

ХЕЦУРИАНИ ЕЛГУДЖА ДЕМУРОВИЧ

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

06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Саратов – 2022

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»).

Научный консультант:	Васильев Сергей Михайлович доктор технических наук, профессор «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»).
Официальные оппоненты:	Кузнецов Евгений Владимирович доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» Хафизов Айрат Райсович доктор технических наук, профессор, кафедра «Природообустройство, строительство и гидравлика», ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университета» Ткачёв Александр Александрович доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Гидротехническое строительство» Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет».
Ведущая организация	ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет». г. Волгоград, Университетский просп., 26.

Защита состоится 9 сентября 2022 года в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.08 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» по адресу: г. Саратов, ул. Советская, 60, аудитория 325 им. А.В. Дружкина.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» и на сайте: <http://www.sgau.ru/>

Отзывы на автореферат просим высылать по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1, e-mail: dissovet01@sgau.ru.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Панкова Татьяна Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 2⁰С привело к резкому цветению и к увеличению масштабов площадей эвтрофикаций поверхностных водоемов, которые является одним из основополагающих водных ресурсов в орошаемом земледелии.

- **в-третьих**, из всего объёма водопользования по России более 40 % из поверхностных источников забирается для нужд ирригации. При ухудшении качественных показателей водоисточников по показателям содержания нитратов 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 водоемов 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. Seballos, T. Fidelis, V. Haworth, V. Njoerland, 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. Rhooles, 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 размножения 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 электроионактиваций 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 натуральных 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” (Russky 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 государственный технический 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 водозабора ООО «Дары садов» Цимлянского района Ростовской области; нор-

мативно-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 обрасывания 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.

Объём и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения и рекомендаций производству, списка литературы. Общий объём 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, сформулирована цель и определены задачи диссертационной работы, представлена научная новизна, охарактеризована практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации и практическом внедрении результатов исследований на мелиоративных объектах.

Первая глава «Проблемы водозаборных сооружений оросительных систем и пути их решения» 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, О.Г. Григоровича, В.И. Ольгаренко, И.М. Волкова, 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 П.А. Михеева, А.И. Есина, Абдразакова Ф.К., 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 каналов, рассмотрены патентные изобретения и разработки (Н.П. Лавров, Я.В. Бочкарев, М.И. Голубенко, Д.Л. Меликсет-бек, М.А. Кондюрин, С.М. Васильев и др.), которые направлены на улучшение работы отдельных конструктивных элементов.

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, металлоемкости их конструкций с большими энергозатратами при эксплуатации и низкими природоохранными функциями. Таким образом, поиск путей решения существующих проблем в работе водозаборных сооружений оросительных систем определил необходимость дополнительных научных исследований, теоретических и конструкторских предложений решения этих вопросов с учётом системного и комплексного подхода.

Во второй главе «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. На рисунках 1 и 2 приведён пример поврежденных элементов на всасывающей линии оросительной системы.



Рисунок 1 – Засоренная труба



Рисунок 2 – Блокировка насоса

При оценке технического и технологического состояния водозабора Райгородской оросительной системы (Волгоградская область) установлено, что 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 %), засорению и заилению водопроводящих сооружений, трубопроводов и техники полива, ухудшению экологической обстановки и уменьшению рыбных запасов (ущерб рыбному хозяйству 50–70 %).

На Донском магистральном канале (ДМК) были проведены исследования по оценке работы рыбозащитного сооружения. В результате выявлены недостатки в работе плоской сетки, где происходит высокий уровень травмируемости молоди рыб на сетчатом полотне и в процессе отведения в рыбоотвод. Отмечены неоднократные прорывы сеток, связанных с увеличением нагрузок на сетчатые полотна во время скопления большого количества рыб и мусора, прошедшего через деформированные решётки.

Проводя обследование технического состояния водозабора водохозяйственного комплекса Александровский в Ростовской области, было выявлено, что в ковшовом водозаборе температура воды выше на 3°C, чем в водоисточнике. Это связано с меньшей скоростью течения воды в ковше в 1,6 раза по сравнению со скоростью воды в реке Дон. Данное явление определило интенсивное размножение в ковше сине-зелёных водорослей и повышение их концентрации с увеличением по биомассе с 9 до 35 мг/л.

Установлено, что на водозаборном сооружении не обеспечивается защита молоди рыб из-за повышенной скорости входа воды в водоприёмные каскеты; отбираемая вода из ковша имеет повышенную мутность из-за малой эффективности струенаправляющей дамбы без предварительной очистки в водоприёмных каскетах.

На Сенгилеевском водохранилище Ставропольского края была проведена оценка технического и технологического состояния водозабора с подачей воды погружными насосами в Невиномысский канал. Основной проблемой на данном водозаборном сооружении является обрастание технологического оборудования дрейссеной и, как следствие, снижение пропускной способности водозабора с увеличением энергозатрат. Дрейссена выделяет большое количество азота и фосфора, стимулирует рост водорослей, которые попадая в погружные насосы, повреждают их и прикрепляясь колониями на внутренних стенках водопроводящих линий и на рыбозащитных решётках, препятствуют забору воды и увеличивают гидравлическое сопротивление потоку. Установлено, что через каждые 2–3 года трубы всасывающей линии с обрастаниями внутренней поверхности дрейссеной, в результате их пропускная способность снижается в более чем в два раза.

На Константиновской оросительной системе на ковшовом водозаборном узле выявлен ряд существенных проблем: содержание большого количества фитопланктона в период «цветения» водоисточника; повышенная мутность воды из-за отсутствия струенаправляющей дамбы и бонового ограждения; отсутствие предварительной очистки от механических загрязнений в береговом и донном водоприёмниках; отбираемая вода в летний период имеет повышенную концентрацию токсичных сине-зелёных водорослей из-за отсутствия в акватории ковша средств инактивации водорослей.

В результате анализа по определенным 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 1.

Таблица 1- Результаты анализа факторов загрязнения элементов системы

Элементы оросительной системы	Факторы			
	Механические загрязнения, %	Сине-зелёные водоросли, %	Дрейссена, %	Ихтиофауна, %
Магистральные 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

Перечисленные выше проблемы 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 нестабильной работе. Также при этом увеличиваются потери воды на фильтрацию, с зарастанием русла снижаются скорости течения потока с уменьшением его расхода.

В третьей главе «Научно обоснование и разработка специализированного типа природно-технической системы для оросительных систем» 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.

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.

