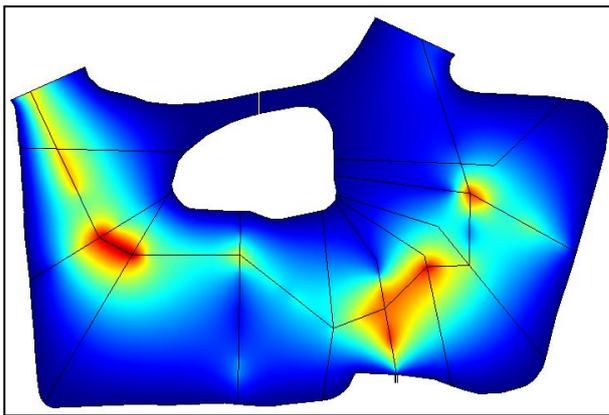


Рисунок 5.51 – Цветовое распределение

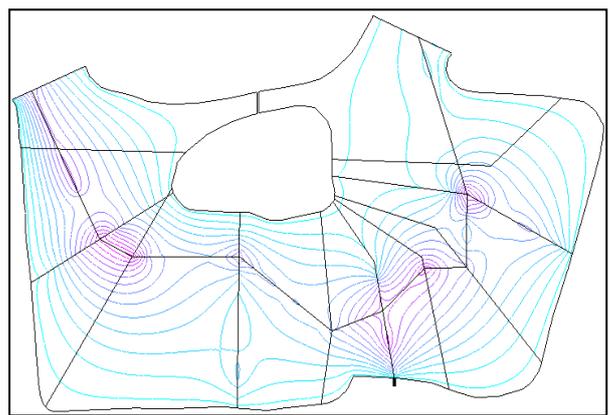
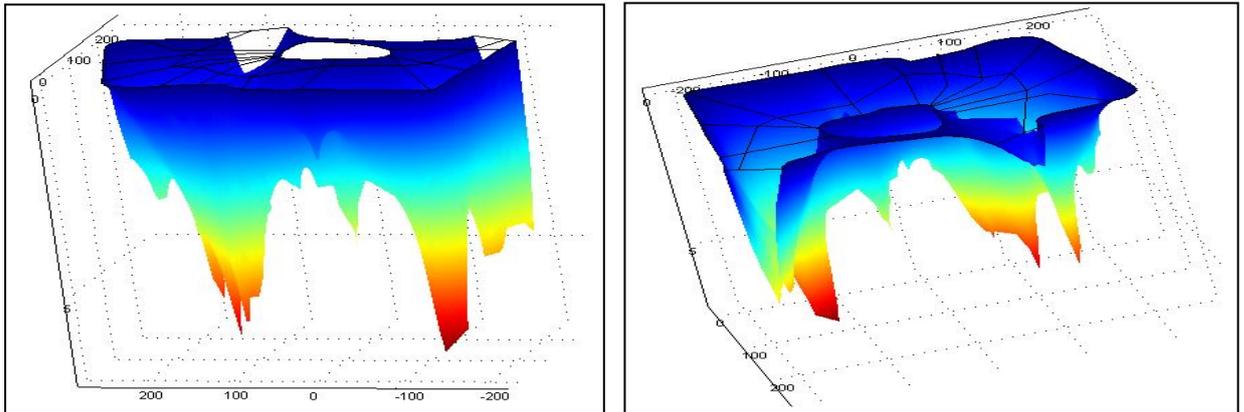


Рисунок 5.52 – Линии равных глубин

Трёхмерное распределение глубин представлено на рисунке 5.53 (а - с переднего ракурса и б - заднего ракурса).



а)

б)

Рисунок 5.53 – Трехмерная глубина потока ( а - спереди) и (б - сзади) в расчётной области компьютерной модели распределения глубин воды

7. Полученная модель может быть сохранена в файле на диске, а графическое представление исходных данных и результатов перенесено в текстовый документ в виде точечных рисунков.

При построении компьютерной модели принималось во внимание, что уровень во входном и выходном сечениях отличается на 1 см. Уровень воды во входном сечении принимался равным 15,31 м, а в выходном сечении был равным 15,30 м.

Построение компьютерной модели распределения уровней воды в водоприёмнике при водозаборе осуществлялось с использованием метода конечных элементов в лицензионном программном продукте Femlab(Multiphysics). Последовательность компьютерного моделирования включает следующие этапы:

1. Сначала задавался режим моделирования для уравнения Лапласа на плоскости:

$$\Delta z = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0 \quad (5.48),$$

где  $z$  – уровень воды;  $x$  – абсцисса;  $y$  – ордината;  $\Delta$  – оператор «лапласиан».

2. Потом строилась геометрия расчётной области, представленная на рисунке 5.54 и включающая 181 опорную точку, а также 12 поперечных профилей.

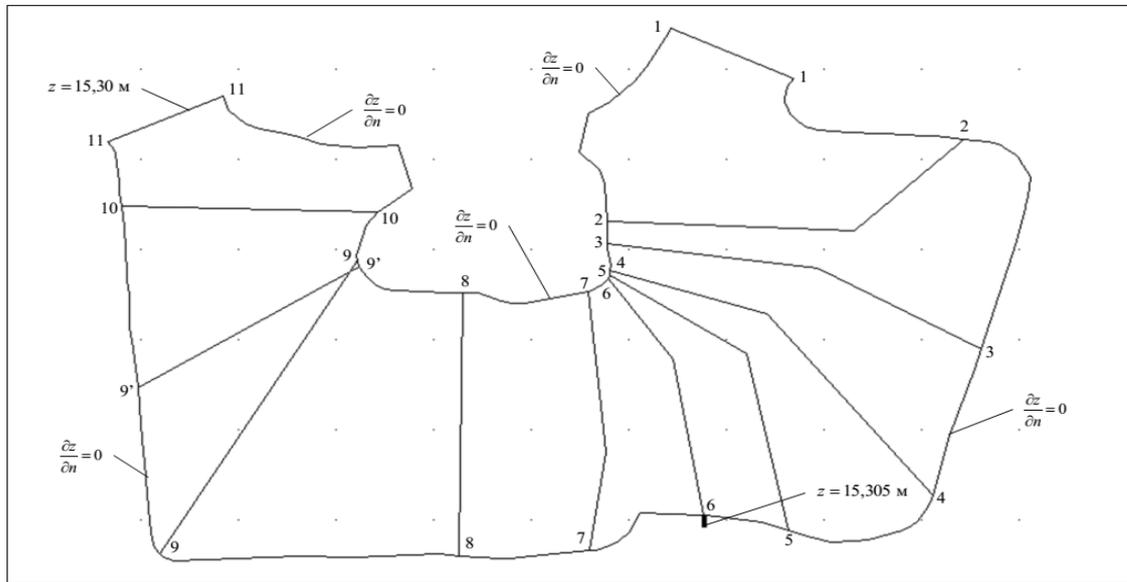


Рисунок 5.54 – Расчётная область и граничные условия в компьютерной модели распределения уровней воды

3. Далее задавались граничные условия;
4. Строилась сетка конечных элементов, представленная на рисунке 5.55. Было построено 6189 конечных элементов, представляющих треугольники на плоскости.
5. Произведён расчёт распределения глубин в расчётной области методом конечных элементов. Расчёт занял 0,25 секунды и включал 12824 степеней свободы (или узлов расчётной области).

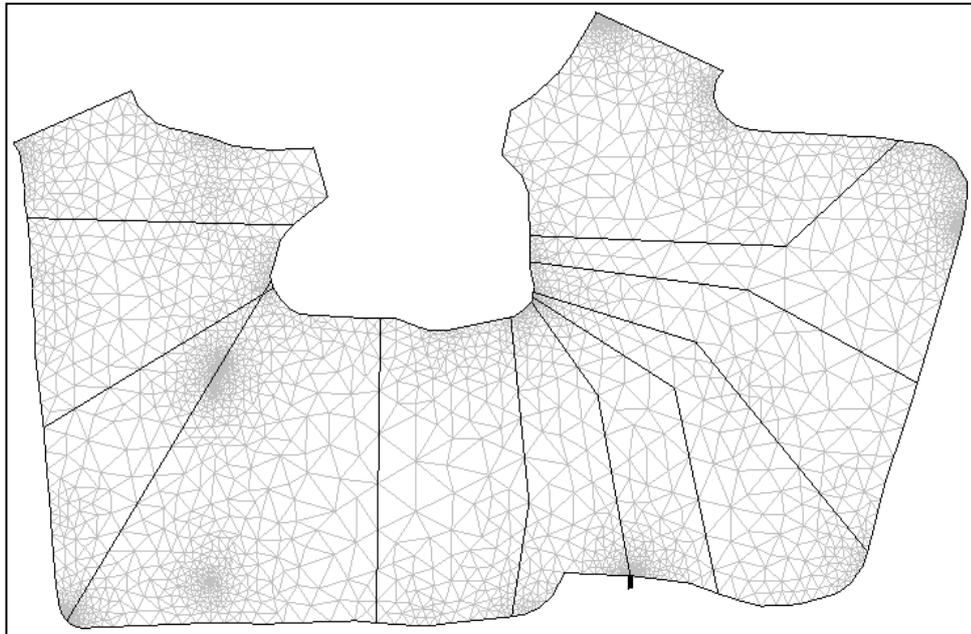


Рисунок 5.55 – Сетка конечных элементов в компьютерной модели  
распределения уровней воды

6. Выполнены настройки вывода результатов, после чего были получены результаты моделирования распределения уровней воды в расчётной области. Цветовое распределение уровней воды представлено на рисунках 5.56. Линии равных глубин представлены на рисунке 5.57.

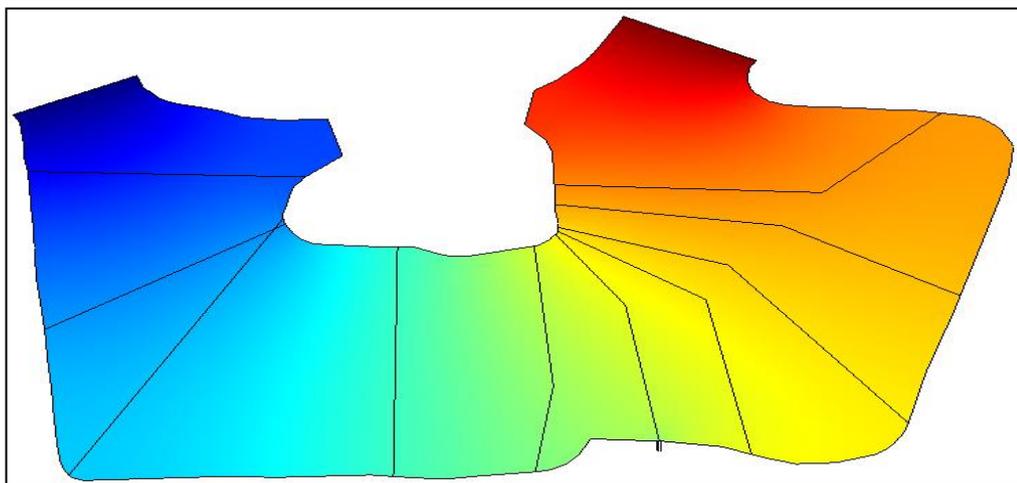


Рисунок 5.56 – Цветовое распределение

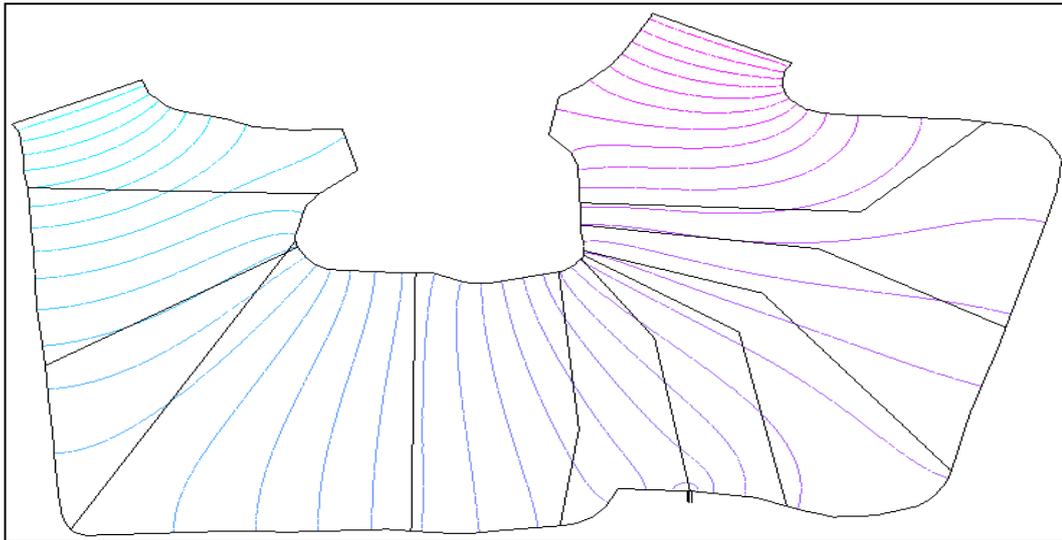
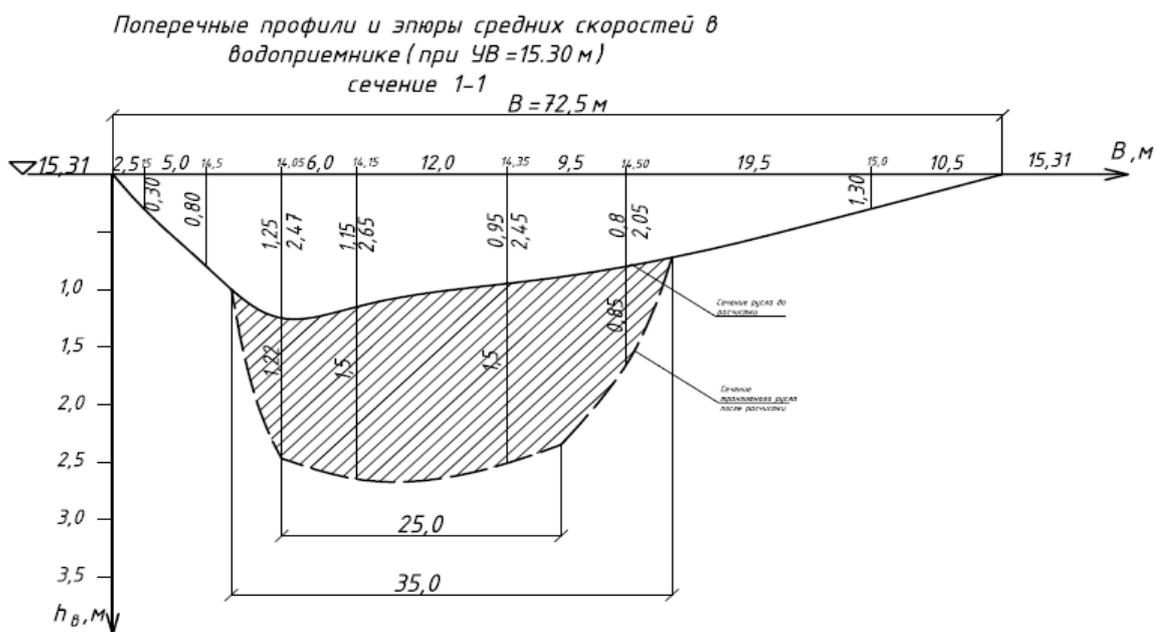


Рисунок 5.57 – Линии равных уровней

7. Модель была сохранена в файле на диске, а графическое представление исходных данных и результатов было перенесено в текстовый документ в виде точечных рисунков.

*Гидродинамическая модель течения потока в транзитном русле.* Гидродинамическая модель водоприёмника водозабора г. Белоярский представляет собой затон с малыми скоростями течения.

Поперечный профиль и эпюра средних скоростей на вертикалях при уровне воды 15,30 м в сечениях от 1-1 до 6-6 представлены на рисунках 5.58 – 5.61



Этюры средних скоростей на вертикалях по ширине русла  
Сечение 1-1

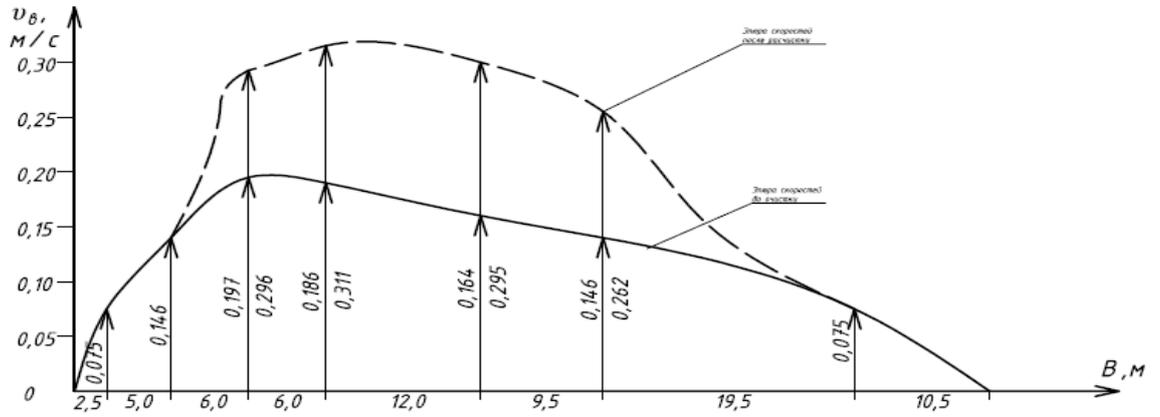
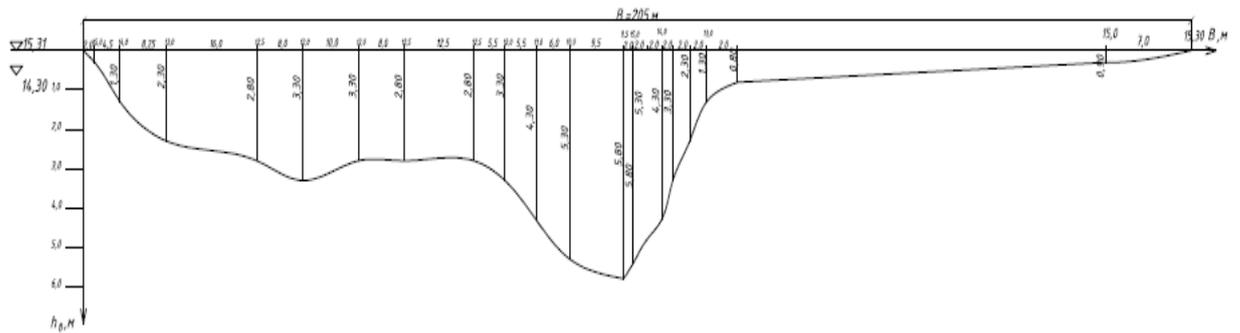


Рисунок 5.58 – Поперечный профиль и этюры средних скоростей на вертикалях в сечении 1-1, при уровне воды 15,30

Поперечный профиль сечения 2-2



Сечение 3-3

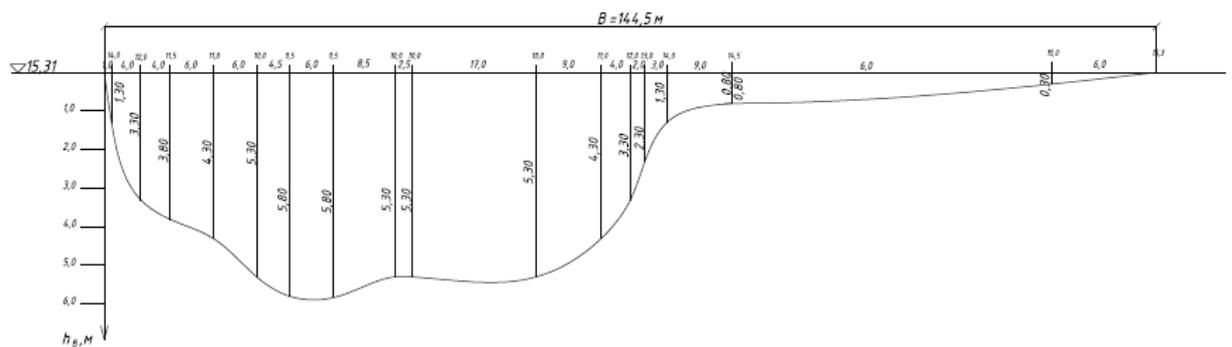


Рисунок 5.59 – Поперечный профиль сечения 2-2,3-3, при уровне воды 15,30м

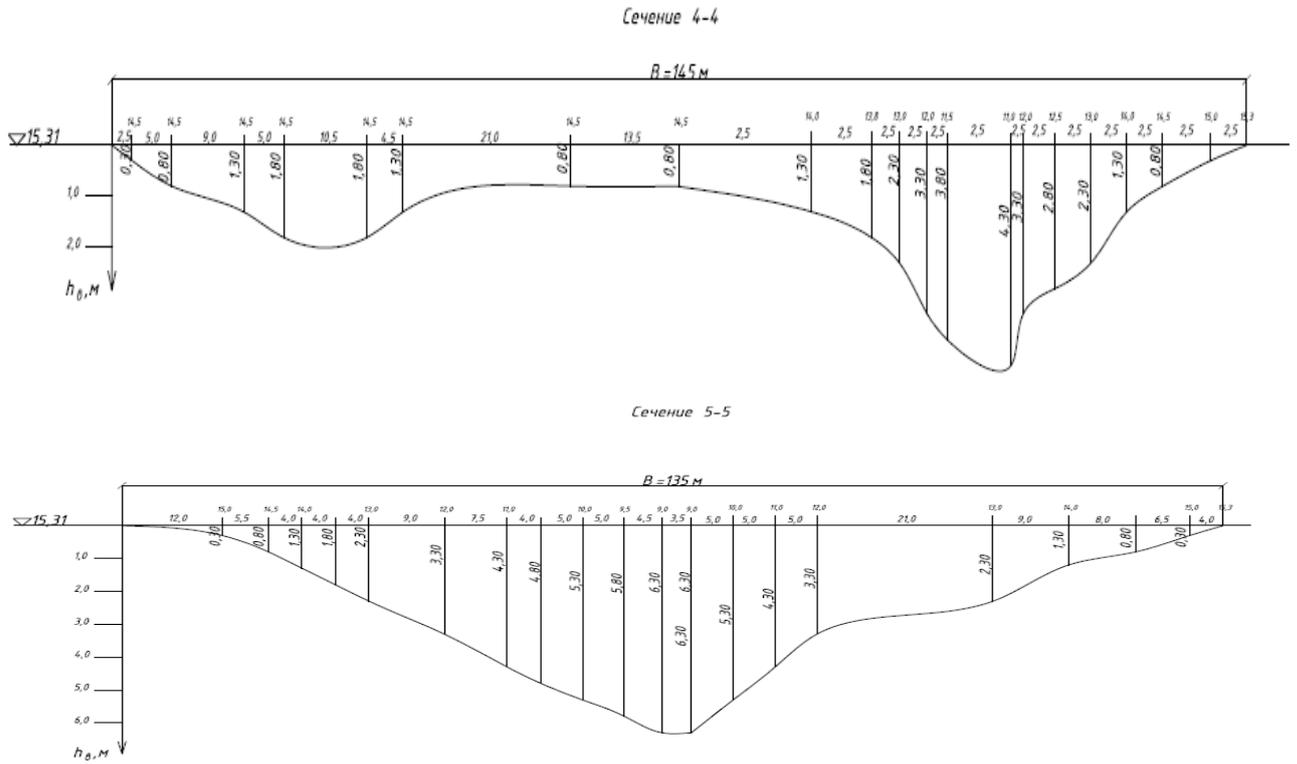


Рисунок 5.60– Поперечный профиль сечения 4-4,5-5, при уровне воды 15,30м

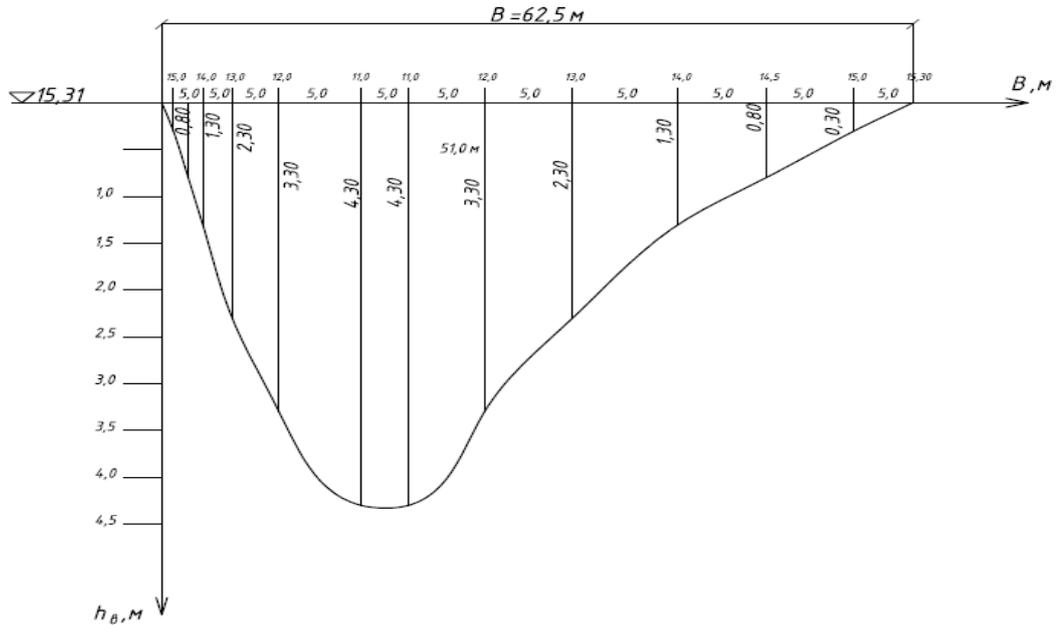


Рисунок 5.61 – Поперечный профиль сечения 6-6 при уровне воды 15,30м  
 Поперечный профиль и эпюра средних скоростей на вертикалях при уровне воды 14.69 м в сечениях от 1-1 до 6-6 представлены на рисунках 5.62 – 5.67

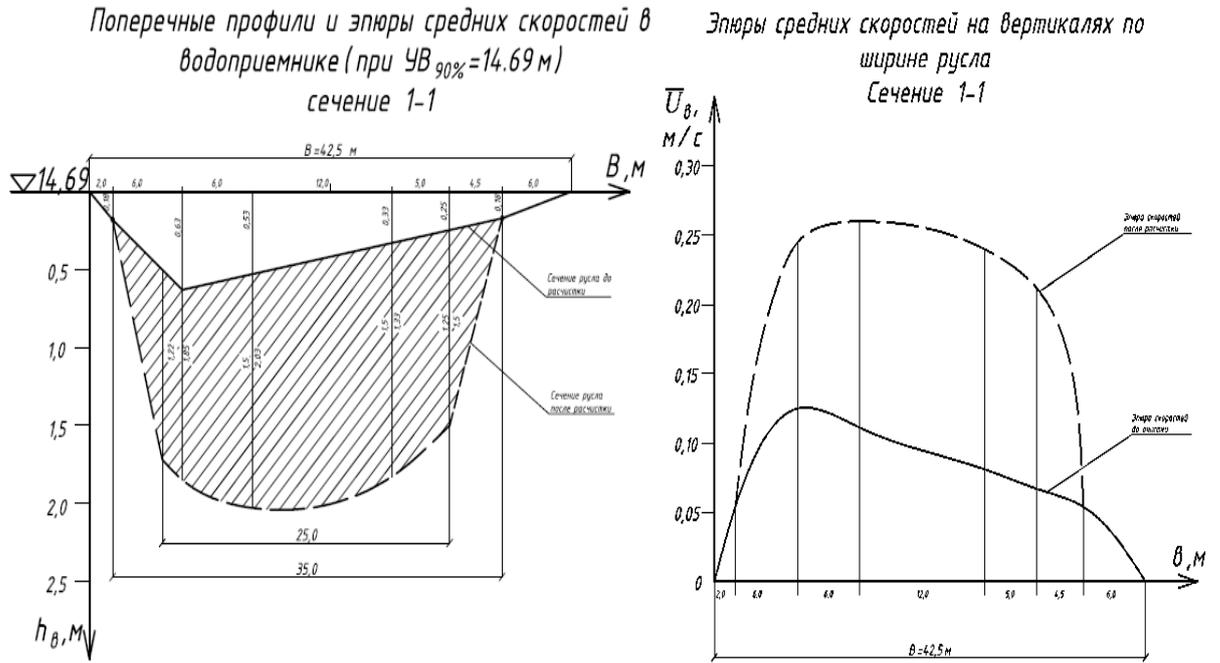


Рисунок 5.62 – Поперечный профиль и эпюра средних скоростей на  
 вертикалях в сечении 1-1 при уровне воды 14,69 м

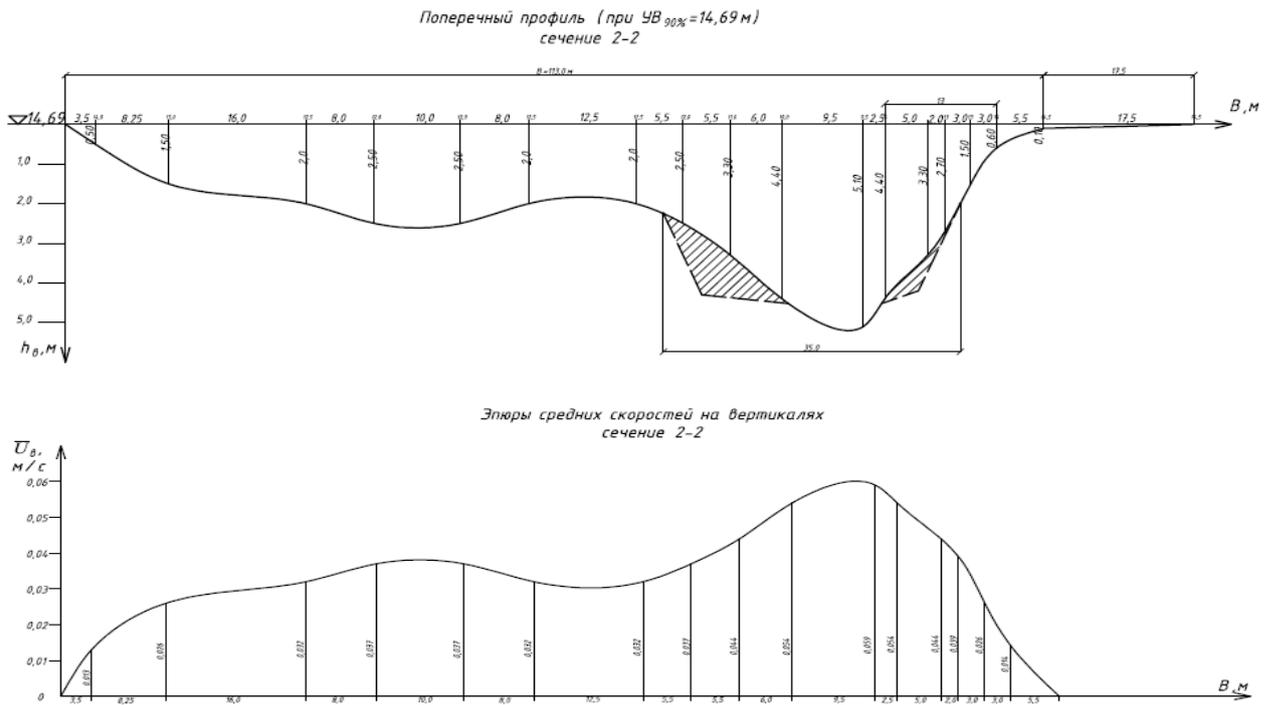
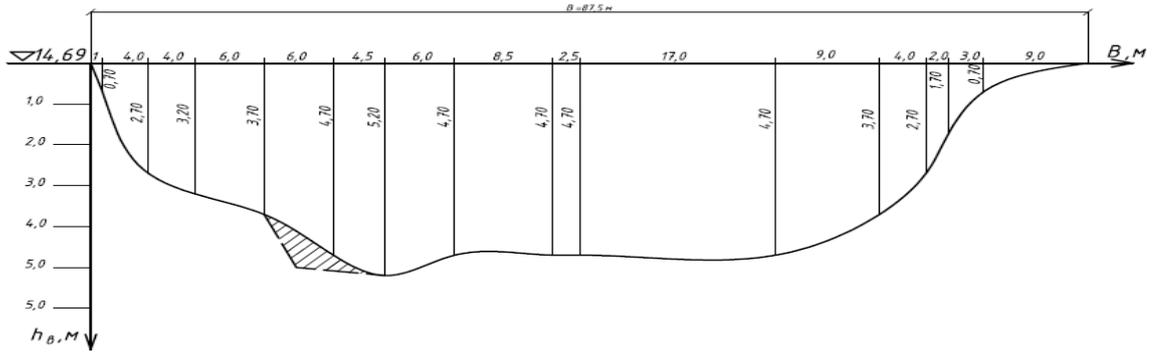


Рисунок 5.63 – Поперечный профиль и эпюры средних скоростей сече-  
 ния 2-2 при уровне воды 14,69

Поперечный профиль (при УВ<sub>90%</sub>=14,69 м)  
сечение 3-3



Эпюры средних скоростей на вертикалях  
сечение 3-3

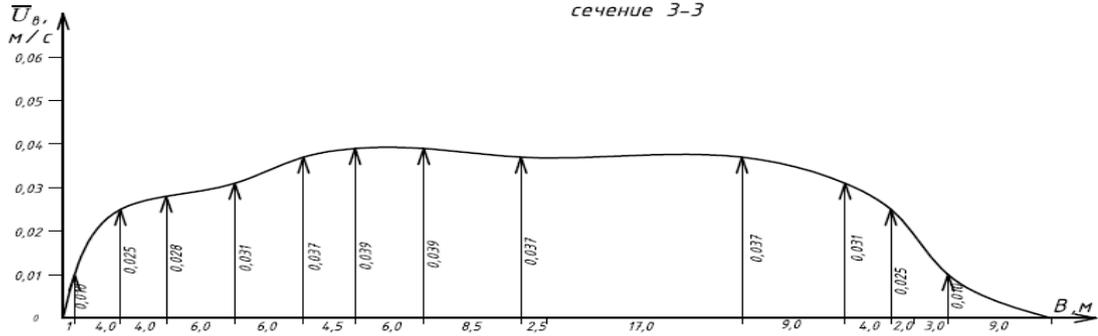
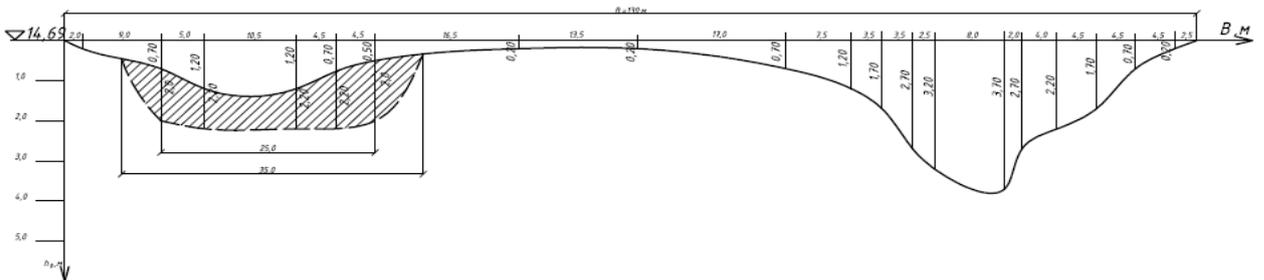


Рисунок 5.64 – Поперечный профиль и эпюры средних скоростей сечения 3-3 при уровне воды 14,69 м

Поперечный профиль (при УВ<sub>90%</sub>=14,69 м)  
сечение 4-4



Эпюры средних скоростей на вертикалях  
сечение 4-4

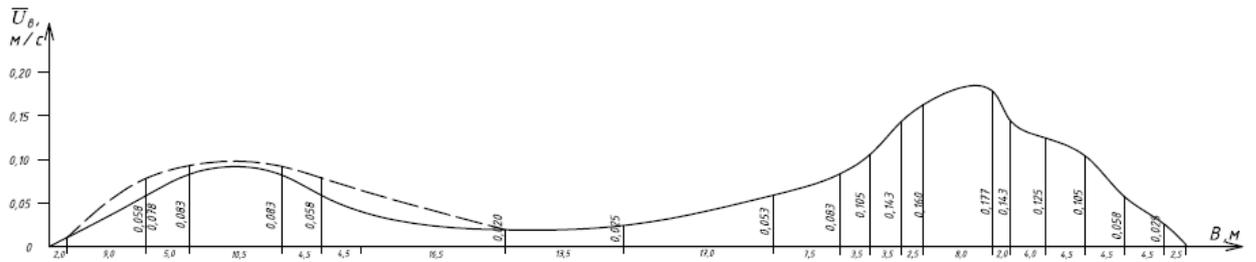


Рисунок 5.65 – Поперечный профиль и эпюры средних скоростей сечения 4-4

при уровне воды 14,69м

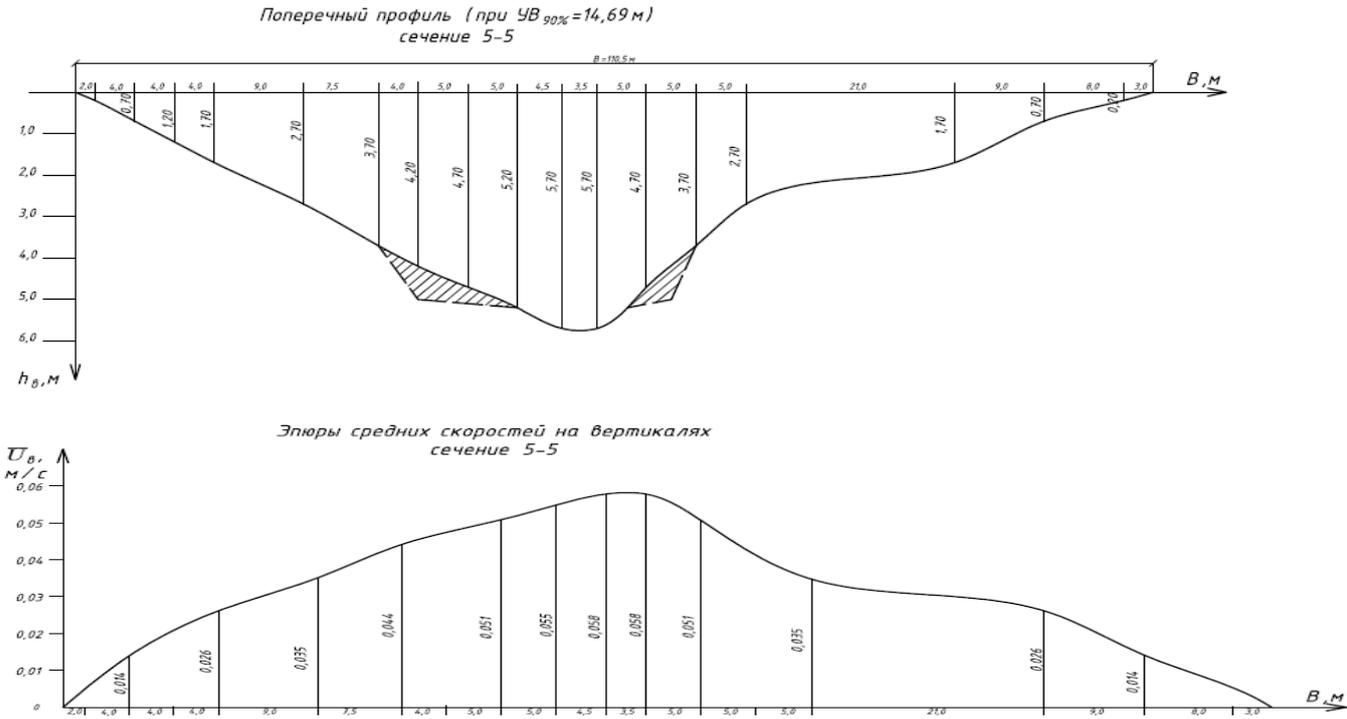


Рисунок 5.66 – Поперечный профиль и эюры средних скоростей сечения 5-5 при уровне воды 14,69м

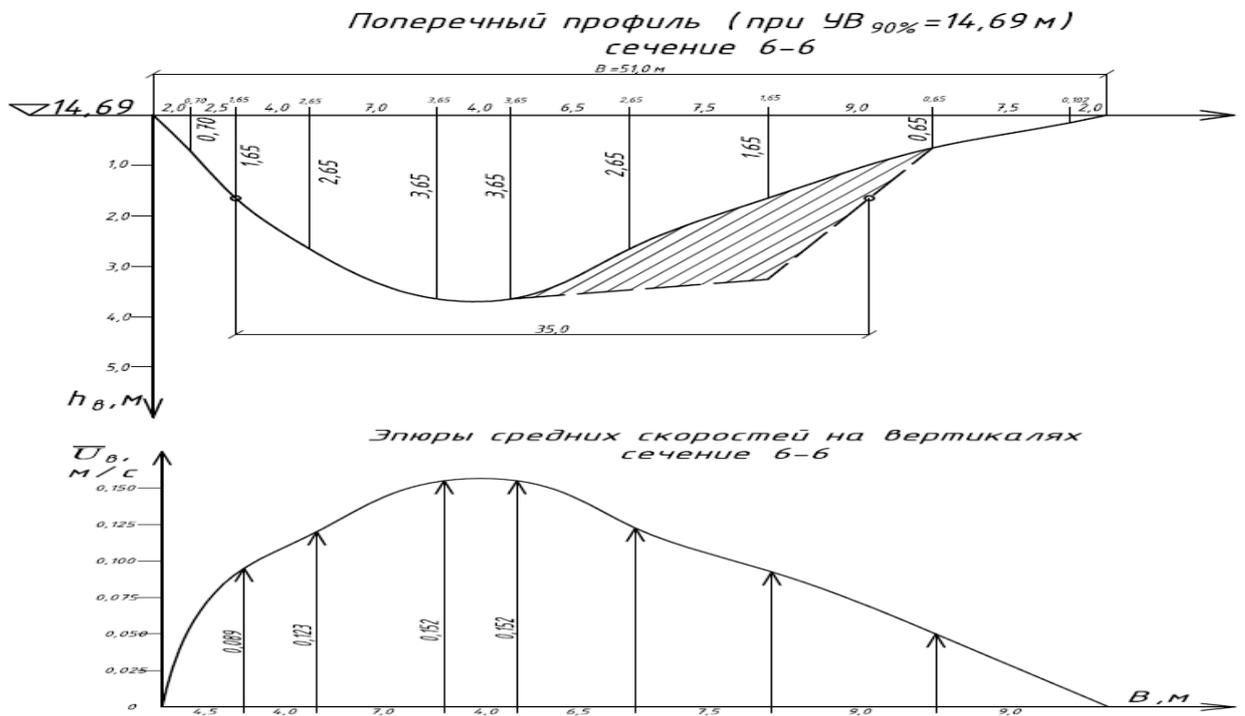


Рисунок 5.67 – Поперечный профиль и эюры средних скоростей сечения 6-6 при уровне воды 14,69м