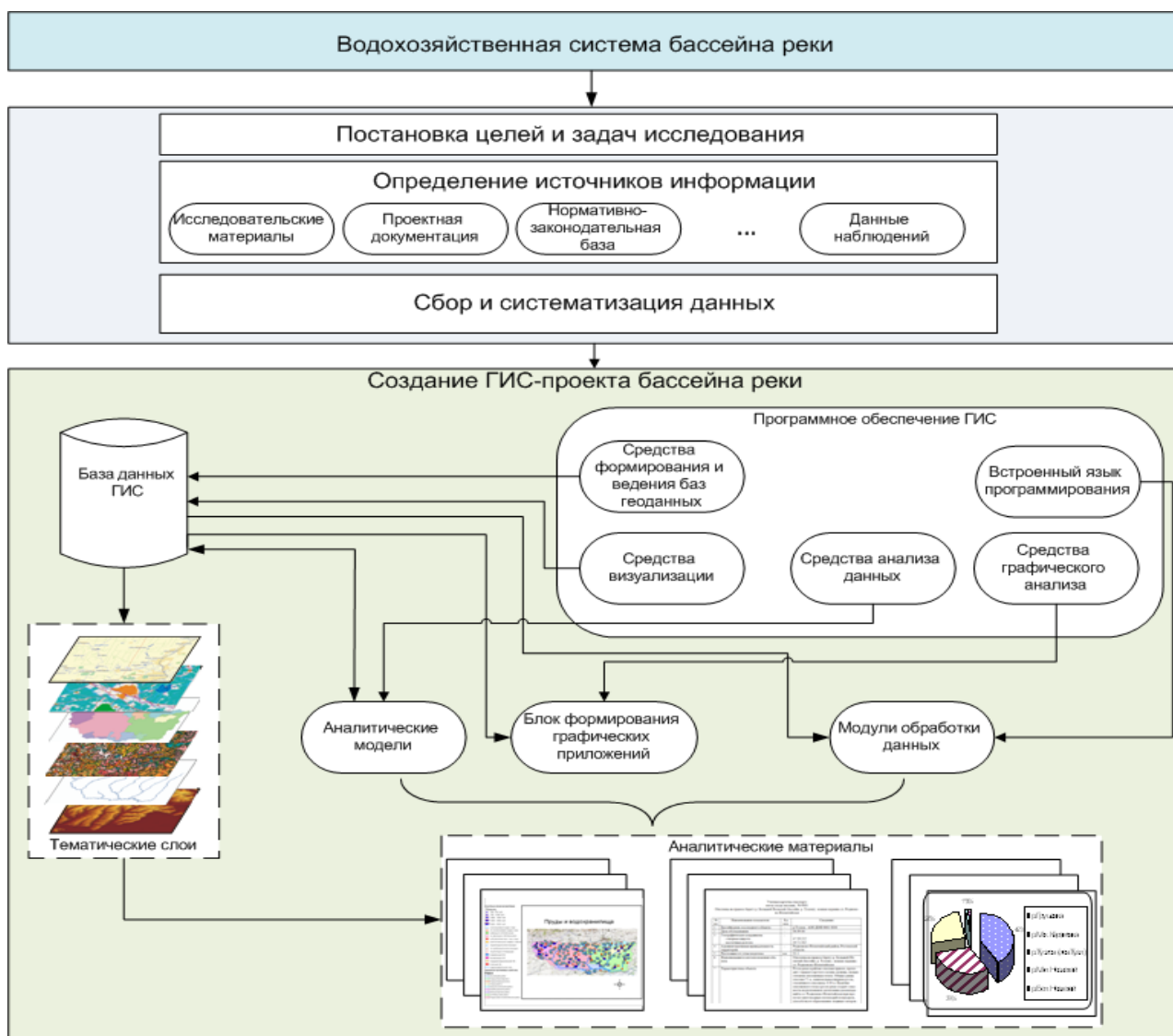


Рисунок 3 - Аналитический ГИС-проект бассейна водоисточника

Разработка аналитического ГИС-проекта бассейна водоисточника предполагает выполнение следующих этапов: определение целей и задач, решаемых в создаваемом проекте и источников информации; создание базы данных проекта; картирование, визуализация и анализ данных; разработка процедур подготовки аналитических материалов.

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 (МС)» обоснованы и сформулированы основополагающие принципы и этапы организации и динамики развития концептуальной модели, представленные на рисунке 4.

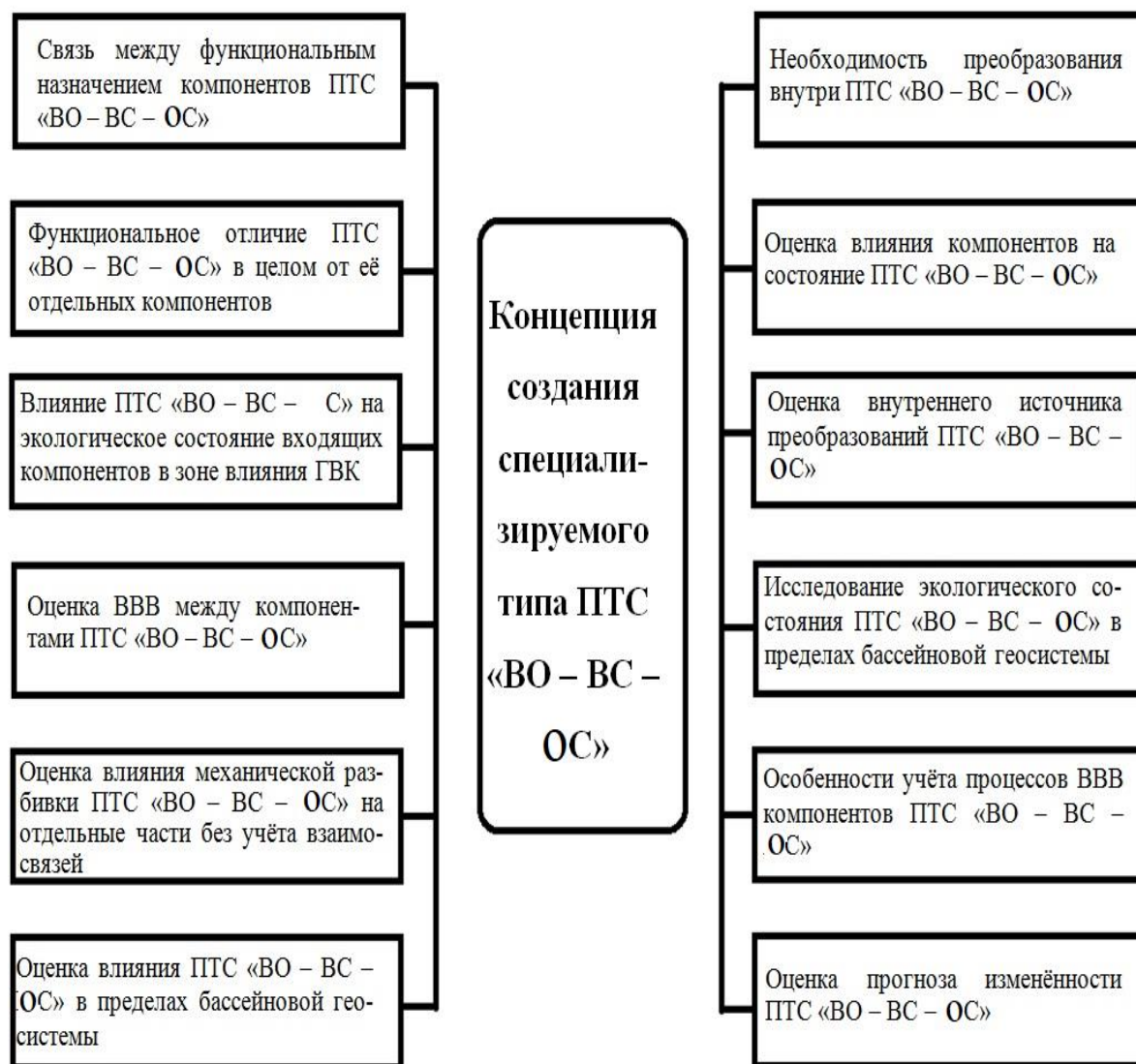


Рисунок 4 – основополагающие принципы и этапы организации и динамики развития модели специализированного типа ПТС «ВО – ВС – ОС»

Системный подход для разработки обустройства водозаборных сооружений оросительных систем подразумевает комплексную работу конструктивно-технологических разработок (КТР-1, КТР-2, КТР-3) для защиты отбираемой воды и определяет устойчивое функционирование специализируемого типа ПТС, где формируются количественные и качественные показатели водных ресурсов с учетом взаимосвязи, взаимодействия, взаимоотношений природных и техногенных компонентов (рис. 5).

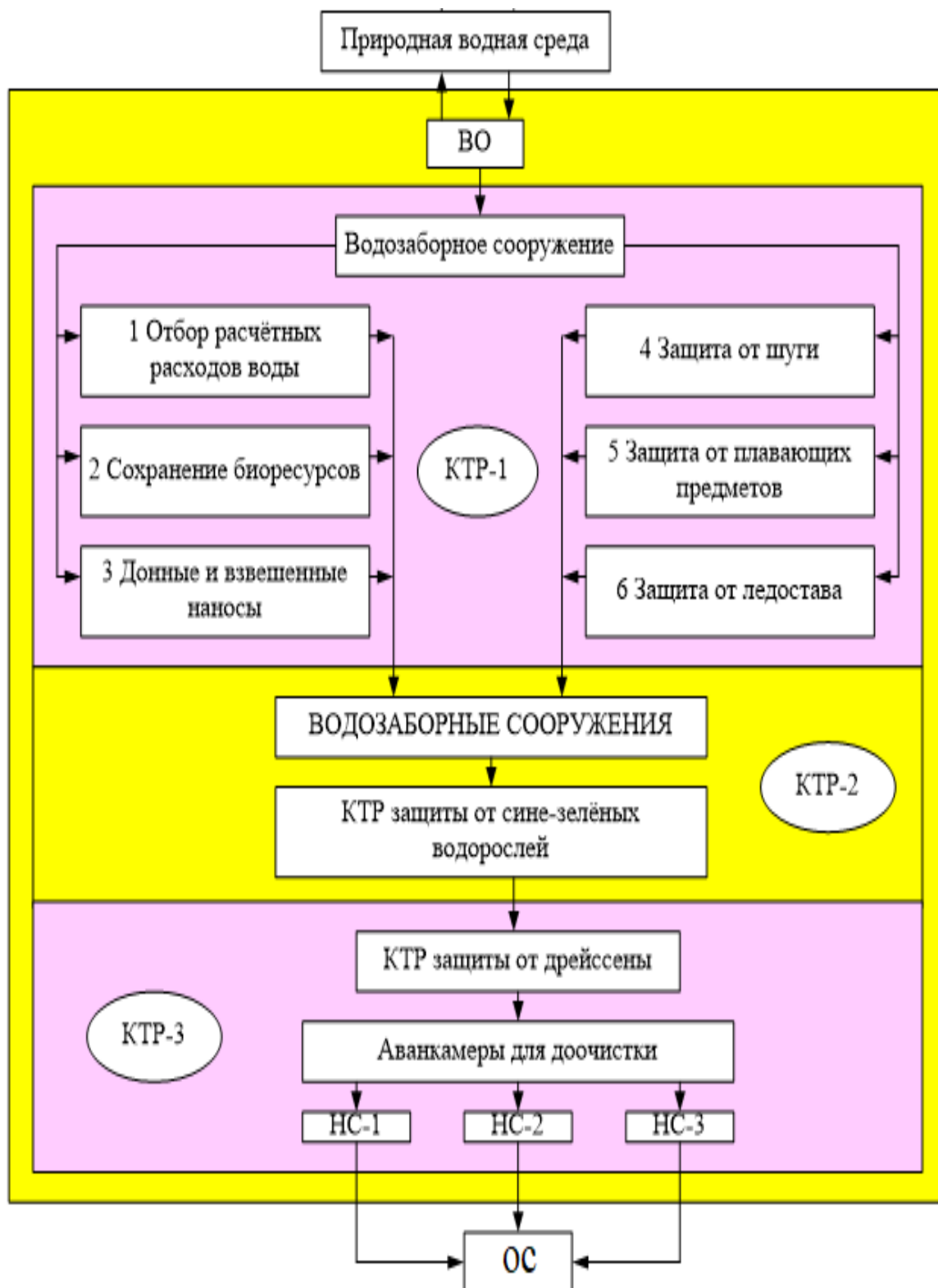


Рисунок 5 – Специализируемый тип ПТС

Для обеспечения эффективной функциональной работы специализированного типа ПТС была разработана экономика-математическая модель, структурная схема которой представлена на рисунке 6.

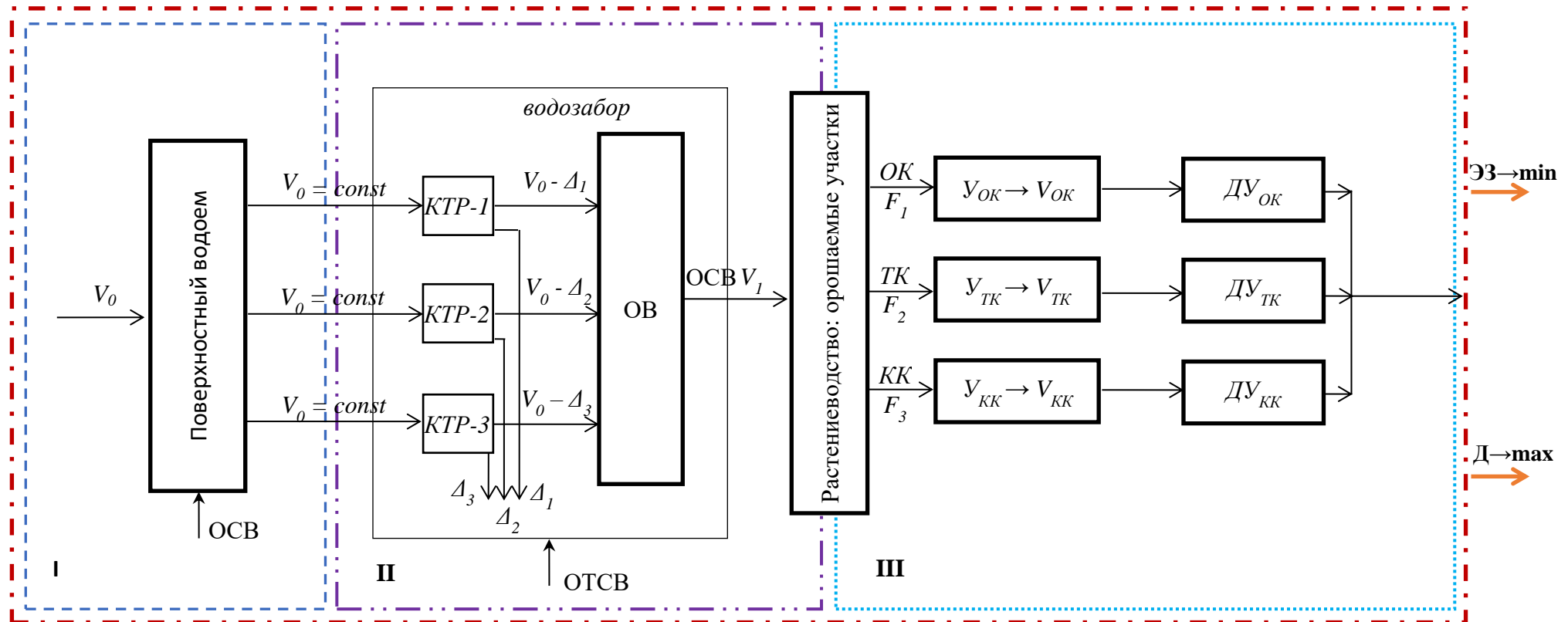


Рисунок 6 - Структурная схема функционирования природно-технической системы «ВО-ВС-ОС»:

Структурная схема включает три базовых блока: I – блок водопользования (водный объект); II – блок очистки воды (водозаборные сооружения); III – блок производства продукции на орошаемых участках (Оросительная система).

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

Блок II включает в себя три совмещенные 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 $V_1 = V_0 - (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3)$. Выходным параметром блока II является объём очищенной воды (V_1).

Согласно схеме блок III включает в себя системы орошения выращиваемых культур: овощных (ОК), технических (ТК), кормовых (КК). Входным параметром является подача заданных объёмов очищенной воды (V_1), которая через систему техники полива 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 ($DU_{OK}, DU_{TK}, DU_{KK}$). Критериями оптимизации рассматриваемой структурной схемы являются: минимум эксплуатационных затрат ($\Sigma Z \rightarrow \min$) и максимум получаемого дохода от реализованной продукции ($D \rightarrow \max$).

Эксплуатационные затраты I блока (ΣZ_I) характеризуются расходами на забор воды, амортизационными отчислениями на применяемое технологическое оборудование. Затраты II блока учитывают процесс очистки воды от инородных примесей и капитальные затраты на оборудование, материалы, сырьё и энергозатраты.

В блоке III реализуется непосредственно орошение сельскохозяйственных культур, где затраты приходятся на оборудование для орошения, его амортизацию. Наиболее значимая часть затрат приходится на возделывание сельскохозяйственных культур с применением орошения. Данный блок располагает доходной частью от реализации сельскохозяйственных культур.

На основе проанализированных причинно-следственных связей блоков функционирования природно-технической системы «ВО-ВС-ОС» предлагается математическая модель комплаенс-системы эффективности эксплуатации при возделывании сельскохозяйственных культур.

Предлагаемая модель даёт обоснование оптимального размера сельскохозяйственных площадей, что позволит дополнительным доходом от применения орошения окупить затраты на очистку загрязненной.

В качестве переменных экономико-математической модели комплаенс-системы доходов и расходов при возделывании сельскохозяйственных культур принимается орошаемая 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:

$$\max z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} - k + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij0} x_{ij0} - k_0 \quad (1)$$

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_{ij0} – объём валовой продукции в денежном выражении, получаемой с 1 га посевов i -ой культуры j -той группы при использовании очищенной воды поверхностного водоема для орошения, руб.;

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

k_{ij0} – производственные затраты на возделывание множества культур А из множества групп В при орошении очищенной водой из поверхностного водоема 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 (при условии не отрицательности переменных всех групп)

1. Группа ограничений по использованию пашни:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} \leq d_{ij} \quad (d \in D), \quad (2)$$

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:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} l_{ijk} x_{ij} = k_j \quad (k \in K), \quad (3)$$

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

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

K – множество видов производственных затрат.

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

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} \geq q_{ij} (q \in Q), \quad (4)$$

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

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

В методологии обустройства водозаборных сооружений оросительных систем одним из важных вопросов, требующих неотъемлемого решения, является определение и оценка границ зон влияния водозаборов. 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 (рис. 7) нижнего течения Дона.