Поперечный профиль и эюра средних скоростей на вертикалях при уровне

воды 14.55 м в сечениях от 1-1 до 6-6 представлены на рисунках 5.68 – 5.73

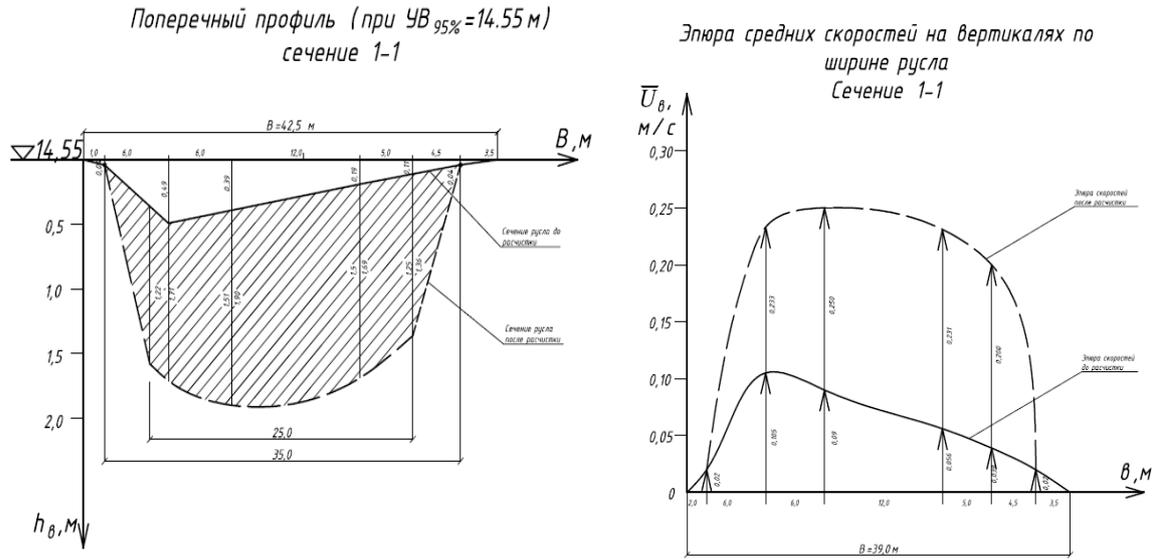


Рисунок 5.68 – Поперечные профили и эпюры средних скоростей на вертикалях в сесении 1 – 1 при уровне воды 14,55 м

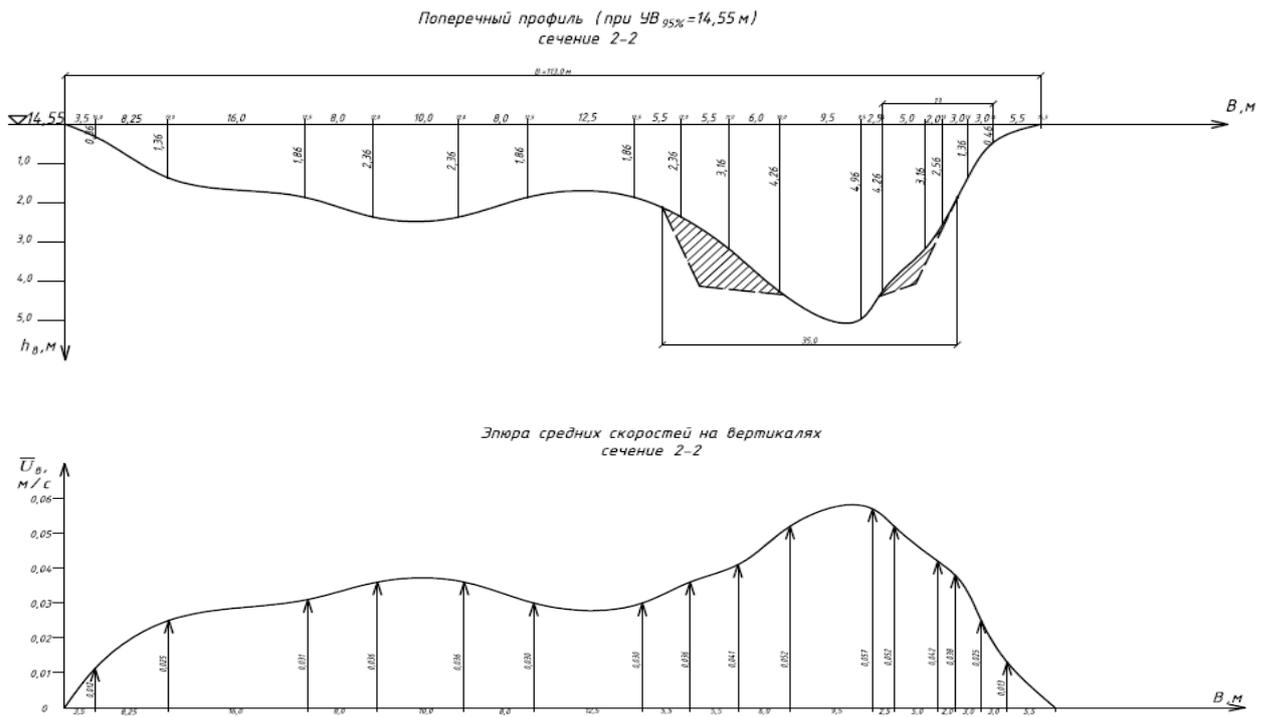
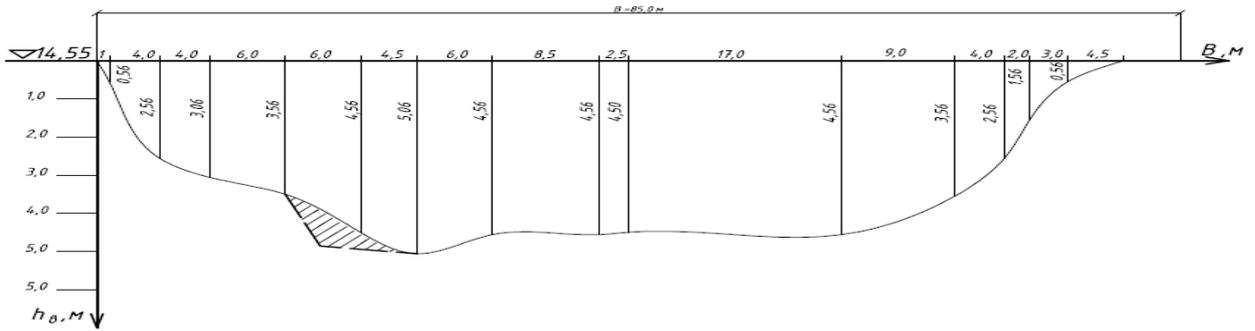


Рисунок 5.69 – Поперечный профиль и эпюры средних скоростей сечения 2 – 2 при уровне воды 14,55 м

Поперечный профиль (при УВ<sub>95%</sub>=14,55 м)  
сечение 3-3



Эпюра средних скоростей на вертикалях  
сечение 3-3

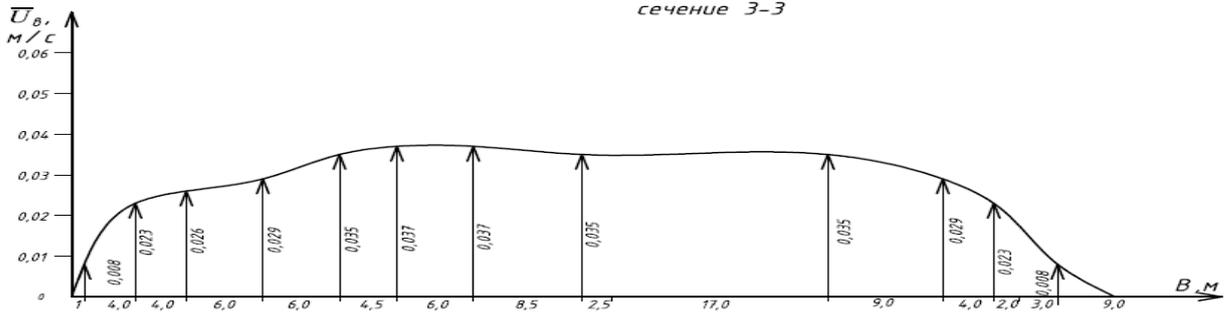
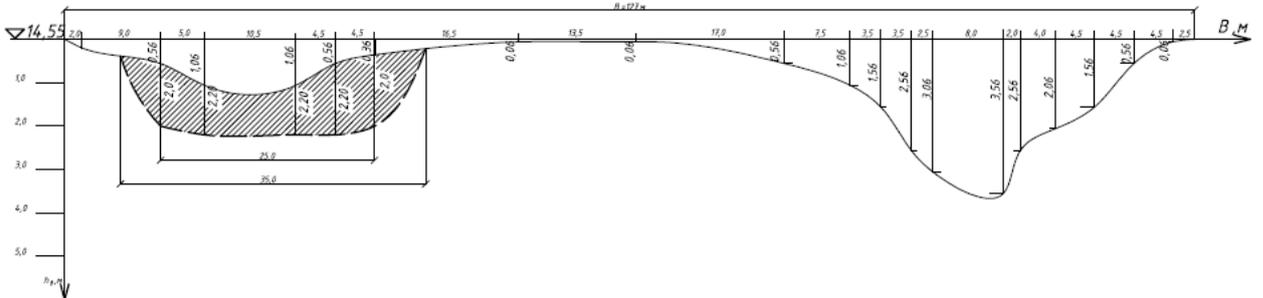


Рисунок 5.70 – Поперечный профиль и эпюры средних скоростей сечения 3 – 3 при уровне воды 14,55 м

Поперечный профиль (при УВ<sub>90%</sub>=14,55 м)  
сечение 4-4



Эпюра средних скоростей на вертикалях  
сечение 4-4

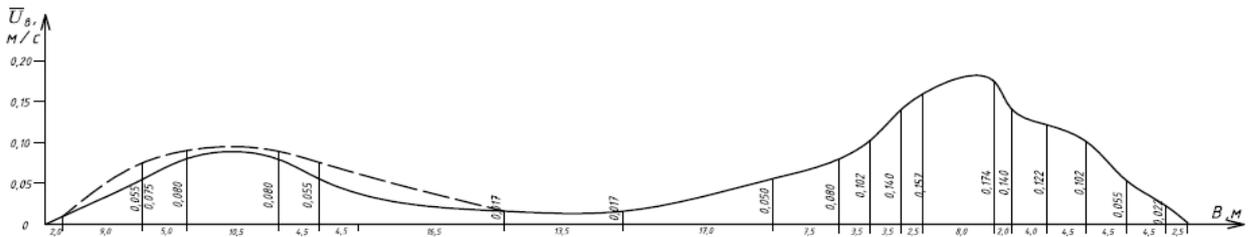


Рисунок 5.71 – Поперечный профиль и эпюры средних скоростей сечения 4-4 при уровне воды 14,55м

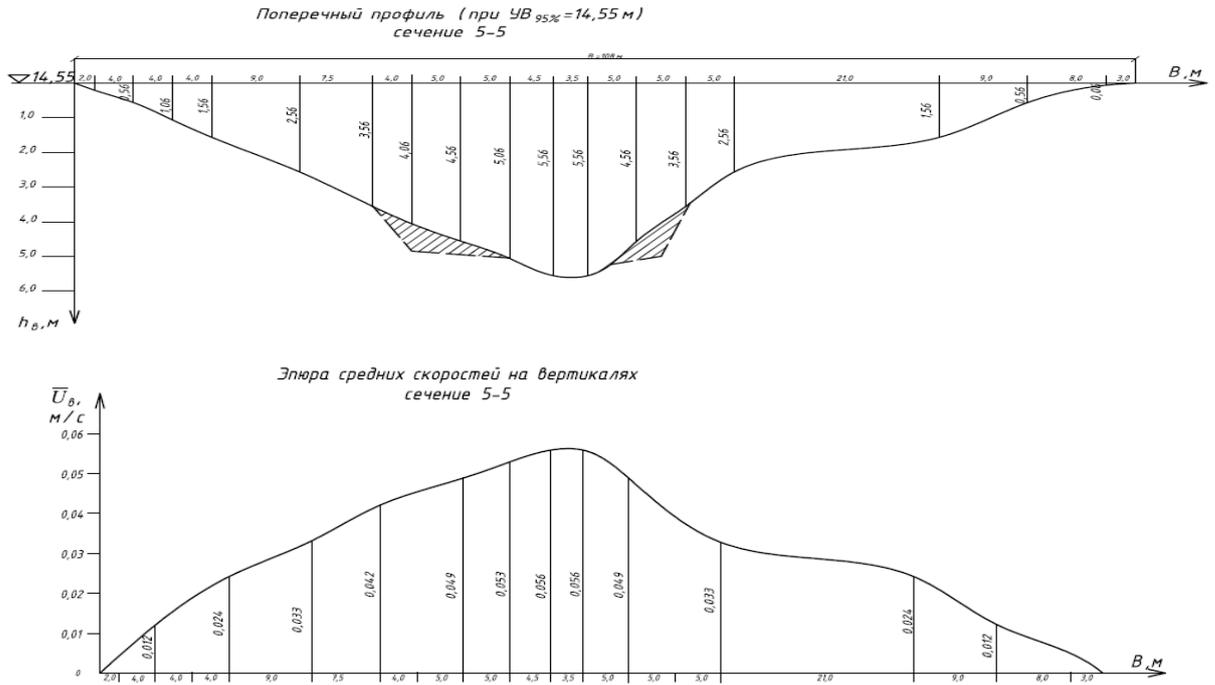


Рисунок 5.72 – Поперечный профиль и эпюры средних скоростей сечения 5-5 при уровне воды 14,55м

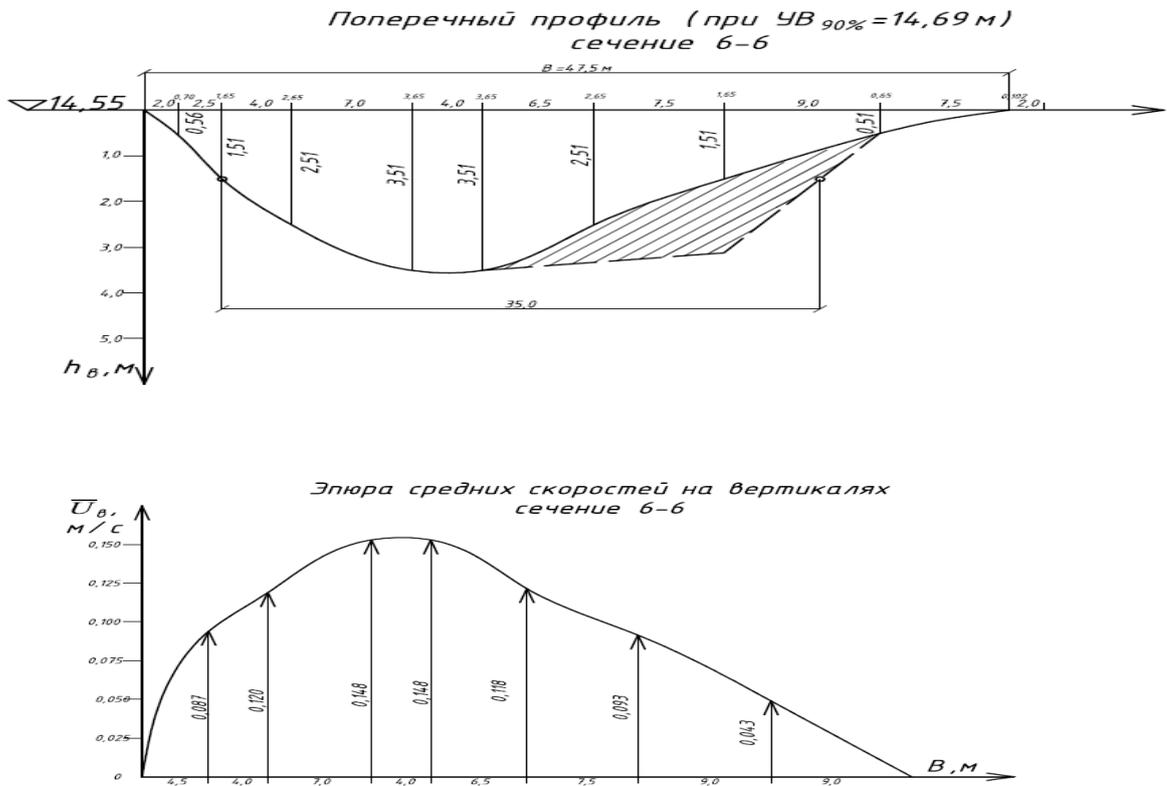


Рисунок 5.73 – Поперечный профиль и эпюры средних скоростей сечения 6-6 при уровне воды 14,55м

*Исследование вариантов в гидродинамической модели течения и определение оптимального транзитного русла в водоприёмном ковше.*

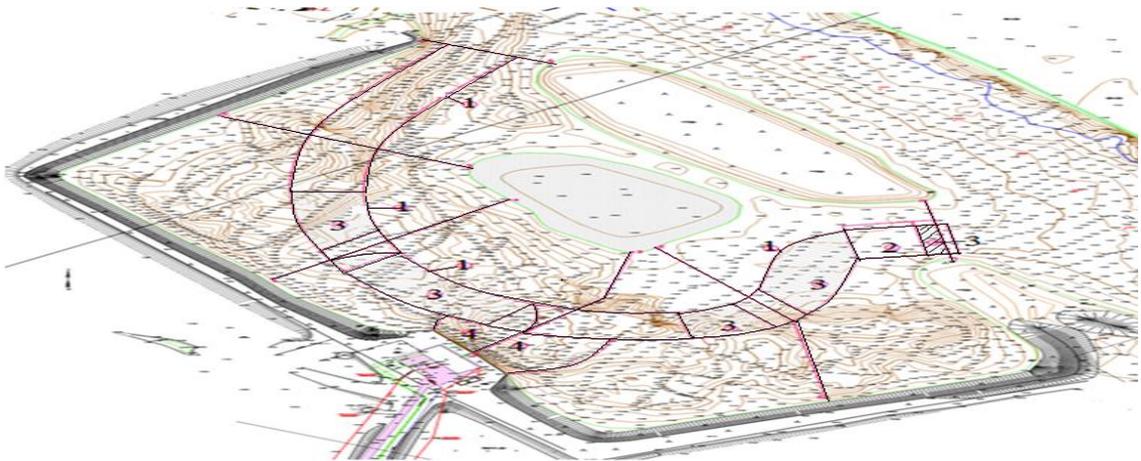
В исследовании предусмотрено, что вода к насосам системы водоснабжения поступает по проектируемому в водозаборном ковше транзитному руслу через фильтры водоприёмных оголовков типа «Джонсон», выполняющих также функции рыбозащитных устройств.

Положение оси транзитного русла и его гидравлические параметры в существующем водоприёмном ковше водозабора г. Белоярский обоснованы расчётами. Общая длина расчистки транзитного русла составляет

$L_{p-r} = 277,5 \text{ м}$ , а объём расчистки земснарядом

$$V_{p-r} = 35 \cdot 1,5 \cdot 277,5 = 14\,568 \text{ м}^3,$$

План расположения транзитного русла и участков расчистки водоприёмника представлен на рисунке 5.74.



1 – Транзитное русло водоприёмника; 2 - отстойник; 3 – участки расчистки транзитного русла; 4 – участок расчистки в месте водозабора  
Рисунок 5.73 – План расположения транзитного русла и участков расчистки водоприёмника.

На рисунке 5.74, 5.75 и 5.76 представлены продольные профили по линии наибольших глубин транзитного русла водоприёмника.

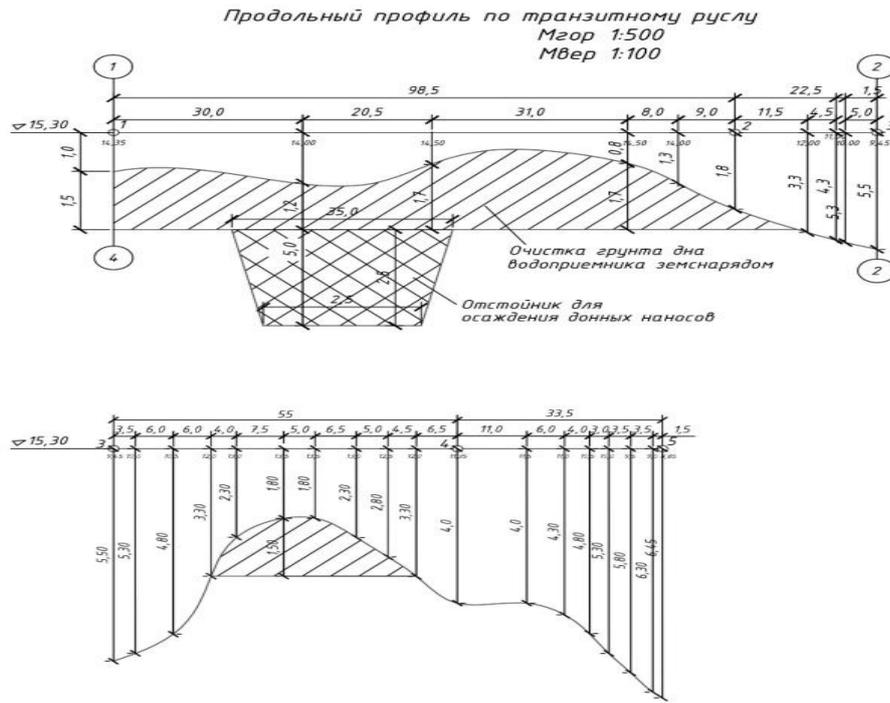


Рисунок 5.74 - Продольный профиль по линии наибольших глубин транзитного русла в начале водоприёмника

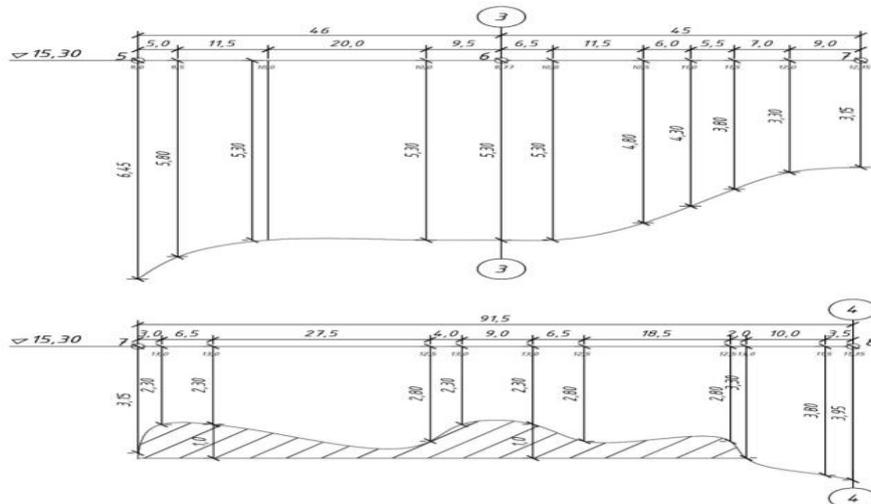


Рисунок 5.75 - Продольный профиль по линии наибольших глубин

**ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5**

1. По результатам проведённых исследований предложена новая конструктивно-технологическая разработка КТР – 2 для защиты водоприёмника от сине-зелёных водорослей, впервые с использованием конструкции «Ерша» для очистки оросительной воды.

2. Для обоснования режима работы и технологических параметров

фильтра в лабораторных условиях выполнялось определение знака электрического заряда цианобактерий. Величина электролитического потенциала для сине-зелёных водорослей Цимлянского водохранилища составила  $\zeta = -32 \cdot 10^{-3}$  В.

3. Экспериментальные исследования по разработке конструктивно-технологической схемы КТР – 2 проводили в три этапа:

- подбор коагулянтов в лабораторных условиях;
- фильтрование с использованием ершей в лабораторных условиях;
- натурные исследования на пилотной установке.

4. Разработаны универсальные ерши, изготовленные из лавсановых волокон с поверхностным потенциалом до 40 мВ и капроновых лесок, для размещения их в акватории водозабора перед насосными станциями для электроосаждения сине-зелёных водорослей и отпугивания рыб от водозабора (КТР-2). Доказана функциональная эффективность, которая составляет 70 % (с применением коагулянтов 98 %), а эффективность отпугивания рыб от водозабора составляет 80 % (патент на полезную модель № 120097 «Завеса для удерживания рыб на водозаборах»), (патент на полезную модель № 120096 «Очистное устройство водозабора»), («Фильтрующий водоприёмник с рыбозащитным устройством для водозаборов из поверхностных водоисточников»).

5. Обосновано устройство «транзитного русла» по линии наибольших глубин в поперечных сечениях путём углубления мелководных участков с глубиной более 2,0-3,0 м и шириной русла 35,0 м. Это позволит увеличить средние скорости на вертикалях в 2,5-3,0 раза и создаст наилучшие условия для водообмена и выноса водорослей в придонных слоях.

6. Предлагается локальная очистная установка, плавающая и циркулирующая по акватории водохранилища днём и ночью.

## 6 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА (КТР-3) ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОТ БИООБРАСТАНИЯ

Приводятся результаты теоретического обоснования конструктивно-технологической разработки (КТР-3), устройства защиты от биообрастания водопроводов, механического оборудования насосных станций и дождеваль-ной техники и экспериментальные исследования по электроинактивации дрейссены.

### 6.1 Краткая характеристика речной дрейссены *Dreissena polymorpha*

Речная дрейссена – широко распространённый вид двухстворчатых моллюсков, обитающих в пресных и солоноватых водах (рис.6.1). Дрейссена имеет крепкую защитную раковину, состоящую из двух идентичных створок и обитает на глубине не более 10 м. Питается дрейссена планктоном и пищевыми частицами, при должном питании очень быстро растёт, длина её тела достигает до 5 см, ширина – до 3 см, высота – до 2,5 см. Продолжительность жизни дрейссены составляет около 7–8 лет [197, 200, 263, 298, 302, 307, 319].

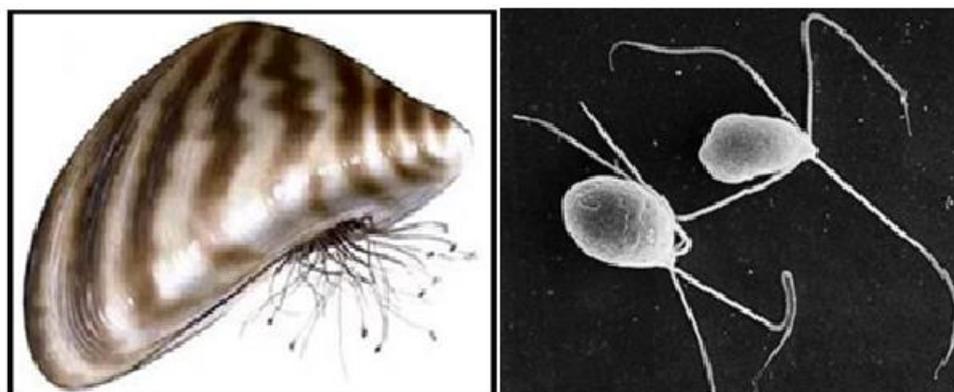


Рисунок 6.1 – Речная дрейссена и велигеры

Дрейссены раздельнополюные. Первичное оплодотворение яиц происходит в полости женской особи при втягивании в себя вместе с водой муж-

ских половых клеток, а вторичное оплодотворение происходит в верхнем слое воды, после которого на свет появляются личинки – велигеры (см. рис.6.1), с помощью которых дрейссена расселяется. Самка дрейссены может производить до 40 тыс. яиц за один раз и более 1 млн яиц в год. Количество велигеров может достигать до 50 шт. в 1 м<sup>3</sup> воды. Велигеры питаются бактериями на протяжении 3–4 недель, быстро растут, а когда их длина увеличится с 40–60 до 350–400 мкм оседают на дно. Некоторое время они медленно ползают по дну, а затем прочно прикрепляются к затопленным деревьям, сваям и другим подводным предметам [330, 331, 337, 339, 349].

Размеры велигеров позволяют им проникать через практически любые фильтры и, попадая в водопроводы и обрастая их, создавать угрозу для стабильной работы мелиоративных систем и сельскохозяйственных территорий. Темп роста дрейссены в водонапорных трубопроводах в два раза выше, чем в водоёме. За первый год они вырастают до 10–15 мм. Слой дрейссены на внутренних стенках трубопроводов может достигать до 10 см, а масса обрастаний – до 7 кг/м<sup>2</sup>. В результате такого обрастания существенно сужается рабочее сечение трубы и повышается сопротивление трубопровода, что приводит к снижению производительности или разрушению насосного оборудования (рис.6.2)



Рисунок 6.2 – Заращение водопроводной трубы и разрушение насоса дрейссеной

Кроме этого накопление дрейссены в трубопроводах приводит к

ухудшению микробиологических показателей питьевой воды.

В настоящее время дрейссена полиморфная является одним из основных обрастателей водозаборных технологических комплексов, приносящим огромный экономический ущерб. Поэтому используемые способы борьбы с биообрастателями направлены на укрощение, прежде всего, дрейссены полиморфной.

## 6.2 Анализ существующих способов защиты водохозяйственного технологического комплекса от дрейссены

Дрейссена обладает высокой фильтрующей способностью, поскольку способна в сутки пропускать через себя до 10 л обычной воды, а выпускать очищенную воду, предотвращая эвтрофикацию водохранилищ. Кроме этого дрейссена является кормовой базой для многих рыб. Учёные-медики считают, что продукты из пресноводной дрейссены могут стать полезным дополнением пищевого рациона человека, так как могут восполнить часть суточной потребности в белке, железе, марганце, меди и цинке. Учитывая важность дрейссены в биологическом сообществе природы, основным требованием к способам борьбы с дрейссиной является их локализация в системах водозабора, а не в водоёмах. В настоящее время по фактору воздействия на дрейссену используемые способы борьбы с ней можно разделить на биологические, химические и физические [34, 95, 109, 134, 186, 225, 232].

К биологическому способу борьбы с дрейссеной относится снижение численности её популяции в поверхностном источнике водоснабжения с помощью вселения рыб, способных утилизировать большое количество велигеров. Однако полностью уничтожить популяцию дрейссены в поверхностном источнике водоснабжения практически невозможно, а для защиты водозаборного технологического комплекса этот способ неприменимый. К химическим способам борьбы с дрейссеной относятся: озонирование, покрытие специальными лакокрасочными материалами, купоросование, хлорирование, Химиче-

ские способы борьбы основаны на токсическом эффекте активно действующего вещества на организм дрейссены [228, 234, 238, 246, 248, 260, 266].

*При озонировании воды* озон является сильнейшим окислителем клеток организма дрейссены. За несколько секунд уничтожаются велигеры при концентрации озона в воде 5 мг/л. Данный метод абсолютно экологичный. Недостатками этого метода являются: интенсивное коррозионное разрушение металлических водопроводных труб и других металлических изделий, взрывоопасность и высокая стоимость получения озона [265, 303, 309, 316].

*Противообрастающие лакокрасочные покрытия* с биоцидами подавляют жизнедеятельность или уничтожают биоорганизмы на поверхности подводных конструкций. Срок службы таких покрытий не превышает 3 лет. Поэтому данный способ борьбы с обрастаниями внутренних поверхностей водопроводов практически не используется [320, 334, 336, 343, 344].

*Купоросование*, т. е. обработка воды медным купоросом, эффективно применяется для борьбы с биологическим обрастанием трубопроводов. Отравляющее действие на биоорганизмы в воде оказывают ионы меди. Медный купорос вводится в начале водозабора при дозе, примерно, 5 г по меди на 1 т воды. Недостатки купоросования: большой расход медного купороса, коррозия металлического оборудования, эффективную дозу медного купороса необходимо определять лабораторными опытами, возможность попадания медного купороса в водный источник и отравление рыб [353, 354, 355].

*Хлорирование*, т. е. обработка воды хлором или его соединениями эффективно применяется для борьбы с биологическим обрастанием трубопроводов. Отравляющее действие хлора в воде заключается в окислении веществ, входящих в состав цитоплазмы клеток биоорганизмов, вследствие чего они гибнут. Доза активного хлора вводимого в начале водозаборного сооружения, при котором погибают велигеры 5–10 г на 1 т воды. Недостатки хлорирования: большой расход хлора, коррозия металлического оборудования, не исключается образование в воде хлорорганических соединений, эффективную дозу хлора необходимо определять лабораторными опытами,

возможность попадания хлора в водный источник и отравление рыб [177].

К физическим способам борьбы с дрейссеной относятся: механический, термический, ультрафиолетовый, ультразвуковой, электрический, электроосмотический, электрогидравлический и электроимпульсный.

*Механические способы* используются для периодической очистки водозаборных устройств от биологических обрастаний с помощью ручных инструментов (скребки, ерши, щётки, лопаты и т. п.) для открытых поверхностей и механизированных устройств очистки внутренних поверхностей труб с использованием струй воды или воздуха высокого давления. Механические способы борьбы с дрейссеной легкодоступны для выполнения, но трудоёмкие, требующие остановки на длительное время работы водозабора и малоэффективные, так как дрейссена снова быстро размножается [345, 349].

*Термический способ* борьбы с дрейссеной основан на нарушении внутренних процессов и разрывов клеток организма. Гибель велигеров наступает в течение нескольких секунд, а гибель взрослых дрейссен в течение 10 мин при температуре воды 45 °С. Этот способ борьбы с дрейссеной эффективен, но энергозатратный и требующий остановки работы водозабора [356, 357].

*Ультрафиолетовый способ* борьбы с дрейссеной основан на использовании световых волн длиной 254–257 нм, которые разрушают ДНК велигеров, лишая дрейссену способности к размножению. В качестве источника ультрафиолета используются лампы мощностью 8 кВт. Доза ультрафиолетового излучения в 40 мДж/см<sup>2</sup> поражает в течение нескольких секунд всех присутствующих велигеров в воде на расстоянии 1 см от источника. Достоинства этого способа борьбы с дрейссеной: высокая эффективность, затраты на электроэнергию в 5 раз меньше, чем при озонировании, установки имеют компактные размеры и просты в эксплуатации. Недостатки: неэффективен для воды с концентрацией взвесей более 30 мг/л и большим содержанием железа, так как оно повышает мутность, малая дальность эффективного действия ультрафиолетовых лучей в воде, необходима регулярная очистка ультрафиолетовых ламп от загрязнений [358, 359, 360].

*Ультразвуковой способ* борьбы с дрейссеной основан на использовании акустических волн с частотой колебаний более 20 кГц и интенсивностью 3–10 Вт/см<sup>2</sup>,рывающих клеточные мембраны велигеров. Наибольшая эффективность воздействия на велигер происходит только при условии, когда он находится вблизи источника волн, так как интенсивность ультразвука уменьшается при распространении обратно пропорционально расстоянию. Поэтому этот способ борьбы с дрейссеной не обеспечивает равномерности воздействия на велигеры по всему объёму воды, что затрудняет оптимизацию параметров применяемых ультразвуковых аппаратов [362, 363, 364].

*Электрический способ* защиты водозаборных устройств от обрастания дрейссиной основан на электрическом пробое мембран клеток велигеров и взрослых особей дрейссены постоянным или переменным током. В специальных электрических фильтрах полная гибель велигеров достигается за несколько часов при плотности переменного тока 25 мА/см<sup>2</sup>. Для борьбы с обрастаниями дрейссеной внешних поверхностей подводных конструкций водозаборов используется постоянный ток плотностью 1 мА/см<sup>2</sup> и более с использованием источников тока катодной защиты трубопроводов. Недостаток данного способа: большие затраты электроэнергии и не является быстродействующим на дрейссену [239, 240, 340, 365, 366].

*Электроосмотический способ* борьбы с дрейссеной основан на использовании радиально направленного электрического поля, создаваемого устройством HydroFlow Акваклер для концентрации полярно выстроенных молекул воды на поверхности велигера, что вызывает осмотическое перемещение большого количества воды внутрь велигера, приводящее к разрыву его оболочки и гибели. Кроме этого, электрическое поле временно перемещает электроны с внутренней на внешнюю поверхность трубы. При этом внутренняя поверхность трубы становится инертной, на которой не возникает коррозия и не образуется биоплёнка для закрепления велигеров. Этот способ эффективный, но не является быстродействующим на дрейссену, поэтому его сочетают с хлорированием [191, 190, 199, 205, 257, 259].

*Электрогидравлический способ* борьбы с дрейссиной основан на использовании ударных волн в сотни атмосфер, возникающих при электрических разрядах в воде (эффект Л. А. Юткина), которые полностью разрушают клетки велигеров и взрослых особей дрейссен, находящихся на расстоянии не более 10–15 см от разряда. Основным недостатком данного способа является небольшая зона действия.

В таблицах 6.1 и 6.2 представлена информация о достоинствах и недостатках указанных ранее технических методов защиты от дрейссены и физические параметры защиты.

Таблица 6.1 – Характеристика технических способов защиты от дрейссены на ВС мелиоративных систем

Способ защиты	Положительная сторона	Отрицательная сторона
1	2	3
Механический	Простота, полная качественная очистка водоводов	Высокая трудоёмкость, остановка технологического процесса забора воды,
Пневматический	Снижение времени очистки в несколько раз	Закупка дополнительного пневматического оборудования, низкая эффективность очистки, повышенный износ стенок водоводов
Термический (подогрев воды)	Высокая эффективность очистки, уничтожение дрейссены происходит без остановки технологического процесса	Большие затраты энергии, дорогостоящее нагревательное оборудование, дополнительные капитальные затраты на установку основного и дополнительного оборудования
Озонирование	Простота конструкции системы озонирования водного потока, высокая скорость уничтожения моллюска (до 2 мин)	Закупка озонаторов, окисление стенок трубопровода, повышенные требования по технике безопасности
Электрический фильтр	Высокая эффективность, простота конструкции, большой срок эксплуатации	Необходимо соблюдение требований по технике безопасности при эксплуатации установки, регулярное проведение технического обслуживания

Продолжение таблицы 6.1		
1	2	3
Катодная защита	Высокая эффективность уничтожения взрослой особи дрейссены, простота конструкции, низкая стоимость установки	Соблюдение требований по технике безопасности при эксплуатации установки, наличие нескольких катодных элементов
Электрогидравлический эффект	Простота конструкции, низкая стоимость установки	Влияние на прочность трубопровода, обстановку в близи водозабора, маленькая зона действия (10–15 см) и низкая эффективность уничтожения моллюска
Ультразвук	Высокая эффективность уничтожения особей дрейссены и её личинок, простота конструкции, низкая стоимость установки	Негативное влияние на биологические организмы вблизи водозабора и на прочность водозаборного сооружения
УФ-излучение	Высокая степень эффективности уничтожения дрейссены, возможность регулирования дозы	Обязательная установка фильтра, маленькая зона действия УФ-излучения, , большие затраты электроэнергии

Таблица 6.2 – Физические параметры способов защиты дрейссены

Способ защиты	Параметр уничтожения дрейссены
1	2
Термический	Повышение температуры воды до 45– 50 °С. Время обработки от 5 до 15 мин. Процедуру проводят каждые 10-15 суток в период развития моллюсков
Озонирование	Доза озона до 5 мг/л, время контакта 5–10 мин, концентрация остаточного озона 0,3–0,4 мг/л
Электрический фильтр	Для защиты используется ток в импульсном режиме при напряженности электрического поля от 7 до 8 В/см в течение 30 ч. Плотность тока при этом 25 мА/см <sup>2</sup> . для борьбы со взрослыми особями необходима напряженность 220–250 В/см, с открытыми створками и 380–400 В/см с закрытыми створками
Катодная защита	При плотности катодного тока от 10 А/м <sup>2</sup> и более дрейссена погибает за несколько часов. При плотности тока от 0,1–0,5 А/м <sup>2</sup> моллюск гибнет через 7–10 дней.

Продолжение таблицы 6.2	
1	2
Электрогидравлический эффект	Высоковольтный разряд 10–20 кВ. Зона эффективного воздействия 10–15 см
Ультразвук	Ультразвуковые колебания с частотой от 23 до 27 кГц способствуют подавлению обрастания. Мощность генератора ультразвуковых колебаний более 1 кВт
УФ-излучение	Эффективное ультрафиолетовое излучение с длиной волны от 200 до 365 нм, в зависимости от стадии развития моллюска. Доза воздействия 259–320 мДж/см <sup>2</sup>
Магнитный	Требует проведения дополнительных научно-исследовательских работ

На основе результатов анализа существующих способов защиты от дрейссены обозначились три базовых способа: биологический, химический, физико-химический и физический, представленные на рисунке 6.3.

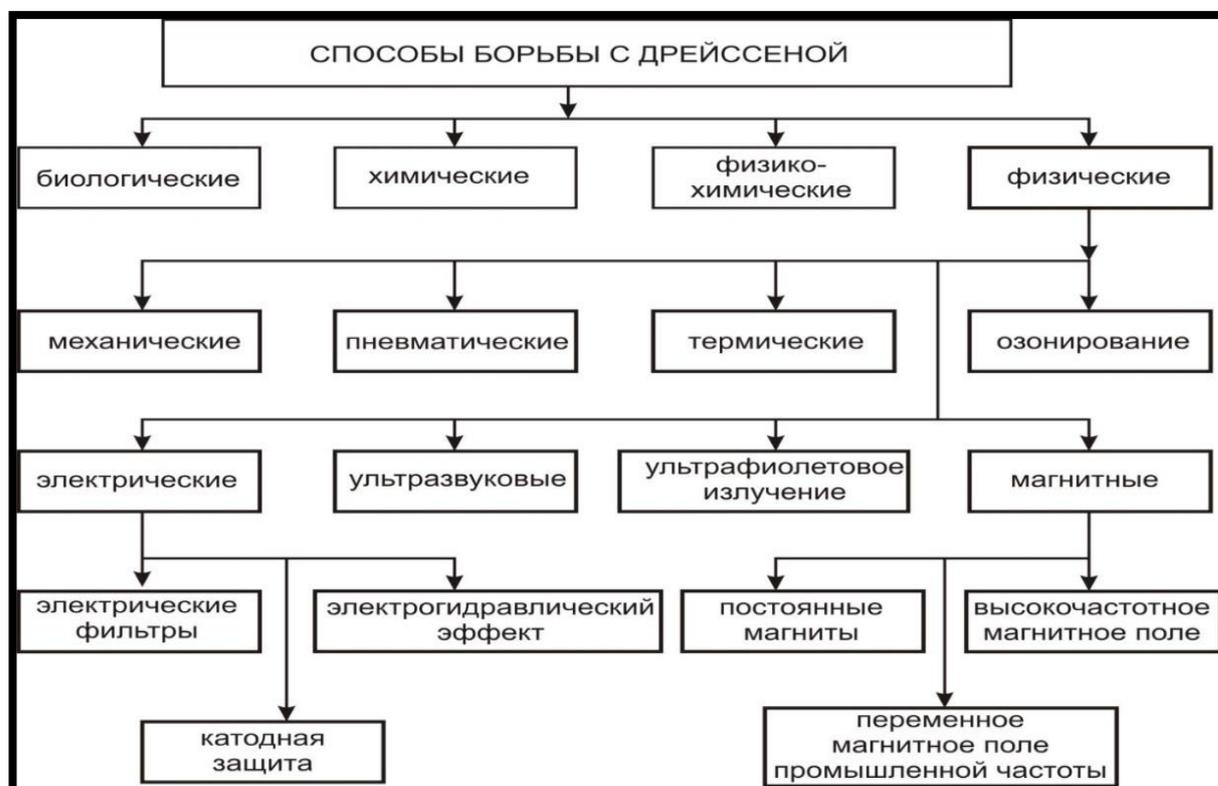
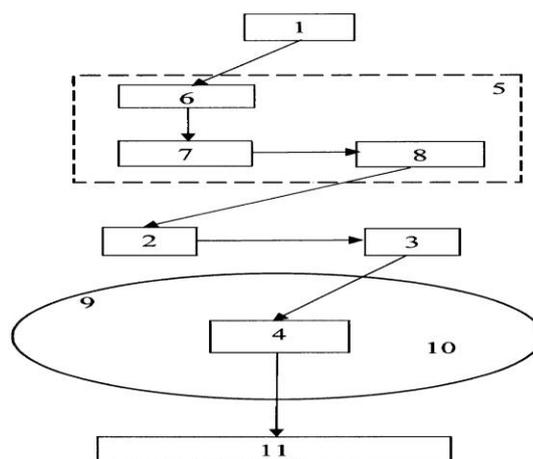


Рисунок 6.3 – Классификация способов защиты от дрейссены оборудования

Подробно был проанализирован электрогидравлический способ. При электрогидравлическом эффекте (эффект Юткина) в жидкости протекает ток разряда, достигающий десятков и сотен килоампер, наблюдается температура порядка 10000 К. Благодаря малой сжимаемости жидкости происходит повышение давления до значений порядка 1000 МПа. Это давление передаётся во все стороны, создавая ударную волну в жидкости. В результате действия такой огромной энергии в воде происходит уничтожение живых организмов. В качестве примера установки электрогидравлического воздействия можно указать «Средство активной защиты акваторий со стабилизированными параметрами электрогидравлического удара», авторы: Г. Н. Щербаков, М. А. Анцелевич, Д. Н. Удинцев, (патент на изобретение № 2325061).

Средство активной защиты акваторий представлена на рисунке 6.4.

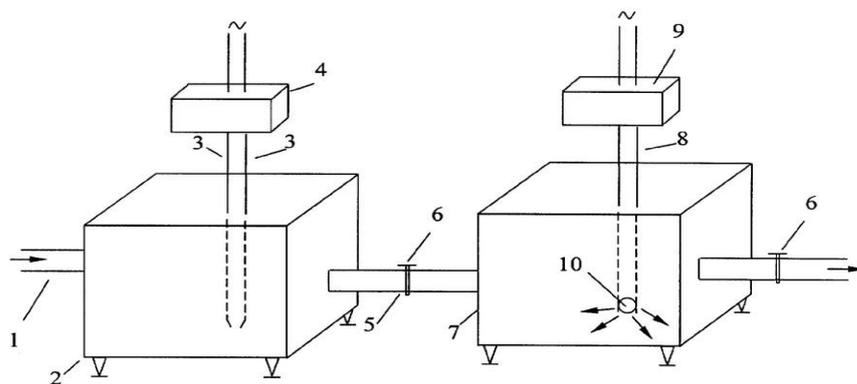


1 – источник электрической энергии; 2 – кабельная линия; 3 – соединительное устройство; 4 – линейная часть; 5 – блок формирования импульсов; 6 – зарядное устройство; 7 – накопитель энергии; 8 – коммутатор; 9 – герметичная оболочка; 10 – рабочая жидкость; 11 – живой организм

Рисунок 6.4 – Средство защиты акваторий со стабилизированными параметрами электрогидравлического удара

Электрогидравлический эффект используется как отдельно, так и в комбинации с другими способами. Примером подобной установки является «Способ предотвращения солевых отложений в теплообменных аппаратах»,

авторы И. А. Потапенко, А. В. Богдан, Е. А. Ададунов, М. В. Лепетухин, П. П. Локтионов, Д. А. Ирха (патент на изобретение № 2273682) (рис.6.5).



1 – трубопровод; 2 – накопительный бак; 3 – электроды из вольфрама; 4 – установка электрогидравлического эффекта; 5 – трубопровод; 6 – кран перекрытия; 7 – накопительный бак; 8 – шланг; 9 – озонаторная установка; 10 – пористая диафрагма

Рисунок 6.5 – Способ предотвращения солевых отложений в теплообменных аппаратах

Данная установка может применяться не только по своему прямому назначению – предотвращение солевых отложений, но и для борьбы с дрейссеной. Вода, требующая обработки, по трубопроводу 1 поступает в накопительный бак 2. Внутри накопительного бака размещены электроды (из вольфрама) 3, подключенные к установке электрогидравлического эффекта 4

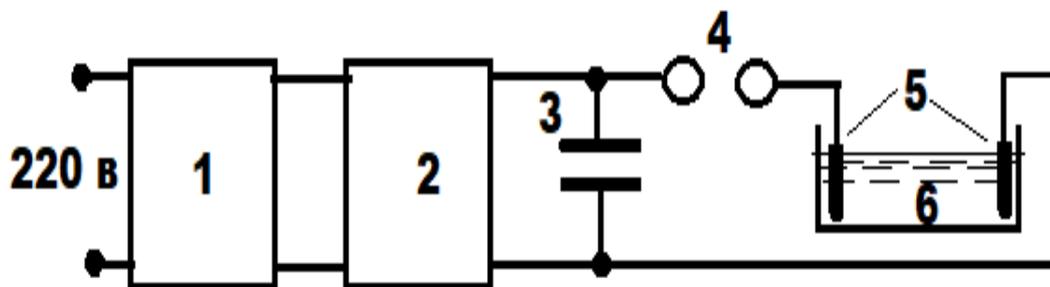
Главным преимуществом установки электрогидравлического эффекта является создание в зоне обработки высокой температуры и давления при низких затратах электроэнергии. Недостатком электрогидравлического способа являются сложность конструкции и малая зона поражения, что затрудняет широкое применение данного метода в водозаборах мелиоративной системы, так как в таких системах водозаборные трубы в основном имеют диаметр сечения от 500...1500 мм.

Как следует из анализа используемых в настоящее время способов борьбы с негативным влиянием дрейссены на водопроводы, ни один из способов не может быть универсальным из-за разнообразия конструкций водозаборных технологических комплексов, климатических условий. Следова-

тельно, существует необходимость дальнейшего совершенствования способов борьбы с негативным влиянием дрейссены на водозаборах. Наиболее перспективным способом борьбы с дрейссеной на водозаборах предлагается электроимпульсный способ, поскольку он при соответствующих параметрах электрического импульса полностью уничтожает велигеры на входе в водозабор, не изменяет химический состав воды, сохраняет пропускную способность водозабора, предотвращает перерасход электроэнергии, имеет простую конструкцию и обладает большой зоной поражения, в чём и заключается её новизна в отличие от электрогидравлического способа Юткина Д. А.

### 6.3 Экспериментальные исследования по разработке электроимпульсного способа защиты оросительных систем от дрейссены

Из анализа эффективности применяемых в настоящее время способов воздействия на дрейссену с целью полной её инактивации на водозаборах следует, что предложенный автором электроимпульсный способ является наиболее перспективным, который основан на использовании импульсов электрического тока для полной инактивации микроорганизмов. Для проведения эксперимента по воздействию импульсных токов на дрейссену была изготовлена экспериментальная установка схема представлена на рисунке 6.6.



1 – пульт управления; 2 – высоковольтный трансформатор-выпрямитель;  
3 – электрический конденсатор; 4 – воздушный разрядник; 5 – электродные пластины; 6 – разрядная ванна.

Рисунок 6.6 - Схема экспериментальной установки

Методика проведения эксперимента. При достижении на конденсаторе напряжения 30 кВ через воздушный разрядник 5 в разрядной ванне 6 происходит электрический разряд. Эффективная длительность электрического импульса определялась произведением ёмкости конденсатора на активное сопротивление воды в разрядной ванне, в которой находились велигеры.

Измерение активного сопротивления разрядной ванны проводилось на переменном токе с использованием вольтметра (класс точности 0,5) и амперметра (класс точности 0,5). Амплитуда тока при разряде конденсатора определялась делением амплитуды напряжения на конденсаторе на активное сопротивление воды в разрядной ванне, а амплитуда плотности тока определялась делением амплитуды тока на площадь сечения воды в разрядной ванне.

Для исследования влияния электрических импульсов тока на велигеры были использованы высоковольтные конденсаторные разряды с амплитудой 30 кВ, с крутым передним и с экспоненциально-спадающим задним фронтами. Ёмкость конденсатора в разрядной цепи 0,5 мкФ. Демонстрационный материал по проведению лабораторных исследований представлен на рисунках 6.7–6.8. При достижении на конденсаторе напряжения 30 кВ через воздушный разрядник в разрядной ванне происходит электрический разряд.



Рисунок 6.7 – Установка для искусственного выращивания дрейссены



Рисунок 6.8 – Лабораторная посуда для проб и наблюдения за состоянием электрокупированной дрейссены

Внутренние размеры разрядной ванны  $D \times Ш \times В$  –  $311 \times 157 \times 210$  мм. Две взаимно противоположные и параллельные стороны ванны, изготовленные из нержавеющей стали, являлись электродами, а другие две стороны ванны, изготовленные из стекла, использовались для визуального наблюдения за велигерами. Геометрия ванны обеспечивала одинаковую плотность разрядного тока во всех точках объёма воды.

Тотальный подсчёт велигеров (науплий) нерационален, так как оптимизация параметров электрических импульсов определялась по полной гибели велигеров в пробе при минимальных затратах электроэнергии. Наблюдения за гибелью велигеров осуществлялось с помощью лупы, модель «Горизонт 10» увеличение кратное 10, диаметр 30 мм, материал – стекло. Шок определяли визуально в результате осаждением всех велигеров (науплий) на дно экспериментальной установки после включения экспериментальной установки и действия электрических импульсов.

Длительность электрического импульса определялась произведением ёмкости конденсатора на активное сопротивление воды в разрядной ванне, в которой находились велигеры. Активное сопротивление разрядной цепи изменялось с изменением площади сечения воды в разрядной ванне или ис-

пользованием воды с разной электропроводностью (водопроводная, осмотическая, вода из реки Тузлов или 20%-й водный раствор NaCl). Измерение активного сопротивления разрядной ванны проводилось на переменном токе с использованием вольтметра (класс точности 0,5) и амперметра (класс точности 0,5). Амплитуда тока при разряде конденсатора определялась делением амплитуды напряжения на конденсаторе на активное сопротивление воды в разрядной ванне, а амплитуда плотности тока определялась делением амплитуды тока на площадь сечения воды в разрядной ванне.

Для проведения исследований осуществлялся отбор велигеров на зарыбленном Кадамовском пруду (Ростовская область) на расстоянии 3–4 м от берега на глубине не более 1 м с помощью планктонного сачка, изготовленного из капроновой ткани с мелкой ячейкой. Следует отметить, что отбор велигеров в пруду носит сезонный характер, что замедляет исследования, а выращивание велигеров в лабораторных условиях требует больших затрат для создания им практически естественных условий обитания. Был проведен тестовый эксперимент степени воздействия электрических импульсов на велигеров дрейссены и науплий артемии. Эксперимент показал практическую одинаковость результатов реакций велигеров и науплий на электрический импульсный ток, что позволило использовать науплии для научных исследований, так как их подготовка для опытов может проходить в лабораторных условиях в течение 2–3 дней. Практическая одинаковость результатов реакции велигеров и науплий на электрический импульсный ток проверялось отдельным экспериментом на выживаемость велигеров и науплий после контакта с электрическим импульсным током (наблюдение проводилось в специально изготовленных аквариумах в течение нескольких суток). Концентрация особей велигеров или науплий в пробах находилось в пределах 50...100 шт. в 1 л воды. Определялась концентрация особей с помощью медицинского шприца объемом 500 мл., куда набирались велигеры (науплий) вместе с водой, из специально изготовленной установки для искусственного выращивания дрейссены (см. рис.6.7), и потом с помощью планктонного сач-

ка, изготовленного из капроновой ткани с мелкой ячейкой сита, процеживались и помещались в литровую колбу с пробной водой.

Результаты лабораторных экспериментов по влиянию электрических импульсов на велигеры представлены в таблицах 6.3–6.6.

Таблица 6.3 – Результаты эксперимента на 20%-м растворе NaCl

Время проведения эксперимента, ч	Контрольный образец	После 1 импульса	После 3 импульсов	После 6 импульсов	После 9 импульсов
10:00	25	23	23	20	17
10:30	25	22	21	17	15
11:00	25	21	20	15	12
11:30	25	20	17	12	10
12:00	25	15	15	12	7
8:00	25	15	15	10	7

Таблица 6.4 – Результаты эксперимента на водопроводной воде

Время проведения эксперимента, ч	Контрольный образец	После 1 импульса	После 3 импульсов	После 6 импульсов	После 9 импульсов
10:00	25	0	0	0	0
10:30	25	13	20	15	5
11:00	25	20	15	7	3
11:30	25	10	7	5	2
12:00	25	7	5	1	0

8:00	25	5	1	0	0
------	----	---	---	---	---

Таблица 6.5 – Результаты эксперимента на осмотической воде

Время проведения эксперимента, ч	Контрольный образец	После 1 импульса	После 3 импульсов	После 6 импульсов	После 9 импульсов
10:00	25	0	0	0	0
10:30	25	10	7	5	3
11:00	25	7	5	2	1
11:30	25	5	2	1	1
12:00	25	3	1	0	0
8:00	25	1	0	0	0

Таблица 6.6 – Результаты эксперимента на воде р. Тузлов

Время проведения эксперимента, ч	Контрольный образец	После 1 импульса	После 3 импульсов	После 6 импульсов	После 9 импульсов
10:00	25	0	0	0	0
10:30	25	12	10	7	5
11:00	25	10	7	5	3
11:30	25	7	5	2	1
12:00	25	5	2	1	0
8:00	25	2	1	0	0

По данным таблицы 2 многофакторный эксперимент проводился при 4 параметрах среды (воды) и 7 параметрах электрического импульса, из которых 3 находились на постоянном уровне, т.е. 8 переменных факторов, в итоге по трём первым опытам получен одинаковый результат (100% гибель через 2 ч) при этом изменения параметров в опытах отличались на несколько порядков:  $R$  от 1155,5 до 37 Ом;  $I$  от 26 до 810 А;  $J$  от 0,118 до 3,7 А/см<sup>2</sup>;  $\tau$  от 578 до 18,5 мкс. Окончательным результатом при 4 параметрах среды (воды) и 7 па-

раметрах электрического импульса явилось полная инактивация велигеров (науплий), при этом оптимизировалось количество импульсов тока, время действия на состояние велигеров и сопротивление среды.

После электроимпульсной обработки нахождения велигеров в разной по качеству воде некоторые из них оживали, визуальные наблюдения проводилось в течение нескольких часов (см. рис. 6.8). По этому эксперименту получены обобщённые данные (табл.2).

Таблица 6.7 – Результаты лабораторных экспериментов

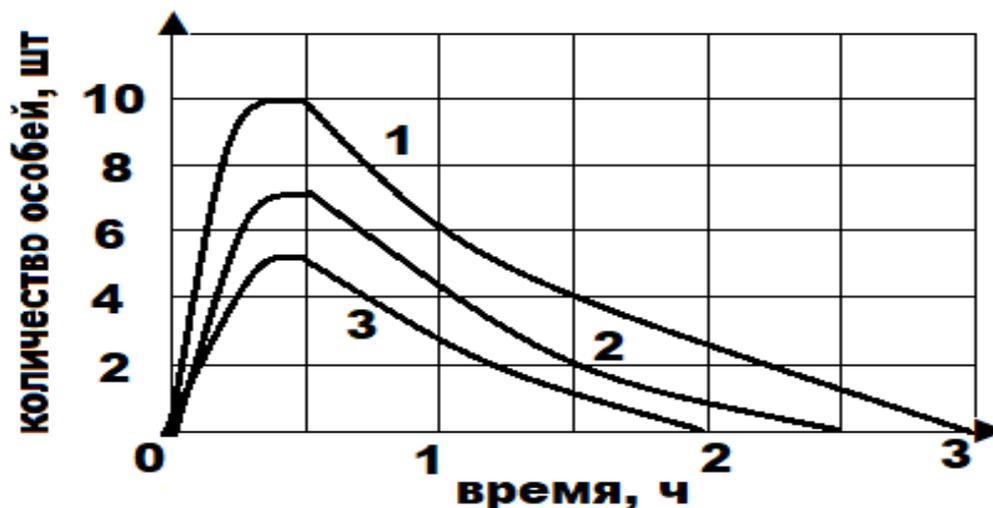
Среда	$U$	$C$	$R$	$I$	$J$	$\tau$	$n$	Реакция велигеров
Вода осмотическая	30	0,5	1155,5	26	0,118	578	9	Шок, 100 % гибель через 2 ч
Вода водопроводная	30	0,5	117,6	255	1,15	58,8	9	Шок, 100 % гибель через 2 ч
Вода из р. Тузлов	50	0,5	37	810	3,7	18,5	9	Шок, 100 % гибель через 2 ч
Вода + NaCl, 10 %	30	0,5	1,17	25641	115,8	0,59	9	Живые

Примечание –  $U$  – напряжение, кВ;  $C$  – ёмкость конденсатора, мкФ,  $R$  – активное сопротивление воды в разрядной ванне, Ом;  $I$  – амплитуда разрядного тока, А;  $J$  – плотность тока, А/см<sup>2</sup>;  $\tau$  – длительность электрического импульса, мкс;  $n$  – число импульсов.

По данным таблицы 6.7, многофакторный эксперимент проводился при 4 параметрах среды (воды) и 7 параметрах электрического импульса, из которых 3 находились на постоянном уровне, т.е. 8 переменных факторов, в итоге по трём первым опытам получен одинаковый результат (100% гибель через 2 ч) при этом изменения параметров в опытах отличались на несколько порядков:  $R$  от 1155,5 до 37 Ом;  $I$  от 26 до 810 А;  $J$  от 0,118 до 3,7 А/см<sup>2</sup>;  $\tau$  от 578 до 18,5 мкс. Окончательным результатом при 4 параметрах среды (воды) и 7 параметрах электрического импульса явилась полная инактивация вели-

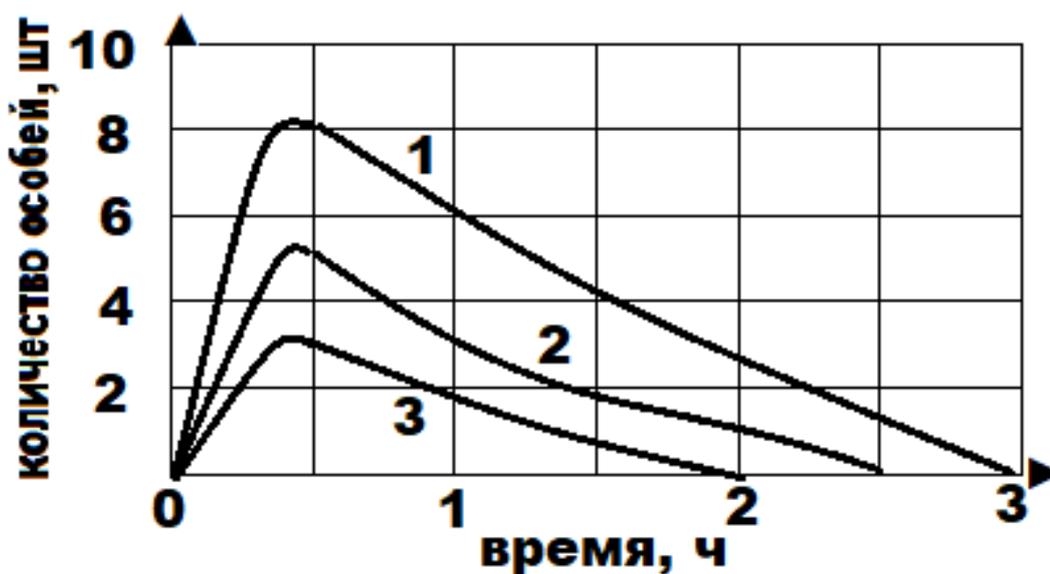
геров (науплий), при этом оптимизировались количество импульсов тока, время действия на состояние велигеров и сопротивление среды.

По результатам проведённых опытов установлены зависимости, представленные на рисунках 6.9 – 6.11.



Количество электроимпульсов: 1 – 3 шт.; 2 – 6 шт.; 3 – 9 шт.

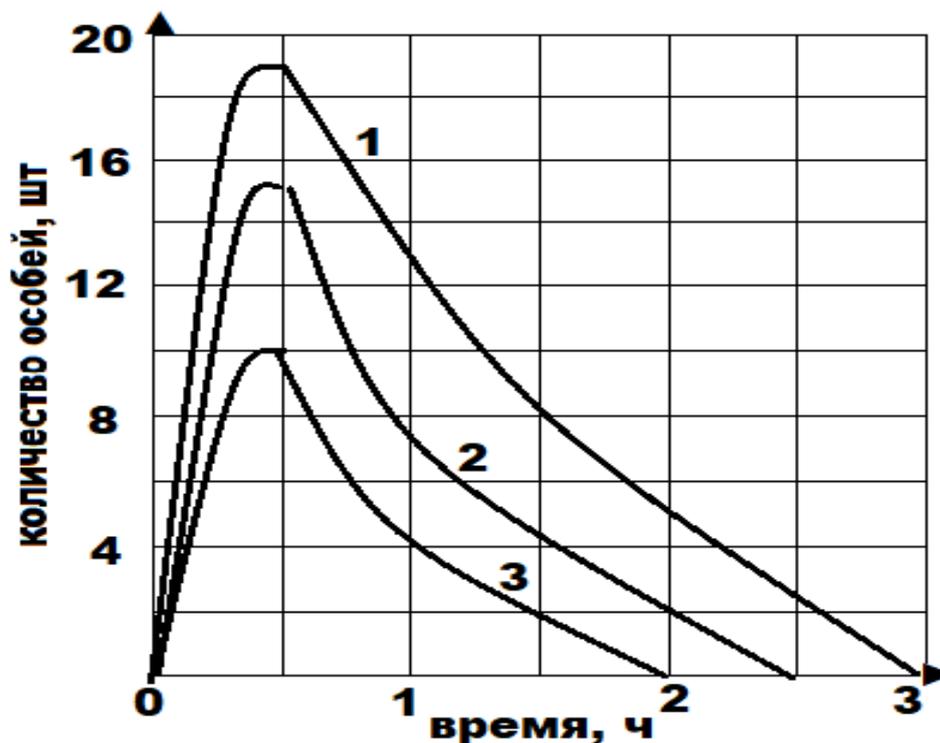
Рисунок 6.9 – Время существования оживших велигеров после электрического шока в воде р. Тузлов



Количество электроимпульсов: 1 – 3 шт.; 2 – 6 шт.; 3 – 9 шт.

Рисунок 6.10 – Время существования оживших велигеров после

## электрического шока в осмотической воде



Количество электроимпульсов: 1 – 3 шт.; 2 – 6 шт.; 3 – 9 шт.

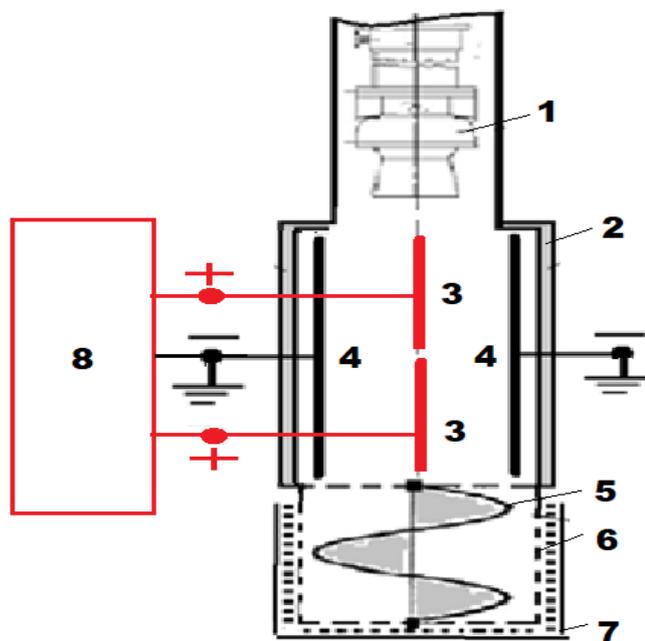
Рисунок 6.11 – Время существования оживших велигеров после электрического шока в водопроводной воде

Результаты электроимпульсной обработки велигеров показали, что полная инактивация дрейссены после девяти импульсов происходит через два часа, все велигеры, обработанные в 10% водном растворе NaCl девятью электрическими импульсами, остались живыми. Этот результат обосновывает экранизацию воздействия электрического тока на велигеры в высокоминерализованной воде.

Анализируя результаты лабораторных исследований, можно утверждать, что основными параметрами электрических импульсов, максимально влияющими на велигеров, являются: напряжённость поля, плотность тока, длительность импульса и количество импульсов. Для инактивации дрейссены в водозаборах поверхностных вод рекомендуем электроимпульсное устройство с параметрами: напряжение – 50 кВ, ёмкость конденсатора – 1–2 мкФ,

частота следования импульсов – 4–6 Гц.

На рисунке 6.12 представлена предлагаемая схема электроимпульсной установки с турбинным гидроприводом для переоборудования берегового, ковшового или островного водозаборных сооружений.



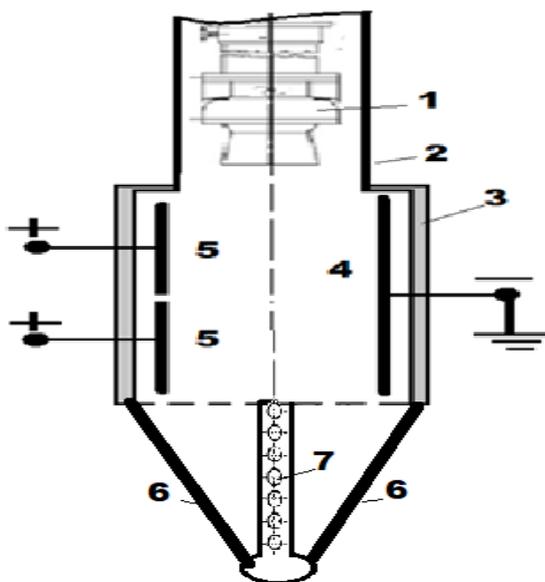
- 1 – насос; 2 – водоприёмник с электроинактивацией водной биоты;  
 3 – положительный электрод; 4 – отрицательный электрод;  
 5 – гидротурбина; 6 – решётка рыбозащитная и соросудерживающая;  
 7 – щётка для очистки решётки; 8 – генератор импульсных токов

Рисунок 6.12 - Схема конструктивно-технологической установки по купированию дрейссены (вилигеры) на входе воды в насосную станцию

Принцип работы водозабора: при включении насоса 1 через рыбозащитную решётку 6 и турбину 5 вода с велигерами дрейссены поступает в изолированный водоприёмник 2 с положительными электродами 3 и отрицательными электродами 4, на которые от генератора импульсных токов 8 с заданной частотой подаются электрические импульсы для инактивации велигеров и других водных биотов в водоприёмнике. Турбина 5 вращает щётку 7 для очистки рыбозащитной и соросудерживающей решётки 6. В качестве источника импульсов тока можно использовать генератор импульсных токов ГИТ50- 2,5 х 2/ 4С с техническими характеристиками: напряжение сети 380

В; потребляемая мощность 16,5 кВт; энергия на канал разряда 2,5 кДж; количество каналов разряда 2; частота разрядов 4 Гц; выходное напряжение 20 – 50 кВ; габариты В·Ш·Г 1550х775х510 мм; масса 2300 кг.

На рисунке 6.13 представлен альтернативный вариант установки электроинактивации дрейссены с гидродинамическим рыбозащитным устройством [173].

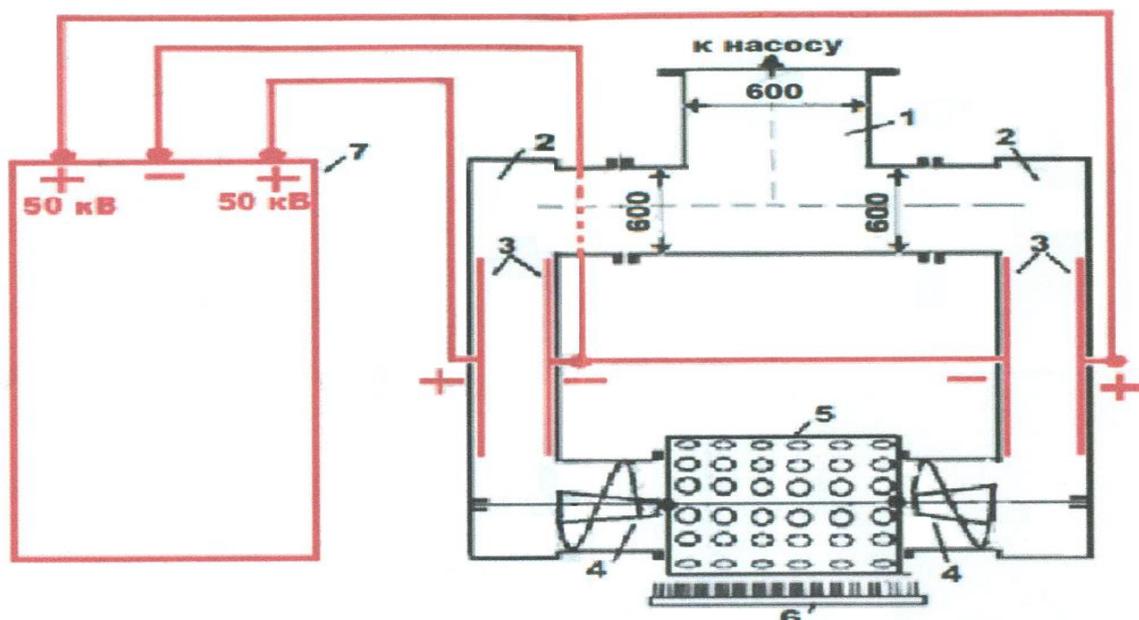


1 – погружной насос; 2 – труба для всасывания воды; 3 – двухканальное электроимпульсное устройство; 4 – отрицательный электрод; 5 – положительный электрод; 6 – струеобразователи вращающегося рыбозащитного устройства; 7 – сопла

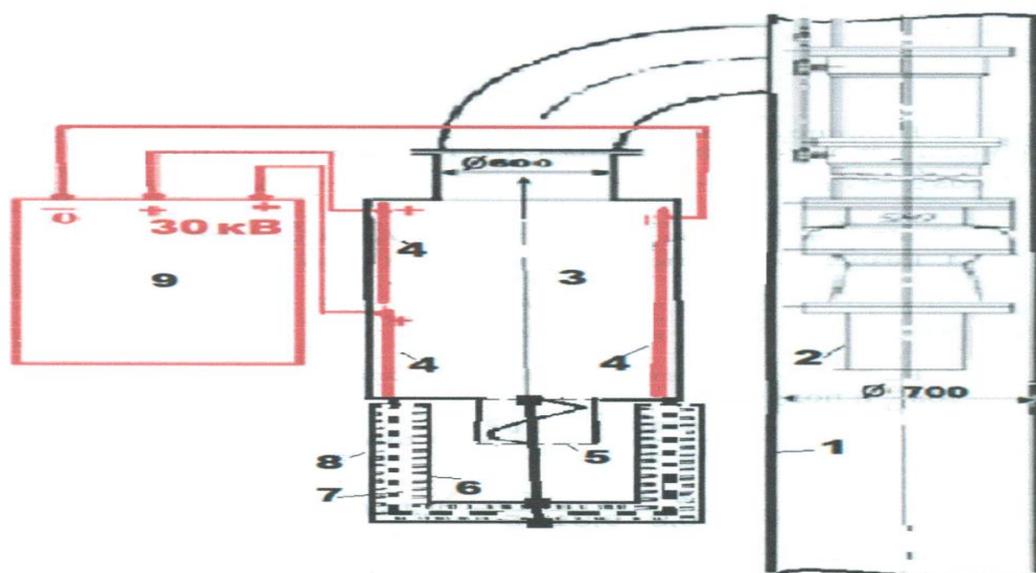
Рисунок 6.13 – Схема водозабора с электроинактивацией дрейссены с гидродинамическим рыбозащитным устройством

Альтернативный вариант представляет схему водозабора с устройством электроинактивации дрейссены гидродинамическим вращающимся рыбозащитным устройством, разработанным автором (патент на изобретение № 2049198), в котором при вращении струеобразователей с соплами для отпугивания рыб создаётся гидродинамический экран на входе во всасывающую трубу насоса для повышения выживаемости рыб от контакта с устройством.

Возможные варианты схем переоборудования водоприёмника представлены на рисунках 6.14 и 6.15.



1 – труба всасывающая; 2 – камера электрокупиrowания планктона; 3 – электроды; 4 – гидротурбина; 5 – сетка вращающаяся сороудерживающая; 6 – щётка для очистки вращающейся сетки; 7 – генератор импульсных токов  
Рисунок 6.14 – Схема водозаборного устройства с электрокупиrowанием планктона 2VUEK-1000



1 – обсадная труба насосной станции; 2 – погружной насос; 3 – камера электрокупиrowания планктона; 4 – электроды; 5 – гидротурбина; 6 – щётка внутренняя вращающаяся для очистки решётки; 7 – решётка цилиндрическая рыбозащитная и сороудерживающая; 8 – щётка внешняя вращающаяся для очистки решётки; 9 – генератор импульсных токов  
Рисунок 6.15 – Схема водозаборного устройства с электрокупиrowанием планктона VUEK-1200

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 6

1. Разработана классификация способов защиты от дрейссены технологического оборудования и конструктивных элементов применительно для водозаборов оросительных систем в составе специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС».
2. Научно обоснована конструктивно-технологическая разработка (КТР-3), обеспечивающая защиту механического и технологического оборудования мелиоративных систем от обрастания дрейссеной.
3. Для повышения выживаемости рыб от контакта с рыбозащитным устройством автором предложено оборудовать установку электроинактивации дрейссены вращающим рыбозащитным устройством, в котором при вращении струеобразователей с соплами создаётся гидродинамический экран, отпугивающий рыб на входе во всасывающую трубу насоса.
4. Результаты электроимпульсной обработки велигеров показали, что полная инактивация дрейссены после девяти импульсов происходит через 2 ч.
5. Впервые разработана конструктивно-технологическая схема защиты технологического оборудования от явления обрастания дрейссеной с использованием электроимпульсного способа воздействия на дрейссену с целью полной её инактивации в водозаборных устройствах и экспериментально доказаны параметры. На основании этих исследований установлено, что основными параметрами электрических импульсов тока, максимально влияющих на велигеров, являются: напряжённость поля, плотность тока, длительность импульса и количество импульсов. Для инактивации дрейссены в водозаборах поверхностных вод эффективно применение электроимпульсного устройства с параметрами: напряжение – 30 кВ, ёмкость конденсатора – 1–2 мкФ, частота следования импульсов – 4–6 Гц., а при различной плотности велигеров в воде, изменения качества воды или условий эксплуатации систем орошения необходимо внести коррекцию частоты импульсов тока.
6. Защиту мелиоративных водозаборов рассматриваем не только как

обеспечение бесперебойного водопотребления оросительной системы, но и как предварительную меру улучшения качественных показателей воды, экономии электроэнергии на 30-40%, сокращения расходов на дополнительную очистку воды 40-50% и увеличения срока службы оборудования.

## 7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ВОДОЗАБОРОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Проведена экономическая оценка рекомендуемой технологии эффективности работы устойчивого функционального специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС» как важного фактора по обеспечению функциональной работы в зонах влияния ВС по очистке оросительной воды от механических и биологических загрязнений, направленного на повышение качества воды и эффективности эксплуатации инженерно-мелиоративных систем в составе специализированного типа ПТС. Приведены результаты оценки экономической эффективности от апробации и внедрения разработанных специализированных устройств по защите водозаборов Райгородской оросительной системы Светлоярского района Волгоградской области, ООО «Дары садов» Цимлянского района Ростовской области и Донского магистрального канала, а также выполнен анализ экономического эффекта от предлагаемой технологии в работе действующего водохозяйственного комплекса Александровский Ростовской области.

### 7.1 Экономическая оценка эффективности применения систем орошения в аграрном производстве

Применение систем орошения в аграрном производстве сельскохозяйственной продукции способствует:

- рационализации водного и питательного режима почв, их микроклимата, что обеспечивает прирост урожайности сельскохозяйственных культур более чем на 20%;
- сокращению потерь воды для орошения и инфильтрацию до 20%, уменьшению выноса питательных веществ из почвы в подземные воды и естественные водные источники за счёт применения принципиально новых

технических средств и оборудования для очистки и полива, проектирования и оценки качества технологических процессов очистки воды из поверхностного водоёма и полива;

- экономии энергетических и материально-технических ресурсов на 15-20% ввиду забора воды для очистки из поверхностного водоёма;
- повышению производительности труда системы очистки воды и орошения не меньше чем на 50%.

Экономическая эффективность разработанной технологии и оборудования очистки воды из поверхностного водоёма определяется по влиянию на повышение показателей аграрного производства, а именно, на прирост прибыли за счёт повышения урожайности сельскохозяйственных культур, возделанных при применении системы орошения, улучшения качества продукции, снижения затрат труда и сокращения себестоимости производства продукции аграрного сектора экономики.

Экономическая оценка эффективности применения систем орошения проводится на основании нормативно-методических документов:

- Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов» (утверждено Министерством экономики Российской Федерации, Министерством финансов Российской Федерации, Государственным комитетом Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике от 21.06.1999 г. № ВК 477 (РД-АПК 300.01.003-03). Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200038940>).

- Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов мелиорации сельскохозяйственных земель (РД-АПК 300.01.003-03).

Базовые положения указанных методических рекомендаций соответствуют международным стандартам и обеспечивают методическую базу технико-экономического обоснования конкретных проектов.

Интегральным показателем оценки экономической эффективности является прирост чистого дисконтированного дохода, определяемый на основе

дисконтирования денежных потоков - операционных, инвестиционных и финансовых. Вспомогательным показателем экономической оценки эффективности применения систем орошения в аграрном производстве является срок окупаемости капитальных вложений.

Эффективность применения систем орошения оценивается по приростному денежному потоку. Рост денежного потока определяется как разность между денежными потоками по вариантам возделывания сельскохозяйственных культур без применения системы орошения и с применением технологии орошения очищенной водой с поверхностного водоёма.

Экономическая оценка эффективности применения систем орошения предусматривает сопоставление денежных доходов и расходов в неизменных ценах на определённую дату (например, на момент проведения расчётов). В расчётах эффективности использованы цены сельскохозяйственной продукции, включающие в себя надбавки и скидки за её качество, но не включающие дотации и НДС, а также цены, сложившиеся в год реализации технологий орошения на оптовых и розничных рынках, биржах, ярмарках, а также при продаже сельскохозяйственной продукции заготовительным организациями, перерабатывающим предприятиям и иным сторонним фирмам.

#### 7.1.1. Расчёт экономической эффективности.

Основным показателем эффективности является дисконтированный прирост чистого дохода, определяемый как накопленное за весь расчётный период сальдо приростного денежного потока.

Прирост чистого дисконтированного дохода при реализации технологий возделывания сельскохозяйственных культур при применении системы орошения по рекомендациям научно-технических материалов [148, 158, 159, 160, 161] рассчитывается:

$$NPV = \sum_1^T (\Delta_{\phi} - C - K)(1 + E)^{-1}, \quad (7.1)$$

где  $NPV$  – чистый дисконтированный доход, руб./га;

$E$  – годовая процентная ставка, %;

$T$  – расчётный период, годы;

$K$  – капитальные вложения, руб./га;

$\mathcal{E}_\phi$  – эффект, получаемый в результате реализации проекта, руб./га:

$$\mathcal{E}_\phi = \mathcal{E}_{op} + \mathcal{E}_s^n + \mathcal{E}_n^e + \mathcal{E}_y \quad (7.2),$$

где  $\mathcal{E}_{op}$  – эффект от применения системы орошения в виде прироста стоимости производимой сельскохозяйственной продукции, руб./га;

$\mathcal{E}_s^n$  – предотвращенный ущерб, связанный с изменением плодородия почв, руб./га;

$\mathcal{E}_n^e$  – эффект от изменения степени загрязнения водных ресурсов поверхностного водоёма при их очистке в результате реализации системы орошения, руб./га;

$\mathcal{E}_y$  – предотвращённый ущерб в связи с увеличением стабильности сельскохозяйственного производства (снижение коэффициента вариации урожаев) и очисткой водных ресурсов, руб./га.

Прирост ежегодных затрат ( $C$ ) определяется по зависимости:

$$C = C_{c.-x.} + C_m, \quad (7.3)$$

где  $C_{c.-x.}$  – прирост затрат при выращивании сельскохозяйственных культур различных групп, руб./га;

$C_m$  – прирост затрат на амортизацию, обслуживание и ремонт технических средств и оборудования разработанной системы орошения, руб./га.

Экономический эффект от применения системы орошения с очисткой воды из поверхностного водоёма определяется:

$$\mathcal{E}_{op} = C \sum_{t=1}^T (\Delta B_t - C_t^{mel} - \Delta C_t^{c.-x.} - C_t^{nn} - C_t^{np} - C_t^{нал.} + LC_t) \rightarrow \max \quad (7.4),$$

где  $C$  – цена реализации сельскохозяйственных культур в регионе, руб./ц;

$\Delta B_t$  – прирост дохода от реализации сельскохозяйственных культур, возделываемых с применением системы орошения с очисткой воды из поверхностного водоёма в году  $t$  расчётного периода  $T$ , руб.;

$C_t^{mel}$  – ежегодные затраты по эксплуатации системы орошения (без учёта отчислений на реновацию во избежание двойного счёта капитальных вложений в осуществление мелиоративных мероприятий), руб.;

$\Delta C_t^{c.-x.}$  – прирост затрат на производство сельскохозяйственных культур при применении системы орошения, руб.;

$C_t^{nn}$  – затраты, связанные с осуществлением мероприятий направленных на поддержание природного плодородия почв и охрану водных ресурсов при орошении сельскохозяйственных культур (природоохранные затраты) при заборе воды с поверхностного водоёма, руб.;

$C_t^{np}$  – размер ущерба в году  $t$  расчётного периода, нанесённый природной среде в результате забора воды из поверхностного водоёма при проведении очистки и орошения, руб.;

$C_t^{нал.}$  – затраты на уплату косвенных и прямых налогов, руб.;

$LC_t$  – ликвидная стоимость основных фондов, выбывающих в году  $t$ , руб.

Прирост урожайности сельскохозяйственных культур в денежном выражении при применении системы орошения с очисткой воды с поверхностного водоёма в конкретном году определяется [161, 198, 206, 212]:

$$\Delta B_t = C \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (y_{ij}^{op} - y_{ij}^{mex}) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot F_{op} \cdot \alpha_{ij} \cdot KЗИ \quad (7.5),$$

где  $Y_{ij}^{op}$  – урожайность  $i$ -ой сельскохозяйственной культуры  $j$ -ой группы при применении системы орошения с очисткой воды из поверхностного водоёма, ц/га;

$Y_{ij}^{mex}$  – урожайность  $i$ -ой сельскохозяйственной культуры  $j$ -ой группы без применения системы орошения, ц/га;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий равномерность увлажнения земель при применении системы орошения с очисткой воды из поверхностного водоёма;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий снижение урожайности  $i$ -ой сельскохозяйственной культуры  $j$ -ой группы при отклонении влажности почвы от оптимальной;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий несоответствие фактического содержания элементов минерального питания в почве оптимальному значению;

$F_{op}$  – площадь орошаемых земель, га;

$\alpha_{ij}$  – доля  $i$ -ой сельскохозяйственной культуры  $j$ -ой группы в севообороте;

$K_{ЗИ}$  – коэффициент земельного использования.