В четвёртой главе «Конструктивно-технологическая разработка (КТР-1) защитного устройства водозаборов оросительных систем от механических загрязнений» приводятся результаты теоретического обоснования усовершенствования конструктивно-технологической разработки (КТР-1), устройства защиты от механических загрязнений водозаборного ковша, и экспериментальные подтверждения оптимальности технических параметров мягкого устройства. Базовым конструктивным решением явилась мягкая наплавная конструкция (МНК) водозаборного сооружения, разработанная В. Л. Бондаренко.

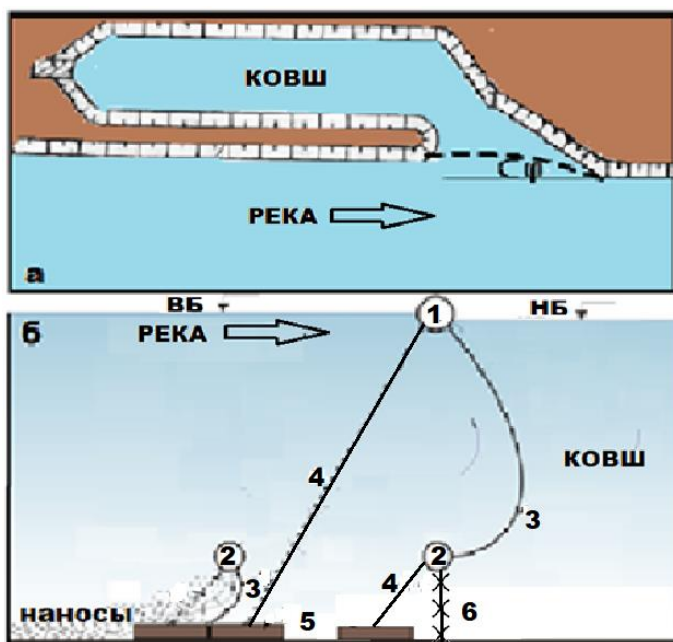
МНК включает в себя подвижный и неподвижный вертикальные экраны по глубине водного потока, которые удерживаются в задаваемом положении по глубине и в плане системами поверхностных и заглублённых поплавков, гибкими связями и якорными устройствами. Для сопряжения МНК водозаборного сооружения с береговыми устоями используются глухие секции.



Рисунок 7 – Зоны влияния на действующих ВС в нижнем течении р. Дон

На основе базовых МНК были разработаны мягкие наплавные конструкции водозаборного сооружения в составе оросительной системы, в которой основным защитным средством для очистки оросительной воды предлагается ершовая фильтрующая загрузка. Мягкий ершовый фильтр, изготовлен из лески и выполняет функцию очистки оросительной воды от сине-зелёных водорослей и отпугивания мальков рыб. При подключении «ерша» к электроимпульсному устройству конструкция МНК выполняет функции электрокупирования дрейссены.

Схема расположения мягкого устройства в водоприёмнике представлена на рисунке 8.



- а – план расположения мягкого наносозащитного устройства в водоприёмнике;
- б – разрез мягкого наносозащитного устройства;
- φ – угол между осями течения потока и мягкого наносозащитного устройства; 1 – боновые полавки; 2 – глубинные полавки; 3 – тканевый экран; 4 – удерживающий трос; 5 – анкер; 6 – завеса капроновых ершей

Рисунок 8 – Схема мягкого наносозащитного устройства

Экспериментальные исследования мягкого наносозащитного устройства выполнялись в лабораторных условиях на физической модели в масштабе $M 1:50$, в которой значения параметров потока воды были следующими: расходы $Q = 5,0; 8,2; 14,3$ л/с, глубины $H = 4,8; 5,0; 6,8$ см и скорости $V_{CP} = 6,94; 9,1; 16,1$ см/с. Независимыми факторами мягкого наносозащитного устройства, от которых зависит интенсивность осаждения наносов тканевым экраном с глубинными полавками, являлись:

- первый фактор X_1 – угол между осями русла реки и мягкого наносозащитного устройства, значение которого изменялось в доверительном интервале (25 ± 15) , т. е. нижний предел – 10° , верхний предел – 40° ;

- второй фактор X_2 – скорость потока воды, значение которой изменялось в доверительном интервале $11,52 \pm 4,58$ см/с, т. е. нижний предел – $6,94$ см/с, верхний предел – $16,1$ см/с;

- третий фактор X_3 – глубина потока воды, значение которой изменялось в доверительном интервале $5,8 \pm 1,0$ см, т. е. нижний предел – $4,8$ см, верхний предел – $6,8$ см.

Для определения функциональной зависимости эффективности осаждения наносов мягким наносозащитным устройством от независимых факторов X_1 , X_2 и X_3 была принята гипотеза влияния их на осаждение наносов. Данный эксперимент позволил получить уравнение регрессии в кодированных переменных:

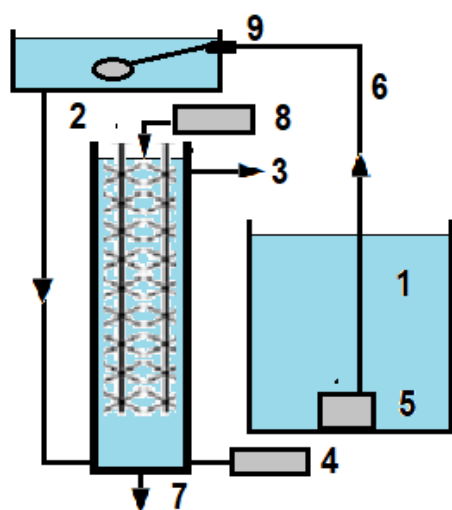
$$y = 4,195 - 0,65X_1 + 2,045X_2 + 0,945X_3 - 2,83X_1X_2 + 1,17X_1X_2X_3. \quad (5)$$

Полученное уравнение на адекватность проверялось по критерию Фишера по известным методикам. Расчётное значение критерия $F_{PAC} = 35,03$,

табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 0,05 равно $F_{\text{ТАБ}} = 233,4$. Следовательно, уравнение регрессии является адекватным. Оптимальным углом между осями течения потока и мягкого устройства, обеспечивающим защиту водоприёмника от влекомых наносов с эффективностью 90–95 %, находится в пределах 10–20°.

В пятой главе «Конструктивно-технологическая разработка (КТР-2) защитного устройства водозаборов оросительных систем от сине-зелёных водорослей» предложена новая конструктивно-технологическая разработка (КТР-2) в виде универсальных ершей из лавсановых волокон и капроновых лесок. Лавсановые волокна ерша обеспечивают электроосаждение водорослей в ковшовом водоприемнике, а капроновые лески отпугивают рыб от водозабора.

Для исследования эффективности электроосаждения сине-зелёных водорослей на лавсановых волокнах была изготовлена экспериментальная установка с лавсановыми ершами (рис. 9).



- 1 – бассейн с сине-зелёными водорослями;
 2 – лавсановые ерши; 3 – контроль проб воды;
 4 – компрессор; 5 – насосный агрегат; 6 –
 трубопровод исходной воды; 7 – места отвода
 промывной воды фильтра; 8 – насос-дозатор
 для коагулянта; 9 – вентиль

Рисунок 9 – Схема экспериментальной установки с лавсановыми ершами

Эффективность очистки воды от сине-зелёных водорослей оценивалась по цветности и мутности воды при её фильтровании через лавсановые ерши.

Из-за процессов диссоциации в воде лавсановые волокна приобретают положительный, а сине-зелёные водоросли отрицательный потенциал, в связи с чем они осаждаются на волокнах.

Установлено, что эффективность электроосаждения сине-зелёных водорослей на лавсановых ершах составляет 70 %. С целью повышения эффективности электроосаждения сине-зелёных водорослей на лавсановые ерши проводились исследования с добавлением в воду коагулянтов: УНИКО-СА, КМП-30, ОКСИХЛОРИД $Al(V)$, что повысило эффективность осаждения до 95–98 %. Результаты данных исследований представлены на рисунках 10 и 11.