Коэффициент качества полива [161] определяется по формуле:

$$K_I = K_M / K_D, \quad (7.6),$$

где  $K_M$  – коэффициент эффективности полива по Кристиансену;

$K_D$  – коэффициент равномерности распределения для естественных дождей, приближенно 0,9.

Коэффициент, учитывающий отклонение влажности корнеобитаемого слоя почвы от оптимальной определяется по формуле:

$$K_2 = \left( \frac{W_H + W_K}{2} \right) : 0,9 \cdot W_{H.B}, \quad (7.7)$$

где  $W_H$  и  $W_K$  – начальные и конечные влагозапасы активного слоя почвы за расчётный период, мм;

$W_{H.B}$  – влагозапасы, соответствующие наименьшей влагоёмкости, мм.

Предотвращенный ущерб, связанный с сохранением плодородия почв ( $\mathcal{E}_s^n$ ), определяется по формуле [161]:

$$\mathcal{E}_s^n = Y_{yd}^n \cdot \Delta S \cdot K_n, \quad (7.8)$$

где  $Y_{yd}^n$  – показатель удельного ущерба почвам, руб./га;

$\Delta S$  – увеличение плодородия почв в результате реализации всех мероприятий, в долях от единицы;

$K_n$  – коэффициент, учитывающий плодородие почв, руб./га.

Предотвращенный ущерб от загрязнения водных ресурсов, связанный с уменьшением смыва почвы при повышении качества орошения и реализации агротехнических мероприятий, определяется по формуле [161]:

$$\mathcal{E}_n^e = \sum_1^n (Y_{yd}^e \cdot \sum \Delta M) \cdot K_s, \quad (7.9)$$

где  $Y_{yd}^e$  – показатель удельного ущерба (цены загрязнения) водным ресурсам различных типов водных бассейнов, руб./усл. т;

$\Delta M$  – приведённая масса загрязнённых веществ, не поступивших в водный источник в результате реализации мероприятий по системе орошения с очисткой воды, усл. т., определяется:

$$\Delta M = M_0 - M_1 \quad (7.10)$$

где  $M_0$  и  $M_1$  – поступление загрязнённых веществ до и после осуществления мероприятий, усл. т., определяются

$$M_0 = m_0 \cdot K_s, \quad M_1 = m_1 \cdot K_s, \quad (7.11)$$

где  $m_0$  и  $m_1$  – фактическая масса загрязнений, т;  
 $K_3$  – коэффициент относительной экономической опасности для каждого загрязняющего вещества.

### 7.1.2 Комплаенс-система доходов и расходов при возделывании сельскохозяйственных культур как инструмент функциональной работы водозаборов оросительных систем

На основе проанализированных причинно-следственных связей блоков функционирования природно-технической системы «ВО-ВС-ОС» предлагается экономико-математическая модель комплаенс-системы доходов и расходов при возделывании сельскохозяйственных культур с применением орошения. Цель разработки модели состоит в обосновании оптимального размера сельскохозяйственных площадей, используемых для возделывания различных культур, который позволит дополнительным доходом от применения орошения окупить затраты на очистку загрязнённой воды и на процессы орошения.

В качестве переменных экономико-математическую модели комплаенс-системы доходов и расходов при возделывании сельскохозяйственных культур с применением орошения принимаем площадь под сельскохозяйственными культурами. В качестве переменных модели принимаем  $x_{ij}$  – площадь возделывания  $i$  – вида сельскохозяйственной культуры  $j$  – й группы.

Целевая функция при этом принимает следующий вид:

$$\max z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} - k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij0} x_{ij0} - k_0 \quad (7.12)$$

где  $c_i$  – объём валовой продукции в денежном выражении, получаемый с 1 га посевов  $i$ -й культуры, руб.;

$x_{ij}$  – посевная площадь  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, га;

$k$  – производственные затраты на возделывание множества культур А из множества групп В, руб.;

$c_{ijo}$  – объём валовой продукции в денежном выражении, получаемой с 1 га посевов  $i$ -ой культуры  $j$ -той группы при использовании очищенной воды поверхностного водоёма для орошения, руб.;

$x_{ijo}$  – посевная площадь  $i$ -й культуры  $j$ -той группы при использовании очищенной воды поверхностного водоёма для орошения, га;

$k_{ijo}$  – производственные затраты на возделывание множества культур А из множества групп В при орошении очищенной водой из поверхностного водоёма системе сельскохозяйственного производства, руб.;

$I$  – множество видов сельскохозяйственных культур;

$J$  – множество видов групп сельскохозяйственных культур.

Система ограничений модели комплаенс-системы доходов и расходов при возделывании сельскохозяйственных культур с применением орошения имеет следующий вид.

1. Группа ограничений по использованию пашни:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} \leq d_{ij} \quad (d \in D), \quad (7.13)$$

где  $d_{ij}$  – площадь пашни для возделывания  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, га;

$D$  – множество видов посевных площадей.

2. Группа ограничений по производственным затратам в общем виде:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} l_{ijk} x_{ij} = k_{ij} \quad (k \in K), \quad (7.14)$$

где  $l_{ij}$  – производственные затраты возделывания  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, руб./га;

$k_{ij}$  – общий объём производственных затрат на возделывание  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, руб.;

$K$  – множество видов производственных затрат.

Группа ограничений по производственным затратам включает следующие ограничения.

2.1 Ограничения по материальным затратам (включает затраты на очищенную воду для целей орошения):

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} e_{ij} x_{ij} = m_{ij} (m \in M), \quad (7.15)$$

где  $e_{ij}$  – материальные затраты возделывания  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, руб./га;

$m_{ij}$  – объём материальных затрат на возделывание  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, руб.;

$M$  – множество видов материальных затрат.

2.2 Ограничения по затратам на оплату труда и отчисления на социальные нужды:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} f_{ij} x_{ij} = r_{ij} (r \in R), \quad (7.20)$$

где  $f_{ij}$  – затраты на оплату труда и отчисления на соц. нужды работников, занятых на возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, руб./га;

$r_{ij}$  – объём на оплату труда и отчисления на соц. нужды работников, занятых на возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы, руб.;

$R$  – множество видов затрат на оплату труда и отчисления на соц. нужды работников.

2.3 Ограничения по амортизационным отчислениям на технику и оборудование, используемое при возделывании сельскохозяйственных культур и их орошения, а также затраты по обслуживанию и ремонту:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} n_{ij} x_{ij} = t_{ij} (t \in T), \quad (7.21)$$

где  $n_{ij}$  – затраты на амортизацию, периодическое обслуживание и ремонт техники и оборудования, применяемых при возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы с орошением, руб./га;

$t_{ij}$  – объём затрат на амортизацию, периодическое обслуживание и ремонт техники и оборудования, применяемых при возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы с орошением, руб.;

$T$  – множество видов затрат на амортизацию, периодическое обслуживание и ремонт техники и оборудования.

2.4 Ограничения по прочим затратам при возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы с орошением:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} v_{ij} x_{ij} = p_{ij} (p \in P), \quad (7.22)$$

где  $v_{ij}$  – прочие затраты при возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы с орошением, руб./га;

$p_{ij}$  – объём прочих затрат, применяемых при возделывании  $i$ -й культуры  $j$ -той группы с орошением, руб.;

$P$  – множество видов прочих затрат.

3 Ограничения по максимальным пределам присутствия тех или иных сельскохозяйственных культур или  $j$ -й группы культур в структуре посевных площадей:

– для сельскохозяйственной культуры:

$$x_{ij} \geq \beta_{ij}^{max} \cdot d_{ij} \quad , \quad (7.23)$$

– для группы сельскохозяйственных культур:

$$\sum_{j=J} x_{ij} \geq \beta_{ij}^{max} \cdot d_j, \quad (7.24)$$

где  $\beta_{ij}^{max}$  – максимальный предел присутствия  $i$ -ой сельскохозяйственной культуры или группы культур в структуре посевных площадей.

Условия неотрицательности переменных экономико-математической модели: переменные всех групп неотрицательны.

### 7.1.3 Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим в качестве примера реализации модели комплаенс-системы доходов и расходов при возделывании сельскохозяйственных культур с применением орошения процесс возделывания овощных культур (например, лука) в засушливых условиях Ростовской области (рис.7.1). Потребность в воде при орошении овощных культур составляет 400-500 м<sup>3</sup>/га, урожайность овощных культур (лук) варьируется в пределах 210-218 ц/га, цена реализации в среднем составляет 1100-1200 руб./ц.

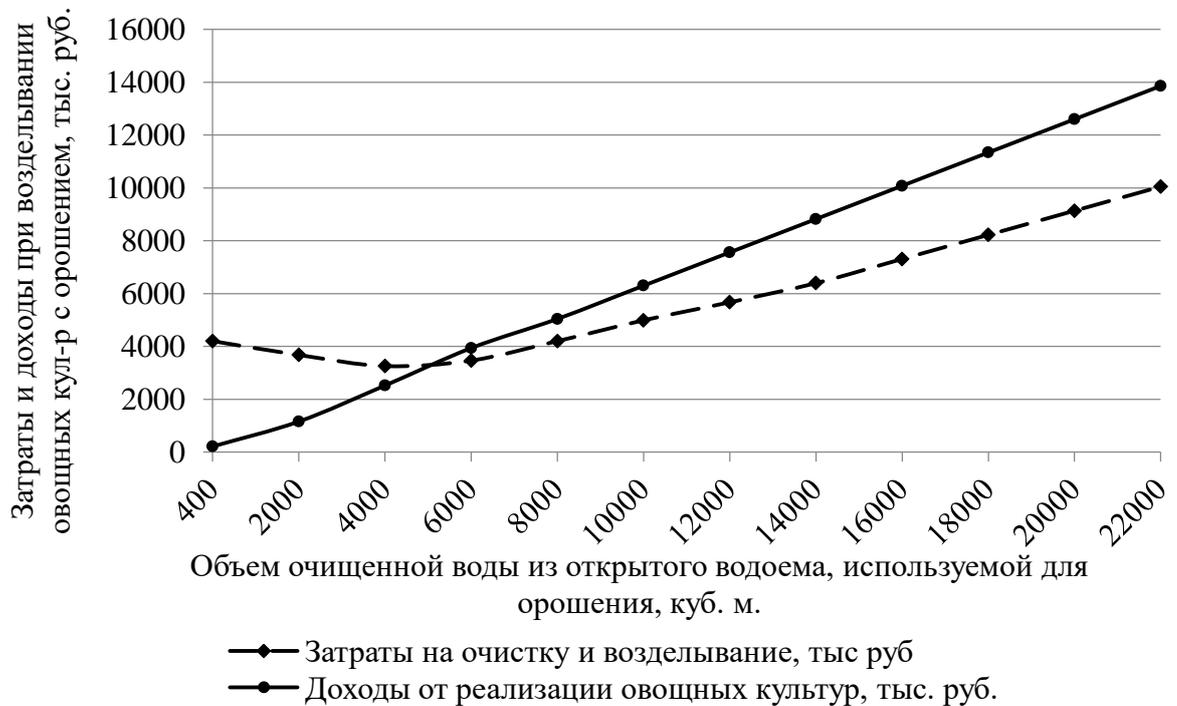


Рисунок 7.1 – Реализация комплаенс-системы доходов и расходов при возделывании овощных культур с применением орошения

Расчётные данные указывают на значительное превышение затрат над доходной составляющей при незначительных площадях возделывания овощных культур. При площади возделывания в 5 га затраты на очистку, орошение и возделывание составят порядка 3600 тыс. руб., доходы от реализации выращенных овощных культур варьируются на уровне 1200 тыс. руб.

При увеличении объёмов производства через площадь посева овощных культур доля переменных затрат в общей структуре издержек некоторое время сокращается. На графике этот интервал находится от 2000 м<sup>3</sup> до 6000 м<sup>3</sup> объёма воды, необходимого для очистки и полива, то есть с 5 до 15 га возделывания культуры. Между 4000 м<sup>3</sup> и 6000 м<sup>3</sup> графики линий расходов и доходов пересекаются, что означает полную окупаемость на данной площади возделывания затрат на очистку воды из открытого источника водозабора и её использование при орошении той величиной доходов, что получена от реализации овощных культур. В принятых масштабах расчёта ориентировочно при возделывании овощных культур с 12,0 га доходы начинают превышать расходы, наступает окупаемость затрат и далее получение прибыли от использования предлагаемой технологии водозабора, очистки и возделывания сельскохозяйственных культур. Таким образом, точка пересечения двух графиков функции называется комплаенс - точка, то есть точка соответствия расходов и доходов соответствующей технологии.

После наступления равновесного состояния, минуя комплаенс – точку, расходная часть начинает увеличиваться, ввиду роста переменных издержек производства овощных культур, и доход от реализации растёт, ввиду повышения урожайности при применении проектной технологии. Однако увеличение затратной части наблюдается менее интенсивными темпами, чем доходной. Наблюдается полная окупаемость доходной частью издержек на забор, очистку воды и использование при возделывании овощных культур.

*Разработанная* экономико-математическая модель комплаенс-системы доходов и расходов при возделывании сельскохозяйственных куль-

тур с применением орошения позволяет определить максимальный доход, получаемый сельхозтоваропроизводителем, позволяющий окупить затраты на очистку загрязнённой воды и на процессы орошения. При этом учитываются ограничения по объёмам и качеству используемых сельскохозяйственных угодий, производственные ограничения в общем виде, которые подразделяются на материальные затраты, затраты на оплату труда, амортизационные отчисления и отчисления на ремонт и обслуживание техники и оборудования. Модель учитывает агротехнические требования при возделывании сельскохозяйственных культур и организационно-экономические условия в части реализации севооборотов.

Выступая инструментом практической оценки эффективности применения систем орошения в аграрном производстве, разработанная модель комплаенс-системы доходов и расходов при возделывании сельскохозяйственных культур способствует определению прироста прибыли за счёт повышения урожайности сельскохозяйственных культур, возделанных при применении системы орошения, улучшения качества продукции, снижения затрат труда и сокращения себестоимости производства продукции аграрного сектора экономики.

## 7.2 Экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии в работе действующего водохозяйственного комплекса Александровский Ростовской области

Для подтверждения эффективности конструктивно-технологических разработок (КТР-1, КТР-2 и КТР-3) нами был проведён анализ работы действующих четырех объектов водопроводных очистных сооружений (ВОС): Александровских ВОС, БОС 1 и БОС 2. Анализ проводили по параметрам, влияющим на энергозатраты и себестоимость очистки воды за 2017–2019 гг.

В результате анализа данных исследований ВОС были составлены итоговые таблицы 7.1 и 7.2, которые показывают результаты экономической эф-

фективности после внедрения рекомендуемых схем (КТР-1, КТР-2, КТР-3).

Таблица 7.1 – Стоимость Нитрофлок 215 без применения рекомендуемых схем (КТР-1, КТР-2, КТР-3)

Показатель	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Средняя стоимость, тыс. руб./т без НДС	141,99	127,88	143,69
Общая стоимость за год, тыс. руб. без НДС	3187,23	2371,33	3489,60

Таблица 7.2 – Стоимость Нитрофлок 215 с применением рекомендуемых схем (КТР-1, КТР-2, КТР-3)

Показатель	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Средняя стоимость, тыс. руб./т без НДС	141,99	127,88	143,69
Общая стоимость за год, тыс. руб. без НДС	956,17	711,40	1046,88

Годовой экономический эффект от внедрения новых конструктивно-технологических систем защиты водохозяйственного технологического комплекса на Александровских водопроводных очистных сооружениях (г. Ростов-на-Дону) с производительностью 1,85 м<sup>3</sup>/с составил 4601,1 тыс. руб., в т. ч. из-за уменьшения затрат на коагулянт 2442,72 тыс. руб. и уменьшения затрат на электроэнергию 2158,38 тыс. руб.

### 7.3 Оценка экономической эффективности разработанных специализированных устройств по защите мелиоративного водозабора Невиномысского оросительного канала (г. Ставрополь)

Данные по условиям развития обрастаний на оборудовании и в водоводах систем представлены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Условия развития обрастаний моллюском дрейссена на оборудовании и в водоводах систем орошения

Наименование оборудования	Количество, шт.	Скорость течения охлаждающей воды, м/с	Температура охлаждающей воды в течение года, °С	Режим работы	Заключение о развитии обрастаний моллюском дрейссена
Приёмные камеры	13	Менее 1,0	3,7–34,5	Возможно опорожнение во время ППР	Благоприятные условия для неограниченного роста биомассы обрастаний в течение 6–7 мес./год
Водоочистные вращающиеся сетки	13	То же	То же	Осушение во время ППР, периодическая промывка	Возможно обрастание неподвижных частей
Сороудерживающие решётки	26	То же	То же	Осушение во время ППР	Благоприятные условия для развития обрастаний в течение 6–7 мес./год
Напорные водоводы подачи воды Д <sub>у</sub> = 2200 мм	8	1,4–2,5	То же	Постоянно в работе	Возможно незначительное обрастание нижнего сечения водоводов
Водоводы подачи воды Д <sub>у</sub> = 1600 мм	2	1,18–1,64	То же	То же	Возможно незначительное обрастание нижнего сечения и стенок

Длительность сезона обрастания составляет 6–7 мес./год (с конца апреля до начала ноября). По отчётным данным, максимальная плотность моллюсков дрейссена наблюдается в резервуарах насосных станций, в частности НС-3А «Подкачка», и в трубопроводах диаметром 1000 мм, ведущих к насосным станциям, в частности НС-3А «Подкачка». Выбор оборудования для борьбы с дрейссеной ограничивается его стоимостью и удобством при

дальнейшей эксплуатации.

Исходя из проведённого научно-технического анализа существующих и перспективных средств борьбы с дрейссеной, технических характеристик водозаборных устройств, расположенных на Сенгилеевском водохранилище, рекомендуем новую конструктивно-технологическую разработку КТР-1 электроинактивации велигеров дрейссены для обеспечения защиты механического оборудования насосных станций и дождевальнoй техники мелиоративных систем от негативного явления биообрастания, эффективность конструктивно-технологической разработки соответствует 100 % при определённых параметрах эксплуатации защитного устройства: электрический импульс с напряжённостью поля 80–100 В/мм, плотность тока 1–3 А/см<sup>2</sup> и длительность 20–60 мкс, импульсов 9, время действия 2 ч.

#### 7.4 Оценка экономической эффективности разработанных специализированных устройств по защите водозабора Райгородской оросительной системы Светлоярского района Волгоградской области

##### 7.4.1 Данные, характеризующие водную биоту района намечаемой деятельности

В границах водоохранных зон допускаются проектирование, строительство, реконструкция, ввод в эксплуатацию, эксплуатация хозяйственных и иных объектов при условии оборудования таких объектов сооружениями, обеспечивающими охрану водных объектов от загрязнения, засорения, заиления и истощения вод в соответствии с водным законодательством и законодательством в области охраны окружающей среды [131, 154, 162, 203, 207].

Ихтиофауна рассматриваемого района представлена весьма широко. Здесь временно или постоянно обитают практически все группы рыб: проходные, полупроходные и туводные (речные). Запасы и состояние промысла. Среди полупроходных и речных видов рыб по результатам уловов доминируют

лещ (211,1 экз./1 замет или 0,000113495 экз./м<sup>3</sup>), карась (14 экз./1 замет или 0,000007527 экз./м<sup>3</sup>) и судак (12,5 экз./1 замет или 0,00000672 экз./м<sup>3</sup>). Длина леща варьирует от 20 до 38 см; карася от 20 до 35 см. Средняя длина леща составила 28,1 см, карася – 27,7 см. Судак в уловах закидных неводов летом встречается в единичных экземплярах, а осенью в общем улове иногда преобладает (табл 7.4.).

Таблица 7.4 – Концентрации полупроходных и речных рыб в районе исследуемой акватории

Вид рыбы	Улов, экз. на 1 замет в сут	Улов, экз./м <sup>3</sup>
Лещ	211,1	0,000113495
Сазан	1,6	0,00000086
Сом	2,1	0,000001129
Щука	0,6	0,000000323
Судак	12,5	0,00000672
Краснопёрка	3,6	0,000001935
Карась	14,0	0,000007527
Густера	0,07	0,000000038
Чехонь	0,03	0,000000016
Синец	0,03	0,000000016
Толстолобик	1,8	0,000000097
Белый амур	0,6	0,000000032

Все особи его промысловых размеров – 33–60 см, с III стадией зрелости половых продуктов. В этой зоне обитает туводный и полупроходной судак. При благоприятных условиях (нагонный штормовой ветер южных направлений) судак заходит с мест нагула в Северном Каспии в водотоки волжской дельты.

#### 7.4.2 Влияние водозабора на состояние водных биологических ресурсов

С целью уменьшения возможного ущерба рыбным запасам Волго- Кас-

пия необходимы: быстрее оборудование всех существующих водозаборов надёжными РЗУ; сокращение до минимума мелких, локальных водозаборов; концентрация их вдали от нерестилищ и путей ската молоди рыб; запрещение работы сельскохозяйственных и максимальное ограничение работы остальных водозаборов в ночное время; разработка правовых норм по возмещению ущерба, наносимого водным биологическим ресурсам другими участниками водохозяйственного комплекса; разработка мер, регламентирующих работу водозаборов различного типа и их оборудование РЗУ, основанных на основах рыбозащиты. Нарушение сложившихся условий обитания и воспроизводства гидробионтов приводит к снижению продуктивности водоёмов, гибели водных биологических ресурсов. Забор воды приводит к гибели и травмированию рыб и кормовых организмов непосредственно на насосных установках. Любые изменения равновесия в водоёме ведут к нарушению естественного воспроизводства, сокращению численности и гибели водных биоресурсов.

Объём водозабора при эксплуатации насосной станции составит: май – 10740 тыс. м; июнь – 9125 тыс. м; июль – 9125 тыс. м; август – 7510 тыс. м; сентябрь – 1800 тыс. м. Расчёт размера вреда водным биоресурсам выполняется для той части воздействия, которую невозможно предотвратить или снизить посредством выполнения соответствующих мероприятий.

Производство работ окажет влияние на водные биоресурсы и приведёт к ухудшению условий нагула и воспроизводства рыб на участках производства работ, а именно произойдет: гибель фитопланктона в водозаборе при эксплуатации насосной станции; гибель зоопланктона в водозаборе при эксплуатации насосной станции.

#### 7.4.3 Влияние дноуглубительных работ на состояние водных биологических ресурсов

При проведении строительных работ в русле водотока наблюдается

прямое или косвенное воздействие на водные биоресурсы, выражающееся в разрушении донных биотопов, забора воды, значительное усиление мутности в районе производства работ, распространяющееся по течению.

Таким образом, влияние планируемых работ на окружающую среду будет проявляться в нарушении поверхности дна, увеличении концентрации взвеси в воде, разрушении донных биоценозов, гибели кормовых организмов бентоса и снижении кормовой базы рыб.

Основной пресс в результате нарушения поверхности дна испытывают организмы донной фауны, поскольку структура донных сообществ, условия их обитания и количественные характеристики определяются фракционным составом грунтов и особенностями отдельных биотопов (В. А. Заделенов и др., 2001) [166, 231, 323]. Видовой состав донного сообщества на 40–60 % определяется типом грунта. Поэтому любое изменение, произошедшее в грунте, немедленно отразится на видовом разнообразии биоценозов (А. С. Терентьев, <http://www.ecologylife.ru/2001/01/>). Вследствие трансформации грунтов соотношение площадей, занимаемых различными биоценозами, сильно меняется. Исчезают одни виды, появляются другие. Сокращается площадь, занимаемая биоценозами различными видов. Сокращаются кормовые ресурсы, снижается, в связи с этим, рыбопродуктивность водоёма (В. А. Заделенов и др., 2001).

Физическое нарушение целостности дна приводит к непосредственному уничтожению малоподвижных организмов, таких как корофииды, усоногие и др.

Указанные величины концентраций взвеси в значимых объёмах воды не прогнозируются.

Для зоопланктона принимаются следующие пороги летальности: 50 % потерь при концентрациях в пределах 20–100 мг/л и 100 % – при концентрациях выше 100 мг/л.

При разработке и захоронении грунта в воде прямое воздействие на бентосные сообщества (фито- и зообентос) оказывает осаждение частиц

грунта, перешедших во взвешенное состояние при гидротехнических работах, на дно. Осаждение частиц донных грунтов небольшой толщиной (1–5 см) вызывает гибель мелких и среднего размера представителей инфавны и эпифавны – полихет (кроме роющих видов), амфипод, балянусов, мелких гастропод, молоди двустворчатых моллюсков и других бентосных животных. Время восстановления исходной биомассы бентоса принимается равным 3 года.

Негативное влияние строительных работ также связано с забором воды. Кормовые организмы получают существенные повреждения и погибают в 100 % случаев.

Проведение данных работ способствует изменению структурного состава сообществ, смене доминирующих форм, изменению численности биомассы, возрастного состава популяций кормовых организмов. Негативному воздействию будут подвергаться практически все звенья пищевой цепи в водоёме.

Влияние планируемых работ на окружающую среду вызовет утрату нерестовых площадей, что, в свою очередь, негативно скажется на эффективности естественного воспроизводства запасов рыб в этом районе. Деформация структуры нерестовых угодий будет обусловлена и утратой нерестового субстрата фитофильных и литофильных рыб. Мягкая растительность является излюбленным субстратом для икрометания рыб, в частности, карповых. Дефицит нерестового субстрата является серьёзным препятствием для эффективного размножения, поскольку в таких случаях рыбы выметывают икру скученно, что снижает её выживание. Отсутствие субстрата на участках нерестовых угодий, подвергаемых техногенному воздействию, и в этом случае приведёт к полной потере рыбопродуктивности. Таким образом, исследуемый участок следует рассматривать как важный в рыбохозяйственном аспекте, где изъятие нерестовых площадей может нанести ущерб водным биологическим ресурсам.

Время начала производства работ – после прохождения половодья. В

период сроков нереста рыбы строительные работы в границах водоохранной зоны водного объекта не производятся. Расчёт размера вреда водным биоресурсам выполняется для той части воздействия, которую невозможно предотвратить или снизить посредством выполнения предупредительных мероприятий.

Производство работ окажет влияние на водные биоресурсы и приведёт к ухудшению условий нагула и воспроизводства рыб на участках производства работ, а именно произойдет:

- гибель зообентоса при строительстве дамбы и образовании котлована на площади  $732 \text{ м}^2$  дна подводящего канала;
- гибель зообентоса в «шлейфе мутности» на площади  $2168 \text{ м}^2$  дна подводящего канала;
- гибель фитопланктона в воде, сбрасываемой из котлована, объёмом  $885 \text{ м}^3$ ;
- гибель фитопланктона в «шлейфе мутности» объёмом  $3902,4 \text{ м}^3$ ;
- гибель зоопланктона в воде, сбрасываемой из котлована, объёмом  $885 \text{ м}^3$ ;
- гибель зоопланктона в «шлейфе мутности» объёмом  $3902,4 \text{ м}^3$ ;
- гибель фитопланктона в «шлейфе мутности», образующегося в результате демонтажа дамбы, объёмом  $885 \text{ м}^3$ ;
- гибель зоопланктона в «шлейфе мутности», образующегося в результате демонтажа дамбы, объёмом  $885 \text{ м}^3$ ;
- отчуждение нерестовых площадей под застройки в период реконструкции и последующей эксплуатации  $53,9 \text{ м}^2$ .

#### 7.4.4 Расчёт размера вреда водным биоресурсам

Основные параметры вреда, причиняемого водным биологическим ресурсам при реконструкции насосной станции и эксплуатации водозабора, приняты в соответствии с проектными данными на основе рекомендаций

«Методики исчисления размера вреда, причинённого водным биологическим ресурсам», утверждённой Приказом Росрыболовства от 25.11.2011 № 1166, и с учётом рекомендаций согласующих органов [131].

В расчётах использованы коэффициенты в соответствии с таблицей 7.5 Приложения к «Методике...», для Волжско-Каспийского бассейна, водных объектов Нижней Волги.

Таблица 7.5 – Коэффициенты, используемые в расчётах

Группа кормовых организмов	Коэффициент для перевода биомассы объектов в продукцию кормовых организмов $P / B$	Кормовой коэффициент для перевода продукции кормовых организмов в рыбопродукцию $K_2$	Показатель предельно возможного использования кормовой базы рыбой $K_3$
Зоопланктон	15,0	8	60
Фитопланктон	170	50	10
Зообентос	8,0	5	60

В связи с тем, что работы по реализации проекта планируются в межсезонный период в течение 6 мес., в расчётах используются средние значения биомассы кормовых организмов.

#### 1. Гибель зообентоса.

Определение потерь водных биоресурсов от гибели зообентоса производилось по формуле (5с) «Методики...»:

$$N_6 = B_6 \cdot (1 + P / B) \cdot S \cdot K_E \cdot (K_3 / 100) \cdot d \cdot O \cdot 10^{-3},$$

где  $N_6$  – возможный объём потерь водных биоресурсов от гибели бентосных кормовых организмов, кг;

$B_6$  – средняя концентрация бентосных кормовых организмов в зоне производства работ,  $B_6 = 16,67 \text{ г/м}^2$ ;

$P/B$  – коэффициент для перевода биомассы кормовых организмов в продукцию кормовых организмов,  $P/B = 8$ ;

$S$  – площадь зоны повреждения дна,  $S = 2900 \text{ м}^2$ ;

$K_E$  – коэффициент эффективности использования пищи на рост,  $K_E = 1/K_2$ ;

$K_2$  – кормовой коэффициент для перевода продукции кормовых организмов в рыбопродукцию,  $K_2 = 5$ ;

$K_3$  – показатель использования кормовой базы рыбами,  $K_3 = 60 \%$ ;

$d$  – степень негативного воздействия,  $d = 1$ ;

$O$  – повышающий коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия строительных работ и время восстановления численности кормовых бентосных организмов на площади повреждения дна. Данный коэффициент вычисляется в соответствии с п. 51 «Методики ...» по формуле:

$$O = T + K_6 = 183/365 + 0,5 \cdot 3 = 2,0,$$

где  $T$  – повышающий коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия работ в долях года (день / 365 дней). Срок негативного воздействия составляет 3 года;

$K_6$  – повышающий коэффициент, учитывающий время восстановления численности кормовых бентосных организмов на площади повреждения дна  $i = 3$  года.

Площади негативного воздействия от повреждения дна и воздействия «шлейфа мутности» в дальнейших расчётах объединены, т. к. степень негативного воздействия от «шлейфа мутности» принимается за 1. Такой же подход используется в расчётах по фито- и зоопланктону.

Возможный объём потери водных биоресурсов от гибели кормовых бентосных организмов при непосредственном повреждении дна в зоне работ составит:

$$N = 16,67 \cdot (1 + 8) \cdot 2900 \cdot (1/5) \cdot (60/100) \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,001 = 104,421 \text{ кг.}$$

## 2. Гибель фитопланктона при строительстве (демонтаже) дамбы.

Возможный вред от гибели кормовых организмов фитопланктона рассчитывается по формуле (5а) «Методики...»:

$$N = B \cdot (1 + P/B_{\text{сут.}}) \cdot t_{\text{сут}} \cdot K_E \cdot (K_3/100) \cdot d \cdot 10^{-3},$$

где  $N$  – возможный объём потерь водных биоресурсов от гибели фитопланктона в объёме воды, кг;

$B$  – средняя концентрация кормовых организмов фитопланктона,  $B_0 = 1,34$  г/м<sup>2</sup>;

$P/B_{\text{сут}}$  – средний суточный продукционный коэффициент для перевода биомассы кормовых организмов фитопланктона в продукцию кормовых организмов, рассчитываемый путём деления годового коэффициента  $P/B_{\text{год}}$  на длительность сезона вегетации в сутках, ( $170/164 = 1,04$ );

$W_{\text{сут}}$  – суточный объём захватываемой воды ( $5672,4$  м<sup>3</sup>);

$t_{\text{сут}}$  – продолжительность негативного воздействия на фитопланктон, (1 сутки);

$K_E$  – коэффициент эффективности использования пищи на рост,  $K_E = 1/K_2$ ;

$K_2$  – кормовой коэффициент для перевода продукции кормовых организмов в рыбопродукцию,  $K_2 = 50$ ;

$K_3$  – показатель использования кормовой базы рыбами,  $K_3 = 10$  %;

$d$  – степень негативного воздействия на кормовые организмы

фитопланктона - 100% гибель ( $d = 1$ ).

Потери водных биоресурсов от гибели фитопланктона составят:

$$N = 1,34 \cdot (1 + 1,04) \cdot 5672,4 \cdot 1 \cdot (1 / 50) \cdot (10 / 100) \cdot 1 \cdot 0,001 = 0,031 \text{ кг.}$$

3. Гибель зоопланктона при строительстве (демонтаже) дамбы.

Расчёт потерь водных биоресурсов от гибели кормовых организмов зоопланктона производился по формуле (5) «Методики...»:

$$N = B \cdot (1 + P/B) \cdot W \cdot K_E \cdot (K_3/100) \cdot d \cdot 10^{-3},$$

где  $N$  – возможный объём потерь водных биоресурсов от гибели кормовых организмов зоопланктона, кг;

$B$  – средняя концентрация кормовых организмов зоопланктона,  $B_{\text{с}} = 0,9$  г/м<sup>2</sup>;

$P/B$  – коэффициент для перевода биомассы кормовых организмов зоопланктона в продукцию кормовых организмов,  $P/B = 15$ ;

$W$  – объём захватываемой воды (5672,4 м<sup>3</sup>);

$K_E$  – коэффициент эффективности использования пищи на рост,  $K_E = 1/K_2$ ;

$K_2$  – кормовой коэффициент для перевода продукции кормовых организмов зоопланктона в рыбопродукцию,  $K_2 = 8$ ;

$K_3$  – показатель использования кормовой базы рыбами,  $K_3 = 60$  %;

$d$  – степень негативного воздействия в объёме воды, захватываемой ковшом экскаватора, на кормовые организмы зоопланктона - 100% гибель ( $d= 1$ ).

Возможный объём потери водных биоресурсов от гибели кормовых организмов зоопланктона в объёме забираемой воды, составит:

$$N = 0,9 \cdot (1 + 15) \cdot 5672,4 \cdot (1 / 8) \cdot (60 / 100) \cdot 1 \cdot 0,001 = 6,126 \text{ кг.}$$

#### 4. Гибель фитопланктона при эксплуатации насосной станции.

По данным проектной документации, ежегодный объём забираемой насосной станцией воды составляет 38300000 м (Решение о предоставлении водного объекта в пользование от 03.04.2015 № 18Р и № 21Р. Служба природопользования и охраны окружающей среды Волгоградской области).

Возможный вред от гибели кормовых организмов фитопланктона рассчитывается по формуле (5а) «Методики...».

Потери водных биоресурсов от гибели фитопланктона составят:

$$N = 1,34 \cdot (1 + 1,04) \cdot 38300000 \cdot 1 \cdot (1 / 50) \cdot (10 / 100) \cdot 1 \cdot 0,001 = 209,394 \text{ кг.}$$

#### 5. Гибель зоопланктона при эксплуатации насосной станции.

Расчёт потерь водных биоресурсов от гибели кормовых организмов зоопланктона производился по формуле (5) «Методики...».

Возможный объём потери водных биоресурсов от гибели кормовых организмов зоопланктона в объёме забираемой воды составит:

$$N = 0,9 \cdot (1 + 15) \cdot 38300000 \cdot (1 / 8) \cdot (60 / 100) \cdot 1 \cdot 0,001 = 41364 \text{ кг.}$$

#### 6. Гибель ихтиопланктона при заборе воды.

Исходные данные по средней массе рыб промысловых размеров приняты на основании данных ФГБНУ КаспНИРХ (письмо от 12.04.2017 № 01-16/981).

В рассматриваемый период размер молоди рыб превышает 12 мм. Расчёт размера вреда производится по формуле (4b) «Методики...»:

$$N = nW \cdot [(100 - K_0) / 100]^{\bullet} \cdot p \cdot 10^{-3},$$

где  $N$ - потери (размер вреда) водных биоресурсов, т;

$n$ - средняя за период встречаемости данной стадии или весовой категории концентрация икры, экз./м<sup>3</sup>;

$W$ -объём воды, забираемой водозабором за расчётный период, м ;

$K_0$  - коэффициент эффективности рыбозащитного устройства (92,5%);

$p$  - средняя масса рыб промысловых размеров, г;

$O$  - величина повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия намечаемой деятельности и время восстановления (до исходной численности, биомассы) теряемых водных биоресурсов;

$10^{-3}$  – показатель перевода граммов в килограммы.

7. Размер вреда водным биоресурсам в результате отчуждения нерестовых площадей при выполнении строительных работ.

На время эксплуатации временного объезда (15 лет) площадь отчуждения нерестовых площадей составит 53,9 м<sup>2</sup>. Показатели, используемые в расчётах, представлены в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Показатели, используемые в расчётах

Вид рыб	Средняя масса рыб промысловых размеров, кг	Коэффициент пополнения промыслового запаса
Вобла	0,15	0,02
Синец	0,125	0,02
Судак	1,1	0,02
Густера	0,163	0,025
Жерех	1,5	0,01
Лещ	0,382	0,03
Карась	0,541	0,02
Окунь	0,193	0,02
Уклея	0,012	0,02
Краснопёрка	0,196	0,02

Ущерб при частичной потере рыбохозяйственного значения части водного объекта определяется по формуле (1) «Методики...»:

$$N = P_0 \cdot S \cdot d ,$$

где  $N$  – возможный объём потерь водных биоресурсов, кг;

$P_0$  – рыбопродуктивность водного объекта (95,2 кг/га для дельты р. Волги);

$S$  – площадь водных объектов рыбохозяйственного значения, утрачивающих рыбохозяйственное значение;

$d$  – степень негативного воздействия работ 100 % ( $d = 1$ ).

Возможный вред, наносимый водным биоресурсам от изъятия части водного объекта при проведении строительных работ, составит:

$$N = 95,2 \cdot 0,0054 \cdot 15 = 7,711 \text{ кг.}$$

#### 8. Компенсационные мероприятия.

Законодательством предусматривается возмещение ущерба, наносимого строительством и эксплуатацией предприятий, сооружений, других объектов и производством различных работ на рыбохозяйственных водоёмах на основании следующих нормативных документов:

- Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;
- Постановления Правительства РФ от 12.02.2014 № 99 «Об утверждении Правил организации искусственного воспроизводства водных биологических ресурсов»;
- Постановления Правительства РФ от 30 апреля 2013 г. № 384 «О согласовании Федеральным агентством по рыболовству строительства и реконструкции объектов капитального строительства, внедрения новых технологических процессов и осуществления иной деятельности, оказывающей воздей-

ствие на водные биологические ресурсы и среду их обитания».

Затраты, необходимые для проведения восстановительных мероприятий, определяемые в соответствии с главой III «Методики...», являются ориентировочными и уточняются субъектом намечаемой деятельности в рамках договорных отношений с подрядными организациями, выполняющими такие мероприятия (п. 55 «Методики...»).

Восстановительные мероприятия осуществляются посредством искусственного воспроизводства водных биоресурсов для восстановления нарушенного состояния их запасов (п. 56 «Методики...»). Проведение восстановительных мероприятий планируется в том водном объекте или рыбохозяйственном бассейне, в котором будет осуществляться намечаемая деятельность и в отношении тех видов водных биоресурсов и среды их обитания (места нереста, зимовки, нагула, пути миграции), которые будут утрачены в результате негативного воздействия такой деятельности (п. 57 «Методики...»).

В случае невозможности проведения восстановительных мероприятий посредством искусственного воспроизводства отдельных видов водных биоресурсов, состояние запасов которых нарушено, искусственное воспроизводство планируется в отношении других более ценных или перспективных для искусственного воспроизводства либо добычи (вылова) видов водных биоресурсов, с последующим выпуском искусственно воспроизводимых личинок и/или молоди водных биоресурсов в водный объект рыбохозяйственного значения в количестве, эквивалентном в промысловом возврате теряемым водным биоресурсам.

Суммарная величина возможного расчётного единовременного ущерба рыбным запасам от реконструкции водозаборного сооружения с учётом разработанных специализированных устройств по защите водозабора Райгородской оросительной системы Светлоярского района Волгоградской области на протоке Волги в натуральном выражении составит 118,258 кг, в т. ч.:

- гибель зообентоса 104,42 кг;
- гибель зоопланктона при дноуглублении 6,126 кг;

- отчуждение нерестовых площадей 7,711 кг.

Суммарная величина возможного расчётного ежегодного ущерба рыбным запасам от эксплуатации водозабора в натуральном выражении составит 59232,522 кг, в т. ч.:

- гибель зоопланктона при эксплуатации водозабора 41634 кг;
- гибель личинок и ранней молоди рыб 17868,522 кг.

Расчёт компенсационных капиталовложений на осуществление искусственного воспроизводства водных биологических ресурсов в целях компенсации непредотвращаемого ущерба при производстве работ, оказывающих негативное влияние на водные биоресурсы и среду их обитания, произведён по количеству выпускаемой молоди осетровых навеской 3 г (по Волгоградской области).

Количество молоди водных биоресурсов, воспроизводимых в рамках восстановительных мероприятий на компенсационном объекте для их последующего выпуска в водный объект рыбохозяйственного значения, определяется по формуле (6) «Методики...»:

$$N_M = N / (p \cdot K / 100),$$

где  $N_M$  – количество воспроизводимых водных биоресурсов (личинок, молоди рыб, других водных биоресурсов), экз.;

$N$  – потери (размер вреда) водных биоресурсов, кг;

$p$  – средняя масса одной воспроизводимой особи водных биоресурсов в промысловом возврате, кг (средняя масса осетра принята 13,33 кг);

$K$  – коэффициент промвозврата или пополнения промыслового запаса, % (1,2 – для молоди осетра навеской 2–4 г).

Количество молоди водных биоресурсов, воспроизводимых в рамках восстановительных мероприятий на компенсационном объекте для их последующего выпуска в водный объект рыбохозяйственного значения, составит:

- единовременно  $N_M = 118,258 / (13,33 \cdot 1,2 / 100) = 740$  шт.;

- ежегодно  $N_M = 59232,522 / (13,33 \cdot 1,2 / 100) = 370204$  шт.

Расчёт эксплуатационных затрат для одного воспроизводимого вида водных биоресурсов на предприятии аквакультуры одного типа выполняется по формуле (11) «Методики...»:

$$F = N \cdot B_{уд},$$

где  $F$  – общие эксплуатационные затраты (компенсационный ущерб);

$N$  – потери водных биоресурсов (размер вреда), т;

$B_{уд}$  – нормативы удельных эксплуатационных затрат, руб. на 1 т промыслового возврата.

По данным Ассоциации рыбоводных предприятий «Волгоградрыбхоз», стоимость такой молоди осетра в осенний сезон 2020 г. составило 20 руб./шт.

Необходимый объём компенсационных капиталовложений на воспроизводство водных биоресурсов от негативного воздействия водозабора составит:

- единовременно  $F = 740 \cdot 20 = 14800$  руб.;

- ежегодно  $F = 370204 \cdot 20 = 7404080$  руб.

Стоимость компенсационного мероприятия определяется на основании договора (сметы) её исполнения специализированной организацией, занимающейся искусственным воспроизводством водных биологических ресурсов. Рассчитанный объём компенсационных капиталовложений рыбному хозяйству необходимо использовать целевым назначением на проведение рыбохозяйственных мероприятий, способствующих поддержанию и увеличению рыбных запасов Волго-Каспийского промыслового района на основании Приказа № 19 от 21.01.2009 Федерального Агентства по Рыболовству.

Проведение восстановительных мероприятий рекомендуется осуществлять в бассейне р. Волга. Предложенные компенсационные мероприя-

тия должны быть согласованы с Росрыболовством и выполнены по согласованию с Волго-Каспийским территориальным управлением.

#### 7.5 Оценка экономической эффективности разработанных специализированных устройств по защите мелиоративного водозабора ООО «Дары садов» Цимлянского района Ростовской области

Водозабор ООО «Дары садов» Цимлянского района Ростовской области (рис.7.2). Водозабор расположен в акватории Крутинского залива Цимлянского водохранилища и состоит из:

- водозаборной трубы диаметром 219 мм без рыбоохранного устройства;



1 – водозабор; 2 – Крутилинский залив; 3 – песчаная буна; 4 – Цимлянское водохранилище

Рисунок 7.2 – Расположение водозабора ООО «Дары садов» Цимлянского района Ростовской области

- здания с насосным оборудованием и автоматикой, размещённого на свайной платформе у берега над поверхностью воды залива;

- водопровода диаметром 219 мм и длиной 3853 м;

- бетонной и шпунтовой стенками от волнового размыва берега.

*Рыбохозяйственное значение Цимлянского водохранилища.* В соответствии с приказом Росрыболовства от 17.09.2009 № 818 «Об установлении категории водных объектов рыбохозяйственного значения и особенностей добычи (вылова) водных биоресурсов, обитающих в них и отнесённых к объектам рыболовства», Цимлянское водохранилище относится к водным объектам высшей категории рыбохозяйственного значения.

Водозабор работает 120 сут/год в дневное время с производительностью 136 м<sup>3</sup>/ч, т. е.  $136 \cdot 12 \cdot 30 \cdot 4 = 195840$  м<sup>3</sup>/год.

Ихтиофауна Цимлянского водохранилища представлена 44 видами рыб, относящимися к 10 семействам.

В условиях водохранилища массово размножаются виды рыб понтокаспийского пресноводного комплекса, преимущественно генеративно-фитофильные представители: лещ, судак, синец, густера, берш, чехонь и др.

Накоплению нерестовых популяций этих ценных промысловых видов рыб и увеличению их общей численности способствовала их интродукция. В начальном периоде формирования ихтиофауны водохранилища (1952–1956 гг.), производилось зарыбление водоёма лещом (136 тыс. экз.), сазаном (44,5 тыс. экз.), судаком (7 тыс. экз.) и другими видами. Интродукция производителей этих рыб способствовала появлению урожайных поколений этих видов.

Экономическая оценка применения специализированных защитных средств обеспечения функциональной работы водозабора. Расчёт прямого и косвенного вреда, наносимого рыбным ресурсам при эксплуатации водозабора при орошения сада, проводился в соответствии с разделами 2 и 3 «Методики определения негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрения новых технологических процессов и осуществления иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на

восстановление их нарушенного состояния», утвержденной Приказом Федерального агентства по рыболовству № 238 от 06.05.2020.

Прямые потери рыбных ресурсов от гибели молоди рыб более 12 мм и взрослых особей при заборе воды определялись по формуле (5б) («Методики...»):

$$N = n_{\text{пш}} \cdot W_{\text{вр}} \cdot \frac{100 - K_0}{100} \cdot \frac{K_1}{100} \cdot p \cdot d \cdot \theta,$$

где  $N$  – потери рыбных ресурсов, т;

$n_{\text{пш}}$  – средняя за период встречаемости концентрация молоди рыб более 12 мм и взрослых особей в зоне водозабора, экз./м<sup>3</sup>;

$W_{\text{вр}}$  – объём используемой воды за год, м<sup>3</sup>;

100 – показатель перевода процентов в доли единицы;

$K_0$  – коэффициент эффективности рыбозащитного сооружения, %.

Если рыбозащитное устройство на водозаборе отсутствует, то  $K_0 = 0$ ;

$K_1$  – величина промыслового возврата для молоди рыб более 12 мм, принимается равным 100 %;

$p$  – средняя масса одной воспроизводимой особи рыб, кг;

$d$  – доля гибнущих рыб от их общего количества в объёме используемой воды за год, в долях единицы, для условий водозабора ООО «Дары садов»  $d = 1$ ;

$\theta$  – повышающий коэффициент для условий водозабора приравняется к длительности негативного воздействия в долях года, т. е. отношению 120 суток / 365 дней = 0,33 (определяется по п. 28 «Методики...»).

Годовые потери рыбных ресурсов в водозаборе при отсутствии рыбозащитного устройства показаны в таблице 7.4.

Косвенные потери рыбных ресурсов от гибели фитопланктона при заборе воды определялись по формуле (6) «Методики...»:

$$N_1 = B \cdot \left( 1 + \frac{P}{B_{\text{сут}}} \right) \cdot W_{\text{сут}} \cdot t_{\text{сут}} \cdot K_E \cdot \frac{K_3}{100} \cdot d,$$

где  $N_1$  – потери рыбных ресурсов, кг/год;

$B$  – средняя многолетняя величина общей биомассы фитопланктона в Цимлянском водохранилище, кг/м<sup>3</sup>,  $B = 12 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>;

$\frac{P}{B_{\text{сут}}}$  – средний суточный продукционный коэффициент перевода биомассы кормовых организмов в их продукцию, для условий Цимлянского водохранилища

для условий Цимлянского водохранилища

$$\frac{P}{B_{\text{сут}}} = 0,493;$$

$W_{\text{сут}}$  – средний суточный объём используемых водных ресурсов, м<sup>3</sup>,

$$W_{\text{сут}} = 136 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 12 \text{ ч} = 1632 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$t_{\text{сут}}$  – продолжительность забора воды, сут,  $t_{\text{сут}} = 120$  сут;

$K_E$  – коэффициент эффективности использования пищи на рост, для условий Цимлянского водохранилища  $K_E = 1/K_2$ ,  $K_E = 1/50$ ;

$K_3$  – средняя доля использования кормовой базы рыбами, %, для условий Цимлянского водохранилища  $K_3 = 10$  %;

100 – показатель перевода процентов в доли единицы;

$d$  – доля гибнущих организмов от общего их количества, в долях единицы, для условий водозабора ООО «Дары садов»  $d = 1$ .

Годовые потери рыбных ресурсов в водозаборе ООО «Дары садов», для орошения сада представлены в таблице 7.7.

После подстановки расчётных значений в формулу и преобразований получим косвенные потери рыбных ресурсов от гибели фитопланктона  $N_1 = 7 \text{ кг/год} = 0,007 \text{ т/год}$ . Косвенные потери рыбных ресурсов от гибели зоопланктона при заборе воды определялись по формуле (6б) «Методики...»:

Таблица 7.7 – Годовые потери рыбных ресурсов в водозаборе ООО «Дары садов» для орошения сада

Вид рыб	%	$n_{\text{ши}}$ , экз./м <sup>3</sup>	$\rho$ , кг	$n$ , шт./год	$N$ , т/год
Уклейка	34	0,2	0,03	12925	0,39
Окунь	13,6	0,08	0,08	5170	0,41
Лещ	11,4	0,067	0,75	4330	3,25
Густера	9,7	0,057	0,15	3684	0,55
Судак	8,7	0,051	1,75	3296	5,77
Карась	8,5	0,05	0,28	3231	0,9
Чехонь	6,3	0,037	0,05	2050	0,1
Бычок	3,7	0,022	0,041	1939	0,08
Тарань	2,2	0,013	0,1	2546	0,25
Ёрш	1,7	0,01	0,05	840	0,04
Сумма	100				11,74

Примечания:

1) Данные по  $n_{\text{ши}}$  в таблице в соответствии с положением п. 13 «Методики определения...» взяты из исследований, опубликованных в статье авторов: А. А. Клевакин, В. В. Логинов, А. В. Моисеев «Определение вреда водным биологическим ресурсам равнинных водохранилищ Средней Волги (на примере Горьковского и Чебоксарского) при изъятии воды парком водозаборов на нужды различных ведомств» (Труды ВНИРО. Научный журнал. Т. 161. 2016. С. 127–139);

2)  $n$  – количество погибших рыб в водозаборе.

$$N_2 = B \cdot \left(1 + \frac{P}{B}\right) \cdot W \cdot \frac{1}{K_2} \cdot \frac{K_3}{100} \cdot d,$$

где  $N_2$  – потери рыбных ресурсов, кг/год;

$B$  – средняя многолетняя величина общей биомассы зоопланктона в Цимлянском водохранилище,  $B = 0,96 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>;

$\frac{P}{B}$  – годовой коэффициент перевода биомассы зоопланктона в их про-

дукцию, для условий Цимлянского водохранилища  $\frac{P}{B} = 25$ ;

$W$  – объём используемой воды, м<sup>3</sup>/год, 195840 м<sup>3</sup>/год;

$K_2$  – количество корма, необходимого для прироста 1 кг рыбного ресурса, кг, для условий Цимлянского водохранилища  $K_2 = 8$  кг;

$K_3$  – показатель использования зоопланктона рыбами, %, для условий Цимлянского водохранилища  $K_3 = 60$  %;

$d$  – доля погибших рыб от их количества, в долях единицы, для условий водозабора  $d = 1$ .

После подстановки расчётных значений в формулу и преобразований получим косвенные годовые потери рыбных ресурсов от гибели зоопланктона:  $N_2 = 367$  кг/год = 0,367 т/год.

Общие годовые потери рыбных ресурсов в натуральном выражении в водозаборе ООО «Дары садов» при орошении сада составляют:

$$N_{\text{общ}} = N + N_1 + N_2 = 11,74 + 0,007 + 0,367 = 12,114 \text{ т/год.}$$

Годовой вред, причинённый рыбным ресурсам в водозаборе ООО «Дары садов» для орошения сада, определялся в стоимостном выражении (руб.) по формуле (2) (п. 9.1 «Методики исчисления размера вреда, причинённого водным биологическим ресурсам», утверждённой Приказом Минсельхоза РФ от 31.03.2020 № 167):

$$N^1 = \sum (n \cdot Z),$$

где  $N^1$  – размер вреда от гибели рыб в водозаборе за год, руб.;

$\Sigma$  – показатель суммирования результатов расчёта по видам рыб;

$n$  – количество погибших рыб в водозаборе при отборе воды в течение года, шт., определяется отношением объёма использованной воды за год к концентрации рыб;

$Z$  – размер таксы для каждого вида погибших рыб, руб.

В таблице 7.8 приведён годовой вред в стоимостном выражении, причинённый каждому погибшему виду рыб в водозаборе.

Таблица 7.8 – Годовой вред в стоимостном выражении, причинённый каждому погибшему виду рыб в водозаборе ООО «Дары садов» при орошении сада

Вид рыб	$n$ , шт//год	$Z$ , руб./шт.	$N^1$ , тыс. руб.
Уклейка	12925	100	1292,5
Окунь	5170	250	1292,5
Лещ	4330	500	2165
Густера	3684	500	1842
Судак	3296	3305	10893,3
Карась	3231	100	323,1
Чехонь	2050	500	1025
Бычок	1939	55	203,2
Тарань	2546	500	106,6
Ёрш	840	100	84
Сумма			19227,2

Суммарные потери рыбных ресурсов на водозаборе ООО «Дары садов» при орошении сада без рыбозащитного устройства в натуральном выражении составляют 12,114 т/год. При установке рыбозащитного устройства с гидро-

динамическим экраном (патент на изобретение № 2049198) с эффективностью отпугивания рыб 80 % и рыбозащитной завесы перед входом в водозаборную трубу из капроновых ершей с эффективностью отпугивания рыб 70 % (патент на полезную модель № 120097) годовые потери рыбных ресурсов уменьшатся в натуральном выражении на:  $12,114 \cdot 0,7 + (12,114 - 12,114 \cdot 0,7) \cdot 0,8 = 11,38$  т/год.

Годовой размер вреда, причиняемый рыбным ресурсам в водозаборе при орошении сада в Цимлянском районе, Ростовской области без рыбозащитного устройства в стоимостном выражении составляет 19227,2 тыс. руб. При установке рыбозащитного устройства с гидродинамическим экраном (патент на изобретение № 2049198 [173]) и рыбозащитной завесы перед входом в водозаборную трубу из капроновых ершей с эффективностью отпугивания рыб 70 % (патент на полезную модель № 120097 [176]) годовой размер вреда рыбным ресурсам в денежном выражении уменьшится на:

$$N^1 = 19227,2 \cdot 0,7 + (19227,2 - 19227,2 \cdot 0,7) \cdot 0,8 = 18073,6 \text{ тыс. руб./год,}$$

что является эффектом сохранения рыбных ресурсов в стоимостном выражении.

#### 7.6 Оценка экономической эффективности разработанных специализированных устройств по защите мелиоративного водозабора Донского магистрального канала Ростовской области

Расчёт размера прямого и косвенного вреда, наносимого водным биологическим ресурсам при эксплуатации ковшового водозабора Донского магистрального канала, проводился в соответствии с разделами 2 и 3 «Методики определения негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрения новых технологических процессов и осуществления иной деятельности на со-

стояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния», утверждённой Приказом Федерального агентства по рыболовству № 238 от 06.05.2020. Прямые потери водных биоресурсов от гибели молоди рыб более 12 мм и взрослых особей при заборе воды с применением рыбозащитного устройства определялись по формуле (5б) «Методика...»:

$$N = n_{\text{ми}} \cdot W_{\text{вр}} \cdot \frac{100 - K_0}{100} \cdot \frac{K_1}{100} \cdot p \cdot d \cdot \theta,$$

где  $N$  – потери водных биоресурсов, кг;

$n_{\text{ми}}$  – средняя за период встречаемости концентрация молоди рыб более 12 мм и взрослых особей в зоне водозабора, экз./м<sup>3</sup>;

$W_{\text{вр}}$  – объём используемой воды за год, м<sup>3</sup>, производительность ковшового водозабора г. Ростов-на-Дону 167900 м<sup>3</sup>/год;

100 – показатель перевода процентов в доли единицы;

$K_0$  – коэффициент эффективности рыбозащитного сооружения, %, если рыбозащитное устройство на водозаборе отсутствует, то  $K_0 = 0$ ;

$K_1$  – величина промыслового возврата для молоди рыб более 12 мм, принимается равным 100 %;

$p$  – средняя масса одной воспроизводимой особи рыб, кг;

$d$  – доля гибнущих рыб от их общего количества в объёме используемой воды за год, в долях единицы, для условий водозабора г. Ростов-на-Дону  $d = 1$ ;

$\theta$  – величина повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия и время восстановления теряемых биоресурсов (определяется по п. 28 «Методики...»).

Учитывая длительное воздействие водозаборов на водные биоресурсы

со 100%-й летальностью, восстановление исходного состояния биоресурсов невозможно. Поэтому расчёт размера прямого вреда, наносимого водным биологическим ресурсам при эксплуатации ковшового водозабора в г. Ростов-на-Дону проводился без учёта повышающего коэффициента  $\theta$ , кроме этого величина коэффициент  $K_0$  была принята равной нулю из-за отсутствия рыбозащитного устройства на водозаборе. Годовые потери рыбных ресурсов в водозаборе Донского магистрального канала показаны в таблице 7.9.

Таблица 7.9 – Годовые потери рыбных ресурсов в водозаборе Донского магистрального канала производительностью 160 м<sup>3</sup>/с

Вид рыб	%	$n_{\text{пн}}$ , экз./м <sup>3</sup>	$K_1$ , %	$\rho$ , кг	$n$ , шт./год	$N$ , т
Уклейка	34	0,2	0,01	0,03	33580	1,0
Окунь	13,6	0,08	0,03	0,08	13432	1,07
Лещ	11,4	0,067	0,006	0,75	112450	84,34
Густера	9,7	0,057	0,03	0,15	9571	1,44
Судак	8,7	0,051	0,002	1,75	8563	15,0
Карась	8,5	0,05	0,03	0,28	8395	2,35
Чехонь	6,3	0,037	0,03	0,05	6213	0,31
Бычок	3,7	0,022	0,2	0,041	3694	0,15
Тарань	2,2	0,013	0,025	0,1	2183	0,22
Ёрш	1,7	0,01	0,03	0,05	1679	0,08
Сумма	100	0,587				105,65

Примечания:

1) Данные по  $n_{\text{пн}}$  в таблице в соответствии с положением п. 13 «Методики определения...» взяты из исследований, опубликованных в статье авторов: А. А. Клевакин, В. В. Логинов, А. В. Моисеев «Определение вреда водным биологическим ресурсам равнинных водохранилищ Средней Волги (на примере Горьковского и Чебоксарского) при изъятии воды парком водозаборов на нужды различных ведомств» (Труды ВНИРО. Научный журнал. Т. 161. 2016. С. 127–139);

2)  $n$  – количество погибших рыб в водозаборе.

Косвенные потери рыбных ресурсов от гибели кормовых организмов зоопланктона, в т. ч. автохтонных и аллохтонных организмов, а также мелкого нектона, который используется в пищу хищными рыбами или другими водными биоресурсами, при заборе воды определялись по формуле (6б) «Методики...»:

$$N = B \cdot \left(1 + \frac{P}{B}\right) \cdot W \cdot \frac{1}{K_2} \cdot \frac{K_3}{100} \cdot d,$$

где  $N$  – потери водных биоресурсов, кг;

$B$  – средняя многолетняя величина общей биомассы кормовых планктонных организмов, кг/м<sup>3</sup>;

$\frac{P}{B}$  – коэффициент перевода биомассы кормовых организмов в их продукцию. Для условий реки Дон с притоками ниже Цимлянского водохранилища годовой коэффициент составляет  $\frac{P}{B} = 320$ ;

$W$  – объём используемой воды, м<sup>3</sup>/год;

$K_2$  – количество корма, необходимого для прироста 1 кг биоресурса, кг. Для условий реки Дон с притоками ниже Цимлянского водохранилища  $K_2 = 20$  кг;

$K_3$  – показатель использования кормовой базы рыбами, %, для условий р. Дон с притоками ниже Цимлянского водохранилища  $K_3 = 10$  %;

$d$  – доля погибших рыб от их количества, в долях единицы, для условий водозабора г. Ростов-на-Дону  $d = 1$ .

Годовые потери биоресурсов в результате гибели зоопланктона в водозаборе ДМК показаны в таблице 7.7.

Годовой размер вреда, причинённый рыбным ресурсам на водозаборе г. Ростов-на-Дону, определялся в стоимостном выражении (руб.) по формуле (2) (п. 9.1 «Методики исчисления размера вреда, причинённого водным био-

логическим ресурсам», утверждённой Приказом Минсельхоза РФ от 31.03.2020 № 167):

$$N^1 = \sum(n \cdot Z),$$

где  $N^1$  – размер вреда от гибели рыб в водозаборе за год, руб.;

$\sum$  – показатель суммирования результатов расчёта по видам рыб;

$n$  – количество погибших рыб в водозаборе при отборе воды в течение года, шт., определяется отношением объёма использованной воды за год к концентрации рыб;

$Z$  – размер таксы для каждого вида погибших рыб, руб.

Годовые потери рыбных ресурсов в результате гибели зоопланктона в водозаборе ДМК представлены в таблице 7.10.

Таблица 7.10 – Годовые потери рыбных ресурсов в результате гибели зоопланктона в водозаборе ДМК

$B$ , кг/м <sup>3</sup>	$P / B$	$W$ , м <sup>3</sup> /год	$K_2$ , кг	$K_3$ , %	$d$	$N$ , т
$0,77 \cdot 10^{-3}$	320	167900	20	10	1	0,21
<p>Примечание – Данные по <math>B</math> в таблице в соответствии с положением п. 13 «Методики...» взяты из исследований, опубликованных в статье авторов: А. А. Клевакин, В. В. Логинов, А. В. Моисеев «Определение вреда водным биологическим ресурсам равнинных водохранилищ Средней Волги (на примере Горьковского и Чебоксарского) при изъятии воды парком водозаборов на нужды различных ведомств» (Труды ВНИРО. Научный журнал. Т. 161. 2016. С. 127–139).</p>						

В таблице 7.11 приведены годовые размеры вреда, причинённого каждому погибшему виду рыб в водозаборе ДМК.

Таблица 7.11 – Годовые размеры вреда от гибели рыб в водозаборе  
производительностью 160 м<sup>3</sup>/с

Вид рыб	$n_{\text{шт.}}$ , экз./м <sup>3</sup>	$n$ , шт.	$Z$ , руб./шт.	$N^1$ , тыс. руб.
1	2	3	4	5
Уклейка	0,2	33580	100	3358
Окунь	0,08	13432	250	3358
Лещ	0,067	112450	500	56225
Густера	0,057	9571	500	4785,5
Судак	0,051	8563	3305	28300,7
Карась	0,05	8395	100	839,5
Чехонь	0,037	6213	500	3106,5
Бычок	0,022	3694	55	203,2
Тарань	0,013	2183	500	1091,5
Ёрш	0,01	1679	100	167,9
Сумма	0,587			101435,8

Суммарные потери биоресурсов на водозаборе без рыбозащитного устройства ДМК в натуральном выражении составляют  $105,65 + 0,21 = 105,86$  т/год. При установке конструктивно-технологической разработки «Водозаборное сооружение» (патент на изобретение № 2697379 [174]) с эффективностью отпугивания рыб 80% и рыбозащитной завесы при входе в водоприёмник из капроновых ершей с эффективностью отпугивания рыб 70 % (патент на полезную модель №120097 [176]) годовые потери рыбных ресурсов уменьшатся в натуральном выражении на:

$$N^1 = 105,86 \cdot 0,8 + (105,86 - 105,86 \cdot 0,8) \cdot 0,85 = 102,68 \text{ т/год.}$$

Годовой размер вреда, причиняемый рыбным ресурсам в водозаборе без рыбозащитного устройства в стоимостном выражении составляет 101435,8

тыс. руб. При установке конструктивно-технологической разработки «Водо-заборное сооружение» (патент на изобретение № 2697379 [174]) с эффективностью отпугивания рыб 80 % и рыбозащитной завесы при входе в ковш из капроновых ершей с эффективностью отпугивания рыб 70% (патент на полезную модель № 120097 [176]) годовой размер вреда рыбным ресурсам уменьшится на:

$$N^1 = 101435,8 \cdot 0,8 + (101435,8 - 101435,8 \cdot 0,8) \cdot 0,85 = 98392,73 \text{ тыс. руб./год,}$$

Размещением завес из лавсановых ершей в акватории ковша и аванкамере обеспечивается электроосаждение сине-зелёных водорослей с эффективностью 70 %, уменьшая затраты на очистку оросительной воды перед насосными станциями.

#### 7.7 Оценка экономической эффективности разработанных специализированных устройств по защите мелиоративного водозабора Константиновской оросительной системы

Водозабор Константиновской оросительной системы представляет собой комплексную проблему, от правильного решения которой во многом зависят масштабы реконструкции и необходимых капитальных вложений.

В настоящее время водозабор Константиновской оросительной системы (не эксплуатируется) испытывает ряд серьёзных проблем, связанных с содержанием большого количества фитопланктона в воде водоисточника в период «цветения» и с проблемой нехватки требуемого объёма воды во время поливного сезона, в связи с которыми водозабор фактически не работает. Была предложена переброска воды в Ведерниковские водозаборные сооружения с последующим использованием на Константиновских оросительных системах, соответственно, после внедрения разработанных энергосберегаю-

щих конструктивно-технологических решений (КТР-1, КТР-2, КТР-3).

В июле 2012 г. наблюдалось максимальное за последние 5 лет содержание сине-зелёных водорослей. Присутствие их отрицательно влияет как на ведение технологического процесса водоподготовки (снижает эффективность работы очистных сооружений, они образуют «панцирь» на поверхностях фильтрующих сооружений), так и на качество питьевой воды (придают воде неприятный запах).

Для решения проблемы проведена оценка технического состояния объекта и выполнен расчёт капитальных вложений в новое строительство, реконструкцию и модернизацию объектов.

Для подачи воды в оросительную систему предлагается ввести в эксплуатацию насосную станцию II подъёма и дополнительную сеть закрытых трубопроводов для переброски воды.

В насосной станции предусмотрена установка нескольких групп насосов. Режим работы основных насосов неравномерный, в зависимости от суточного водопотребления. В машинном зале установлено насосное оборудование, представленное в таблице 7.12.

Таблица 7.12 – Насосное оборудование

Марка насоса	Мощность	Напор	Расход	Примечание
A200 M4 УЗВЗ	54	32	200	Резерв
5АН 315 А4УЗ	200	90	630	Резерв
5А 160 С4УЗ	15	16	180	Резерв
5АН 315 А4УЗ	200	90	630	Резерв
5АН 113 М2УЗ	7,5	30	54	Рабочий, Ведерники, оборудован частотным регулятором
5АН 200 М2УЗ	55	50	315	Рабочий город, оборудованный частотным регулятором
5АН 200 М2УЗ	55	50	315	Резерв

АНР 112 М2УЗ	7,5	30	54	Резерв, Ведерники
--------------	-----	----	----	-------------------

Установленные насосные агрегаты разбиты на группы:

- первая группа насосных агрегатов обеспечивают подачу расчётного расхода на нужды потребителей с учётом пожаротушения;
- вторая группа насосных агрегатов предназначена для подачи воды на промывку ершовых фильтров;
- третья группа насосов – аварийные насосы для откачки воды в случае затопления машинного зала;
- четвёртая группа насосов предназначена для откачки дренажных вод из машинного зала.

Для экономичной работы в часы минимальной подачи воды насосные агрегаты оборудованы частотными регуляторами.

Согласно принятому графику работы насосной станции II подъёма, насосные агрегаты включаются попеременно для выработки одинакового количества моточасов.

Ниже даётся расчёт и проверка ранее установленного оборудования при расчётной производительности I пускового комплекса.

Расчётные расходы:

- суточный  $10000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;
- максимальный часовой  $657 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- максимальный секундный  $182 \text{ л/с}$ .

Необходимый напор, развиваемый насосными агрегатами, складывается из:

а) геометрической высоты:

$$H = 56 \text{ м} - 63,5 \text{ м} = -7,5 \text{ м} ,$$

где отметка подачи – 56 м;

отметка всасывания – 63,5 м;

б) потерь в насосной станции, принятых равными 3,0 м;

в) потерь напора по длине с учётом 20 % на местные сопротивления (по длине магистральной водопроводной сети до самой удалённой точки)–23,8 м.

Свободный напор в сети у самой дальней точки принят 26 м (при 5-ти этажной застройке – п. 2.26 СП 2.04.02-84\*).

Необходимый напор насосов:  $H = 7,5 + 3 + 23,8 + 26,0 = 45,3$  м.

Для монтажных работ в машинном зале установлен кран мостовой электрический однобалочный грузоподъёмностью 2 т.

От насосной станции II подъёма запроектированы два водовода условным диаметром 400 мм каждый из стальных и полиэтиленовых труб, которые предназначены для подачи воды в оросительную сеть.

Вода от промывки ершовых фильтров отводится в шламонакопитель. Подача воды в шламонакопитель выполняется по трубопроводу диаметром 200 мм из асбестоцементных труб протяжённостью 2 км. Шламонакопитель полезной ёмкостью 46250 м<sup>3</sup> расположен на берегу реки Дон.

По данным таблицы 7.18 определяем общую мощность насосного оборудования, которая составляет 894 кВт/ч или 21456 кВт/сут. Однако для подачи воды потребителям используются не все насосные агрегаты. Мощность рабочих насосных агрегатов по данным МУП «Водник» составляет 62,5 кВт/ч или 1500 кВт/сут.

Прогнозируемые объёмы потребления воды и величины неучтённых расходов и потерь воды при её транспортировке на 2013–2023 гг. приведены в таблице 7.13.

Из таблицы видно, что при прогнозируемой тенденции к увеличению водопотребления за счёт подключения новых абонентов, а также уменьшения потерь и неучтённых расходов при транспортировке воды, при существующих мощностях водоочистной станций ВОС, имеется достаточный резерв по производительности.

Существующий резерв водозаборных сооружений составляет 73,99 %,

что гарантирует устойчивую, надёжную работу всего комплекса сооружений и даёт возможность получать качественную воду в количестве, необходимом для обеспечения жителей и мелиоративной системы.

Таблица 7.13 – Прогнозируемые объёмы потребления воды и величины неучтённых расходов и потерь воды при её транспортировке на 2014–2023 гг.

Год	Поднято воды, тыс. м <sup>3</sup>	Объём воды, пропущенный через водоочистные сооружения, тыс. м <sup>3</sup>	Подано в сеть, тыс. м <sup>3</sup>	Отпущено всего воды тыс. м <sup>3</sup>	Потери в сетях и неучтённые расходы, тыс. м <sup>3</sup>	Полная фактическая производительность ВОС, тыс. м <sup>3</sup>	Резерв мощности, %
1	2	3	4	5	6	7	8
2014	977,83	977,83	937,83	1031,4	93,60	3759,5	73,99
2015	1135,7	1135,7	1095,7	1204,8	109,03	3759,5	69,79
2016	1290	1290	1250	1374,1	124,13	3759,5	65,69
2017	1444,5	1444,5	1404,5	1543,6	139,05	3759,5	61,58
2018	1599,1	1599,1	1559,1	1711,9	152,79	3759,5	57,47
2019	1753,7	1753,7	1713,7	1881	167,26	3759,5	53,35
2020	1908	1908	1868	2049,4	181,38	3759,5	49,25
2021	2062,6	2062,6	2022,6	2198,6	175,97	3759,5	45,14
2022	2161,1	2161,1	2121,1	2301,8	180,72	3759,5	42,52
2023	2217,2	2217,2	2177,2	2358,8	181,58	3759,5	41,02

Исходя из этих данных, строим диаграмму (рис.7.3), которая наглядно отображает резерв мощности насосной станции.

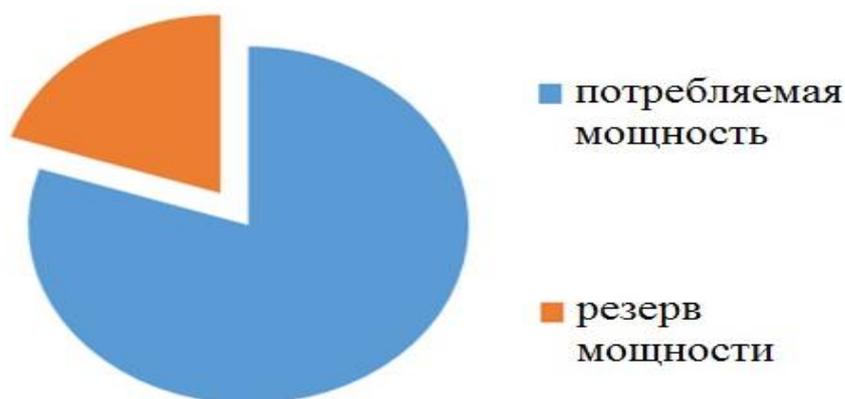


Рисунок 7.3 – Диаграмма, отображающая резерв мощности насосной станции

Это позволяет направить мероприятия по реконструкции и модернизации существующих сооружений на улучшение качества воды, повышение энергетической эффективности оборудования, контроль, автоматическое регулирование процесса водоподготовки и переборску воды с Ведерниковских водозаборных сооружений с последующим использованием на Константиновских оросительных системах, соответственно после внедрения разработанных энергосберегающих конструктивно-технологических решений (КТР-1, КТР-2 и КТР-3).

Существующий резерв водозаборных сооружений составляет 73,99 %, что гарантирует устойчивую, надёжную работу всего комплекса водоочистных сооружений и даёт возможность получать качественную питьевую воду в количестве, необходимом для обеспечения жителей и промышленных предприятий. Информация о работе головных сооружений и насосных станций передаётся в центральную диспетчерскую на пульт дистанционного управления. Система диспетчерского управления и сбора данных (Телекомплекс).SCADA система iFIX версия 3.5 с количеством контролируемых параметров (тэгов) на каждом объекте – 40. В процессе работы система постоянно контролирует следующие технологические параметры:

- уровень воды в приёмном резервуаре и дренажном приямке (дискретный вход);

- на ПНС по 4 датчика давления в водоводах (4 аналоговых входа, 4–20 мА); контроль параметров ТПЧ – ток, частота, режим работы;

- состояние насосных агрегатов, потребляемый двигателями насосных агрегатов ток при питании от сети 0,4 кВ (4 аналоговых входа с преобразователями 5А/4–20 мА);
- состояние электрических вводов (2 дискретных входа);
- охранно-пожарную сигнализацию;
- управление насосными агрегатами и частотными преобразователями;
- контроллер (TWIDO) модульного типа с Ethernet интерфейсом;
- канал связи: GPRS или радиоканал;
- сведения о мерах по предотвращению вредного воздействия на водный бассейн предлагаемых к новому строительству и реконструкции объектов централизованной системы орошения при сбросе (утилизации) дренажных вод.

Оценка природного аспекта позволяет сказать, что одним из постоянных источников концентрированного загрязнения поверхностных водоёмов являются сбрасываемые без обработки воды, образующиеся в результате промывки фильтровальных сооружений станций водоочистки. Находящиеся в их составе взвешенные вещества и компоненты технологических материалов, а также бактериальные загрязнения, попадая в водоём, увеличивают мутность воды, сокращают доступ света в глубину и, как следствие, снижают интенсивность фотосинтеза, что, в свою очередь, приводит к уменьшению сообщества, способствующего процессам самоочищения.

Для предотвращения неблагоприятного воздействия на водоём в процессе водоподготовки необходимо использование ресурсосберегающей, природоохранной технологии повторного использования промывных вод фильтров. Такая схема очистки позволяет повторно использовать все промывные воды в технологическом процессе водоподготовки. Проектом предусмотрено повторное использование промывных вод фильтров путём подачи их на сооружения повторного использования. Результаты оценки капитальных вложений в новое строительство, реконструкцию и модернизацию представлены в таблицу 7.14.

Таблица 7.14 – Оценка капитальных вложений в новое строительство, реконструкцию и модернизацию

Наименование мероприятия	Характеристика	Способ оценки инвестиций	Объём инвестиций, млн руб.	Сумма освоения по годам, млн руб.									
				2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Реконструкция насосной станции I подъёма	Дооборудование частотными регуляторами	УПВС, Москва, 2005	-	-	-	-	-	-	-	0,023	0,0274	0,0181	-
Установка КТР-1		По аналог. оборудованию	0,6	0,6	0,67604	0,45	-	-	-	-	-	-	0,6
Установка КТР-2		По аналог. оборудованию	0,7	0,7	0,78	0,53							0,7
Установка КТР-3		По аналог. оборудованию	1,07	1,07	1,123	0,97							1,07
Реконструкция насосной станции II подъёма	Дооборудование частотными регуляторами	УПВС, Москва, 2005	0,158764								0,06	6,000038	0,038764

Продолжение таблицы 7.14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Строительство сооружений оборотного водоснабжения	200 м <sup>3</sup> /сут	УПВС, Москва, 2005	0,1983422	0,05958555	0,0595856	0,0395856	0,0395856						
Строительство водовода для подачи воды на оросительную си	$d = 250$ мм, $L = 5688$ м	УПВС, Москва, 2005	1,007229								0,335743	0,335743	0,335743
Всего			3,7343352	2,42958555	2,58499856	2,0795856	0,0395856			0,023	0,423143	6,0517123	2,744507

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 7

1. Экономический эффект от внедрения новой конструктивно-технологической разработки КТР-1 электроинактивации велигеров дрейссены для обеспечения защиты механического оборудования насосных станций и дождевальной техники мелиоративных систем Невиномысского оросительного канала (Сенгилеевское водохранилище) от негативного явления биообрастания соответствует 100 % при определённых параметрах эксплуатации защитного устройства: электрический импульс с напряжённостью поля 80–100 В/мм, плотность тока 1–3 А/см<sup>2</sup> и длительность 20–60 мкс, импульсов 9, время действия 2 ч.

2. Экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии в работе действующего водохозяйственного комплекса Александровский Ростовской области показали следующие результаты:

а) на всех сооружениях по всем трём годам (2017–2019 гг.) устанавливаются тенденция увеличения количества промывок фильтров и, соответственно, затрат на электроэнергию в период с мая по ноябрь месяц, когда и происходит максимальное цветение воды в нижнем течении реки Дон, особенно в акватории водозаборных сооружений;

б) за 2017–2019 гг. в период с мая по ноябрь месяц проявляется тенденция увеличения средней дозы и расхода коагулянта Нитрофлок 215, что, соответственно, приводит к затратам на его приобретение, это всё в итоге влияет на удорожание себестоимости очистки воды;

в) на основе принципов ЭП расчётно-конструктивных решений разработаны конструктивно-технологические схемы КТР-1, КТР-2, КТР-3, ВВВ которых в составе ВС обеспечивает уровень ФР в зонах влияния до 90–95 %;

г) расход электроэнергии для промывки фильтров сократился в 2019 г. на 378000 кВт. При этом экономический эффект при стоимости электроэнергии 5,71 руб./кВт составил 2158380 руб. В связи с уменьшением расхода

электроэнергии произошло сокращение выброса тепловой энергий в атмосферу городской среды;

д) расход коагулянта «Нитрофлорс 215» для промывки фильтров сократился в 2019 г. на 17 т. Экономический эффект от уменьшения расхода коагулянта для промывок фильтра при стоимости 143,69 тыс. руб./т составил 2442720 руб. В связи с уменьшением расхода коагулянта для промывки фильтров произошло уменьшение загрязнения природной среды;

е) анализ полученных данных по результатам исследования Александровских ВОС показывает, что после применения рекомендуемых схем (КТР-1, КТР-2, КТР-3) существенно (на 70 %) сокращается расход электроэнергии и коагулянта на очистку воды и, соответственно, затрат на его приобретение. Годовой экономический эффект по вариантам сравнения составит:

$$\mathcal{E} = \Pi_{II} - \Pi_I = 3489,60 - 1046,88 = 2442,72 \text{ тыс. руб./год без НДС};$$

ж) предложенный метод позволит поддерживать условия размножения ценных рыб и при применении в комплексе с очистными устройствами водозабора предполагает положительный экономический эффект.

3. Суммарная величина возможного расчётного единовременного ущерба рыбным запасам от реконструкции водозаборного сооружения с учётом разработанных специализированных устройств по защите водозабора Райгородской оросительной системы Светлоярского района Волгоградской области на протоке Волги:

а) в натуральном выражении составит 118,258 кг, в т. ч.:

- гибель зообентоса 104,42 кг;

- гибель зоопланктона при дноуглублении 6,126 кг;

- отчуждение нерестовых площадей 7,711 кг;

б) Суммарная величина возможного расчётного ежегодного ущерба рыбным запасам от эксплуатации водозабора в натуральном выражении составит 59232,522 кг, в т. ч.:

- гибель зоопланктона при эксплуатации водозабора 41634 кг;

- гибель личинок и ранней молоди рыб 17868,522 кг;

в) количество молоди водных биоресурсов, воспроизводимых в рамках восстановительных мероприятий на компенсационном объекте для их последующего выпуска в водный объект рыбохозяйственного значения, составит:

- единовременно  $118,258 / (13,33 \cdot 1,2 / 100) = 740$  шт.;

- ежегодно  $59232,522 / (13,33 \cdot 1,2 / 100) = 370204$  шт.;

г) необходимый объём компенсационных капиталовложений на воспроизводство водных биоресурсов от негативного воздействия водозабора составит:

- единовременно  $740 \cdot 20 = 14800$  руб.;

- ежегодно  $370204 \cdot 20 = 7404080$  руб.

4. Экономическая оценка применения специализированных защитных средств обеспечения функциональной работы водозабора ООО «Дары садов» Цимлянского района Ростовской области показала, что суммарные потери рыбных ресурсов на водозаборе ООО «Дары садов» при отборе воды на орошении сада без использования рыбозащитного устройства в натуральном выражении составляют 12,114 т/год. При установке рыбозащитного устройства с гидродинамическим экраном (патент на изобретение № 2049198 от 27.11.1995) с эффективностью отпугивания рыб 80 % и рыбозащитной завесы перед входом в водозаборную трубу из капроновых ершей с эффективностью отпугивания рыб 70 % (патент на полезную модель № 120097 от 10.09.2012) годовые потери рыбных ресурсов уменьшатся в натуральном выражении на  $12,114 \cdot 0,7 + (12,114 - 12,114 \cdot 0,7) \cdot 0,8 = 11,38$  т/год. Годовой размер вреда, причиняемый рыбным ресурсам в стоимостном выражении составляет 19227,2 тыс. руб. При установке рыбозащитного устройства с гидродинамическим экраном (патент на изобретение № 2049198 от 27.11.1995) и рыбозащитной завесы перед входом в водозаборную трубу из капроновых ершей с эффективностью отпугивания рыб 70 % (патент на полезную модель № 120097 от 10.09.2012) годовой размер вреда рыбным ресурсам в денежном вы-

ражении уменьшится на  $N^1 = 19\,227,2 \cdot 0,7 + (19\,227,2 - 19\,227,2 \times 0,7) \times 0,8 = 18\,073,6$  тыс. руб./год.

5. В результате оценки экономической эффективности разработанных специализированных устройств по защите мелиоративного водозабора Донского магистрального канала Ростовской области:

а) суммарные потери биоресурсов на водозаборе без рыбозащитного устройства ДМК в натуральном выражении составляют  $105,65 + 0,21 = 105,86$  т/год. При установке конструктивно-технологической разработке «Водозаборное сооружение» (патент на изобретение № 2697379) с эффективностью отпугивания рыб 80 % и рыбозащитной завесы при входе в водоприёмник из капроновых ершей с эффективностью отпугивания рыб 70 % (патент на полезную модель № 120097 от 10.09.2012) годовые потери рыбных ресурсов уменьшатся в натуральном выражении на  $N^1 = 105,86 \cdot 0,8 + (105,86 - 105,86 \cdot 0,8) \cdot 0,85 = 102,68$  т/год;

б) годовой размер вреда, причиняемого рыбным ресурсам в водозаборе без рыбозащитного устройства в стоимостном выражении составляет 101435,8 тыс. руб. При установке конструктивно-технологической разработки «Водозаборное сооружение» (патент на изобретение № 2697379) с эффективностью отпугивания рыб 80 % и рыбозащитной завесы при входе в ковш из капроновых ершей с эффективностью отпугивания рыб 70 % (патент на полезную модель № 120097) годовой размер вреда рыбным ресурсам уменьшится на  $N^1 = 101\,435,8 \cdot 0,8 + (101\,435,8 - 101\,435,8 \cdot 0,8) \cdot 0,85 = 98\,392,73$  тыс. руб./год;

в) размещением завес из лавсановых ершей в акватории ковша и аванкамере обеспечивается электроосаждение сине-зелёных водорослей с эффективностью 70 %, уменьшая затраты на очистку оросительной воды перед насосными станциями.

6. Капитальные вложения в новое строительство, реконструкцию и модернизацию водозабора Константиновский составили предварительно 16,37611761 млн руб. Экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии разработанных энергосберегающих и экономичных конструктив-

но-технологических решений (КТР-1, КТР-2 и КТР-3) в работе действующего водохозяйственного водозабора с целью переброски воды в Ведерниковские водозаборные сооружения с последующим использованием на Константиновские оросительные системы составит 70–85 %.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам анализа научных публикаций и разработок в области водозаборных сооружений оросительных систем установлено, что рассмотренные технические средства не отвечают по ряду современных требований качественной работы водозаборных сооружений, в связи с низким показателем эффективности работы, большими энергозатратами при эксплуатации и низкой защиты от обрастания и заиления водопроводящих путей.