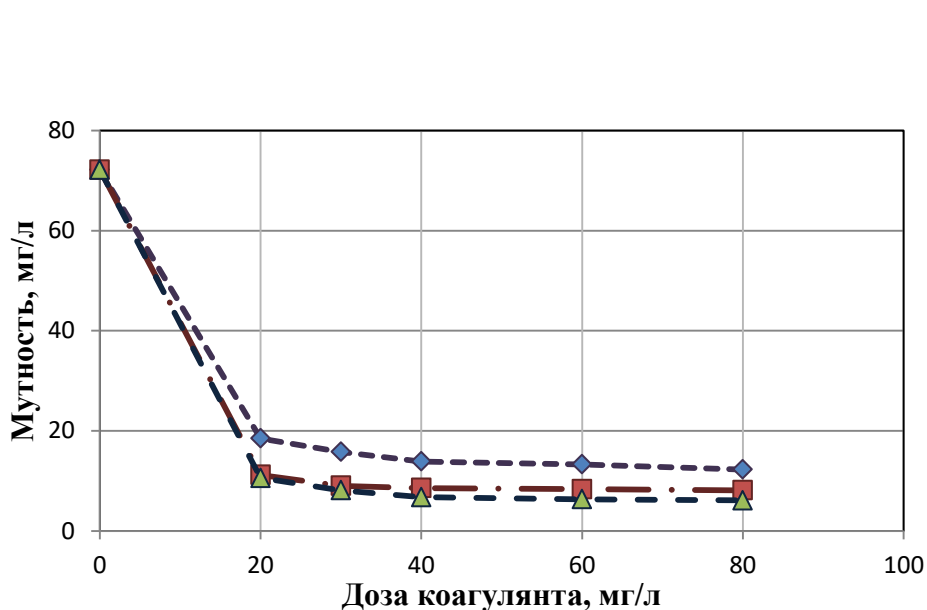


Рисунок 10 – Эффективность изменения мутности воды при её фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой

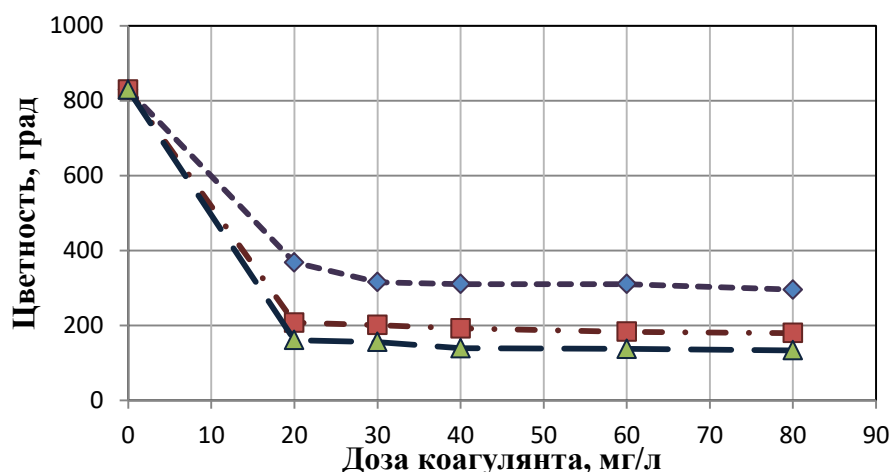


Рисунок 11 – Зависимость изменения цветности воды при её фильтрации на пилотной установке с ершовой загрузкой

Для очистки оросительной воды и защиты водоприёмника от сине-зелёных водорослей с использованием конструкции «Ерша» предлагается конструктивно-технологическая схема планового их размещения в акватории водохозяйственного технологического комплекса (рис. 12). Для более эффективной очистки забираемой воды рекомендуется применять фильтрующие кассеты (рис. 13).

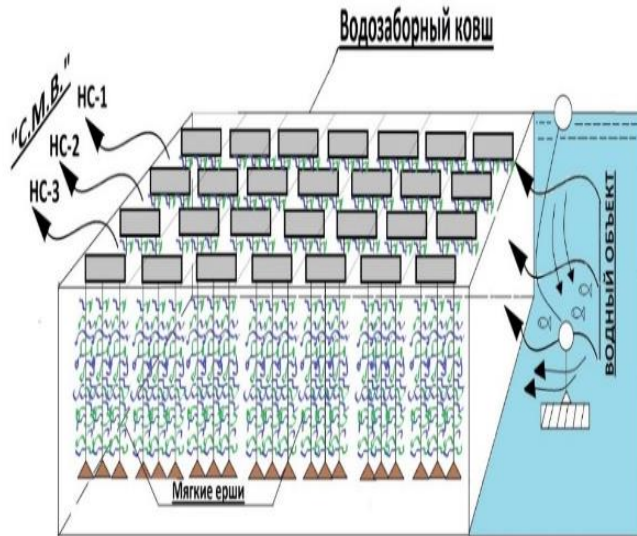
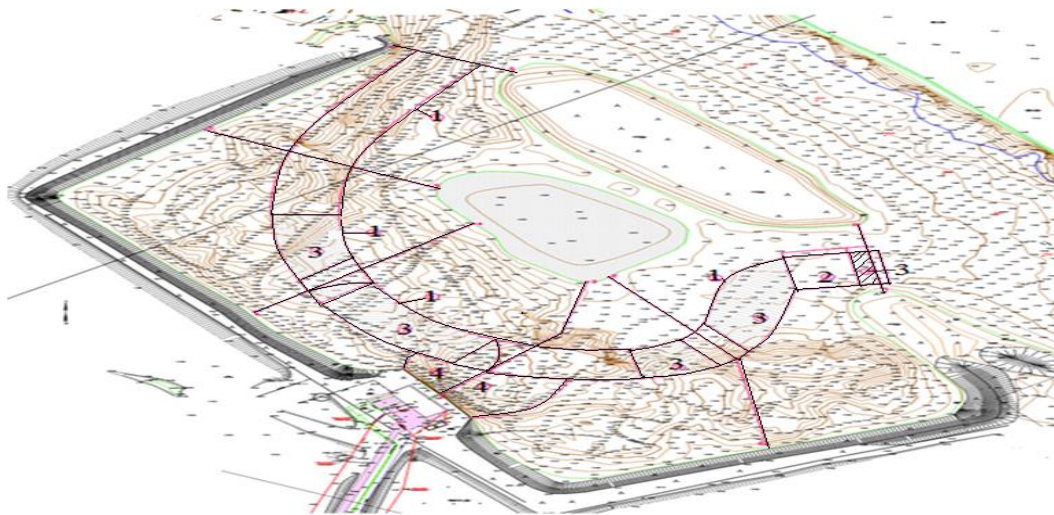


Рисунок 12 - Размещение ершей в акватории водоема или канала



Рисунок 13 – Фильтрующие ершовые кассеты

Для увеличения скоростей воды в источнике, с целью защиты водозаборов от сине-зелёных водорослей в придонных слоях, предложен к использованию программный продукт «Multiphysics». Для построения компьютерной модели использовалась съёмка глубин водоприёмника при гидрометеорологических изысканиях. По полученным результатам моделирования было построено трёхмерное распределение глубин в расчётной области и предлагаемый план расположения транзитного потока (рис.14).



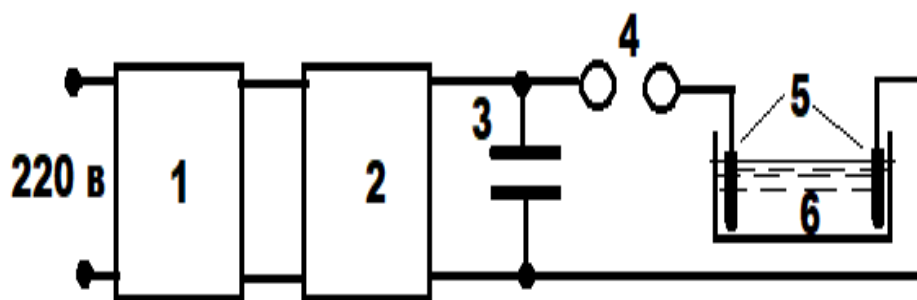
1 – транзитное русло водоприёмника; 2 – отстойник; 3 – участки расчистки транзитного русла; 4 – участок расчистки в месте водозабора

Рисунок 14 – Рекомендуемый план расположения транзитного русла

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, что позволит увеличить средние скорости на вертикалях в 2,5-3,0 раза и создаст наилучшие условия для водообмена и выноса водорослей в придонных слоях.

В шестой главе «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, дождеваль-ной техники и экспериментальные исследования по электроинаktivации дрейссены (велигеры).

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, материалов, температурных и скоростных режимов и других условий. Для полного удаления дрейссены на водозаборах предлагается электроимпульсный способ. Для проведения эксперимента по воздействию импульсных токов на дрейссену была изготовлена экспериментальная установка, схема представлена на рисунке 15.



1 – пульт управления; 2 – высоковольтный трансформатор-выпрямитель;
3 – электрический конденсатор; 4 – воздушный разрядник; 5 – электродные
пластины; 6 – разрядная ванна.

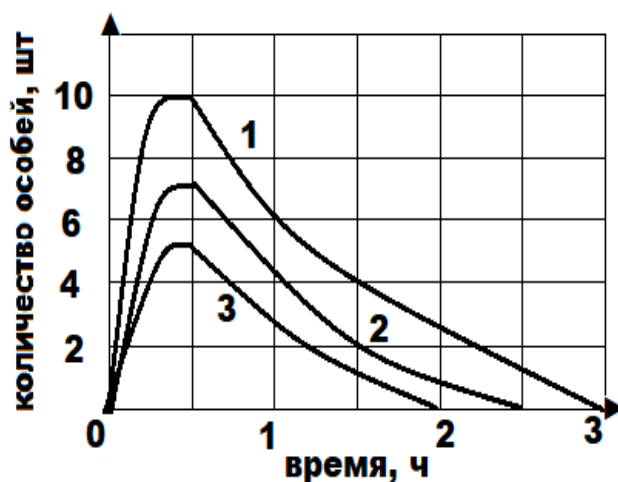
Рисунок 15 - Схема экспериментальной установки

После электроимпульсной обработки нахождения велигеров в разной по качеству воде некоторые из них оживали, импульсы, визуальные наблюдения проводилось в течение нескольких часов. По этому эксперименту получены данные (табл.2) и установлены зависимости, представленные на рисунке 16.

Таблица 2 – Результаты лабораторных экспериментов

Среда (вода)	U	C	R	I	J	τ	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/см²; τ – длительность электрического импульса, мкс; n – число импульсов.



Количество электроимпульсов:

1 – 3 шт.; 2 – 6 шт.; 3 – 9 шт.

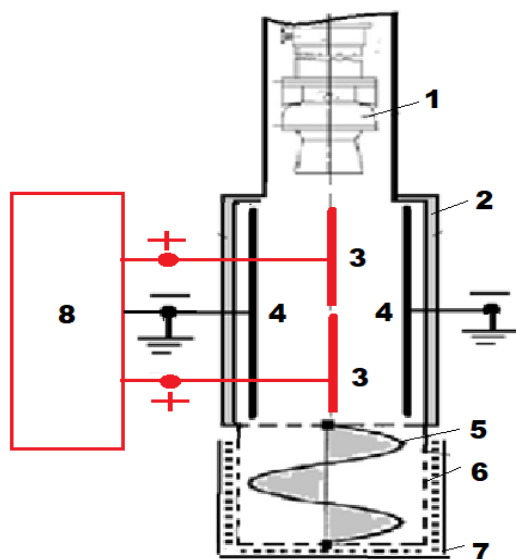
Рисунок 16 – Зависимости количества оживших велигеров в воде от времени их существования после электроинактивации

Результаты электроимпульсной обработки велигеров показали, что полная инактивация дрейссены после девяти импульсов тока происходит через два часа во всех пробах, кроме обработанных в 10% водном растворе NaCl. Этот результат обосновывает экранизацию воздействия электрического тока на велигеры в высокоминерализованной воде.

На основании этих исследований установлено, что основными параметрами электрических импульсов, 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.

Для защиты водопроводящих элементов оросительных систем от обрастания и засорения, а также сохранения ихтиологии водоисточника предлагается оборудовать береговые, ковшовые, островные водозаборные сооружения

электроимпульсной установкой инактивации дрейссены и рыбозащитным оголовком с турбинным гидроприводом (рис. 17)



- 1 – насос; 2 – водоприёмник с электроинактивацией дрейссены (вилигеры);
 3 – положительный электрод; 4 – отрицательный электрод;
 5 – гидротурбина; 6 – решётка рыбозащитная и сороудерживающая;
 7 – щётка для очистки решётки; 8 – генератор импульсных токов

Рисунок 17 – Схема конструктивно-технологической установки по купированию дрейссены (вилигеры) на входе воды в насосную станцию

Предлагаемая электроимпульсная устройства работает следующим образом: 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 в водоприёмнике. Турбина 5 вращает щётку 7 для очистки рыбозащитной и сороудерживающей решётки.

В седьмой главе «Экономическая оценка результатов исследований специализированных технических устройств защиты водозаборов оросительных систем» приведены результаты оценки экономической эффективности от апробации и внедрения разработанных специализированных защитных устройств водозаборов Райгородской оросительной системы Светлоярского района Волгоградской области, ООО «Дары садов» Цимлянского района Ростовской области, Донского магистрального канала, водозабора Константиновский.

Выполнен анализ экономического эффекта от предлагаемой технологии в работе действующего водохозяйственного комплекса Александровский Ростовской области и мелиоративных систем Невинномысского оросительного канала (Сенгилеевское водохранилище). Общий экономический эффект результатов исследований по применению разработанных защитных устройств от вреда зарастания и заиления водопроводящих элементов оросительных систем, дополнительным затратам электроэнергии и предотвращению ущерба биоресурсам составил 126313,13 тыс. руб. в год.

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 усовершен-

ствования 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»):

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»), (патент на полезную модель № 120096 «Очистное устройство водозабора»):

- 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/см² 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.

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 водозаборном сооружении насосных станций мелиоративных систем.

Для защиты водоприёмника от донных и взвешенных наносов рекомендуется 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): 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 мягкого наплавного устройства (10–20° относительно оси течения потока).

При проектировании и переустройстве водозаборных сооружений для защиты от сине-зелёных водорослей рекомендуется 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 водозаборного сооружения.

Для защиты технологического оборудования насосной станции и трубопроводов дождевальных машин от биообрастания дрейсенной использовать КТР-3. Параметры эксплуатации защитного устройства: электрический импульс с напряжённостью поля 80–100 В/м, плотность тока 1–3 А/см² 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) 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 водозаборных сооружений оросительных систем в области оперативного регулирования и решения проблем сельхозводоснабжения и обводнения пастбищ.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:

Публикации в рецензируемых изданиях

1. **Хецуриани, Е.Д.** Результаты обследования и рекомендации по оптимизации конструкции рыбозащитного сооружения на Донском магистральном канале / **Е.Д. Хецуриани, С.А. Селицкий, А.Н. Богачёв** 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/udb4-rec760-field12.pdf.

2. **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.ros-niipm-sm.ru/article?n=1253>. – DOI:10.31774/2712-9357-2021-11-4-332-345.

3. **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

4. **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

5. Bondarenko, V.L. Assessment of the Prospect of Using the Hydropower Potential in the Operating Water-Supply and Irrigation Systems of Stavropol Krai (Russia) [Electronic resource] = Оценка перспективы использования гидроэнергетического потенциала в действующих системах водоснабжения и орошения Ставропольского края (Россия) [Электронный ресурс] / V.L. Bondarenko, **E.D. Khetsuriani** A.K. Kortunov, E.A. Semenova et al. // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 1-4 Oct. 2019. – Vladivostok : Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8934160>. – DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934160.

6. **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 [Electronic resource] = Методологические основы создания и развития нового типа природно-технических систем многоцелевого водопользования в городских условиях [Электронный ресурс] / **E.D. Khetsuriani, V.L. Bondarenko, N.A Polyansky** // 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.–2019.– №022225.–URL<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/17551315/272/2/022225/pdf>. – DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022225.

7. **Khetsuriani, E.D.** The results of the research on the pipelines protection from Dreissena on the water intake technological complexes of multi-purpose water supply systems for urban farms [Electronic resource] = Приведение результатов исследований по защите трубопроводов от дрейссены на водозаборных технологических комплексах многоцелевых систем водоснабжения городских хозяйств [Электронный ресурс] / **E.D. Khetsuriani**, V.L. Bondarenko, A.I. Yliasov et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. - Vol. 698: International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development”, 1–5 Oct. 2019, Kislovodsk, Russian Federation. – 2019. – № 055041. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/5/055041/pdf>. – doi:10.1088/1757-899X/698/5/055041.

8. **Khetsuriani, E.D.** Innovative design solutions to ensure the environmental safety in the existing water intake technological complexes of water systems for urban farms [Electronic resource] = Инновационные проектные решения для обеспечения экологической безопасности в существующих водозаборных технологических комплексах систем водоснабжения городских хозяйств [Электронный ресурс] / **E.D. Khetsuriani**, V.L. Bondarenko, A.I. Yliasov et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. - Vol. 698: International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development”, 1–5 Oct. 2019, Kislovodsk, Russian Federation. – 2019. – № 055040. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/5/055040/pdf>. – DOI: 10.1088/1757-899X/698/5/055040.

9. Bondarenko, V.L. Development of protective measures providing environmental safety in areas affected by water-intake constructions of urban households [Electronic resource] = Разработка защитных мер, обеспечивающих экологическую безопасность в районах, подверженных воздействию водозаборных сооружений городских хозяйств [Электронный ресурс] / V.L. Bondarenko, **E.D. Khetsuriani**, A.I. Yliasov et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. - Vol. 698: International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development”, 1–5 Oct. 2019, Kislovodsk, Russian Federation. – 2019. – № 077053. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/7/077053/pdf>. – DOI:10.1088/1757-899X/698/7/077053.

10. Bondarenko, V.L. Basics of systems approach to methodology of assessing waterworks facilities on natural environment [Electronic resource] = Основы системного подхода к методологии оценки воздействия гидротехнических сооружений на природную среду [Электронный ресурс] / V.L. Bondarenko, **E.D. Khetsuriani**, A.I. Yliasov et al. // Nexo Revista Cientifica. - 2021. - Vol. 34, № 2. - P. 872-885

11. Bondarenko, V.L. Basics of Methodology of Creating and Developing the Class of Natural Engineering Systems in Water Resources Management [Electronic resource] = Основы методологии создания и развития класса естественных инженерных систем в управлении водными ресурсами [Электронный ресурс] / V.L. Bondarenko, **E.D. Khetsuriani**, A.I. Yliasov et al. // Revista Ingenieria UC [Electronic resource] – 2021. – Vol. 28, № 1. – P. 47-58. – URL: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v28n1/art04.pdf>.

Патенты на изобретения и полезные модели

12. Пат. 2697379 Российская Федерация, МПК E02B 9/04. Водозаборное сооружение / **Хецуриани Е.Д.**, Фесенко Л.Н., Бондаренко В.Л.; заявитель и патентообладатель ООО НПП «Экофес». – № 2018130564; заявл. 22.08.18; опубл. 13.08.19, Бюл. № 23.

13. Пат. на полезную модель 120096 Российская Федерация, МПК С 02 F3/02. Очистное устройство водозабора / Куликов Н.И., Фесенко Л.Н., **Хецуриани Е.Д.** и др.; заявитель и патентообладатель ООО НПП «Экофес». – № 2012113688/05; заявл. 06.04.12; опубл. 10.09.12, Бюл. № 25.

14. Пат. на полезную модель 120097 Российская Федерация, МПК С 02 F 3/10. Завеса для удерживания рыб на водозаборах. Приёмник промывных вод очистного устройства водозабора / Куликов Н.И., Фесенко Л.Н., **Хецуриани Е.Д.** и др.; заявитель и патентообладатель ООО НПП «Экофес». – № 2012113437/05; заявл. 06.04.12; опубл. 10.09.12, Бюл. № 25.

15. Пат. на полезную модель 121499 Российская Федерация, МПК С 02 F 3/02. Приёмник промывных вод очистного устройства водозабора / Куликов Н.И., Фесенко Л.Н., **Хецуриани Е.Д.** и др.; заявитель и патентообладатель ООО НПП «Экофес». – № 2012113438/05; заявл. 06.04.12; опубл. 27.10.12, Бюл. № 30.

Свидетельство о государственной регистрации программы

16. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016611905. Проектирование и расчёт плавучих насосных станций / Шепелев А.Е., Завалюев В.Э., Чураев А.А., **Хецуриани Е.Д.**; правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ». – Заявка № 2015662356; заявл. 15.12.15; зарег. 12.02.16; опубл. 20.03.16.

Монографии

17. Щедрин, В.Н. Основные принципы и методы эксплуатации магистральных каналов и сооружений на них: монография / В.Н. Щедрин, С.М. Васильев, Ю.М. Косиченко, **Хецуриани, Е.Д.** и др.; под общ. ред. акад. РАН, д-ра техн. наук, проф. В. Н. Щедрина / Рос. НИИ проблем мелиорации. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – 361 с.

18. **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; под общ. ред. Л. Н. Фесенко; – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, 2020. – 324 с.

19. Бондаренко, В.Л. Научно-методологические основы природно-технических систем в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем: монография / В.Л. Бондаренко, А.И. Ылясов, **Е.Д. Хецуриани**,. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2019. – 354 с.

Публикации в журналах, сборниках научных трудов, материалах конференций и других изданиях:

20. **Хецуриани, Е.Д.** Проблемы водозаборов Ростовской области / **Е.Д. Хецуриани**, А.Ю. Душенко, А.В. Пельчер // Экология и безопасность жизнедеятельности: сб. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф., г. Пенза, 1 дек. 2009 г. / под общ. ред. Ю.И. Вдовина / Междунар. акад. наук экологии и безопасности жизнедеятельности, Акад. водохоз. наук РФ, Тол. гос. ун-т, Межотраслевой науч.-информац. центр Пенз. гос. с.-х. акад. – Пенза: Пенз. гос. с.-х. акад., 2009. – С. 261-264.

21. **Хецуриани, Е.Д.** Система охраны и воспроизводства рыбных ресурсов Волго-Донского бассейна / **Е.Д. Хецуриани**, Ю.И. Вдовин // Природно-ресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России: сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф., г. Пенза, 11-13 апр. 2010 г. / под общ. ред. Ю.И. Вдовина / Междунар. акад. наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – Пенза: Пенз. гос. с.-х. акад., 2010. – С. 185-188.

22. **Хецуриани, Е.Д.** Применение комплекса водозаборно-очистных сооружений в условиях ковшового водозабора / **Е.Д. Хецуриани**, А.Ю. Душенко, А.В. Пельчер, Р.С. Бечвая // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД – 2011»: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., 20-23 сент. 2011 г., г. Чебоксары / ГК «АУРАТ», ОАО «ТАУРАТ», Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (Новочеркас. политехн. ин-т) ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2011. – С. 84-87.

23. **Хецуриани, Е.Д.** Завеса из ершей для рыбозащиты / **Е.Д. Хецуриани**, А.Ю. Душенко, Р.С. Бечвая // 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. 193-195.

24. **Хецуриани, Е.Д.** Применение комплекса водозаборно-очистных сооружений в условиях ковшового водозабора / **Е.Д. Хецуриани, Р.С. Бечвая, А.Ю. Душенко** // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / РосНИИПМ. – Новочеркасск: Геликон, 2012. – Вып. 46. – С. 104–109.

25. **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: Геликон, 2012. – Вып. 46. – С. 111–116.

26. **Хецуриани, Е.Д.** Актуальные проблемы борьбы с эвтрофикацией водоёмов / **Е.Д. Хецуриани, А.Ю. Душенко, Р.С. Бечвая, А.В. Пельчер, В.Э. Завалюев, А.Н. Богачев** // Актуальные вопросы рыбного хозяйства и аквакультуры бассейнов южных морей России: материалы Междунар. науч. конф., г. Ростов-на-Дону, 1-3 окт. 2014 г. / Юж. науч. центр РАН. – Ростов н/Д.: Юж. науч. центр РАН, 2014. – С. 140-144.

27. **Хецуриани, Е.Д.** Очистка воды от сине-зелёных водорослей на ершовой загрузке / **Е.Д. Хецуриани, А.Н. Богачев, А.Ю. Душенко, Р. С. Бечвая, А.В. Пельчер, В.Э. Завалюев** // Технологии очистки воды «Техновод – 2014»: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., 23-24 окт. 2014 г., Красная Поляна, г. Сочи, / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: Лик, 2014. – С. 65-70.

28. **Хецуриани, Е.Д.** Подбор эффективных коагулянтов для обработки цветущей донской воды / **Е.Д. Хецуриани, А.Н. Богачев, А.С. Териков, И.А. Лапина, В.Э. Завалюев, Т.Е. Хецуриани** // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. 54. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – С. 109-114.

29. **Хецуриани, Е.Д.** Проблемы работы мелиоративных водозаборов во время цветения воды / **Е.Д. Хецуриани, А.Н. Богачев, А.С. Териков, И.А. Лапина** // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. 54. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – С. 115-117.

30. **Хецуриани, Е.Д.** Эксплуатация рыбозащитных сооружений головных водозаборов магистральных каналов мелиоративных систем: науч. обзор / Ю.М. Косиченко, **Е.Д. Хецуриани, С.А. Селицкий, С.Г. Балакай**; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2014. – 45 с. – Деп. в ВИНТИ 10.09.14, № 248-В2014.

31. Селицкий, С.А. Вопросы эксплуатации рыбозащитного сооружения на Донском магистральном канале / С.А. Селицкий, Т.П. Андреева, **Е.Д. Хецуриани** // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – Вып. № 4(60). – С. 109-112.

32. **Хецуриани, Е. Д.** Анализ исследования русловых процессов р. Дон / **Е.Д. Хецуриани**, Л.Н. Фесенко // Современные проблемы водного хозяйства, охраны окружающей среды, архитектуры и строительства: сб. науч. тр. № 70 по материалам V Междунар. науч.-техн. конф., 16-19 июля 2015 г., посвящ.

95-летию со дня рожд. акад. Цотне Мирцхулава / М-во образования и науки Грузии, Ин-т вод. хоз-ва им. Ц.Е. Мирцхулава Грузин. техн. ун-та. – Тбилиси, 2015. – С. 221-227.

33. **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: сб. науч. тр. № 70 по материалам V Междунар. науч.-техн. конф., 16-19 июля 2015 г., посвящ. 95-летию со дня рожд. акад. Цотне Мирцхулава / М-во образования и науки Грузии, Ин-т вод. хоз-ва им. Ц.Е. Мирцхулава Грузин. техн. ун-та. – Тбилиси, 2015. – С. 218-220.

34. **Хецуриани, Е.Д.** Способы защиты водозаборов от попадания в них шуги и льда / **Е.Д. Хецуриани**, Д.В. Антонян, А.В. Воробьев, С.П. Совгиря, Д.В. Власов // Актуальные вопросы и перспективы развития сельскохозяйственных наук: сб. науч. тр. по итогам Междунар науч.-практ. конф., г. Омск, 7 мая 2015 г. / Инновац. центр развития образования и науки. – Омск: Инновац. центр развития образования и науки, 2015. – Вып. 2. – С. 47-48.

35. **Хецуриани, Е.Д.** Исследование русловых процессов р. Дон в районе Александровских водозаборных сооружений / **Е.Д. Хецуриани**, Л.Н. Фесенко, В.Н. Шкура и др. // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. – 2015. – №4. – URL:http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_26_Fesenko.pdf_4333800f60.pdf.

36. **Хецуриани, Е.Д.** Анализ работы Александровского ковшового водозабора с учётом руслового режима и рыбоводно-биологических показателей реки Дон / **Е.Д. Хецуриани**, Л.Н. Фесенко, А.Н. Богачев и др. // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. – 2015. – № 4. – URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_18_Fesenko.pdf_e7bb2e55be.pdf.

37. Лапина, И. А. Фильтрующие рыбозащитные сооружения и устройства / И. А. Лапина, А.С. Териков, **Т.Е. Хецуриани** и др. // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения (Костяковские чтения): материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 29-30 марта 2016 г. – Москва :

Всерос. науч.-исслед. ин-т агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2016. – С. 188-190.

38. **Хецуриани, Е.Д.** Мероприятия по борьбе с эвтрофикацией водоёмов / **Е.Д. Хецуриани**, Т.Е. Хецуриани, // Приоритетные задачи и стратегии развития сельскохозяйственных наук: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., г. Тольятти, 25 мая 2016 г. – Тольятти : Федер. центр науки и образования «Эвенсис», 2016. – С. 11-13.

39. **Хецуриани, Е.Д.** Оздоровление речных экосистем / **Е.Д. Хецуриани**, Л.Н. Фесенко, В.П. Костюков и др. // Новые достижения в областях водоснабжения, водоотведения, гидравлики и охраны водных ресурсов : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 10 дек. 2015 г. / Петербург. гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I, 2016. – С. 202-204.

40. **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. науч. ст. студентов, магистрантов, аспирантов, молодых учёных и преподавателей, г. Пермь, 6 дек. 2016 г. / под общ. ред. Т.М. Сигитова / Центр соц.-эконом. исслед. – Пермь : Сигитов Т.М., 2016. – Вып. 10. – С. 43-45.

41. **Хецуриани, Е.Д.** Энергосберегающие технологии повышения экологической безопасности водоёмов / **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, 9-11 нояб. 2016 г. / под общ. ред. В.А. Гутмана, Д.П. Ануфриева. – Астрахань, 2016. – С. 110-113.

42. **Хецуриани, Е.Д.** Перспективы оздоровления речных экосистем / **Е.Д. Хецуриани**, Е.А. Шкуракова // Сборник научных трудов № 72 / М-во образования и науки Грузии, Ин-т вод. хоз-ва им. Ц.Е. Мирцхулава Грузин. техн. ун-та. – Тбилиси, 2017. – С. 195-200.

43. **Хецуриани, Е.Д.** 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.

44. **Хецуриани, Е.Д.** Экологическая безопасность водозабора – залог надёжности работы системы водоснабжения / **Е.Д. Хецуриани**, Л.Н. Фесен-

ко, Н.Г. Моисеенко и др. // Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 5, № 4 (17). – С. 238-240.

45. **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.

46. **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. – Вып. 54 (73). – С. 165-172.

47. **Хецуриани, Е.Д.** Экологическая безопасность водной среды – залог здорового будущего / **Е.Д. Хецуриани, Т.С. Колмакова, М.А. Акименко** и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2018. – Вып. 54 (73). – С. 156-164.

48. **Хецуриани, Е.Д.** Основы методологии создания природно-технических систем по использованию водных ресурсов в многоцелевом водоснабжении городских хозяйств и населённых пунктов / **Е.Д. Хецуриани, В.Л. Бондаренко** // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2018. – Вып. 54 (73). – С. 148-155.

49. **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 вузов. Строительство. – 2018. – № 9. – С. 83-90.

50. **Хецуриани, Е.Д.** Результаты исследований водоприемника для создания системы, обеспечивающей экологическую безопасность питьевого водоснабжения городского хозяйства / **Е.Д. Хецуриани, Т.Е. Хецуриани** // Известия вузов. Строительство. – 2018. – № 10. – С. 50-59.

51. **Хецуриани, Е.Д.** 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** и др. // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2019. – № 4 (28). – С. 25-35.

52. **Хецуриани, Е.Д.** Методологические основы понятия времени в оценке экологического состояния в зонах влияния мелиоративных систем /

В.Л. Бондаренко, А.В. Алиферов, **Е.Д. Хецуриани** // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2019. – № 1 (73). – С. 165-172.

53. **Хецуриани, Е.Д.** Конструктивно-технологическая система обеспечение экологической безопасности водозаборных технологических комплексов / **Е.Д. Хецуриани**, В.Л. Бондаренко, А.И. Блясов, и др. // Инженерно – строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 1 (31). – С. 55-60.

54. **Хецуриани, Е.Д.** Экспериментальные технологии по защите водоприемников речных водозаборов от занесения донными наносами / **Е.Д. Хецуриани**, Т.Е. Хецуриани, В.Л. Бондаренко и др. // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2020. – № 2 (30). – С. 82-92.

55. **Хецуриани, Е.Д.** Методологические основы развития специализированного типа природно-технических систем использования водных ресурсов / **Е.Д. Хецуриани**, Е.А. Семенова, В.Л. Бондаренко и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – Вып. 2 (79). – С. 63-73.

56. **Хецуриани, Е.Д.** 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 (32). – С. 82-87.

57. **Хецуриани, Е.Д.** Природно-технические системы многоцелевого водоснабжения городского хозяйства / **Е.Д. Хецуриани**, В.Л. Бондаренко, Е.В. Комлев и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – Вып. 2 (79). – С. 87-95.

58. **Хецуриани, Е.Д.** Программный комплекс компьютерной гидродинамической модели течения потока в транзитном русле ковшового водозабора / **Е.Д. Хецуриани**, М.Ю. Косиченко // Инженерно – строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4 (34). – С. 98-102.

59. **Хецуриани, Е.Д.** Математическое моделирование для поиска оптимальных решений (на примере Александровского водозабора на р. Дон) / **Е.Д. Хецуриани** // Инженерно – строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4 (34). – С. 93-97.

60. **Хецуриани, Е.Д.** Разработка компьютерной гидродинамической модели течения потока в ковшовом водозаборе г. Белоярский / **Е.Д. Хецуриани** // Инженерно – строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4 (34). – С. 84-89.