2. В результате обследования технического и технологического состояния действующих водозаборных сооружений оросительных систем на юге России, определены недостатки их функциональной работы:

- средний процент износа водозаборных сооружений оросительных систем составляет 56 %;

- механические загрязнения оросительной воды приводит к ухудшению показателей функциональной работы насосных станций до 73 %;

- сор растительного происхождения составляет 90-95%, что приводит засорению оросительных систем;

- высокая численность дрейссены 80-90% в оросительной воде способствует быстрому зарастанию поверхностей трубопроводов, насосного оборудования, мелиоративных каналов, дождевальных машин, сужает диаметры трубопроводов, отверстия насадков, вплоть до их полного блокирования.

3. На основе системного подхода разработан специализированный тип природно-технической системы и создана модель схемы функционирования водозаборных сооружений оросительных систем, направленных на повышение качества воды и эффективности эксплуатации мелиоративного оборудования:

- определены зоны влияния на действующих водохозяйственных объектов в Нижнем течении реки Дон;

- разработана математическая модель специализированного типа природно-технической системы «ВО – ВС – ОС».

4. Проведены экспериментальные исследования по разработки защитного устройства от механических и биологических загрязнений оросительной воды и подтвердить оптимальные технико-эксплуатационные параметры усовершенствования мягкого наплавного устройства. На основе результатов экспериментальных исследований разработана конструкция защитного устройства оросительной воды от механических загрязнений (КТР- 1). Подтверждены оптимальные технико-эксплуатационные параметры усовершенствования мягкого наплавного устройства: глубина установки устройства 1,5–8 м, скорость водного потока на входе в водоприёмник не более 0,1 м/с и угла между осями течения воды и мягкого наплавного устройства 10–20° относительно оси течения потока, (патент на изобретение № 2697379 «Водозаборное сооружение») [174]:

5. Разработаны универсальные ерши, изготовленные из лавсановых волокон с поверхностным потенциалом до 40 мВ и капроновых лесок, для размещения их в акватории водозабора перед насосными станциями для электроосаждения сине-зелёных водорослей и отпугивания рыб от водозабора (КТР-2). Доказана функциональная эффективность, которая составляет 70 % (с применением коагулянтов 98 %), а эффективность отпугивания рыб от водозабора составляет 80 % (патент на полезную модель № 120097 «Завеса для удерживания рыб на водозаборах») [176], (патент на полезную модель № 120096 «Очистное устройство водозабора») [175]:

- определён знак электрического заряда цианобактерий и величины электролитического потенциала для сине-зелёных водорослей Цимлянского водохранилища;

- установлены эффективность электроосаждения мусора и водорослей на экологическом фильтрующем материале «Ёрш» в зависимости от цветности и мутности оросительной воды и представлены результаты фильтраций через ёрш с добавлением коагулянтов (патент на полезную модель № 121499 «Приемник промывных вод очистного устройства водозабора»);

6. Обоснован выбор «транзитного русла» по линии наибольших глубин в поперечных сечениях, за счёт увеличения мелководных участков на глубину более 2,0-3,0 м. с шириной русла 35,0 м. Это позволит увеличить средние скорости на вертикалях в 2,5-3,0 раза и снизить температуру, что создаст наилучшие условия для водообмена и снизит интенсивность размножения водорослей в придонных слоях:

- разработана гидродинамическая математическая модель и методика расчёта трассы транзитного русла, с целью снижения интенсивности размножения водорослей в придонном слое водоприёмника.

7. Разработана установка электроинактивации дрейссены для обеспечения защиты механического оборудования насосных станций и засорения дождевальной техники оросительных систем от негативного явления биообрастания (КТР-3), эффективность соответствует 100 %, при определённых параметрах эксплуатации защитного устройства: электрический импульс с напряжённостью поля 80–100 В/м, плотность тока 1–3 А/см<sup>2</sup> и длительность 20–60 мкс, импульсов девять, время действия два часа:

- определены параметры электрических импульсов тока, максимально влияющих на снижение жизненных функций велигеров: напряжённость поля, плотность тока, длительность импульса, количество импульсов. Установлена эффективность работы электроимпульсного метода инактивации дрейссены в водозаборных сооружениях.

8. Разработана компьютерная программа «Проектирование и расчёт плавучих насосных станций» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611905) для выбора и расчёта оптимальных параметров водисточника для бесперебойной работы водозаборных сооружений мелиоративных систем с максимальной эффективностью и энергетической экономичностью [215].

9. Экономическая эффективность результатов исследований от внедрения разработанных специализированных защитных устройств водозаборов на

рассматриваемых оросительных системах составила 126313,13 тыс. руб. в год.

### РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для технического обоснования рекомендуется применять специализированный комплекс ПТС «Водный объект – Водозаборные сооружения – Оросительная система», в основе которого принята реализация совмещения защитной и очистной функции в одном сооружении, водозаборе, перед насосными станциями.

Для защиты водоприёмника от донных и взвешенных наносов применять КТР-1 (патент на изобретение № 2697379 «Водозаборное сооружение», патент на полезную модель № 121499 «Приёмник промывных вод очистного устройства водозабора»).

Рекомендуется использовать функциональную зависимость эффективности работы конструктивно-технологической разработки (КТР-1), соответствующую 90–95 % при оптимальных параметрах эксплуатации: глубина установки устройства (1,5–8 м), скорость водного потока на входе в водоприёмник (не более 1 м/с) и угла между осями течения воды и биопозитивного наплавного устройства (10–20° относительно оси течения потока).

При проектировании и переустройстве водозаборных сооружений для защиты от сине-зелёных водорослей использовать КТР-2 (патент на полезную модель № 120097 «Завеса для удерживания рыб на водозаборах», патент на полезную модель № 120096 «Очистное устройство водозабора»).

Применять универсальные ерши, изготовленные из лавсановых волокон с поверхностным потенциалом до 40 мВ и капроновых лесок, для размещения их в акватории водозабора перед насосными станциями для электроосаждения сине-зелёных водорослей и отпугивания рыб от водозабора.

Для защиты технологического оборудования насосной станции и трубопроводов дождевальных машин от биообрастания дрейссеной использо-

вать КТР-3. Параметры эксплуатации защитного устройства: электрический импульс с напряжённостью поля 80–100 В/м, плотность тока 1–3 А/см<sup>2</sup> и длительность 20–60 мкс, импульсов 9, время действия 2 ч.

Рекомендуется использовать компьютерную программу «Проектирование и расчёт плавучих насосных станций» (свидетельство о государственной регистрации № 2016611905 [215]) по выбору и расчёту оптимальных параметров водоприёмника для бесперебойной работы мелиоративных систем с максимальной эффективностью и энергетической экономичностью.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

Дальнейшее развитие как отдельных конструктивных, так и защитных устройств КТР-1, КТР-2 и КТР-3 в составе ПТС «Водный объект – Водозаборные сооружения – Оросительная система» должно быть ориентировано с использованием композитных материалов на основе химически нейтральных полимеров.

Работа технологического оборудования, предназначенного для защиты водозаборных сооружений от механического и биологического загрязнения, должна совершенствоваться в направлении широкого применения ГИС-технологий, учитывающих динамику загрязнения водоёмов в контексте бассейновой схемы.

Результаты исследований позволят в дальнейшей перспективе дополнительно расширить функционал мелиоративных систем в области оперативного регулирования и решения проблем сельхозводоснабжения и обводнения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. № 1760000 СССР. Водозаборное сооружение / Шкура В. Н., Чистяков А. А., Аникин В. С. и др. - опубл. в Б.И. - 1992, Бюл. № 33
2. Абдразаков, Ф. К. Безотходная технология удаления древесно- кустарниково- растительности / Ф. К. Абдразаков, Д. А. Соловьев, Р. Е. Кузнецов и др. // Строительные и дорожные машины. – 2008. – № 2. – С. 21–23
3. Аборнев, В. С. Оптимизация параметров расчистки русел малых рек / В. С. Аборнев, Е. Д. Хецуриани, В. Н. Шкура // Чистая вода - 2009: тр. Междунар. науч.-практ. конф., 20-21 окт. 2009 г. / Кемеровский технол. ин-т пищевой пром-сти. - Кемерово, 2009. - С. 299-304
4. Автоматизация водоподачи и учет воды на внутривладельческой оросительной системе: монография / А. С. Очинников, А. А. Пахомов, Н. А. Колобанова и др. // Волгогр. гос. аграр. ун-т. – Волгоград: Волгогр. ГАУ, 2012. - 186 с.
5. Автоматизация поискового конструирования / под ред. А. И. Половинкина. - Москва: радио и связь, 1981. - 344 с.
6. Адаптация орошаемого земледелия к аридизации климата с учетом современного состояния гидромелиораций в республике Башкортостан / Комиссаров А.В., Хафизов А.Р., Ишбулатов М.Г., Батанов Б.Н., Хазипова А.Ф. // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (61). с. 42-47.
7. Актуальные проблемы борьбы с эвтрофикацией водоемов / А. Ю. Душенко, Е. Д. Хецуриани, Р. С. Бечвая и др. // Актуальные вопросы рыбного хозяйства и аквакультуры бассейнов южных морей России: материалы Междунар. науч. конф., г. Ростов-на-Дону, 1-3 окт. 2014 г. / Южный научный центр Рос. акад. наук. - Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014. - С. 140-144
8. Алексеев, С. А. Одноосные мягкие оболочки / С. А. Алексеев // Известия Академии Наук СССР. Механика твердого тела. - 1971. - № 6. – 89-94
9. Альтшуллер, Г. С. Алгоритм изобретения / Г. С. Альтшуллер. – Москва: Московский рабочий, 1973. – 296 с.
10. Анализ исследований по разведению мухи Черная львинка для последующей разработки биореактора / Е. Д. Хецуриани, А. А. Завтракова, М. А. Акименко, Т. Е. Хецуриани // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф. посвящ. 90-летию Азов. науч.-исслед. ин-та рыбного хоз-ва, г. Ростов-на-Дону, 11-12 дек. 2018 г. - Азовский научно исследовательский институт рыбного хозяйства. - Ростов-Ростов н/Д.: изд-во АзНИИРХ, 2018. - С. 50-52
11. Анализ работы Александровского ковшового водозабора с учетом руслового режима и рыбоводно-биологических показателей реки Дон / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, А. Н. Богачев, М. М. Мордвинцев // Инженерный вестник Дона: [электрон. журн.]. - 2015. - № 4. - URL: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_18\\_Fesenko.pdf\\_e7bb2e55be.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_18_Fesenko.pdf_e7bb2e55be.pdf).
12. Антропогенное поступление нефтепродуктов в океаны / Е. Д. Хецуриани, И. А. Лапина, А. С. Териков, Т. Е. Хецуриани // Актуальные вопросы и перспек-

- тивы развития сельскохозяйственных наук: сб. науч. тр. по итогам Международ. науч.-практ. конф., г. Омск, 7 мая 2015 г. / Инновационный центр развития образования и науки. - Омск, 2015. - Вып. 2. - С. 43-45
13. Афанасьев, Ю. А. Мониторинг и методы контроля окружающей среды: Ч. 1 / Ю. А. Афанасьев, С. А. Фомин. – Москва: МНЭПУ, 1998. – 468 с.
  14. Ахмедов, А. Д. Влияние регулируемых факторов на продуктивность и качество плодов сладкого перца при капельном орошении в условиях Волгоградского Заволжья / А. Д. Ахмедов, Д. Ю. Богомолов, В. И. Васильева. // Известия Нижневолжского аграрного университетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2012. - № 4 (28). - С. 16-20
  15. Ахмедов, А. Д. Капельное орошение овощных культур в условиях волгодонского междуречья / А. Д. Ахмедов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2018. - № 4. - С. 36-42
  16. Бандурин, М. А. К вопросу организации мониторинга эксплуатационной надежности сооружений рисовых оросительных систем на юге России / М. А. Бандурин, А. А. Солодунов, В. А. Волосухин // Инженерный вестник Дона. – 2019. - № 7. – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2019/6095](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2019/6095).
  17. Бандурин, М. А. Необходимость многофакторной диагностики Донской шлюзованной системы в условиях роста дефицита водных ресурсов и безопасности / М. А. Бандурин, В. А. Волосухин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2017. - Т. 9, № 2. - С. 57-68.
  18. Бандурин, М. А. Поиск вариантов изменения функционирования Краснодарского водохранилища с учетом короткого возраста водных ресурсов в бассейне реки Кубань / М. А. Бандурин, А. А. Солодунов, А. А. Сидаков // International Agricultural Journal. - 2021. - Т. 64, № 1. - С. 75.
  19. Бандурин, М. А. Реализация мониторинга многофакторного обследования в условиях роста дефицита безопасности гидротехнических сооружений / М. А. Бандурин, В. А. Волосухин // Известия высших учебных заведений. СевероКавказский регион. Серия: Технические науки. – 2017. – № 1 (193). – С. 76-79
  20. Бандурин, М. А. Эксплуатационный мониторинг и остаточный ресурс водопроводящих сооружений мелиоративных систем: монография. - 2-е изд., перераб. и доп. / М. А. Бандурин. - Краснодар: ЛИК, 2021. - 223 с.
  21. Белов, В. А. Гидротехнические сооружения и строительная механика / В. А. Белов, М. М. Мордвинцевым. – Новочеркасск, 2015.9. – 25 с.
  22. Благодарная, Г. И. Водоснабжение (Водозаборные сооружения): конспект лекций / Г. И. Благодарная. – Харьков: ХНАГХ, 2006. - 115 с.
  23. Болеев, А. А. Предотвращение биологического обрастания металлических конструкций оголовка водозаборных сооружений [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук :05.23.04 / Болеев Александр Андреевич. – Волгоград, 2013. – 19 с.
  24. Бондаренко, А. М. Результаты исследований по определению почвенного плодородия через урожайность сельскохозяйственных культур / А. М. Бондаренко, Д. Н. Безменников // Высокоэффективные технологии и техн. средства

- в полеводстве: разработка, исследования, испытания: сб. науч. тр. ВНИПТИМЭСХ. - зерноград, 2004. - С. 71-76
25. Бондаренко, В. Л. Научно-методологические основы природно-технических систем в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем / В. Л. Бондаренко, А. И. Ылясов, Е. Д. Хецуриани // Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО ДГАУ; Южно-Российский государственный политехнический университет им. М. И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2019
  26. Бондаренко, В. Л. Особенности эксплуатации водозаборных сооружений в суровых климатических условиях / В. Л. Бондаренко, Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани // Сантехника. - 2019. - № 5. - 46-48
  27. Бондаренко, В. Л. Оценка экологического состояния бассейновой геосистемы в процессах использования водных ресурсов / В. Л. Бондаренко, В. Б. Дьяченко // Проблемы региональной экологии. – 2005. - №2. – С. 86–92
  28. Бондаренко, В. Л. Природообустройство: территории бассейновых геосистем: учебное пособие / В. Л. Бондаренко; под общ. ред. И. С. Румянцева, В. Л. Бондаренко. – Ростов н/Д: Издательский центр Март, 2010. – 527 с.
  29. Бондаренко, В. Л. Технологические схемы управления качеством воды на водных объектах / В. Л. Бондаренко, В. А. Волосухин. – Новочеркасск: НИ-МИ, 1996 – 104 с.
  30. Бородычев, В. В. Внедрение новых способов орошения для экономного использования водных ресурсов в Волгоградской области / В. В. Бородычев, Н. М. Лытов // Водные проблемы Нижнего Поволжья и пути их решения: сб. науч. трудов ВСХИ. – Волгоград, 1982. - С. 86 87.
  31. Бородычев, В. В. Экономическая эффективность техники мелкодисперсного дождевания / В. В. Бородычев, М. Ю. Храбров // Инф. листок Волгоградского ЦНТИ. – 1981 - № 459
  32. Боруцкий, Е. В. Определитель свободноживущих пресноводных веслоногих раков СССР и сопредельных стран по фрагментам в кишечниках рыб / Е. В. Боруцкий. – Москва: издательство АН СССР, 1960. - 216 с.
  33. Борьба с наносами на Александровском водозаборе / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, В. П. Костюков, Т. Е. Хецуриани // Новые достижения в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 10 дек. 2015 г. / ФГБОУ ВО ПГУПС. - СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. - С. 205-207
  34. Бошняга Ю. А. К вопросу о стерилизующем действии электрического поля на микрофлору плодово-ягодных соков / Ю. А. Бошняга, Л. А. Бантыш // Электронная обработка материалов. – 2009. - № 2. - С. 79-88
  35. Будыко, М. И. Климат и жизнь / М. И. Будыко. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. – 472 с.
  36. Буш, Г. Я. Рождение изобретательских идей / Г. Я. Буш. – Рига: Лиесма, 1976. - 126 с.
  37. Васильев, С. М. Водосберегающие технологии орошения и рациональное использование водных ресурсов в АПК России / С. М. Васильев // Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чте-

- ния): материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 25–26 марта 2020 г. – Москва: ВНИИГиМ, 2020. – Т. II. – С. 6–11
38. Васильев, С. М. Обоснование комплекса вычислительной гидродинамики при расчёте гибких рабочих органов гидравлических регуляторов / С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 1 (25). – С. 1–13. - URL: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=458&id=459>.
  39. Волков И.М., Кононенко П.Ф., Федичкин И.К. Гидротехнические сооружения: учеб. для вузов / Волков И.М. и др. - // М.: Колос, 1986. - 464 с.,
  40. Вендров, С. Л. К вопросу об исследованиях взаимодействия крупных гидрозлов и водохозяйственных систем с окружающей средой / С. Л. Вендров. – Москва: Труды гидропроекта, 1979. – 56 с.
  41. Вернадский, В. И. Философские мысли натуралиста / В. И. Вернадский. – Москва: Изд-во Наука, 1988. – 520 с.
  42. Вершинин, И. И. Новый метод очистки трубок теплообменников / И. И. Вершинин // Новости теплоснабжения. - 2004, №2. - С. 48-50
  43. Влияние нефтепродуктов на природную воду / Е. Д. Хецуриани, И. А. Лапина, А. С. Териков и др. // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Костяковские чтения), г. Москва, 29-30 марта 2016 г. / Всерос. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова. - Москва, 2016. - Т. II. - С. 264-275
  44. Влияние перемещения донного грунта на зообентос при гидротехнических работах (обзор) / М. В. Медянкина, С. А. Соколова, Н. В. Морщанина, Г. С. Зеленихина // Современные проблемы и перспективы изучения Мирового Океана: докл. I науч.-практ. конф. молодых ученых, г. Москва, ВНИРО, 18-19 нояб. 2010 г.
  45. Влияние промышленных стоков на водоемы / Д. В. Антонян, А. В. Воробьев, Е. Д. Хецуриани и др. // Дни студенческой науки - 2015 в Донском государственном техническом университете: материалы ежегодной науч. конф. студ. и аспирантов базовых кафедр Южного науч. центра РАН, г. Ростов-на-Дону, 6 нояб. 2015 г. / Донской гос. техн. ун-т. - Ростов н/Д: изд-во ЮНЦ РАН, 2016. - С. 115-119
  46. Влияние сине-зелёных водорослей на состояние гидробионтов [Электронный ресурс] / Т. А. Буслаева, Е. Д. Хецуриани, И. А. Лапина, А. С. Териков // Юбилейная конференция студентов и молодых ученых, посвященная 85-летию ДГТУ [Электронный ресурс]: сб. докл., г. Ростов н/Д, 12-13 мая 2015 г. / ДГТУ. - Ростов н/Д: ДГТУ, 2015. - С. 731-735. - 1 электрон, опт. диск (CD-ROM)
  47. Влияние электрических воздействий на микроорганизмы / Б. Р. Лозаренко, В. Н. Рошин, Р. В. Абрамова, Р. И. Яворская // Электронная обработка материалов. - 1968. - № 5. - С. 79-94
  48. Водозаборно-очистные сооружения и устройства / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова, И. А. Лушкин. – Москва: Изд-во АСВ, 2003. – 569 с.
  49. Водозаборные сооружения из поверхностных источников / А. С. Образовский, Н. В. Ереснов, В. Н. Ереснов, М. А. Казанский. – Москва: Стройиздат,

1976. – 368 с.
50. Водозаборы из поверхностных источников: состояние, проблемы, тенденции, совершенствования // Е. Д. Хецуриани, Ю. И. Вдовин, И. А. Лушкин, Р. К. Халиков // Вестник СГАСУ. Строительство и архитектура. - 2011. – Вып. 2. – С. 55-61
  51. Водозаборы из поверхностных источников: состояние, проблемы, тенденции совершенствования / Е. Д. Хецуриани, Ю. И. Вдовин, И. А. Лушкин, Р. К. Халиков // Вестник СГАСУ. Строительство и архитектура. - 2011. - Вып. 2. - С. 55-61
  52. Водоснабжение, наружные сети и сооружения [Текст] : СП 31.13330.2012 : утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29.12.11 г. N 635/14 : введен в действие с 01.01.13 г.
  53. Вознесенский, В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Финансы и статистика, 1981. – 263 с., ил.
  54. Воинов, Б. С. Принципы поискового проектирования: учеб. пособие / Б. С. Воинов. – Горький: ГГУ, 1982. - 75 с.
  55. Волосухин, В. А. К вопросу расчета гибких гидротехнических конструкций / В. А. Волосухин // Мягкие конструкции гидротехнических сооружений: сб. научн. тр. / ЮжНИИГиМа. - Новочеркасск, 1977. - Вып. 27. – С. 27-33
  56. Волосухин, В. А. Определение усилий в гидротехнических мягких конструкциях / В. А. Волосухин, А. Илясов, Н. Ф. Луговой // Мягкие конструкции гидротехнических сооружений: сб. научн. тр. / ЮжНИИГиМа. - Новочеркасск, 1977. - Вып. XXVIII. – С. 33-40
  57. Волосухин, В. А. Строительные системы охраны водных ресурсов с использованием конструкций из тканевых материалов: монография / В. А. Волосухин, В. Л. Бондаренко; Новочеркасская государственная мелиоративная академия. – Новочеркасск: Колорит, 2008. - 164 с.
  58. Волосухин, В. А. Физические уровнения тканевых оболочек водного хозяйства: учебное пособие / В. А. Волосухин. - Новочеркасск, НИМИ, 1993. - С. 27
  59. Вопросы эффективного управления водоподачей в оросительных каналах при реконструкции мелиоративных систем // А. А. Ткачев, А. А. Семеренко, В. В. Сазонов и др. // Потенциал науки и современного образования в решении приоритетных задач АПК и лесного хозяйства: сб. тр. по материалам Юбилейной национальной науч.-практ. конф. / Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. – Рязань, 2019. - С. 310-314
  60. Гед, Р. Д. Энергия для планеты Земля / Р. Д. Гед // В мире науки. – 1990. - № 11. - С. 7-16.
  61. Голубовская, Э. К. Биологические основы очистки воды: учебное пособие для студентов строительных специальностей вузов / Э. К. Голубовская. – Москва: Высшая школа, 1978. – 268 с.
  62. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – Введ. 2013-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2018
  63. ГОСТ Р 51657.2-2000. Водоучёт на гидромелиоративных и водохозяйствен-

- ных системах. – Введ. 2001-07-01. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001ГОСТ Р ИСО 14004-98. Системы управления окружающей средой. Общие
64. руководящие указания. – Введ. 1999-04-01. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1998
65. Григоров, М. С. Влияние дифференцированного режима орошения на водопотребление и корневую систему люцерны / М. С. Григоров, С. М. Григоров, О. Н. Емельянова // Доклады РАСХН. - Москва, 2000. - №2. - С. 35-36
66. Григоров, М. С. Особенности управления экологически сбалансированной агросистемой в условиях орошения / М. С. Григоров, А. Ю. Черемисов // Доклады Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им В.И. Ленина. - 1991. - № 6. – С. 38-41
67. Григоров, С. М. Научные основы ресурсосбережения при дождевании / С. М. Григоров // Москва: Мелиоводинформ, 2001. - 135 с.
68. Григорьев, А. С. Равновесие безмоментной оболочки вращения при больших деформациях / А. С. Григорьев // Прикладная математика и механика. – 1961. - Т. 25. - С. 1083-1090
69. Дегтярев, Г. В. Комплексная механическая очистка вод поверхностного стока: монография / Г. В. Дегтярев, Ю. А. Свистунов. – Краснодар: КГАУ, 2004. - 255 с.
70. Дегтярев, Г. В. Низконапорные гидроциклоны осветлители вод поверхностного стока: монография / Г. В. Дегтярев, Ю. А. Свистунов. – Краснодар: КГАУ. - 2005. - 179 с.
71. Денисов, В. В. Идентификация агрометеорологических параметров имитационных моделей продукционного процесса зерновых культур [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ленинград: АФИ, 1990. - 19 с.
72. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров: Стандарт организации. - СПб.: Издательство Елобус, 2012. - 140 с.
73. Доклад об экологической ситуации в Астраханской области в 2016 г. / Служба природопользования и охраны окружающей среды Астраханской области. - Астрахань, 2017
74. Доклад об экологической ситуации в Астраханской области в 2017 г. / Служба природопользования и охраны окружающей среды Астраханской области. - Астрахань, 2018
75. Доклад об экологической ситуации в Астраханской области в 2018 г. / Служба природопользования и охраны окружающей среды Астраханской области. - Астрахань, 2019
76. Друзь, Б. И. Основы теории аэро и гидрорупругих колебаний мягких оболочек / Б. И. Друзь, И. Б. Друзь. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 1992. - С. 120
77. Дьяченко, В. Б. Обоснование выбора компоновочно-конструктивного решения рыбозащитного сооружения водозабора [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Дьяченко, В.Б. - Новочеркасск, 1996. - 24 с.

78. Европейский опыт борьбы с цветением водоемов / Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани, Д. Д. Кошелев, Д. Ю. Репченко // Приоритетные задачи и стратегии развития сельскохозяйственных наук: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., 25 мая 2016 г. / ФЦНиО ЭВЕНСИС. - Тольят-ти, 2016. - С. 9-11
79. Есин, А. И. Результаты исследований гидравлических режимов водозаборов насосных станций / А. И. Есин, А. Н. Кошкин // Актуальные проблемы мелиорации земель Поволжья: сб. науч. тр. ГУ ВолжНИИГиМ. – 2002. - С. 83-93
80. Есин, А. И. Эффективность работы водозаборов и подкачивающих насосных станций при заборе воды из каналов / А. И. Есин, А. Н. Кошкин // Экологические проблемы мелиорации: материалы Междунар. конф., посвящ. 115-летию со дня рождения А. Н. Костякова / ВНИИГиМ. – 2002. - С. 215-216
81. Ефремкина, Л. В. Устройство для промывки сетчатых рыбозаградителей [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ефремкина, Л.В. - Новочеркасск, 1991. - 21 с.
82. Жабо, В. В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС: учеб. для техникумов / В. В. Жабо. – Москва: Энергоатомиздат, 1992. - 240 с.
83. Железняков, Г. В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Г. В. Железняков, Т. А. Неговская, Е. Е. Овчаров / под редакцией Г. В. Железнякова. – Москва: Колос, 1984 г. – 205 с.
84. Жидовинов, В. И. Особенности покатной миграции молоди карповых, окуневых и сельдевых рыб, как основа экологических способов их защиты в дельте р. Волги [Текст]: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.10 / Жидовинов Владислав Ипполитович. – Москва, 1985. - 24 с.
85. Журба, М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова. – Москва: Издательство АСВ, 2004. - 496 с.
86. Журба, М. Г. Сельскохозяйственное водоснабжение / М. Г. Журба. – Кишинёв: Universitas, 1991. - 284 с.
87. Загрязнение воды нефтепродуктами / И. А. Лапина, Е. Д. Хецуриани, А. С. Теригов, Т. Е. Хецуриани // Современные вопросы экологического мониторинга водных и наземных экосистем: материалы Междунар. науч. конф. молодых ученых, 26-29 октября 2015 г., г. Ростов-на-Дону / Азов. науч.-исслед. ин-т рыбного хозяйства. - Ростов н/Д: АзНИИРХ, 2015. - С. 319-322
88. Зарубин, В. В. Методы водораспределения в каналах оросительных систем / В. В. Зарубин, А. А. Ткачев // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: сб. тр. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения) / Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова. – Новочеркасск, 2017. - С. 229-232
89. Защита и сохранение водных ресурсов / И. А. Лапина, Е. Д. Хецуриани, А. С. Теригов, Т. Е. Хецуриани // Современные вопросы экологического мониторинга водных и наземных экосистем: материалы Междунар. науч. конф. мо-

- лодых ученых, 26-29 октября 2015 г., г. Ростов-на-Дону / Азов. науч.-исслед. ин-т рыбного хозяйства. - Ростов н/Д: АзНИИРХ, 2015. - С. 322-324
90. Зинченко, Т. Д. Хириномиды поверхностных вод бассейна Средней и нижней Волги (Самарская область). Эколого-фаунистический обзор / Т. Д. Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН. 2002. - 174 с.
91. Значение органолептических показателей питьевой воды Ростовской области как факторов эпидемической безопасности здоровья населения / Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани, Е. В. Чаплыгина, Т. В. Жукова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. - 2019. - № 2 (26). - С. 24-34
92. Иванов, П. В. Оптимизация мелиоративного водозабора из рыбохозяйственно значимых водоисточников [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Иванов, П. В. - Новочеркасск, 1998. - 49 с.
93. Иванов, П. В. Формирование автоматизированной базы данных типовых решений рыбозащитных устройств / П. В. Иванов // Повышение эффективности использования водных ресурсов: тез. конф. 25-29 сент. 1989 г., г. Новочеркасск. - Новочеркасск, 1989. - С. 202-203
94. Инновационные конструктивные решения по обеспечению экологической безопасности на водозаборных технологических комплексах систем многоцелевого водоснабжения / В. Л. Бондаренко, Е. Д. Хецуриани, Н. Г. Моисеенко и др. // Технологии очистки воды Техновод-2019: материалы XII Международ. науч.-практ. конф., г. Москва, 22-23 окт. 2019 г. / Юж. -Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. - Новочеркасск: Лик, 2019. - С. 42-47
95. Инновационные способы модернизации и технического перевооружения водозаборных сооружений / Д. С. Ларин, Е. Д. Хецуриани, Е. А. Шкуракова, Т. Е. Хецуриани // Технологии очистки воды Техновод-2017: материалы X Международ. науч.-практ. конф., г. Астрахань, 05-07 окт. 2017 г. / Юж. -Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. - Новочеркасск: Лик, 2017. - С. 108-113
96. Информационные технологии и математическое моделирование при проектировании берегозащитных сооружений / Т. Ю. Хаширова, З. Г. Ламердонов, С. А. Жабоев и др. // Экология и промышленность России. - 2019. - Т. 23, № 9. - С. 13-17.
97. Искусственное нерестилище в условиях ковшевого водозабора / Н. И. Куликов, Е. Д. Хецуриани, А. Ю. Душенко, Р. С. Бечвая // Технологии очистки воды Техновод-2012: материалы VII Международ. науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 18-21 апр. 2012 г. / Юж. -Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2012. - С. 190-193
98. Исследование русловых процессов реки Дон в районе Александровских водозаборных сооружений [Электронный ресурс] / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, В. Н. Шкура и др. // Инженерный вестник Дона: [электрон. журн.]. - 2015. - № 4. - URL: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_26\\_Fesenko.pdf\\_4333800f60.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_26_Fesenko.pdf_4333800f60.pdf).
99. Калайда, М. Л. *Dreissena polymorpha* (Pall.) и *Dreissena bugensis* (Andr.) (Mollusca, Bivalvia) в верхней части Куйбышевского водохранилища / М. Л. Калайда // Биология внутренних вод. - 2004. - С. 60-67

100. Калайда, М. Л. Экологическая оценка Куйбышевского водохранилища в условиях антропогенного воздействия / М. Л. Калайда. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2003. – 135 с.
101. Каменев, А. Ф. Технические системы: закономерности развития / А. Ф. Каменев. – Ленинград: Машиностроение, 1985. - 216 с.
102. Карпенко, Н. П. Повышение экологической безопасности функционирования техно-природных систем и методология её решения / Н. П. Карпенко // Доклады РАСХН. – 2006. - № 3. - С. 59-62
103. Ковальчук, М. В. Конструктор для будущего / М. В. Ковальчук, О. С. Нарайкин / В мире науки. – 2011. - № 9. – С. 24 – 31.
104. Ковальчук, М. В. От синтеза в науке – к конвергенции в образовании / М. В. Ковальчук М. В. // Образовательная политика. – 2010. - № 11-12 (49-50). – С. 1-12.
105. Козин, М. А. Водный режим почвы и урожай / М. А. Козин. – Москва: Колос, 1977. —303 с.
106. Колганов, А. В. Гидравлическая эффективность и адекватность оросительных каналов / А. В. Колганов, Ю. М. Косиченко. – Москва: Рома, 1997. - 160 с.
107. Колганов, А. В. Проблемы управления и совершенствования информационного обеспечения в мелиоративной отрасли/ А. В. Колганов, В. Н. Щедрин, В. И. Коржов // Мелиорация и водное хозяйство. - 2000. - № 6. -С. 13-15
108. Комплекс мероприятий по разведению рыб в домашних условиях [Электронный ресурс] / А. В. Дьяченко, Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани, Д. В. Антонян // Эколого-экономический потенциал экосистем СевероКавказского федерального округа, причины современного состояния и вероятные пути устойчивого развития социоприродного комплекса: материалы Всерос. форума с междунар. участием, посвящ. 75-летию со дня рождения первого президента республики Дагестан М. Г. Алиева, г. Махачкала, 24-27 сентября 2015 г. / Дагестанский гос. ун-т. - Махачкала: ИПЭ РД Эко-Экспресс, 2015. - С. 184-185. - USB-flesh.
109. Комплексная установка для улучшения качества воды / Л. Н. Фесенко, Е. Д. Хецуриани, А. Ю. Душенко и др. // Технологии очистки воды Техновод-2012: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 18-21 апр. 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2012. - С. 187-190
110. Конструктивно-технологическая система обеспечения экологической безопасности водозаборных технологических комплексов / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, А. И. Блясов, Т. Е. Хецуриани // Инженерно-строительный вестник Прикаспия – 2020. - № 1 (32). – С. 25-35
111. Косиченко, Ю. М. Гидравлические и экологические аспекты эксплуатации каналов: учебное пособие / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2000. - 230 с.
112. Косиченко, Ю. М. К гидравлическому расчету облицованных каналов / Ю. М. Косиченко // Известия высших учебных заведений. - 1993. - № 2. - С. 41-

113. Косиченко, Ю. М. Натурные гидравлические исследования коэффициента шероховатости облицованных каналов / Ю. М. Косиченко, Н. И. Турянская, Н. Е. Богомоллов // Ростовский ЦНТИ. - № 69-91. - Ростов-на-Дону, 1991
114. Кравчук, А. В. Биоклиматические коэффициенты орошаемого сорго в Саратовском Заволжье / А. В. Кравчук, Е. Ю. Скопцова // Основы рационального природопользования: сб. науч. тр. / Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова. – Саратов: СГАУ, 1999. - С. 118-121
115. Кравчук, А. В. Влияние орошения на прочность почвенной структуры / А. В. Кравчук, Е. В. Аржанухина. // Основы рационального природопользования: сб. науч. работ / Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова. – Саратов: СГАУ, 1999. - С. 145-148
116. Кузнецов, Е. В. Агропромышленный комплекс Северного Кавказа / Е. В. Кузнецов // АПК: экономика, управление. - 1997. - № 7. - С. 3-10.
117. Кузнецов, М. Я. Разработка и использование математических моделей для исследования водного обмена на мелиорируемых землях [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Кузнецов Михаил Яковлевич // Белорус. НИИ мелиорации и водного хоз-ва. - Минск, 1990. – 17 с.
118. Кузнецов, О. Л. Система природа – общество – человек: Устойчивое развитие / О. Л. Кузнецов, П. Г. Кузнецов, Б. Е. Большаков // Государственный научный центр Российской Федерации ВНИИ геосистем. - Дубна, 2000. – 392 с.
119. Кузнецова, А. Е. Краткий анализ переувлажненных земель в Краснодарском крае и направление мелиораций / А. Е. Кузнецова, Г. В. Шевченко // Труды КубГАУ. - Краснодар. 1998. - Вып. 364 (392). - С. 187-193
120. Курганов, А. М. Водозаборные сооружения систем коммунального водоснабжения: учебное пособие / А. М. Курганов. – Санкт-Петербург: АСВ, 1998. – 246 с.
121. Лапшенков, В. С. Руслевая гидротехника / В. С. Лапшенков. - Новочеркасск, 1999. – 408 с.
122. Лачуга, Ю. Ф. Инновации для агропромышленного комплекса / Ю. Ф. Лачуга, А. М. Бондаренко // Вестник аграрной науки Дона. - 2012. - № 3 (19). – С. 5-13
123. Лесников, Л. А. Влияние перемещения грунтов на рыбохозяйственные водоемы / Л. А. Лесников // Труды ГосНИОРХ. - 1986. - Вып. 255. - С. 11-17
124. Лосев, К. С. Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития России в XXI веке / К. С. Лосев. – Москва: Космосинформ, 2001. – 400 с.
125. Магула, В. Э. Расчеты судовых осесимметричных мягких оболочек: учебное пособие / В. Э. Магула, Ю. Н. Коробанов, В. П. Шпаков. - Николаев, НКИ, 1978. – 96 с.
126. Малеванчик, Б. С. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения / Б. С. Малеванчик, И. В. Никоноров. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1984. - 256 с.
127. Малогабаритная энергетическая электроядерная установка: возможные технические решения / Ю. А. Свистунов, Л. Н. Герасимов, И. В. Кудинович и др. // Известия академии Наук РФ. Серия: Энергетика. – 2005. - № 2. - С. 3-16

128. Матвеев, А. А. Формирование загрязнения рыбохозяйственных водоемов взвешенными минеральными частицами / А. А. Матвеев, В. М. Волкова // Дноуглубительные работы и проблемы охраны рыбных запасов и окружающей среды рыбохозяйственных водоемов. — Астрахань, 1984. - С. 69-70
129. Матишов, Г. Г. Научно-методические подходы к оценке воздействия газо-нефтедобычи на экосистемы морей Арктики / Г. Г. Матишов; под редакцией Б. А. Никитина. - Апатиты, 1997. - 393 с.
130. Многолетняя динамика и современные тенденции изменения химического состава воды в акватории Павловского водохранилища / Хафизов А.Р., Валитов С.А., Камалетдинова Л.А., Низамова Р.А., Гайсин И.З // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 4. с. 19-34.
131. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам. Приказ Федерального Агентства по Рыболовству от 25.11.2011 г. № 1166; зарегистрирована Минюстом РФ 05.03.2012; рег. номер 23404
132. Методологические основы оценки зон влияния водозаборных технологических комплексов систем многоцелевого водоснабжения городских хозяйств и объектов экономики / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, А. И. Блясов, Е. А. Семенова // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. - 2019. - № 4 (28). - С. 25-35
133. Методологические основы развития специализируемого типа природно-технических систем использования водных ресурсов / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, Е. А. Семёнова, М. И. Штавдакер // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия Строительство и архитектура. - 2020. - Вып. 54 (73). - С. 148-155
134. Методы дезинфекции в установке замкнутого водоснабжения при разведении гидробионтов / Е. Д. Хецуриани, С. А. Щукин, И. А. Лапина и др. // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы Международ. науч.-практ. конф. (Костяковские чтения), г. Москва, 29-30 марта 2016 г. / Всерос. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова. - Москва, 2016. - Т. II. - С. 275-278
135. Мирцхулава, Ц. Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии / Ц. Е. Мирцхулава / Москва: Колос, 1970. - 240 с.
136. Мирцхулава, Ц. Е. Надежность гидромелиоративных сооружений / Москва: Колос, 1974. - 279 с.
137. Мирцхулава, Ц. Е. Основы физики и механики эрозии русел / Ц. Е. Мирцхулава. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. – 304 с.
138. Михеев П. А. Устройства для отвода рыб от рыбозащитных сооружений / П. А. Михеев // НГМА. - Новочеркасск, 2000. - 31 с. - Деп. в ВИНТИ, № 140630
139. Михеев, П. А. Выбор рыбозащитного сооружения / П. А. Михеев, А. Л. Эрслер // Рыбоводство и рыболовство. - 2000. - № 4. - С. 25
140. Михеев, П. А. Научно-техническое обоснование рыбозащитных сооружений / П. А. Михеев // НГМА. - Новочеркасск, 2000. - 43 с. - Деп в ВИНТИ, № 140700

141. Михеев, П. А. Рыбозащитные сооружения и устройства / П. А. Михеев. – Москва: Рома, 2000. - 405 с.
142. Михеев, П. А. Экологические показатели надежности рыбозащитных сооружений / П. А. Михеев // Проблемы ирригации в Ростовской области: тез. докл. науч.-теорет. конф. - Новочеркасск, 1995. - С. 235-236
143. Михеев, П. А., Ефремкина Ж. В. Оценка силы давления водовоздушной струи на сетчатую преграду / П. А. Михеев, Ж. В. Ефремкина // НИМИ. - Новочеркасск, 1990. - 13 с. - Деп. в ВИНТИ № 4747-В 90
144. Моделирование использования энергетического потенциала водных ресурсов деривационной оросительной системы / С. М. Васильев, В. Л. Бондаренко, Г. Л. Лобанов, Д. В. Бакланова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2 (30). – С. 112–130. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=542&id=549>
145. Моисеев, Н. Н. Человек и ноосфера / Н. Н. Моисеев. – Москва: Молодая гвардия, 1992. – 439 с.
146. Мюллер, И. Эвристические методы в инженерные разработки: пер. с нем / И. Мюллер. – Москва: Радио и связь, 1984. - 144 с.
147. Мягкая наплавная конструкция водозаборного сооружения в составе водозаборного технологического комплекса систем многоцелевого водоснабжения городских хозяйств, объектов экономики / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, А. И. Блясов и др. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. - № 2 (33). – С. 23-33
148. На пути к цифровой мелиорации / С. М. Васильев, В. Н. Щедрин, А. В. Слабунова, В. В. Слабунов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 5–9.
149. Нагрузки и воздействия [Текст]: СП 20.13330.2011: Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*.2012: утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27.12.10 г. N 787 и введен в действие с 20.05.11 г.
150. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: Многолетние данные. Часть 1-6, Выпуск 11. - Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1998
151. Николис, Г. Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин. – Москва: Мир, 1990. – 425 с.
152. Николис, Г. Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николис, И. Пригожин. – Москва: Мир, 1979. – 440 с.
153. Новойдарский, А. В. Расчет зоны влияния РЗУ типа рыбоотводящая запань с вертикальными водоприемными окнами / А. В. Новойдарский, П. А. Михеев // Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны. Труды АВН. - Новочеркасск, 1999. - Вып. 2. - С. 70-77
154. Нусенбаум, Л. М. Научные основы применения рыбопропускных и рыбозащитных сооружений и связанные с ними задачи исследования поведения рыб / Л. М. Нусенбаум // Поведение рыб в зоне гидротехнических сооружений. - 1967. - С. 25-42.
155. Обеспечение экологической безопасности водозаборных сооружений с сохранением биоразнообразия реки Дон / Т. Е. Хецуриани, А. Н. Пикалов, В.

- Л. Бондаренко, Е. Д. Хецуриани // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Азов. Науч.-исслед. Ин-та рыбного хоз-ва / Азовский научно исследовательский институт рыбного хозяйства. - Ростов-на-Дону, 2018. - С. 367-373
156. Одрин, В. М. Морфологический анализ систем / В. М. Одрин, С. С. Кратавов. – Киев: Наукова думка, 1977. - 183 с.
157. Оздоровление речных экосистем / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, В. П. Костюков, В. Э. Завалюев // Новые достижения в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 10 дек. 2015 г. / ФГБОУ ВО ПГУПС. - СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. - С. 202-204
158. Ольгаренко, В. И. Использование водных ресурсов на оросительных системах / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. ФГНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2008. - Вып. 39, Ч. 1. - С. 20-30
159. Ольгаренко, И. В. Методология функционирования экологически сбалансированных оросительных систем / И. В. Ольгаренко // Тр. КубГАУ. 2010. - Вып. № 6 (27). - С. 181-186
160. Ольгаренко, И. В. Оценка качества планирования и реализации водопользования на оросительных системах / И. В. Ольгаренко // Вестник РАСХН. - 2009. - С. 35
161. Оперативное водораспределение в системах оросительных каналов / В. И. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко, Н. С. Захарченко и др. // Вестник РАСХН. - 2011. - № 3. - С. 34-36
162. Определение основных расчётных гидрологических характеристик : СП 33-101-2003. - взамен СНиП 2.01.14-83. – Москва: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004
163. Определитель отрядов и семейств насекомых фауны России / под редакцией Е. Н. Горностаевой. – Москва: Издательская корпорация Логос, 1999. - 176 с.
164. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос) / под редакцией Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатова. – Ленинград: Гидрометеиздат, - 1978. - 361 с.
165. Оптимизация условий возделывания перца в Волго-Ахтубинской пойме / А. С. Овчинников, Т. Л. Косильникова, О. В. Данилко и др. // Эффективность оросительных мелиорации на юге России: сб. науч. тр. ВНИИОЗ. - Волгоград, 2004. - С. 149.
166. Основания зданий и сооружений [Текст]: СП 22.13330.2011: Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*.2012: утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 28.12.10 г. N 823 : введен в действие с 20.05.11 г.
167. Основные принципы и методы эксплуатации магистральных каналов и сооружений на них: монография / Е. Д. Хецуриани, В. Н. Щедрин, С. М. Васильев и др. // Рос. НИИ пробл. мелиор. – Новочеркасск, 2015. - 361 с.

168. Отечественные способы борьбы с цветением водоёмов [Электронный ресурс] / И. Г. Куц, Е. Д. Хецуриани, И. А. Лапина, А. С. Териков // Юбилейная конференция студентов и молодых ученых, посвященная 85-летию ДГТУ [Электронный ресурс]: сб. докл., г. Ростов н/Д, 12-13 мая 2015 г. / ДГТУ. - Ростов н/Д: ДГТУ, 2015. - С. 736-739. - 1 электрон, опт. диск (CD-ROM)
169. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) при проектировании водохозяйственного комплекса Зеленчукской ГЭС / В. Л. Бондаренко, В. В. Гутенев, В. В. Приваленко, Е. С. Поляков // Теоретическая и прикладная экология. – 2007. - №1. - С. 47-54
170. Очистка водоемов от сине-зеленых водорослей / А. Н. Богачев, Е. Д. Хецуриани, Д. А. Скворцов, Т. Е. Хецуриани // Современные вопросы экологического мониторинга водных и наземных экосистем: материалы Международ. науч. конф. молодых ученых, 26-29 октября 2015 г., г. Ростов-на-Дону / Азов. науч.-исслед. ин-т рыбного хозяйства. - Ростов н/Д: АзНИИРХ, 2015. - С. 311-314
171. Очистка воды от сине-зеленых водорослей на ершовой загрузке / А. Н. Богачев, Е. Д. Хецуриани, А. Ю. Душенко и др. // Технологии очистки воды Техновод-2014: материалы VIII Международ. науч.-практ. конф., г. Сочи, Красная Поляна, 23-24 окт. 2014 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2014. - С. 65-70
172. Павлов, Д. С. Биологические основы защиты рыб от попадания в водозаборные сооружения / Д. С. Павлов, А. М. Пахоруков. - 2-е изд. перераб. и доп. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1983. - 264 с.
173. Пат. № 2049198 Российская Федерация, МПК E 02 B 8/08. Рыбозащитное устройство водозаборного сооружения [Текст] / Хецуриани Е. Д., Чистяков А. А., Михеев П. А. и др. - № 5021922/15; заявл. 13.01.92; опубл. 27.11.95, Бюл. № 33
174. Пат. № 2697379 Рос. Федерация, МПК E02B 9/02/ ООО. Водозаборное сооружение [Текст] / Хецуриани Е. Д., Фесенко Л. Н., Бондаренко В. Л.; заявитель и патентообладатель НПП "Экофес". - № 2018130564; заявл. 22.08.18; опубл. 13.08.19, Бюл. № 23
175. Пат. на полезную модель 120096 Российская Федерация, МПК C02F3/02. Очистное устройство водозабора [Текст] / Хецуриани, Е. Д., Куликов, Н. И., Фесенко, Л. Н. и др.; заявитель и патентообладатель ООО НПП Экофес. - № 2012113688/05; заявл. 06.04.12; опубл. 10.09.12
176. Пат. на полезную модель № 120097 Российская Федерация, C 02 F3/10/. Завеса для удерживания рыб на водозаборах [Текст] / Хецуриани Е. Д., Куликов Н. И., Фесенко Л. Н. и др.; заявитель и патентообладатель ООО НПП Экофес. - № 2012113437/05; заявл. 06.04.12; опубл. 10.09.12
177. Пат. на полезную модель № 121499 Российская Федерация, C02F3/02. Приемник промывных вод очистного устройства водозабора [Текст] / Хецуриани Е. Д., Куликов Н. И., Фесенко Л. Н. и др.; заявитель и патентообладатель ООО НПП Экофес. - № 2012113438/05; заявл. 06.04.12; опубл. 27.10.12
178. Патент № 2723519 Российская Федерация, МПК E02B 9/04. Водозаборное сооружение / Васильев С. М.,

- Шкура В. Н., Штанько А. С. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации". - № 2019120346; заявл. 27.06.19; опубл. 11.06.20, Бюл. № 17.
179. Патент № 2728352 Российская Федерация, МПК А01G 25/00, E02B 9/04/ Водозаборное сооружение низконапорной системы капельного орошения / Васильев С. М., Шкура В. Н., Штанько А. С.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации". - № 2019125077 ; заявл. 6.08.19; опубл. 29.07.20, Бюл. № 22
180. Патент № 2728676 Российская Федерация, МПК E02B 13/00, E02B 9/04/. Водозаборное сооружение для оросительной сети с плоским безригельным затвором и автоматической подачей воды в каналы младшего порядка / Васильев С. М., Сенчуков Г. А., Тищенко А. И. и др.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации". - № 2019120347 ; заявл. 27.06.19; опубл. 30.07.20, Бюл. № 22
181. Питерский. А. М. Основы математического планирования эксперимента: учеб. пособие для обучающихся по программе магистратуры, бакалавриата и послевузовского образования / А. М. Питерский / Новочерк. гос. мелиор. акад.; каф. строит.дела, осн. и фундаментов. - Новочеркасск, 2012. - 165 с.
182. Повышение качественных показателей воды в установке замкнутого водоснабжения для разведения рыб / Е. Д. Хецуриани, С. А. Щукин, Р. В. Израйлов, Т. Е. Хецуриани // Перспективы развития строительного комплекса: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. "Перспективы развития научно-технического сотрудничества стран - участниц Евразийского экономического союза", г. Астрахань, 09-11 нояб. 2016 г. / Астрахан. гос. арх.-строит. ун-т. - Астрахань, 2016. - С. 117-122
183. Повышение эффективности управления региональной аграрной системой на юге России: монография / А. С. Очинников, Г. Ф. Коцубняк, О. В. Зволинская и др. // Волгогр. гос. аграр. ун-т и др. - Волгоград, 2013. - 242 с.
184. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения [Текст] : СП 101.13330.2012 : утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30. 06.12 г. N 267 : введ. в действие с 01.01.13
185. Половинкин, А. И. Законы строения и развития техники: учеб. пособие / А. И. Половинкин. – Волгоград: ВолгПИ, 1985. - 202 с.
186. Потери поливной воды из корнеобитаемого слоя козлятника восточного. / А. В. Кравчук, С. В. Затицацкий, Р. В. Прокопец и др. // Саратовский МТЦН-ТИ: Информационный листок. - № 153-2000. - Саратов, 2000. - 2 с.
187. Правила устройства электроустановок. - 7-е издание. – Москва: Издательство НЦ ЭНАС, 2004
188. Правительство Российской Федерации. Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания [Текст]: Постановление утв. 29 апреля 2013 г. N 380.

189. Пригожин, И. Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стенгерс. – Москва: Прогресс, 1986. – 256 с.
190. Применение комплекса водозаборно-очистных сооружений в условиях ковшевого водозабора / А. Ю. Душенко, Е. Д. Хецуриани, А. В. Пельчер, Р. С. Бечвая // Технологии очистки воды Техновод - 2011: материалы VI Международ. науч.-практ. конф., г. Чебоксары, 20-23 сент. 2011 г. / Юж. -Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: Лик, 2011. - С. 84-87
191. Применение синтетических водорослей типа "Ерш" на водоприемных сооружениях / А. Н. Богачев, Е. Д. Хецуриани, А. Ю. Душенко, Т. Е. Хецуриани // Современные вопросы экологического мониторинга водных и наземных экосистем: материалы Международ. науч. конф. молодых ученых, 26-29 октября 2015 г., г. Ростов-на-Дону / Азов. науч.-исслед. ин-т рыбного хозяйства. - Ростов н/Д, 2015. - С. 307-310
192. Природно-технические системы в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем: монография / В. Л. Бондаренко, Е. А. Семёнова, А. В. Алиферов, О. В. Клименко / Южно-Российский государственный политехнический университет. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2016. - 204 с.
193. Природно-технические системы многоцелевого водоснабжения городского хозяйства / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, Е. А. Семёнова, М. И. Штавадакер // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия Строительство и архитектура. - 2020. - Вып. 54 (73). - С. 148-155
194. Проблемы использования орошаемых земель в Саратовской области / Ф. К. Абдразаков, А. И. Есин, Б. И. Туктаров и др. // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2001. - № 1. - С. 39-43
195. Проблемы работы мелиоративных водозаборов во время "цветения" воды / А. Н. Богачев, Е. Д. Хецуриани, А. С. Териков, И. А. Лапина // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. - 2014. - Вып. 54. - С. 115-117
196. Продуценты токсичных веществ водных объектов [Электронный ресурс] / И. А. Лапина, Е. Д. Хецуриани, А. С. Териков, Т. Е. Хецуриани // Эколого-экономический потенциал экосистем Северо-Кавказского федерального округа, причины современного состояния и вероятные пути устойчивого развития социоприродного комплекса: материалы Всерос. форума с междунар. участием, посвящ. 75-летию со дня рождения первого президента республики Дагестан М.Г. Алиева, г. Махачкала, 24-27 сентября 2015 г. / Дагестанский гос. ун-т. - Махачкала: ИПЭ РД Эко-Экспресс, 2015. - С. 186-187. - USB-flesh
197. Пути решения проблемы заиления Краснодарского водохранилища для рационального использования водных ресурсов пойменных территорий / М. А. Бандурин, В. А. Волосухин, Ф. С. Литовка и др. // Инженерный вестник Дона. – 2019. - № 7. – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2019/6126](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2019/6126).
198. Рабков, Е. К. Проектирование и расчёт оросительных каналов в земляном русле / Е. К. Рабков. - Москва: УДН, 1990. – 252 с.
199. Результаты обследования и рекомендации по оптимизации конструкции рыбозащитного сооружения на Донском магистральном канале / Е. Д. Хецуриани, С. А. Селицкий, А. Н. Богачев и др. // Научный журнал Российского

- НИИ проблем мелиорации [электронный ресурс]. - 2014. - № 4 (16). - С. 190-203. – URL : [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec307-field6.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec307-field6.pdf).
200. Результаты обследования системы водоснабжения и водоотведения п. Заводского и рекомендации по рациональному использованию водных ресурсов / Е. Д. Хецуриани, Е. К. Соболев, А. А. Журавель, В. Э. Завалюев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. ст. / ФГНУ "РосНИИПМ". - Новочеркасск, 2015. - Вып. 2 (58). - С. 158-161
201. Рекомендации по возделыванию с.-х. культур на орошаемых землях Волгоградской области / М. С. Григоров, В. Ф. Лобойко и др. / ВСХИ. - Волгоград, 1980. - 26 с.
202. Рекомендации по проектированию и эксплуатации гидродинамического рыбозащитного устройства / П. А. Михеев, Е. Д. Хецуриани, В. П. Боровской, В. Н. Шкура // Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск: Темп, 2006. - 18 с.
203. Речные бассейны / под редакцией А. М. Черняева; РосНИИВХ. – Екатеринбург: изд-во Агроэкология, 1999. – 356 с.
204. Решение экологических проблем при проектировании гидротехнических сооружений (на примере бассейновой геосистемы Верхней Кубани): монография / В. Л. Бондаренко, В. В. Приваленко, А. В. Кувалкин и др. - Ростов-на-Дону: изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 306 с.
205. Родин, Я. С. Труды ВНИИГиМ, Т. XLIII: Гидротехника / Я. С. Родин, Т. П. Панова. – Москва, 1965
206. Рождественский, А. В. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик / А. В. Рождественский, А. Г. Лобанова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.
207. Российская Федерация. Законы. Об охране атмосферного воздуха [Текст]: федеральный закон № 313-ФЗ: принят 31.12.08 (с изменениями)
208. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды [Текст]: федеральный закон № 7-ФЗ [принят Гос. Думой 20 декабря 2001 г.; одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 г.]. – 10.01.2002 (с изменениями)
209. Россия: Водохозяйственное устройство / под научной редакцией А. М. Черняева; РосНИИВХ. – Екатеринбург: изд-во Агрокосмоэкология, 1999. – 400 с.
210. Россия: речные бассейны / под научной редакцией А. М. Черняева; РосНИИВХ. – Екатеринбург: изд-во Агрокосмоэкология, 1999. – 340 с.
211. Россия: социально-экологические водные проблемы / под научной редакцией А. М. Черняева. – Екатеринбург: изд-во Агрокосмоэкология, 1999. – 260 с.
212. Румянцев, И. С. Использование методов инженерной биологии в практике гидротехнического и природоохранного строительства / И. С. Румянцев, Р. Кромер; под редакцией И. С. Румянцева. – Москва: изд-во МГУИЦ, 2003. – 259 с.
213. Рыжко, Н. Ф. Снижение потребления электроэнергии на насосных станциях при поливе дождевальными машинами / Н. Ф. Рыжко, С. А. Хорин, С. В. Ботов // Новости науки в АПК. – 2018. - № 2-2 (11). - С. 379-382

214. Самоочищение природных вод / А. С. Териков, Е. Д. Хецуриани, И. А. Лапина, Н. В. Калиниченко / Актуальные проблемы сельскохозяйственных наук в России и за рубежом: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., г. Новосибирск, 10 февр. 2016 г. / ИЦРОН. - Новосибирск, 2016. - в. 3 ч. - С. 54-56
215. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016611905. Проектирование и расчет плавучих насосных станций [Текст] / Хецуриани, Е. Д., Шепелев, А. Е., Завалюев, В.Э., Чураев, А. А. - № 2015662356; заявл. 15.12.15; опубл. 12.02.16
216. Сергеев, Б. И. Мягкие конструкции – новый вид гидротехнических сооружений. / Б. И. Сергеев, П. М. Степанов, Б. Б. Шумаков – Москва: Колос, 1971. – 88 с.
217. Современные перспективные водосберегающие способы полива в Нижнем Поволжье: моногр. / М. С. Григоров, А. С. Овчинников, Е. П. Боровой и др. // Волгогр. гос. с.-х. акад. – Волгоград: Нива, 2010. - 243 с.
218. Современные проблемы мелиорации и пути их решения: Юбилейный сборник научных трудов. - Москва: ВНИИГиМ, 1999. – Т. 1-2
219. Современное состояние и перспективы развития орошаемого земледелия в республике Башкортостан / Комиссаров А.В., Хафизов А.Р., Ишбулатов М.Г., Хазипова А.Ф. // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 1. с. 22-26.
220. Создание комплексных сооружений в составе природно-технических систем многоцелевого водоснабжения для обеспечения экологической безопасности водопользования / Т. Е. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, Е. Д. Хецуриани, А. Н. Пикалов // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства, г. Ростов-на-Дону, 11-12 дек. 2018 г. / Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства. - Ростов-н/Д.: изд-во АЗНИИРХ, 2018. - С. 362-367
221. Соколовская, И. Ю. Полный факторный эксперимент: метод. указ. для самостоятельной работы студентов / И. Ю. Соколовская. – Новосибирск: НГАВТ, 2010. - 36 с.
222. СП 77.13330.2016. Системы автоматизации. – Введ. 2017-04-21. – Москва: Стандартинформ, 2017
223. Способы защиты водозаборов от попадания в них шуги и льда / Д. В. Антонян, Е. Д. Хецуриани, А. В. Воробьев и др. // Актуальные вопросы и перспективы развития сельскохозяйственных наук: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., г. Омск, 7 мая 2015 г. / Инновационный центр развития образования и науки. - Омск, 2015. - Вып. 2. - С. 47-48
224. Справочник по гидравлическим расчётам / П. Г. Киселёв, А. Д. Альтшуль, Н. В. Данильченко. и др. / под редакцией. П. Г. Киселёва. – Москва: Энергия, 1972. – 312 с.
225. Стрельцова, Н. Б. Оценка эффективности работы рыбозащитных устройств водозаборов Воронежской ТЭЦ / Н. Б. Стрельцова, Н. А. Шелестова, К. В.

- Мирхаликов // Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны. Труды АВН. - Новочеркасск, 1997. - Вып. 1. - С. 34-38
226. Строительная климатология [Текст] : СП 131.13330.2012 : Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* : утв. Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30.06.12 г. N 275 : введен в действие с 1.01.13 (с Изменениями № 1,2)
227. Телитченко, М. М. Формирование биологической полноценности воды гидробионтами / М. М. Телитченко // Биологическое самоочищение и качества воды. - Москва, Наука, 1990. - С. 9-14
228. Технологии очистки природных вод от планктона / А. Н. Богачев, Е. Д. Хецуриани, С. В. Фисенко и др. // Современные вопросы экологического мониторинга водных и наземных экосистем: материалы Междунар. науч. конф. молодых ученых, 26-29 октября 2015 г., г. Ростов-на-Дону / Азов. науч.-исслед. ин-т рыбного хозяйства. - Ростов н/Д: АзНИИРХ, 2015. - С. 314-319
229. Технологические и технические средства полива дождеванием (Рекомендации) / Ф. К. Абдразаков, А. И. Есин, Н. М. Кошкин и др. – Саратов: Изд-во ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ, 2001. – 100 с.
230. Технология удаления биообрастаний на водозаборных сооружениях систем водоснабжения / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, Н. Г. Моисеенко и др. // Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 5, № 4 (17). - С. 234-237
231. Ткачев, А. А. Анализ применения берегоукрепительных конструкций / А. А. Ткачев, В. В. Клименко, А. В. Родионенко // Мелиорация и водное хозяйство: сб. тр. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения) с международным участием, посвящ. 130-летию со дня рождения академика Б. А. Шумакова, в 2-х ч. / Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт филиал ДГАУ. – Новочеркасск, 2019. - С. 221-225
232. Ткачев, А. А. Эксплуатационные мероприятия для водохранилища мелиоративного назначения / А. А. Ткачев, Е. В. Карельская, А. Н. Развязкина // Актуальные вопросы взаимодействия образования, науки и бизнеса: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 30 янв. 2018 г. - Эксплуатационные мероприятия для водохранилища мелиоративного назначения. Москва: изд-во Импульс, 2018. - С. 502-507.
233. Улучшение условий рыболовства (аквакультуры) путем очистки и углубления рыбоводных каналов и водоемов / Д. С. Ларин, Е. Д. Хецуриани, А. Н. Пикалов, Е. В. Стасева // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Азов. науч.-исслед. ин-та рыбного хоз-ва, г. Ростов-на-Дону, 11-12 дек. 2018 г. / Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства. - Ростов-н/Д.: изд-во АзНИИРХ, 2018. - С. 65-69
234. Управление водораспределением при реконструкции оросительных каналах мелиоративных систем / А. А. Ткачев, А. А. Семеренко, В. В. Сазонов и др. // International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. - 2019. - № 1. - С. 34-38
235. Усюкин, В. И. Оборудование теории больших деформаций мягких оболочек

- / В. И. Усюкин // Изв. АН СССР. МТТ. – 1976. - №1. - С. 70-75
236. Усюкин, В. И. Строительная механика конструкций космической техники: учебник для студентов ВТУЗов / В. И. Усюкин. – Москва: Машиностроение, 1988. - С. 392
237. Утилизация сине-зеленых водорослей после очистки воды [Электронный ресурс] / И. А. Лапина, Е. Д. Хецуриани, А. С. Териков, Т. Е. Хецуриани // Эколого-экономический потенциал экосистем Северо-Кавказского федерального округа, причины современного состояния и вероятные пути устойчивого развития социоприродного комплекса: материалы Всерос. форума с междунар. участием, посвящ. 75-летию со дня рождения первого президента республики Дагестан М.Г. Алиева, г. Махачкала, 24-27 сентября 2015 г. / Дагестанский гос. ун-т. - Махачкала: ИПЭ РД Эко-Экспресс, 2015. - С. 187-188. - USB-flesh.
238. Федеральное агентство по рыболовству. Приказ. Об установлении категорий водных объектов рыбохозяйственного значения и особенностей добычи (вылова) водных биологических ресурсов, обитающих в них и отнесенных к объектам рыболовства [Текст] : № 818 от 17.09.2009 г.: Утратил силу с 27 апреля 2019 года на основании приказа Росрыболовства от 13 марта 2019 года N 98
239. Филатов, А. П. Исследование влияния формы электродов экспериментальной установки на степень обеззараживания воды / А. П. Филатов // Электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. – зерноград, 2006. - Вып. 6 – С. 6
240. Филатов, А. П. Обеззараживание воды высоковольтным электрическим разрядом / А. П. Филатов, В. А. Халюткин, В. М. Шарапов // Высокие технологии энергосбережения: труды Междунар. школы-конференции. – Воронеж: Изд-во Кварта, 2005. – С. 188
241. Фильтрующие рыбозащитные сооружения и устройства / Е. Д. Хецуриани, И. А. Лапина, А. С. Териков и др. // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Костяковские чтения), г. Москва, 29-30 марта 2016 г. / Всерос. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова. - Москва, 2016. - Т. II. - С. 192-193
242. Хазен, А. М. Разум природы и разум человека / А. М. Хазен. – Москва: РИО Мособлупрполиграфиздат, 2000. – 607 с.
243. Хафизов А.Р., Природоприближенные технологии повышения урожайности сельскохозяйственных культур на основе катенарных моделей / Хафизов А.Р., Хазипова А.Ф., Камалетдинова Л.А. // в сборнике: роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий. сборник III всероссийской (национальной) научной конференции. 2018. с. 218-221
244. Хайтун, С. Д. Социальная эволюция, энтропия и рынок / С. Д. Хайтун // Общественные науки и современность. – 2000. – № 6. – С. 120–134
245. Хаширова, Т. Ю. Концептуальная модель системы управления качеством водных ресурсов на основе применения информационных технологий / Т.Ю. Хаширова, Е.К. Эдгулова, Токмакова Д.А. // Университетский научный сбор-

- ник № 3 : сб. науч. тр. Национал. универ. науч.-практ. конф., приуроченной к 85-летию со дня основания Кабардино-Балкарского государственного университета. – Владикавказ.2019. - С. 161-166.
246. Хаширова, Т. Ю. Моделирование речных экосистем на примере р. Баксан / Т. Ю. Хаширова, А. Р. Гергов, И. З. Елеев // Нелокальные краевые задачи и родственные проблемы математической биологии, информатики и физики : материалы VI Междунар. науч. конф. / Институт прикладной математики и автоматизации – филиал ФГБНУ Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук. – Владикавказ, 2021. - С. 192-193
247. Хецуриани Е. Д. Optimization of Fish Protection System to Increase Technosphere Safety [Электронный ресурс] / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, Д.С. Ларин // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol.262.URL:<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757899X/262/1/012174/pdf>.
248. Хецуриани, Е. Д. Основы методологии создания природно-технических систем по использованию водных ресурсов в многоцелевом водоснабжении городских хозяйств и населенных пунктов / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2018. - № 54 (73). - С. 148-155.
249. Хецуриани, Е. Д. Оценка главенствующей роли системной целостности в обеспечении экологической безопасности в зонах влияния водозаборного технологического комплекса городского хозяйства / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, Т. Е. Хецуриани // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2018. - № 9 (717). - С. 83-90.
250. Хецуриани, Е. Д. Проблемы водоснабжения в Ростовской области / Е. Д. Хецуриани // Сборник научных трудов №72 / Мин. обр. и науки Грузии Ин-т водного хоз-ва им. Ц. Е. Мирцхулава Грузин. техн. ун-та. - Тбилиси, 2017. - С. 189-194
251. Хецуриани, Е. Д. Анализ исследования русловых процессов реки Дон / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, Т. Е. Хецуриани // Современные проблемы водного хозяйства, охраны окружающей среды, архитектуры и строительства: V Междунар. науч.-техн. конф., 16-19 июля 2015 г., сб. науч. тр. №70: посвящ. 95-летию со дня рожд. акад. Цотне Мирцхулава / Мин. обр. и науки Грузии Ин-т водного хоз-ва им. Ц. Е. Мирцхулава Грузин. техн. ун-та. - Тбилиси, 2015. - С. 221-227
252. Хецуриани, Е. Д. Анализ современной концепции очистки поверхностной воды на водозаборных сооружениях / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко // Современные проблемы водного хозяйства, охраны окружающей среды, архитектуры и строительства: V Междунар. науч.-техн. конф., 16-19 июля 2015 г., сб. науч. тр. № 70: посвящ. 95-летию со дня рожд. акад. Цотне Мирцхулава / Мин. обр. и науки Грузии Ин-т водного хоз-ва им. Ц. Е. Мирцхулава Грузин. техн. ун-та. - Тбилиси, 2015. - С. 218-220

253. Хецуриани, Е. Д. Безопасность эксплуатации водозаборных сооружений при малом и среднем количестве шуги / Е. Д. Хецуриани, Н. А. Полянский // Современное научное знание: теория, методология, практика: сб. науч. ст. по материалам V Междунар. науч.-практ. конф., г. Смоленск, 31 янв. 2018 г., в 2 ч. / Междунар. науч.-информ. центр Наукосфера. - Смоленск: Новаленсо, 2018. - Ч. 2. - С. 64-65
254. Хецуриани, Е. Д. Безопасность эксплуатации водозаборных сооружений при большом количестве шуги в реке / Е. Д. Хецуриани, Н. А. Полянский // Современное научное знание: теория, методология, практика: сб. науч. ст. по материалам V Междунар. науч.-практ. конф., г. Смоленск, 31 янв. 2018 г., в 2 ч. / Междунар. науч.-информ. центр Наукосфера. - Смоленск: Новаленсо, 2018. - Ч. 2. - С. 66-67
255. Хецуриани, Е. Д. Вода: круговорот в природе (А ... Д): терминолог. словарь: учебное пособие / М. И. Пономаренко, Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2010. - 155 с.
256. Хецуриани, Е. Д. Водозаборные технологические комплексы в составе природно-технических систем многоцелевого водоснабжения / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко // Известия высших учебных заведений. - Строительство. - 2018. - № 6 (714). - С. 38-47
257. Хецуриани, Е. Д. Водопроводные сети предприятий и населенных мест: метод. указ. к лабораторным работам [для спец. 27011265 "Водоснабжение и водоотведение" и 28030265 "Комплексное использование и охрана водных ресурсов"] / Е. Д. Хецуриани / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2008. - 53 с.
258. Хецуриани, Е. Д. Вопросы эксплуатации рыбозащитного сооружения на Донском магистральном канале / С. А. Селицкий, Е. Д. Хецуриани, Т. П. Андреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. - 2015. - Вып. 4 (60). - С. 109-112
259. Хецуриани, Е. Д. Гидравлический кавитационный аэратор / Е. Д. Хецуриани, А. Ю. Душенко // Студенческая научная весна - 2010: материалы регион. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Ростовской области / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2010. - С. 370-371
260. Хецуриани, Е. Д. Завеса из ершей для рыбозащиты / А. Ю. Душенко, Е. Д. Хецуриани, Р. С. Бечвая // Рациональное использование и сохранение водных биоресурсов: материалы Междунар. науч. конф., приуроч. к пятилетию открытия базовой кафедры ЮНЦ РАН "Технические средства аквакультуры" в ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, 17-18 февр. 2014 г. / Дон. гос. техн. ун-т. - Ростов н/Д: изд-во ЮНЦ РАН, 2014. - С. 265-269
261. Хецуриани, Е. Д. Изменение микроклимата в почве в результате орошения / Е. Д. Хецуриани, В. Э. Завалюев, Т. Е. Хецуриани // Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты: сб. науч. ст. студ., магистрантов, асп., молодых ученых и пре-под., г. Пермь, 06 дек. 2016 г. / Центр соц.-эконом. исслед. - Пермь, 2016. - Вып. 10. - С. 41-43

262. Хецуриани, Е. Д. Импульсное гидродинамическое рыбозащитное устройство машины водозаборов с расходом до 0,5 м<sup>3</sup>/с / Е. Д. Хецуриани, П. А. Михеев // Технологии очистки воды Техновод-2006: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 10-летию промышленного производства и использования ок-сиглоридного коагулянта "ОХА" в России, г. Кисловодск, 2-5 окт. 2006 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ООО НПО Темп, 2006. - С. 122-127
263. Хецуриани, Е. Д. Искусственное нерестилище в условиях ковшевого водозабора / А. Ю. Душенко, Е. Д. Хецуриани, Р. С. Бечвая // Рациональное использование и сохранение водных биоресурсов: материалы Междунар. науч. конф., приуроч. к пятилетию открытия базовой кафедры ЮНЦ РАН "Технические средства аквакультуры" в ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, 17-18 февр. 2014 г. / Дон. гос. техн. ун-т. - Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014. - С. 261-264
264. Хецуриани, Е. Д. Комплексное рыбозащитное устройство водозаборного сооружения / А. В. Новойдарский, Е. Д. Хецуриани, Г. Н. Пурас // Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивости развития городов Поволжья: сб. тр. II Всерос. науч.-практ. конф., г. Тольятти, 8-10 сент. 2009 г. / ТГУ. - Тольятти: ТГУ, 2009. - С. 300-308
265. Хецуриани, Е. Д. Мероприятия по борьбе с эвтрофикацией водоемов / Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани // Приоритетные задачи и стратегии развития сельскохозяйственных наук: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., 25 мая 2016 г. / ФЦНиО ЭВЕНСИС. - Тольятти, 2016. - С. 11-13
266. Хецуриани, Е. Д. Мероприятия по выращиванию рыб совместно с бассейнами / Е. Д. Хецуриани // Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России: сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф., янв. 2010 г. / Межотрасл. науч.-информ. центр Пенз. гос. с.-х. акад. - Пенза: РИО ПГСХА, 2010. - С. 181-184
267. Хецуриани, Е. Д. Мероприятия по эффективному инженерному обеспечению территорий малоэтажной застройки / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко // Малоэтажное строительство в рамках национального проекта "Доступное и комфортное жилье гражданам России": технологии и материалы, проблемы и перспективы развития Волгоградской области: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Волгоград, 15-16 дек. 2009 г. / Волгоград. гос. архитектурно-строит. ун-т. - Волгоград, 2009. - С. 254-257
268. Хецуриани, Е. Д. Меры по борьбе с эвтрофикацией водоемов / Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани // Приоритетные задачи и стратегии развития сельскохозяйственных наук: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., 25 мая 2016 г. / ФЦНиО ЭВЕНСИС. – Тольятти. - С. 11-13
269. Хецуриани, Е. Д. Методика анализа данных натуральных исследований по оптимизации режимов работы рыбозащитного оголовка / Е. Д. Хецуриани / Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 2 февр. 2007 г.: в 2 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2007. - Ч. 1. - С. 55-61

270. Хецуриани, Е. Д. Методика расчета экологически безопасного рыбозащитного устройства водохозяйственных систем / Е. Д. Хецуриани / Технологии очистки воды Техновод-2008: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., г. Калуга, 26-29 фев. 2008 г. / Юж. -Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: Оникс+, 2008. - С. 148-154
271. Хецуриани, Е. Д. Методологические основы понятия времени в оценке экологического состояния в зонах влияния мелиоративных систем / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, А. В. Алиферов / Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. - 2019. - № 1 (73). - С. 165-172
272. Хецуриани, Е. Д. Методы борьбы с сине-зелеными водорослями / Е. Д. Хецуриани, А. В. Пельчер / Результаты исследований - 2010: материалы 59-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, науч. работников, аспирантов и студентов ЮРГТУ (НПИ) / Юж. -Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2010. - С. 151-152
273. Хецуриани, Е. Д. Методы борьбы с факторами, способствующими ухудшению органолептических свойств воды / Е. Д. Хецуриани // Результаты Исследований - 2017 Материалы III Национальной конференции профессорско-преподавательского состава и научных работников. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. - 2017. - С. - 188-189
274. Хецуриани, Е. Д. Методы предотвращения чрезмерного развития водорослей / Е. Д. Хецуриани // Результаты исследований - 2016: материалы II Национальной конференции профессорско-преподавательского состава и научных работников / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. - 2016. - С. 152-153
275. Хецуриани, Е. Д. Научно-методологические основы природно-технических систем в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем: монография / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, А. И. Ылясов // Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО ДГАУ. - Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2019. - 354 с.
276. Хецуриани, Е. Д. Научно-методологические основы экологической безопасности на водозаборных технологических комплексах систем многоцелевого водоснабжения: монография / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, А. И. Ылясов // Юж. -Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова и др.; под общей редакцией Л. Н. Фесенко. - Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2020. - 324 с.
277. Хецуриани, Е. Д. Некоторые результаты оценки эффективности работы импульсного рыбозащитного оголовка / Е. Д. Хецуриани, В. Н. Шкура // Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны: тр. Академии водохозяйственных наук. - Новочеркасск, 1997. - Вып. № 1. - С. 72-76
278. Хецуриани, Е. Д. Некоторые соображения по устройству искусственных водоемов (прудов) комплексного использования / Е. Д. Хецуриани // Технологии очистки воды Техновод -2009: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. посвященной 120-летию ОАО "АУРАТ", г. Кисловодск, 6-10 окт. 2009

- г. / Юж. -Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2009. - С. 162-165
279. Хецуриани, Е. Д. Обеспечение экологической безопасности водопользования из поверхностных источников / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, Т. Е. Хецуриани // Технологии очистки воды Техновод-2018: материалы XI Международ. науч.-практ. конф. г. Сочи, Красная Поляна, 11–14 дек. 2018 г. / Юж. - Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2018. - С. 62-67
280. Хецуриани, Е. Д. Определение частоты вращения струереактивного рыбозащитного оголовка / Е. Д. Хецуриани, В. П. Боровской // Научно-технические технологии в мелиорации: материалы Международ. науч. конф., посвящ. 118-летию со дня рождения А. Н. Костякова (Костяковские чтения), 30 марта 2005 г. / Всерос. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. - Москва, 2005. - С. 1-7
281. Хецуриани, Е. Д. Основы водоснабжения и водоотведения, водосбережение: учеб. - метод. пособие по выполнению лаборатор. работ (для студ.-бакалавров напр. подготовки «Электроэнергетика и электротехника») / Е. Д. Хецуриани, И. В. Пчельников, Р. В. Федотов / Юж. -Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2017. - 47 с.
282. Хецуриани, Е. Д. Особенности компоновки рыбозащитных устройств на водозаборных сооружениях систем водоснабжения / А. В. Пельчер, Е. Д. Хецуриани, А. Ю. Душенко // Рыбоохраняемые мелиорации и сооружения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. "Современное состояние проблемы рыбозащиты и рыбопропуска, их роль в сохранении водных биологических ресурсов", (г. Новочеркасск, 17-21 мая 2010 г.). - Новочеркасск: Лик, 2010. - С. 112-117
283. Хецуриани, Е. Д. Очистка природных вод от мышьяка при помощи нанотехнологий / Е. Д. Хецуриани, А. В. Пельчер // Студенческая научная весна – 2010: материалы регион. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Ростовской области / Юж. - Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2010. - С. 408-409
284. Хецуриани, Е. Д. Перспективы оздоровления речных экосистем / Е. Д. Хецуриани, Е. А. Шкуракова // Сборник научных трудов №72 / Мин. обр. и науки Грузии Ин-т водного хоз-ва им. Ц. Е. Мирцхулава Грузин. техн. ун-та. - Тбилиси, 2017. - С. 195-200
285. Хецуриани, Е. Д. Повышение плодородия почвы с помощью утилизированных сине-зелёных водорослей / Е. Д. Хецуриани, П. В. Попов, Т. Е. Хецуриани // Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты: сб. ст. студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей. - Пермь, 2016. - С. 43-45
286. Хецуриани, Е. Д. Повышение плодородия почвы с помощью утилизированных сине-зеленых водорослей / Е. Д. Хецуриани, П. В. Попов, Т. Е. Хецуриани // Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты: сб. науч. ст. студ., магистрантов, асп., молодых ученых и препод., г. Пермь, 06 дек. 2016 г. / Центр соц.-эконом. исслед. - Пермь, 2016. - Вып. 10. - С. 43-45

287. Хецуриани, Е. Д. Подбор эффективных коагулянтов для обработки "цветущей" донской воды / А. Н. Богачев, Е. Д. Хецуриани, А. С. Териков и др. // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. - 2014. - Вып. 54. - С. 109-114
288. Хецуриани, Е. Д. Применение комплекса водозаборно-очистных сооружений в условиях ковшового водозабора / Р. С. Бечвая, Е. Д. Хецуриани, А. Ю. Душенко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / РосНИИПМ. – Новочеркасск: Гликон, 2012. - С. 104-110
289. Хецуриани, Е. Д. Применение озона в аквариумистике / Е. Д. Хецуриани, И. А. Лапина, А. С. Териков // Дни студенческой науки - 2015 в Донском государственном техническом университете: материалы ежегодной науч. конф. студ. и аспирантов базовых кафедр Южного науч. центра РАН, г. Ростов-на-Дону, 6 нояб. 2015 г. / Донской гос. техн. ун-т. - Ростов н/Д : изд-во ЮНЦ РАН, 2016. - С. 130-134
290. Хецуриани, Е. Д. Применение подпорно-регулирующих гидроэнергетических сооружений в водохозяйственном строительстве и чрезвычайных ситуациях / Е. Д. Хецуриани, Д. В. Кашарин, Г. М. Герман // Изв. вузов. Сев. - Кавк. регион. Техн. науки. - 2005. - Прил. к № 3. - С. 33-45
291. Хецуриани, Е. Д. Применение химического способа при цветении водоемов / Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани // Приоритетные задачи и стратегии развития сельскохозяйственных наук: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., 25 мая 2016 г. / ФЦНиО ЭВЕНСИС. - Тольятти, 2016. - С. 13-15
292. Хецуриани, Е. Д. Проблемы водозаборов Ростовской области / А. Ю. Душенко, Е. Д. Хецуриани, А. В. Пельчер // Экология и безопасность жизнедеятельности: сб. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф., [г. Пенза], дек. 2009 г. / МНИЦ Пензен. гос. сельхоз. акад. - Пенза: РИО ПГСХА, 2009. - С. 261-264
293. Хецуриани, Е. Д. Расчет гидродинамических характеристик струереактивного рыбозащитного оголовка / Е. Д. Хецуриани, В. П. Боровской // Известия вузов. Северно-Кавказский регион. Технические науки. - 2005. - Прил. к № 2. - С. 193-197
294. Хецуриани, Е. Д. Расчет удаленности перехватывающих скважин от золошлакоотвала Новочеркасской ГРЭС / Е. Д. Хецуриани, М. В. Форостов, В. Н. Шура // Известия вузов. Северно-Кавказский регион. Технические науки. - 2006. - Прил. № 13: Проблемы строительства и архитектуры. Ч. 2. - С. 112-116
295. Хецуриани, Е. Д. Результаты исследований водоприемника для создания системы, обеспечивающей экологическую безопасность питьевого водоснабжения городского хозяйства / Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2018. - № 10 (718). - С. 50-59
296. Хецуриани, Е. Д. Результаты экспериментальных исследований по обеспечению экологической безопасности систем водоснабжения промышленных и населенных пунктов / Е. Д. Хецуриани // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2018. - № 54 (73). - С. 165-172

297. Хецуриани, Е. Д. Рекомендации по борьбе с наносами в ковшевом водозаборе на александровских водопроводных очистных сооружениях г. Ростова на Дону / Е. Д. Хецуриани, В. П. Костюков, Т. Е. Хецуриани // Технологии очистки воды Техновод-2016: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. 5-7 окт. 2016 г. г. Ростов-на-Дону / Юж. - Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск: Лик, 2016. - С. 49-52
298. Хецуриани, Е. Д. Руслевой нерестовый комплекс на малых реках / Е. Д. Хецуриани, В. Н. Шкура // Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивости развития городов Поволжья: сб. тр. II Всерос. науч.-практ. конф., г. Тольятти, 8-10 сент. 2009 г. / Тольяттинский государственный университет. - Тольятти: ТГУ, 2009. - С. 308-313
299. Хецуриани, Е. Д. Рыбозащитное устройство водозаборного сооружения, работающее на основе струевых завес и гидродинамических экранов / Е. Д. Хецуриани // Чистая вода - 2009: тр. Междунар. науч.-практ. конф., 20-21 окт. 2009 г. / Кемеровский технол. ин-т пищевой промышленности. - Кемерово, 2009. - С. 109-113
300. Хецуриани, Е. Д. Рыбозащитные сооружения водозаборов систем водоснабжения: учеб. пособие / Е. Д. Хецуриани, П. А. Михеев, В. Н. Шкура // Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск: НГМА, 2005. - 111 с.
301. Хецуриани, Е. Д. Система охраны и воспроизводства рыбных ресурсов Волго-Донского бассейна / Е. Д. Хецуриани, Ю. И. Вдовин // Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России: сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф., янв. 2010 г. / Межотрасл. науч.-информ. центр Пенз. гос. с.-х. акад. - Пенза: РИО ПГСХА, 2010. - С. 185-188
302. Хецуриани, Е. Д. Современное состояние устройства и эксплуатации водозаборов систем водоснабжения / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / РосНИИПМ. – Новочеркасск: Гликон, 2012. - С. 111-117
303. Хецуриани, Е. Д. Создание инновационных мероприятий по борьбе с обильной водной растительностью на водозаборных сооружениях / Е. Д. Хецуриани, А. В. Пельчер / Результаты исследований - 2011: материалы 60-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, науч. работников, аспирантов и студентов / Юж. - Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2011. - С. 229-230
304. Хецуриани, Е. Д. Социально-экономическая опасность автомобилизации / Е. Д. Хецуриани, Е. И. Шаврак // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов: сб. тр. III Междунар. экологич. конгресса (V Междунар. науч.-техн. конф.), науч. симпозиум "Урбозкология. Технология нового города", 21-25 сент. 2011 г., Тольятти - Самара, Россия / Тольяттинский гос. ун-т. - Тольятти: ТГУ, 2011. - Т. 5. - С. 123-128
305. Хецуриани, Е. Д. Способ аэрации при цветении водоемов / Д. И. Зерщиков, Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани // Приоритетные задачи и стратегии развития сельскохозяйственных наук: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., 25 мая 2016 г. / ФЦНиО ЭВЕНСИС. - Тольятти, 2016. - С. 15-17

306. Хецуриани, Е. Д. Технология восстановления рыбных запасов пресных вод / Е. Д. Хецуриани, А. Ю. Душенко // Результаты исследований - 2010: материалы 59-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, науч. работников, аспирантов и студентов ЮРГТУ (НПИ) / Юж. -Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2010. - С. 138-139
307. Хецуриани, Е. Д. Улучшение экологической обстановки на водозаборах систем водоснабжения / Е. Д. Хецуриани // Строительство - 2010: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Рост. гос. строит. ун-т. - Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2010. - С. 58-59
308. Хецуриани, Е. Д. Фильтрующие рыбозащитные сооружения / А. Ю. Душенко, Е. Д. Хецуриани, А. В. Пельчер // Экология и безопасность жизнедеятельности: сб. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф., [г. Пенза], дек. 2009 г. / МНИЦ Пензен. гос. сельхоз. акад. - Пенза: РИО ПГСХА, 2009. - С. 264-266
309. Хецуриани, Е. Д. Формирование биологической продуктивности ценнейших рыбохозяйственных водоемов России / Е. Д. Хецуриани // Рыбоохраняемые мелиорации и сооружения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. "Современное состояние проблемы рыбозащиты и рыбопропуска, их роль в сохранении водных биологических ресурсов", г. Новочеркасск, 17-21 мая 2010 г. - Новочеркасск: Лик, 2010. - С. 117-121
310. Хецуриани, Е. Д. Эвтрофикация водоемов / Е. Д. Хецуриани // Результаты исследований - 2015: материалы I Национальной конф. профессорско-преподавательского состава и науч. работников ЮРГПУ(НПИ) / Юж. -Рос. гос. поли-техн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. - Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2015. - С. 145-146
311. Хецуриани, Е. Д. Экологическая безопасность обеспечения населения рыбными продуктами / Е. Д. Хецуриани // Состояние биосферы и здоровье людей: сб. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф., сентяб. 2009 г. / МНИЦ ПГСХА. - Пенза: РИО ПГСХА, 2009. - С. 160-164
312. Хецуриани, Е. Д. Экологический способ рыбозащиты на Александровском водозаборном сооружении / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, В. П. Костюков // Вода Magazine. - 2016. - № 2 (102). - С. 30-35
313. Хецуриани, Е. Д. Эксплуатация водозаборных сооружений в суровых климатических условиях / Е. Д. Хецуриани, Т. Е. Хецуриани, Д. Ю. Репченко // Приоритетные задачи и стратегии развития сельскохозяйственных наук: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., 25 мая 2016 г. / ФЦНиО ЭВЕНСИС. - Тольятти, 2016. - С. 17-19
314. Хецуриани, Е. Д. Эксплуатация рыбозащитных сооружений головных водозаборов магистральных каналов мелиоративных систем: научный обзор / Е. Д. Хецуриани. - Деп. ВИНТИ 10.09.2014, № 248-В2014. - Аннот. в БУ Деп. науч. раб. / ВИНТИ. - 2014. - № 11. - б/о
315. Хецуриани, Е. Д. Эффективный способ защиты ковшевого водозабора от сине-зеленых водорослей / Е. Д. Хецуриани // Новые достижения в области водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов: сб.ст. Междунар. науч.-практ. конф., г.Санкт-Петербург, 10 дек. 2015 г. / ФГБОУ ВО ПГУПС. - СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. - С. 197-201

316. Хецуриани, Е. Д., Водозаборные технологические комплексы в составе природно-технических систем многоцелевого водоснабжения / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко // Известия вузов. Строительство. - 2018. - № 6. - С. 38-47
317. Хецуриани, Е.Д. Научные основы разработки гидротехнических устройств для обеспечения надёжности и безопасной работы водозаборов / Е.Д. Хецуриани, А.Ю. Гарбуз, Т.Е. Хецуриани // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 332-345. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1253>. – DOI:10.31774/2712-9357-2021-11-4-332-345.
318. Хецуриани, Е.Д. Результаты исследования по разработке конструктивно-технологического устройства защиты водозаборов оросительных систем от сине-зеленых водорослей / Е.Д. Хецуриани // Аграрный научный журнал. - 2022. - № 4. - С. 103-108
319. Хецуриани, Е.Д. Аспекты разработки конструктивно-технологических устройств для безопасной работы водозаборов мелиоративных систем / Е.Д. Хецуриани, С.М. Васильев // Аграрный научный журнал. - 2022. - № 5. - С. 96-100
320. Чугаев, Р. Р. Гидротехнические сооружения. Водосливные плотины / Р. Р. Чугаев. – Москва: Высшая школа, 1978. – 352 с.
321. Шкура, В. Н. Водовоздушное промывное устройство сетчатых рыбозащитных сооружений (РЗС) / В. Н. Шкура, П. А. Михеев // Инф. лист. ЦНТИ. Ростов-нагону, 1993. - № 635-93. - 2 с.
322. Шмаль, А. Г. Методология создания национальной системы экологической безопасности / А. Г. Шмаль // Экологический вестник России. – 2005. – № 7. – С. 57–59
323. Штеренлихт, Д. В. Гидравлика: учеб. для вузов / Д. В. Штеренлихт. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 640 с.
324. Щедрин, В. Н. Концептуально-методологические принципы (основы) стратегии развития мелиорации как национального достояния России / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2019. – № 1 (33). – С. 1–11. – URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=584&id=585>. – URL: 10.31774/2222-1816-2019-1-1-11.
325. Щедрин, В. Н. Стратегические направления развития мелиоративного сектора в АПК / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев // Стратегические направления развития АПК стран СНГ: материалы XVI Междун. науч.-практ. конф., Барнаул, 27–28 февраля 2017 г. – Новосибирск: СФНЦА РАН, 2017. – Т. 2. – С. 167–169.
326. Щедрин, В. Н. Управление водопользованием на оросительных системах, современное состояние и пути совершенствования / В. Н. Щедрин, В. И. Селюков // Сб. науч. тр. ЮжНИИГиМ. - Новочеркасск, 2001. - С. 34-36
327. Экологическая безопасность в природообустройстве, водопользовании и строительстве: оценка экологического состояния бассейновых геосистем: монография / В. Л. Бондаренко, Г. М. Скибин, В. Н. Азаров, и др. // Южно-

- Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2016. – 419 с.
328. Экологическая безопасность в строительстве. Инженерно-экологические изыскания в комплексе изысканий под строительство водохозяйственных объектов: монография / В. Л. Бондаренко, О. В. Клименко, Е. А. Семенова, Д. А. Николаенко // Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО Д ГАУ. – Новочеркасск, 2016. – 309 с.
329. Экологическая безопасность в условиях уменьшения рыбных запасов / Е. Д. Хецуриани, С. А. Щукин, Р. В. Исраилов и др. // Перспективы развития строительного комплекса: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. "Перспективы развития научно-технического сотрудничества стран - участниц Евразийского экономического союза", г. Астрахань, 09-11 нояб. 2016 г. / Астрахан. гос. арх.-строит. ун-т. - Астрахань, 2016. - С. 113-117
330. Экологическая безопасность водной среды - залог здорового будущего / Е. Д. Хецуриани, Т. С. Колмакова, М. А. Акименко, Т. Е. Хецуриани // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия Строительство и архитектура. - 2018. - Вып. 54 (73). - С. 156-164
331. Экологическая безопасность водозабора - залог надежности работы системы водоснабжения / Л. Н. Фесенко, Е. Д. Хецуриани, Н. Г. Моисеенко и др. // Строительство и архитектура. - 2017. - Т. 5. - № 4 (17). - С. 238-241
332. Экологическая безопасность России: гл. в книге / Очинников А. С., Г. К. Лобачева, Н. В. Павличенко и др. // Волгогр. гос. аграр. ун-т и др. - Волгоград, 2014. - 428 с.
333. Экологическая безопасность функционирования техноприродных систем: состояние, проблемы и пути решения: монография. – Москва: МГУП, 2007. – 294 с. (авторы?)
334. Эксплуатация рыбозащитных сооружений головных водозаборов магистральных каналов мелиоративных систем: научный обзор / Е. Д. Хецуриани, Ю. М. Косиченко, С. А. Селицкий, С. Г. Балакай. - Новочеркасск 2014. - 40 с. - Деп. в ВИНТИ 10.09.2014, N 248-B2014. - Аннот. в БУ Деп. науч. раб. / ВИНТИ. – 2014
335. Электролизный гипохлорит натрия на рынке экологических товаров и услуг: монография / А. Ю. Скрыбин, В. В. Денисов, Л. Н. Фесенко, А. В. Денисова и др.; СКНЦ ВШ; Юж. - Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ ЮФУ, 2015 (11.2015). - 204 с.
336. Энергосберегающие технологии повышения экологической безопасности водоемов / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, А. С. Териков и др. // Перспективы развития строительного комплекса: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. "Перспективы развития научно-технического сотрудничества стран - участниц Евразийского экономического союза", г. Астрахань, 09-11 нояб. 2016 г. / Астрахан. гос. арх.-строит. ун-т. - Астрахань, 2016. - С. 110-113
337. Эткинс, П. Порядок и беспорядок в природе / П. Эткинс. – Москва: Мир, 1987. – 268 с.

338. Эффективное использование сточных вод и их осадка для орошения и удобрения сельскохозяйственных культур: моногр. / А. С. Очинников, А. В. Шуравилин и др. // Волгогр. гос. с.-х. акад. – Волгоград: Нива, 2009. - 633 с.
339. Эффективный метод водоприема в условиях ковшевого водозабора / А. Ю. Душенко, Е. Д. Хецуриани, Р. С. Бечвая, А. В. Пельчер // Результаты исследований - 2012: материалы 61-й науч. конф. профессорско-преподават. состава, науч. работников, аспирантов и студентов / Юж. - Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. - С. 125-126
340. Эффективный способ защиты ковшевого водозабора от сине-зеленых водорослей / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, В. П. Костюков, Р. В. Федотов // Новые достижения в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 10 дек. 2015 г. / ФГБОУ ВО ПГУПС. - СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. - С. 197-201
341. Anwar, H. O. Inflatable dams / H. O. Anwar // American Society of Civil Engineers, Journal of the Hydraulics Division. – 1967. – Vol. 93, № HY3, Proceeding Paper S 239. – P. 99-119
342. Assessment of qualitative indicators of drinking water and their influence on human health, as ecological safety factor of population [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuriani, V. L. Bondarenko, A. I. Yliasov, T. A. Semenova // E3S Web of Conferences. - 2019. - Vol. 126 : 2019 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2019, Sevastopol, Russian Federation, 9 - 13 September 2019. – URL : [https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/52/e3sconf\\_icmtmte2019\\_00067.pdf](https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/52/e3sconf_icmtmte2019_00067.pdf)
343. Binnie, A. M. The theory of flexible dams inflated by water pressure / A. M. Binnie // Journal of Hydraulic Reseach. – 1973. – № 11, Is. 1. – P. 61-68
344. Bogdanovich, A. E. Multi-scale modeling, stress and failure analyses of 3-D woven compo-sites / A. E. Bogdanovich // Journal of Materials Science. – 2006. – Vol. 41, № 20. – P. 6547-6590
345. Conceptual basis of methodology of improving the technology of water use for irrigation and watering systems / S. M. Vasiliev, V. L. Bondarenko, G. A. Senchukov, V. D Gostischev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: conf. on Innovations in Agricultural and Rural development, Kurgan State Agricultural Academy, 18–19 apr. 2019. – Vol. 341. – conf. 1. – P. 012102. - DOI : 10.1088/1755-1315/341/1/012102.
346. D 5141-91. Determining Filtering Efficiency and Flow Rate of a Geotextile for Silt Fence Application Using Site Specific Soil: [Standard Test] / American Society for Testing and Materials (ASTM). – Date publication 10 May 1996
347. Degtyareva, O. G. The base soil local sagging zones' influence assessment on the water retaining structure's operability / O. G. Degtyareva, S. M. Vasiliev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 11 Sept. – 2020. - Vol. 913, Is. 2. - Article number 022055. – DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022055.

348. Degtyareva, O. G. The results of determining the structural elements' displacements when using various soil models and software systems / O. G. Degtyareva, S. M. Vasiliev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 11 Sept. – 2020. - Vol. 913, Is. 2. - Article number 022051. – DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022051.
349. Determination of an adequate mathematical model of research results on determining fish protection efficiency / E. D. Khetsuriani, V. P. Kostiukov, D. S. Larin, T. E. Khetsuriani // Znanstvena misel. - 2017. - Vol. 1, № 9. - P. 89-93
350. Development of a decision support system at the stages of pre-design studies and design of irrigation systems based on IDEFo functional modelling methodology / S. M. Vasilyev, V. Slabunov, O. Voevodin, A. Slabunova // Irrigation and Drainage. – 2020. – Vol. 69, Is. 4. – P. 546–558.
351. Development of protective measures providing environmental safety in areas affected by water-intake constructions of urban households [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuriani, V. L. Bondarenko, A. I. Yliasov, E. A. Semenova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - Vol. 698: International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development", 1–5 October 2019, Kislovodsk, Russian Federation. - № 077053. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/7/077053/pdf>.
352. Die folgenden Angaben sind den vom Almender eingereichten Unterlagen entnommen: of-fenlegungssrft DE 10 2004 022 192 A1: Int Cl. E 02 B 7/20, E 02B 15/06 / Gerd Göbel, Denis Göbel, Nicole Göbel. – Anmeldetag 05.05.2004 ; Offenlegungstag 12.01.2006
353. Drosoha, H. "Muschelwhr" ohnesichbauten/ H. Drosoha // Die Wasserwirtschaft. – 1974. – Vol 64, № 9. – P. 274
354. Environmental safety in the irrigation and watering systems design stage / S. M. Vasiliev, G. A. Senchukov, V. D. Gostishev, T. S. Ponomarenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development", Kislovodsk, Russian Federation, 01-05 okt. 2019. – Vol. 698. – Bristol: IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 055047.
355. Evaluation of environmental safety of waterworks for urban water supply systems [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuriani, V. L. Bondarenko, A. I. Yliasov, E. A. Semenova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - Vol. 698 (7): International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development", 1–5 October 2019, Kislovodsk, Russian Federation. - № 077060. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/7/077060/pdf>.
356. Flaggs, D. L. Hygrothermal Effects on the Buckling of Laminated Composite Plates / D. L. Flaggs, J. R. Vinson // Fibre Science and Technology. – 1978. – Vol. 11, №. 5. – P. 353-365
357. Floss, R. Bewehrte Erde - Ein neues Bauverfahren im Erd- und Grundbau / R. Floss, B.R.Thamm // Bautechnik. – 1976. – Vol. 53, № 7. – P. 217-226
358. Fundamentals of optimal computer projecting of construction foundations / V. P.

- Dyba, S. I. Evtushenko, V. V. Shmatkov, A. Y. Mursenko // Proceedings of ECPPM 94- the first european conference on Product and Process Modelling in the Building Industry, Dresden, Germany, 5-7 october 1994. - A.A.Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1995. - C. 219-223
359. Geometric and mechanical modelling of 3D woven composites / S. Rudov-Clark, S. V. Lomov, M. K. Bannister et al. // Proceedings of the 14th International Conference on Composite Materials, San Diego, USA, 14-18 July 2003. – P. 283 - 290
360. Gibson, R. F. Prediction of fiber-matrix interphase effects on damping of composites using micromechanical strain energy. Finite element approach / R. F. Gibson, S. J. Hwang // *Composites Engineering*. – 1993. – Vol. 3, Is. 10. – P. 975-984
361. Gibson, R. F. Principles of composite material mechanics / R. F. Gibson. - CRC press. Taylor and Francis Group, – 2007. – 579 p.
362. Gunnerson, R. A. Inflatable dam regulates river level / R. A. Gunnerson, H. Günther // *Civil Engineering*. – 1976. – Vol. 46, №. 2. – P. 83
363. Günther, H. Flexibler Staukörper auf dem Muldewehr Penig / H. Günther, F. Jäger // *Wasser-wirtschaft-Wassertechnik*. – 1970.- Jahr. 20, heft 10. – P. 332-336
364. Harrison, H. B. The analysis and behaviour of inflatable Membrane dam under static loading / H. B. Harrison// *Proceedings of the Institution. Civil Engineering*. – 1970. – Vol. 45. – P. 661-676
365. Hitch, N. M. Flexible Dams Inflated by Water / N. M. Hitch, R. Navayanan // *Journal of Hy-draulic Engineering*. – 1983. - Vol 109, № 7. – P. 1044-1048
366. Imbereson, N. M. Automatic rubber diversion dam in the Los-Andgeles Rivers / N. M. Imbereson // *Journal of the American Water Works Association*. – 1960. – Vol. 52, № 11. – P. 1373-1378
367. Ingold, T. S. Soil reinforcing systems in the United Kingdom / T. S. Ingold // *Highways and Public. Works*. – 1981. – Vol. 49, № 1858. – P. 1620
368. Innovative design solutions to ensure the environmental safety in the existing water intake technological complexes of water systems for urban farms [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuriani, V. L. Bondarenko, A. I. Yliasov, E. A. Semenova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. - 2019. - Vol. 698: International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development", 1–5 October 2019, Kislovodsk, Russian Federation. - № 055040. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/5/055040/pdf>.
369. Joint, I. R. Primary production in a turbid estuary / I. R. Joint, A. J. Pomroy // *Estuarine coastal and Shelf Science*. - 1981. - Vol. 13. - P. 303-316
370. Joint, I. R. The microbial ecology of the Bristol Channel / I. R. Joint // *Marine Pollution Bulletin*. - 1984. - Vol. 15, №. 2. - P. 37-40
371. Juran, I. Full scale experiment on a Reinforced Earth Abutment in Lille / I. Juran, F. Schlosser, N. Long, G. Legeay // *Proceedings, Symposium on Earth Reinforcement, ASCE Annual Convention, 1978, April 27. – Pittsburg, 1978 – P. 586-584*
372. Kasharin, D. V. Intelligent decision support systems in the design of mobile micro hydro-power plants and their engineering protection / D. V. Kasharin // *Advances in intelligent systems and computing*. – 2016. – Vol. 451. – P. 239-248
373. Kasharin, D.V. Flexible Composite Diversion Water Conduits of Small.HPPs for

- Recrea-tional Facilities in the Republic of North Ossetia / D. V. Kasharin, S. A. Kalmikov, O. A. Surzhko // Lecture Notes in Mechanical Engineering - Switzerland : Springer, 2019. - Book series: Proceedings of the fifth International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). - Vol. 2. - P. 1357-1367
374. Khetsuriani, E. D. Analysis and Evaluation of Parameters Determining Maximum Efficiency of Fish Protection [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuriani, V. P. Kostiukov, T. E. Khetsuriani // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol. 262. - URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012175/pdf>.
375. Khetsuriani, E. D. Assessment of the Impact of Integrated Pollution on the Monitoring of Biodiversity in Fisheries [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuriani, R. V. Fedotov, K. S. Abrosimova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2019. - Vol. 272 : International science and technology conference "Earth science" 4–6 March 2019, Russky Island, Russian Federation. - № 022227. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/272/2/022227/pdf>.
376. Khetsuriani, E. D. Hydrological Studies on the River Don around the Alexandrovsky OSV Water-Intake Facilities / E. D. Khetsuriani, V. P. Kostiukov, E. G. Ugrovatova // Procedia Engineering. - 2016. - Vol. 150: 2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016; Chelyabinsk; Russian Federation; 19 - 20 May 2016. - P. 2358–2363
377. Khetsuriani, E. D. Methodological Bases of Creation and Development of a New Type of Natural and Technical Systems of Multipurpose Water Use in Urban Areas [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuriani, V. L. Bondarenko, N. A. Polianskii // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2019. - Vol. 272 : International science and technology conference "Earth science" 4–6 March 2019, Russky Island, Russian Federation. - № 022225. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/272/2/022225/pdf>.
378. Khetsuriani, E. D. Objectives of increase of capacity and lifetime of municipal solid waste dump according to density index study [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuriani, D. S. Larin, E. V. Staseva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - Vol. 680 : XV International Scientific-Technical Conference "Dynamics of Technical Systems" 11–13 September 2019, Rostov-on-Don, Russian Federation / Don State Technical University. - № 012016. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/680/1/012016/pdf>.
379. Khetsuriani, E. D. Optimization of Fish Protection System to Increase Technosphere Safety [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuriani, L. N. Fesenko, D. S. Larin // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol. 262. - URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012174/pdf>.
380. Khetsuriani, E. D. Hydrological Studies on the River Don around the Alexandrovsky OSV Water-Intake Facilities / E.D. Khetsuriani, V.P. Kostyukov, E.G. Ugrovatova // Procedia Engineering. - 2016. - Vol. 150: 2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016; Chelyabinsk; Russian Federation; 19 - 20 May 2016. - P. 2358–2363
381. Lightweight constructions in technical water supply systems of thermal and

- nuclear power plants [Электронный ресурс] / Khetsuriani E.D., Bondarenko V.I., Yliasov A.I., Semenova E.A. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - Vol. 698: International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development", 1–5 October 2019, Kislovodsk, Russian Federation. - № 055042. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/5/055042/pdf>.
382. Methodological measurement basis environmental safety in construction and operation of water management facilities [Электронный ресурс] / E. D. Khetsuriani, V. L. Bondarenko, O. V. Klimenko, E. A. Semenova // E3S Web of Conferences. - 2019. - Vol. 126 : 2019 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2019, Sevastopol; Russian Federation; 9 - 13 September 2019. - Номер статьи 00066. – URL: [https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/52/e3sconf\\_icmtmte2019\\_00066.pdf](https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/52/e3sconf_icmtmte2019_00066.pdf)
383. Obtaining regression equations and evaluating their adequacy for analysis of field study data = Получение регрессионных уравнений и оценка их адекватности для анализа данных натуральных исследований / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, В. П. Костюков, Т. Е. Хецуриани // Norwegian Journal of development of the International Science. - 2017. - Vol. 2, № 9. - P. 69-72

## ПРИЛОЖЕНИЕ А. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ И АПРОБАЦИИ

Утверждаю  
 Директор ООО «Дары Садов»  
 А.Л. Подгорный  
 « 10 » Апр 2020 г.

## АКТ ВНЕДРЕНИЯ

1. Наименование организации и объекта, где внедрено мероприятие: ООО «Дары садов» Цимлянского района Ростовской области.

2. Шифр работы, наименование мероприятия, по какому плану внедрялось: согласно плану обучения в докторантуре ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ).

3. Наименование организации, проводившей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия: ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ).

4. Сроки внедрения: 2020 г.

5. Краткая характеристика и новизна внедряемого мероприятия, взамен чего внедряется: Водозаборное сооружение. Водозаборное сооружение содержит верхнее и нижнее гибкие водонепроницаемые полотнища. Верхняя часть полотнищ оснащена поплавками, прикрепленными к жестким опорным штангам, имеющим в нижней части шарниры, расположенные на донном анкере. Опорные штанги имеют систему шлангов для подачи в поплавки воды или воздуха. Сооружение имеет упорную балку, к которой закреплена нижняя часть верхнего полотнища. Нижняя часть нижнего полотнища закреплена на донном анкере, а верхняя часть нижнего полотнища с поплавком, заполненным воздухом, упирается в упорную балку (Пат. № 2697379)

6. Основные показатели внедряемого мероприятия:

Снижение капитальных затрат на строительство водозаборного сооружения с сохранением требуемых технико-экономических показателей.

7. Годовой экономический эффект от внедрения составляет 1980,15 тыс. руб.

Разработчики,  
 ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ)



Е. Д. Хецуриани

Утверждаю  
 Директор ООО «Дары Садов»  
 А.Л. Подгорный  
 « 10 » 06 2020 г.

### РАСЧЕТ

фактического годового экономического эффекта при внедрении водозаборного сооружения

Экономическая эффективность организации водозаборного сооружения на Цимлянском водохранилище для обеспечения нужд орошения садов с расходом 100 м<sup>3</sup>/ч.

Таблица – Сравнение технико-экономических показателей рассматриваемых способов подготовки

Показатель	Вариант	
	предлагаемый способ	способ-аналог
Капитальные затраты, тыс. руб.	121,8	132,3
Эксплуатационные затраты, тыс. руб.	23,96	26,9
Всего:	145,76	159,2

Удельные капитальные вложения составят:

- для способа-аналога:

$$K_{\text{аналог}} = \frac{121800}{100} = 1218 \text{ руб.}$$

- для предлагаемого способа:

$$K_{\text{новый}} = \frac{132300}{100} = 1323 \text{ руб.}$$

Общая (абсолютная) экономическая эффективность рассчитывается путем определения абсолютного размера прибыли, получаемой при внедрении способа, и ее относительного размера:

$$P_{\text{а}} = Ц - С, \text{ руб.},$$

где  $P_{\text{а}}$  – абсолютная (балансовая) величина прибыли, руб./м<sup>3</sup>;

$Ц$  – стоимость произведенной продукции в ценах реализации, руб.;

$C$  – себестоимость произведенной продукции (поданной воды), отражающая совокупность затрат в основные фонды, оборотные средства и трудовые ресурсы для внедрения предлагаемого способа, руб./м<sup>3</sup>.

Для способа-аналога составит:  $P_{\bar{o}} = 3,14$  руб./м<sup>3</sup>

Для предлагаемого способа:  $P_{\bar{o}} = 3,50$  руб./м<sup>3</sup>

Расчет годового экономического эффекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = (C_{\bar{o}} - C_n)Q_n - 0,15 * K_n,$$

где  $Z_{\bar{o}}$  – эксплуатационные затраты по базовому варианту, руб.

$Z_n$  – эксплуатационные затраты по новому варианту, руб.

$$\mathcal{E}_{cp} = (300 - 280) * 100 - 0,15 * 132,3 = 1980,15 \text{ тыс. руб.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения водозаборного сооружения на оросительной системе составил 1980,15 тыс. руб.

Разработчик:



Е. Д. Хецуриани

**ВНЕДРЕНИЕ РАЗРАБОТОК****Выписка**

Из протокола № 1 заседания отраслевой секции земельных отношений, растениеводства и научно-технической политики в АПК научно-технического совета министерства сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области от 21 февраля 2022 г.

Вел заседание – заместитель министра сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области, руководитель секции Репка Дмитрий Анатольевич

Присутствовали – Авдеенко А.П., Балакай Г.Т., Бондаренко А.М., Васильев С.М., Жидков Г.А., Колганов А.В., Ляхов Н.В., Назаренко В.А., Назаренко О.Г., Полуэктов Е.В., Петренко М.В., Рыков В.Б., Холодов О.А., Хецуриани Е.Д., Цыганенко Ю.И., Щербаков В.И.

Повестка дня:

1. Научно-исследовательская работа «Научное обоснование обеспечения экологической безопасности водозаборов мелиоративных систем»

СЛУШАЛИ: Хецуриани Е.Д. – к.т.н., доцента (ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»));

Васильева С.М. – доктора технических наук, профессора (ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»)).

**ВЫСТУПИЛИ:**

Репка Дмитрий Анатольевич – заместитель министра сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области;

Цыганенко Юрий Иванович – начальник отдела мелиорации минсельхозпрода области;

Бондаренко А.М. – заместитель директора по связям с общественностью, заведующий кафедрой землеустройство и кадастры Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет» в г. Зернограде, рецензент;

Колганов А.В. д.т.н, проф.; Балакай Г.Т. д. с.-х. н., проф.

**РЕШИЛИ:**

1. Одобрить, проведенные Хецуриани Е.Д., Васильевым С.М., результаты научно-исследовательской работы «Научное обоснование обеспечения экологической безопасности водозаборов мелиоративных систем».

2. Рекомендовать авторам разработки подготовить практические рекомендации для эксплуатационных организаций, с учетом замечаний и предложений рецензента и членов отраслевой секции земельных отношений, растениеводства и научно-технической политики в АПК научно-технического совета министерства сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области.

3. Результаты исследований будут использованы минсельхозпродом Ростовской области при разработке нормативной и методической документации в сфере обеспечения экологической безопасности мелиоративных водозаборов, направленных на повышение качества воды и эффективности эксплуатации инженерно-мелиоративных систем в составе специализируемого типа природно-технической системы.

Заместитель министра  
сельского хозяйства и продовольствия  
Ростовской области,  
руководитель отраслевой секции  
научно-технического совета



Д.А. Репка

Ведущий специалист отдела научно-технического и кадрового обеспечения АПК минсельхозпрода Ростовской области,  
секретарь отраслевой секции  
научно-технического совета

М.В. Петренко

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

Муниципального Унитарного Предприятия «Водоканал»  
Константиновского городского поселения

С.Н. Макаров



«03» 06 2020.

**АКТ ВНЕДРЕНИЯ**

результатов научно – исследовательских, опытно конструкторских и  
технологических работ

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы: «Научные основы методологии обеспечения экологической безопасности использования водных ресурсов систем многоцелевого водоснабжения (С.М.В.)» городских хозяйств,

*выполненной* соискателем, профессором кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова Хецуриани Елгуджой Демуровичем

*проводимой* с 10 апреля 2018 года по 12 июля 2018 года

*внедрены:* на участке водозаборного сооружения Константиновского городского поселения Ростовской области.

*Вид внедренных результатов:* научные основы методики оценки и выбора оптимальных, экологически приемлемых по санитарно-гигиенической эффективности и энергетической экономичности технологии конструктивно-технологических схем, по обеспечению экологической безопасности в зонах влияния водозаборно-технологического комплекса (ВТК) в составе природно-технических систем (ПТС) «природная водная среда (П.В.С.) - В.Т.К. - (С.М.В.)»;

*Характеристика масштабов внедрения:* единичное.

*Форма внедрения:* применение методики и алгоритма её реализации для выбора максимально эффективной и энергетически экономичной технологии, по обеспечению нормативных требований уровня защищенности здоровья и качества жизни Человека, путем сохранения естественного биоразнообразия в водном объекте от негативных факторов, токсичных сине-зеленых водорослей и процессов обрастания технологического оборудования дрейссеной, которые в целом снижают функциональную эффективность работы «В.Т.К.» в составе специализированного типа ПТС «П.В.С.-В.Т.К.-С.М.В.».

*Новизна результатов научно – исследовательских работ:* принципиально новые.

*Объект внедрения:* участок водозаборного сооружения Константиновского городского поселения Ростовской области

*Социальный экологический и научно – технический эффект:* применённые конструктивно технологические схемы (КТС-1, КТС-2, КТС-3) позволили недорогое решение проблемы предочистки питьевой воды прямо в ковшевом водозаборе до водоочистных сооружений (ВОС); исключили необходимость первичного обеззараживания воды хлором; уменьшили «грязевую нагрузку» на ВОС во время цветения водоисточника; сократили расход электроэнергии на 70 %; придали режиму водообработки стабильность и этим значительно сократили стоимость очистки воды.

Предложенный нами системный подход к решению жизненно важных проблем по обеспечению экологической безопасности использования водных ресурсов, систем многоцелевого водоснабжения городских хозяйств, позволил бесперебойно при любых сочетаниях помех в источнике (шуга, взвесь, планктон, дрейссена и др.) подачу потребителям требуемых расходов и качественной воды. Одновременно комплекс водозаборно-очистных сооружений позволил оздоровление речной экосистемы.

Предложенный метод позволил поддержать условия размножения ценных рыб и при применении в комплексе с очистными устройствами водозабора, показал очевидный эколого-экономический эффект 90 – 95 %.

Экономический эффект от использования этой технологии составил за год 70-80% на расход коагулянтов, электроэнергии и соответственно на себестоимость очистки воды. Тем самым обеспечил экологическую безопасность городского хозяйства путём очистки воды без применения химикатов, сохранение биоразнообразия и энергосбережение.

Директор ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»

Утверждаю

Д.А. Берлизов

2014г.



**АКТ**  
апробации

1. Наименование организации и объекта, где апробировано мероприятие: Донской магистральный канал (ДМК) Цимлянского района Ростовской области.

2. Шифр работы, наименование мероприятия, по какому плану производилась апробация: согласно плану научного направления в соответствии с тематическим планом ФГБНУ «РосНИИПМ» - научные основы повышения экологической безопасности водозаборов мелиоративных систем».

3. Наименование организации, проводившей научную разработку и опытно-освоение мероприятия: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»).

4. Сроки апробации: 2014 г.

5. Краткая характеристика и новизна предлагаемого мероприятия: Водозаборное сооружение. Водозаборное сооружение содержит верхнее и нижнее гибкие водопроницаемые полотнища. Верхняя часть полотнища оснащена поплавками, прикрепленными к жестким опорным штангам, имеющим в нижней части шарниры, расположенные на донном анкере. Опорные штанги имеют систему шлангов для подачи в поплавки воды или воздуха. Сооружение имеет упорную балку, к которой закреплена нижняя часть верхнего полотнища. Нижняя часть нижнего полотнища закреплена на донном анкере, а верхняя часть нижнего полотнища с поплавком, заполненным воздухом, упирается в упорную балку (Пат. № 2697379)

6. Основные показатели мероприятия:

Ожидаемое снижение капитальных затрат на строительство водозаборного сооружения с сохранением требуемых технико-экономических показателей.

7. Годовой экономический эффект в случае внедрения может составить 3134,228 тыс. руб.

Разработчик от  
ФГБНУ «РосНИИПМ», к.т.н.

Е. Д. Хецуриани

Утверждено  
 Директор ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»

Д.А. Берлизов

06 2016 г.



**АКТ**  
 апробации

результатов научно – исследовательских, опытно конструкторских и  
 технологических работ

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы: «Научное обоснование обеспечения экологической безопасности водозаборов мелиоративных систем», выполненной соискателем, Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»), к.т.н. Хецуриани Елгуджой Демуровичем, проводимой с 16 апреля 2013 года по 12 июля 2015 года, апробированы: на участке водозаборного сооружения Донского магистрального канала (ДМК).

*Вид апробации результатов исследований:* научные основы методики оценки и выбора оптимальных, экологически приемлемых по санитарно-гигиенической эффективности и энергетической экономичности технологии конструктивно-технологических разработок, по обеспечению экологической безопасности в зонах влияния водозабора оросительной системы;

*Характеристика масштабов апробации:* единичное.

*Форма апробации:* применение методики и алгоритма её реализации для выбора максимально эффективной и энергетически экономичной технологии, по обеспечению нормативных требований уровня защищенности оросительной системы, каналов, насосно-силового оборудования и дождевальной техники, путем разработки защитных устройств мелиоративной системы от негативных факторов, токсичных сине-зеленых водорослей и процессов обрастания технологического оборудования дрейссеной, с учетом сохранения естественного биоразнообразия в водном объекте.

*Новизна результатов научно – исследовательских работ:* принципиально новые.

*Объект апробации:* участок головного водозаборного сооружения ДМК.

*Социальный экологический и научно – технический эффект:* применённые защитные устройства позволят решить проблемы предочистки оросительной воды прямо в головной части водозабор до насосной станции; уменьшить «грязевую нагрузку» на водозаборное сооружение во время цветения водоисточника; сократили расход электроэнергии на 70 %, и в случае внедрения, придадут режиму водообработки стабильность, что позволит сократить стоимость оросительной воды.

Предложенный системный подход к решению жизненно важных проблем по обеспечению экологической безопасности водозаборов мелиоративных систем, позволит, бесперебойно при любых сочетаниях помех в источнике (взвесь, планктон, дрейссена и др.), реализовывать подачу потребителям требуемых расходов и качества поливной воды. Одновременно комплекс водозаборно-очистных сооружений позволит решать экологические проблемы речной экосистемы.

Предложенный метод, в случае внедрения, позволит поддержать условия размножения ценных рыб и при применении в комплексе с очистными устройствами водозабора, эколого–экономический эффект составит 90 – 95 %.

Первый зам. директора  
ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»,  
к.т.н.



В. А. Назаренко

Утверждаю  
 Директор ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»

Д.А. Берлизов

« 28 » 03 2014 г.



## РАСЧЕТ

предполагаемого годового экономического эффекта

Экономическая эффективность организации водозаборного сооружения на ДМК для обеспечения нужд орошения при расходе 160 м<sup>3</sup>/с.

Таблица – Сравнение технико-экономических показателей рассматриваемых способов подготовки

Показатель	Вариант	
	предлагаемый способ	способ-аналог
Капитальные затраты, тыс. руб.	701568	762048
Эксплуатационные затраты, тыс. руб.	121,79	136,73
Всего:	701689,79	762184,73

Удельные капитальные вложения составят:

- для способа-аналога:

$$K_{\text{аналог}} = 762048/160 = 4762,8 \text{ руб.}$$

- для предлагаемого способа:

$$K_{\text{новый}} = 701568/160 = 4384,8 \text{ руб.}$$

Общая (абсолютная) экономическая эффективность рассчитывается путем определения абсолютного размера прибыли, получаемой при внедрении способа, и ее относительного размера:

$$P_o = Ц - С, \text{ руб.},$$

где  $P_o$  – абсолютная (балансовая) величина прибыли, руб./м<sup>3</sup>;

$Ц$  – стоимость произведенной продукции в ценах реализации, руб.;

$С$  – себестоимость произведенной продукции (поданной воды), отражающая совокупность затрат в основные фонды, оборотные средства и трудовые ресурсы для внедрения предлагаемого способа, руб./м<sup>3</sup>.

Для способа-аналога составит:  $P_o = 3,14 \text{ руб./м}^3$

Для предлагаемого способа:  $P_o = 3,50 \text{ руб./м}^3$

Расчет годового экономического эффекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = (C_{\bar{o}} - C_{\prime\prime})Q_{\prime\prime} - 0,15 * K_{\prime\prime},$$

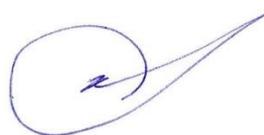
где  $Z_{\bar{o}}$  – эксплуатационные затраты по базовому варианту, руб.

$Z_{\prime\prime}$  – эксплуатационные затраты по новому варианту, руб.

$$\mathcal{E}_{cp} = (300-280) * 160 - 0,15 * 438,48 = 3134,228 \text{ тыс. руб.}$$

Предполагаемый годовой экономический эффект от внедрения мероприятия составит 3134,228 тыс. руб.

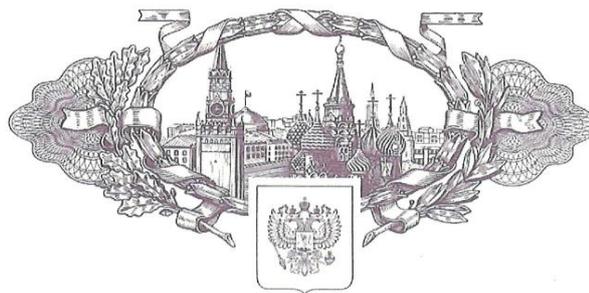
Разработчик от  
ФГБНУ «РосНИИПМ», к.т.н.



Е. Д. Хецуриани

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.  
ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ И ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ, СВИДЕТЕЛЬСТВО  
О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 120096

**ОЧИСТНОЕ УСТРОЙСТВО ВОДОЗАБОРА**

Патентообладатель(ли): *Общество с ограниченной  
ответственностью научно-производственное предприятие  
"ЭКОФЕС" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012113688

Приоритет полезной модели **06 апреля 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных  
моделей Российской Федерации **10 сентября 2012 г.**

Срок действия патента истекает **06 апреля 2022 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Б.П. Симонов*



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 120097

**ЗАВЕСА ДЛЯ УДЕРЖИВАНИЯ РЫБ НА ВОДОЗАБОРАХ**

Патентообладатель(ли): *Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие "ЭКОФЕС" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012113437

Приоритет полезной модели **06 апреля 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **10 сентября 2012 г.**

Срок действия патента истекает **06 апреля 2022 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Б.П. Симонов*



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) RU<sup>(11)</sup> 120 096<sup>(13)</sup> U1(51) МПК  
C02F 3/02 (2006.01)**(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012113688/05, 06.04.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
06.04.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.04.2012

(45) Опубликовано: 10.09.2012 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул.  
Энгельса, 83а, кв.6, Н.В. Ковалевой

(72) Автор(ы):

Куликов Николай Иванович (RU),  
Фесенко Лев Николаевич (RU),  
Хецуриани Елгуджа Демурович (RU),  
Скрябин Александр Юрьевич (RU),  
Душенко Артур Юрьевич (RU),  
Бечвая Русудан Святославовна (RU),  
Пельчер Антон Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

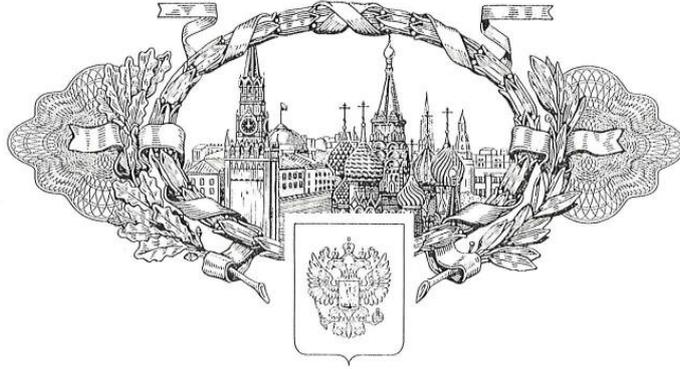
Общество с ограниченной ответственностью  
научно-производственное предприятие  
"ЭКОФЕС" (RU)**(54) ОЧИСТНОЕ УСТРОЙСТВО ВОДОЗАБОРА****(57) Формула полезной модели**

Очистное устройство водозабора, включающее корпус с выделенными двумя функциональными зонами, системой коммуникаций для подвода, распределения, отвода обработанной воды поверхностного источника водоснабжения и промывных вод, рециркуляции воды эрлифтными нишами, подвода воздуха, трубопроводы системы барботеров аэрации и регенерации, загрузку в виде волокнистой ершовой насадки, отличающееся тем, что волокнистая ершовая насадка выполнена исключительно из супертонких капроновых волокон, разделяющая на две функциональные зоны вертикальная перегородка с плоскостью разделения, защитой фильтрующей сеткой, оснащена в нижней части переливными окнами для перетока промывной воды из первой во вторую функциональную зону, при этом отвод промывной воды из второй функциональной зоны выполнен через водосборные лотки, расположенные над ершовой волокнистой насадкой и сообщенные со всасывающими трубопроводами насосов, откачивающих промывную воду в место утилизации.

RU 120096 U1

RU 120096 U1

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2697379

## ВОДОЗАБОРНОЕ СООРУЖЕНИЕ

Патентообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие "ЭКОФЕС" (RU)*

Авторы: *Хецуриани Елгуджа Демурович (RU), Фесенко Лев Николаевич (RU), Бондаренко Владимир Леонидович (RU)*

Заявка № 2018130564

Приоритет изобретения 22 августа 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 13 августа 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 22 августа 2038 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016611905

Проектирование и расчет плавучих насосных станций

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ») (RU)*

Авторы: *Шепелев Александр Евгеньевич (RU), Завалюев Виталий Эдуардович (RU), Чураев Александр Анатольевич (RU), Хецуриани Елгуджа Демурович (RU)*

Заявка № 2015662356

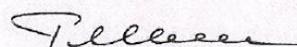
Дата поступления 15 декабря 2015 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 12 февраля 2016 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев