

На правах рукописи



Петин Владимир Владимирович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ТЭЦ
НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Специальность 05.14.14 – Тепловые электрические станции,
их энергетические системы и агрегаты

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2013

Работа выполнена на кафедре «Тепловые электрические станции» в ФГБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет».

Научный руководитель

– *Мирошников Сергей Филиппович* – кандидат техн. наук, доцент.

Официальные оппоненты:

– *Ким Аркадий Николаевич* – доктор техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», профессор;

– *Кокошкин Илья Александрович* – кандидат техн. наук, старший научный сотрудник ОАО «Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова» (Санкт-Петербург), ведущий научный сотрудник.

Ведущая организация – *ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (г. Иркутск).*

Защита состоится «17» декабря 2013 г. в 18-00 на заседании диссертационного совета Д 212.229.04 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29, в аудитории 411 ПГК

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Автореферат разослан «15» ноября 2013 г.

Отзыв на автореферат, заверенный печатью учреждения, в двух экземплярах просим направить по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Факс: (812) 552 89 45,

E-mail: kg1210@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета



К.А. Григорьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Энергетика, и в частности, ТЭЦ являются значительными потребителями воды. Наиболее крупными потребителями воды на ТЭЦ являются системы гидрозолоудаления (ГЗУ) и теплоснабжения.

Во многих регионах России, в том числе и в Забайкальском крае, сжигаются низкосортные угли, которые имеют высокое содержание кальция. В связи с особенностями химического состава топлива после его сжигания в системах ГЗУ ТЭЦ наблюдается образование нерастворимых отложений кальция в транспортирующих трубопроводах, насосах. Это связано с перенасыщением оксидом кальция пульпы и осветленной воды, содержащегося в топливе и добавочной воде.

Одним из наиболее дешевых способов борьбы с отложениями является несанкционированный сброс осветленной воды в природные водоемы, которые являются объектами хозяйственно-питьевого назначения. Независимые исследования подтверждают, что сбрасываемая вода из системы ГЗУ насыщена микроорганизмами (бактериями) и химическими элементами (фтор, мышьяк, свинец и др.), вымытыми из золы. Таким образом, сброс осветленной воды в природный водоем представляет опасность для человека.

Системы теплоснабжения – второй по значимости потребитель воды на ТЭЦ. Данные системы, в частности, системы открытого водоразбора горячего водоснабжения (ГВС) достаточно распространены в России. Так, в Забайкальском крае только г. Чита имеет закрытую схему ГВС, все остальные города – открытую.

Внутреннее состояние транспортирующих трубопроводов системы теплоснабжения является источником вторичного загрязнения микроорганизмами и продуктами коррозии стальных труб. Поскольку в трубах образуются застойные зоны, то они являются «рассадником» бактерий.

Загрязнение тепловых сетей является причиной возникновения различных инфекционных заболеваний человека: холеры, брюшного тифа, дизентерии, вирусного гепатита, легионеллеза. Для предупреждения возникновения таких заболеваний нужны определенные санитарные мероприятия на системах водопользования ТЭЦ, а для повышения безаварийной работы нужно решать задачи по снижению образования отложений в системах ГЗУ.

Таким образом, необходима комплексная очистка и обеззараживание воды в системах ГВС и ГЗУ. Для этого применяются обеззараживание диа-

фрагментным электрическим разрядом (ДЭР) и очистка цеолитсодержащей породой (цеолитом). Механизм бактерицидного действия ДЭР носит комбинированный характер и, в первую очередь, связан с образованием перекиси водорода и ионов меди. Однако остаются вопросы изменения органолептических свойств, обработки и обеззараживания сетевой и осветленной воды под действием электрического разряда и цеолита. Поэтому работа является актуальной.

Работа выполнена автором в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Степень научной разработанности темы. Вопросам обработки и обеззараживания воды ДЭР посвящены работы Кульского Л.А., Юткина Л.А., Авчинникова А. В., Стройковой И.К., Жук Е.Г., Суворова И.Ф., и др. Зарубежных: Т. Kim и S. Silver, L. Edebo, M. Sato и др. Образование и устранение отложений в системе ГЗУ рассматривали Кропп Л.И., Залогин Н.Г., Кострикин Ю.М., Чеканов Г.С., Зорин В.А., Харьковский М.С. и другие. Использованием цеолитов для очистки сточных вод занимались Хатькова А.Н., Шестернев Д.М., Мязин В.П., Павленко Ю.В., Брек Д., Рязанцева А.А., Ведерникова Л.Б. и др.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование комплексных методов совершенствования систем водопользования за счет применения ДЭР и цеолитсодержащих пород, обеспечивающих эффективную защиту окружающей среды и надежную работу ТЭЦ.

Для достижения цели поставлены **задачи**:

1. Провести анализ существующих методов снижения карбонатных отложений в системах ГЗУ и обеззараживания воды; представить теоретические сведения об особенностях, причинах, последствиях и способах борьбы с образованием отложений и микробиологическим загрязнением; определить эффективные технологии; рассмотреть теоретические основы ДЭР.
2. Разработать совмещенные установки для обеззараживания и повышения качества технологических вод систем водопользования с использованием диафрагменного электрического разряда в присутствии цеолитсодержащей породы.
3. Экспериментально обосновать влияние диаметра отверстий в диафрагме, начальной температуры, скорости воды через разрядную камеру на параметры ДЭР, бактерицидные свойства с учетом эффекта последствия в осветленной и сетевой воде.

4. Исследовать оценку экономической эффективности применяемых установок.

Научная новизна и положения, выносимые на защиту:

1. Предложен способ снижения негативного воздействия на естественные водоемы и человека при водопользовании на ТЭЦ за счет применения ДЭР и цеолитсодержащих материалов в системах ГЗУ.

2. Разработана методика повышения надежности действующих ТЭЦ и снижения их техногенного воздействия на окружающую среду за счет совершенствования технологии ГЗУ с использованием ДЭР и цеолитсодержащих материалов.

3. Установлены оптимальные диаметры отверстий в диафрагме установок ДЭР, обеспечивающие максимальный выход перекиси водорода и ионов меди в осветленной и сетевой водах.

Практическая значимость работы. Разработанная схема комплексного использования ДЭР и цеолитсодержащих пород обеспечивает снижение образования отложений кальция в системах ГЗУ, повышает надежность ТЭЦ, и обеззараживает технологические воды, в конечном итоге снижая техногенное воздействие на окружающую среду от функционирования предприятий энергетики и воздействие на человека продуктов вторичного загрязнения.

Разработан способ обработки и обеззараживания технологических вод ТЭЦ, который может использоваться в котельных, индивидуальных домах.

Разработана программа для расчета теплогидравлических режимов систем централизованного теплоснабжения с совмещенными схемами присоединения установок ГВС, позволяющая учитывать особенности функционирования ДЭР (Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2011612715).

Полученная информация и наработка включена в курс лекций и практических занятий «Водоподготовка» и «Экология энергетики» для студентов Забайкальского государственного университета, обучающихся по специальности Тепловые электрические станции.

Методология и методы исследования. Обобщение литературных источников; анализ и оценка техногенного воздействия на окружающую среду технологических вод ТЭЦ; лабораторные экспериментальные исследования действия ДЭР на технологические воды ТЭЦ, степень очистки вод с применением цеолитов Забайкальских месторождений; обработка результатов исследований; обоснование и оценка эффективности применяемых установок в системах водопользования.

Степень достоверности результатов. Обеспечивается применением аттестованной и аккредитованной лаборатории в экспериментальной части. Выводы и рекомендации подтверждаются сходимостью экспериментальных и теоретических результатов и не противоречат законам физики.

Личный вклад автора. Автором разработаны адаптированные установки обработки и обеззараживания технологических вод с использованием электрического разряда и цеолитов. Также разработаны и получены автором научные и практические положения, выносимые на защиту, сформулированы задачи работы.

Апробация работы. Основные методологические положения и результаты исследований работы по тематике диссертации докладывались и обсуждались на конференциях в ЧитГУ (г. Чита, 2004, 2009), АмГУ (г. Благовещенск, 2005), ТПУ (г. Томск, 2007, 2010), ЮУрГУ (г. Челябинск, 2007), УГТУ-УПИ (г. Екатеринбург, 2007), СПбГПУ (г. Санкт-Петербург, 2010), ЗабГУ (г. Чита, 2012, 2013).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, из них 4 в изданиях рекомендованных ВАК, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Содержит 118 страниц машинописного текста, 34 рисунка, 21 таблицу и библиографию из 141 источника.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проанализирована и обоснована актуальность совершенствования водопользования на ТЭЦ. Отражены проблемы используемых систем и традиционные способы их решения. Обозначено применение цеолитсодержащих пород. Проведен патентный обзор и описание используемых установок и схем очистки и обеззараживания. Сформулированы цели и задачи работы.

Вторая глава посвящена описанию разработанных технологических схем использования ДЭР и цеолитового фильтра в комплексных системах водопользования ТЭЦ. Приведена программа диссертационных исследований. Разработанная технологическая схема совместных установок ДЭР и цеолитсодержащей породы позволила добиться снижения негативного воздействия на природные водоемы, а также снижения образования карбонатных отложе-

ний в системах ГЗУ, тем самым повысить надежность станции в целом (рисунок 1).

Вода из природного водоема 1 поступает на насосную станцию 2, откуда направляется на ТЭЦ 3, где идет на орошение мокрых золоуловителей и на гидротранспорт золы и шлака (пульпы). Посредством внутри котельных каналов пульпа стекает в багерную насосную 4. Далее пульпа поступает по пульповоду 9 на золошлакоотвал 10 посредством системы распределения 11. Осветленная вода поступает в бассейн 13, через сливной колодец 12 на

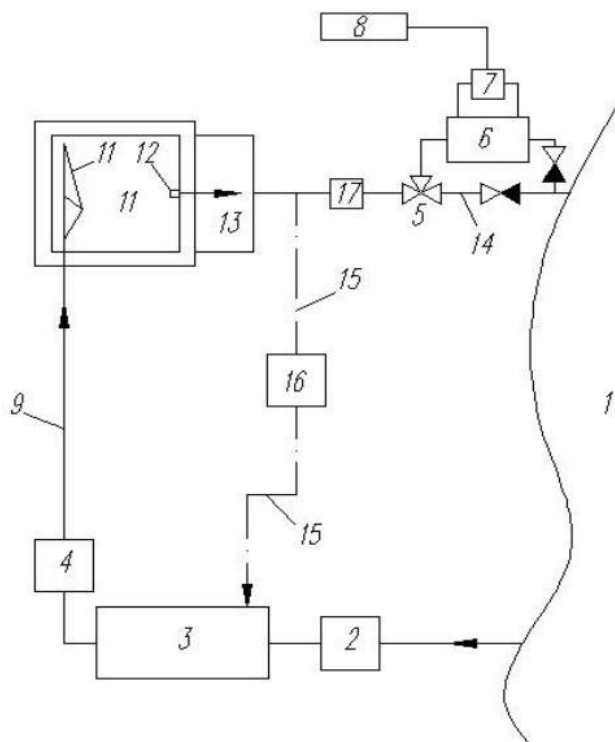


Рисунок 1 – Технологическая схема использования ДЭР и цеолитсодержащего фильтра в системе ГЗУ

золошлакоотвале. После проведения всех вышеописанных операций осветленная вода по трубопроводу 15 направляется на всас насосной 16.

Для предотвращения насыщения осветленной воды карбонатом кальция предусмотрена линия (несанкционированного) сброса в природный водоем 14. На данном трубопроводе для осуществления очистки и обеззараживания установлен фильтр с цеолитсодержащей породой 17 и электроразрядная камера 6. Осветленная вода проходит фильтр и поступает в разделитель 5. Разделитель выполняет функцию деления воды на два потока: один движется далее по трубопроводу, а второй направляется в электроразрядную камеру 6. Электроды разрядной камеры получают электрический ток от источника питания 7. Мощность источника питания изменяется блоком 8. Пройдя обработку диафрагменным электрическим разрядом, вода добавляется в трубопровод, где происходит смешение с основным потоком. Смешение потоков в оптимальном соотношении обработанной и необработанной вод дает эффект обеззараживания, а цеолитсодержащий фильтр, установленный перед камерой, производит очистку воды по химическим показателям до норм предельно-допустимого сброса (ПДС), что в комплексе снижает негативное воздействие на природные водоемы.

Разработанная технологическая схема использования установок ДЭР с фильтром из цеолитсодержащей породы в открытых системах ГВС позволила повысить качество воды.

Согласно СНиП, температура для централизованных систем горячего водоснабжения, присоединенных к открытым системам теплоснабжения должна составлять 60-75 °С. Поэтому сетевая вода в автоматизированном тепловом пункте (АТП) проходит регулировку в регулирующем клапане 1 до необходимой температуры и далее идет двумя потоками (рисунок 2).

Первый поток (большая часть) направляется в бак-аккумулятор 3, второй поток идет в разрядную камеру 4 для обеззараживания и после нее поступает в фильтр 6 с цеолитсодержащей породой. В зависимости от условий работы и химического состава исходной воды фильтр может устанавливаться либо до бака, либо после. После фильтра обеззараженный раствор направляется

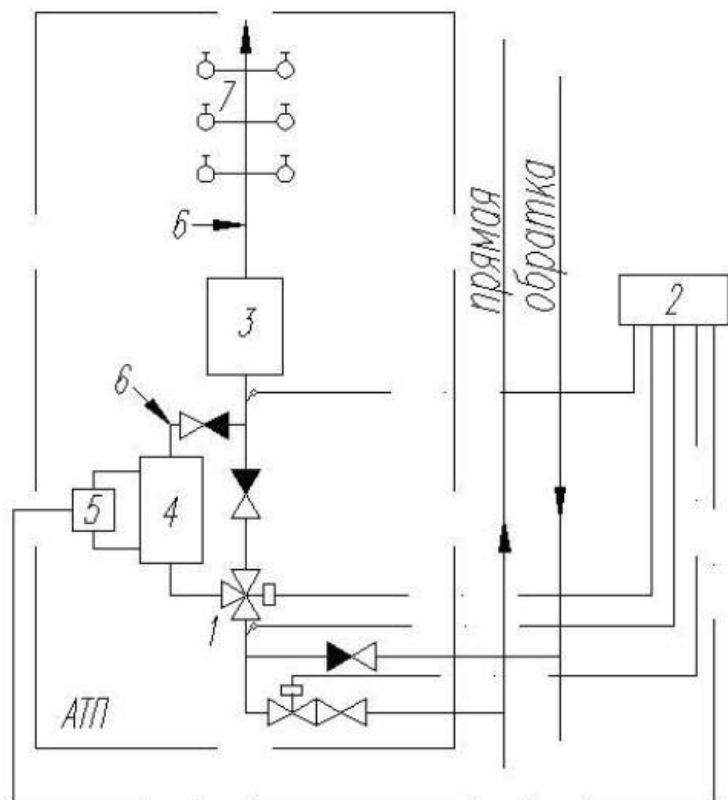


Рисунок 2 – Технологическая схема по обеззараживанию и очистке сетевой воды

в бак-аккумулятор, где происходит последующая обработка всего потока воды для нужд ГВС. Из бака вода поступает к потребителям 7. Для управления системой предусмотрен регулирующий блок 2. Для контроля температуры воды установлено два датчика: перед регулирующим клапаном 1 и перед бак-аккумулятором 3.

Для проведения лабораторных исследований действия ДЭР и цеолитсодержащей породы на осветленную и сетевую воду использована установка (рисунок 3).

В емкость 1 наливается вода для экспериментальных исследований. Для моделирования различных температурных режимов предусмотрен электрический нагреватель 2. Из емкости вода, пройдя через запорный клапан 3 и регулирующий 4, поступает в разрядную камеру 7. Для отбора проб исходной воды предусмотрена линия 8. Температура исходной

воды и воды после обработки фиксируется регистратором 6 с различной степенью дискретности в зависимости от заданных условий. После обработки в разрядной камере вода поступает либо в емкость, либо в фильтр с цеолитосо

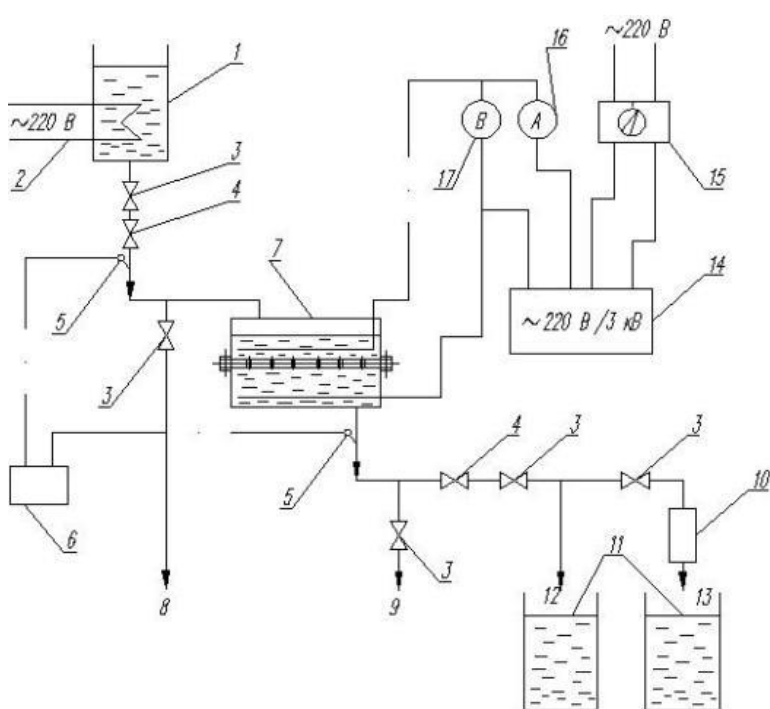


Рисунок 3 – Лабораторная схема по обеззараживанию и очистке осветленной и сетевой воды

держающей породой 10. Данный процесс регулируется различным положением запорной арматуры. Для отбора проб после обеззараживания предусмотрена линия 9. Питание электродов разрядной камеры происходит от повышающего трансформатора 14, с регулятором напряжения 15. Для оценки потребляемой мощности установлены вольт и амперметр.

Степень обеззараживания воды определялась бактериологическим анализом проб, отобранных из линий 8 и 9. Для исследования дополнительного эффекта отбирались пробы после фильтра, и оценивалось качество обработки по результатам химических анализов.

Третья глава отражает экспериментальные исследования. Цель данного раздела состоит в оптимизации факторов, влияющих на эффективность обеззараживания и очистки, а также в определении параметров для исследования оценки экономической эффективности применяемых установок.

Поскольку исследовались две системы водопользования ТЭЦ, поэтому все последующие эксперименты проведены для осветленной и сетевой воды.

Основными активными обеззараживающими компонентами, образующимися в процессе разряда, являются перекись водорода и ионы меди. Определены оптимальные диаметры отверстий в диафрагме установок ДЭР. Данные характеристики являются основными конструктивными факторами при постоянной толщине диафрагмы, обеспечивающими максимальный выход перекиси водорода и ионов меди в осветленной и сетевой воде с учетом режимных факторов функционирования ТЭЦ (рисунки 4, 5).

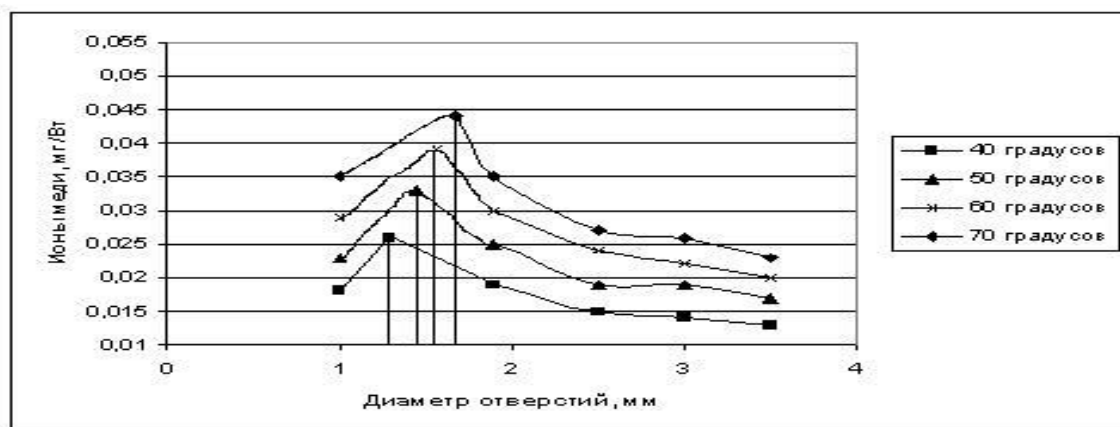
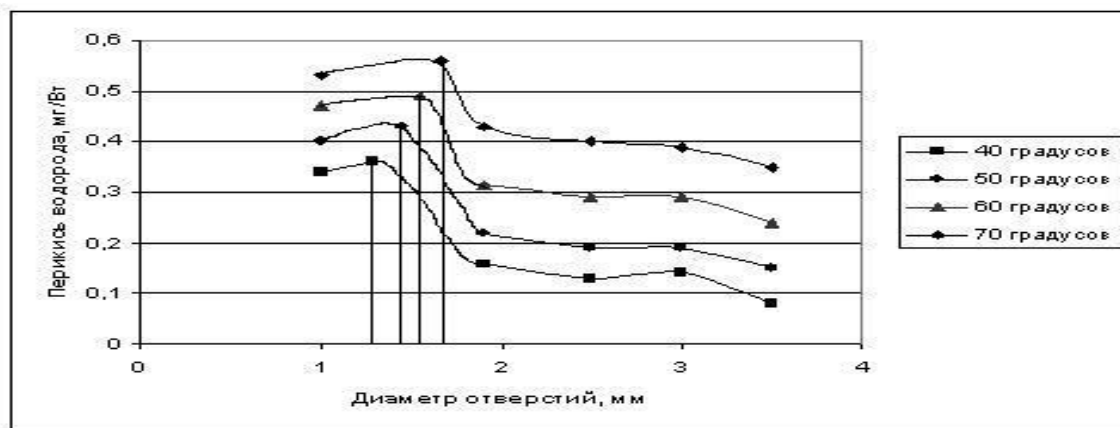


Рисунок 4 - Оптимальный диаметр отверстий диафрагм для сетевой воды

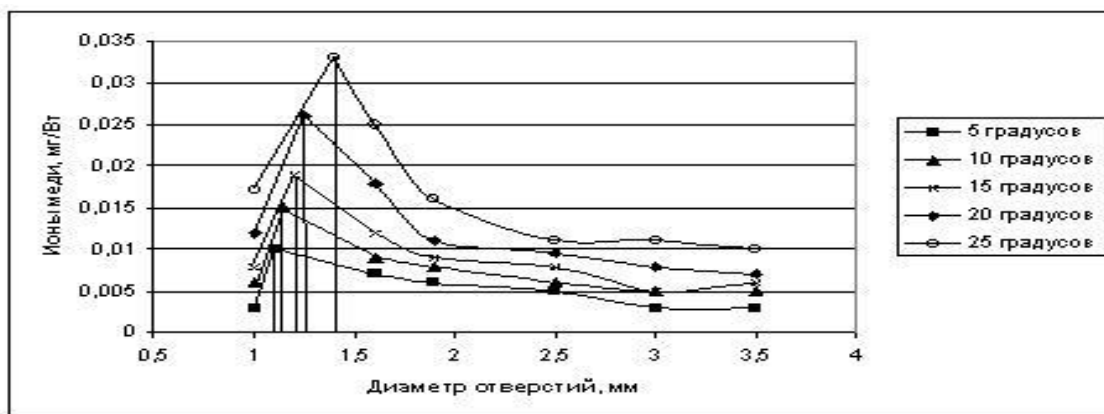
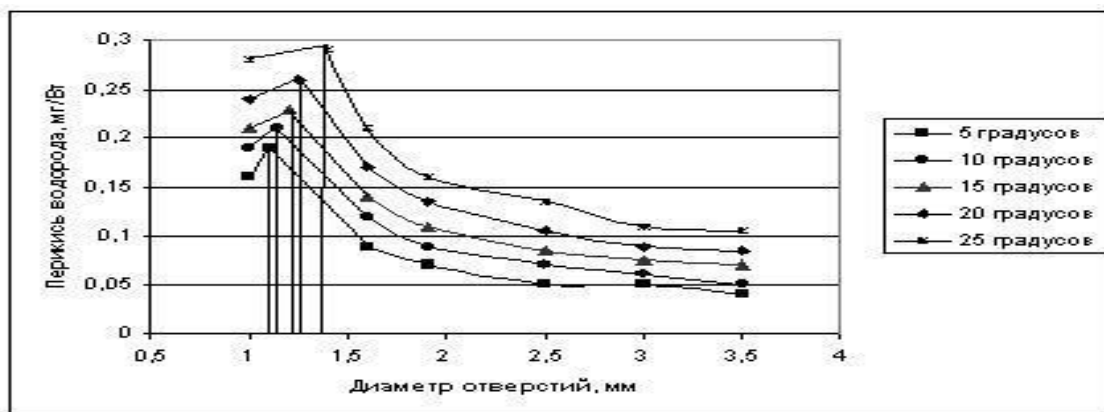
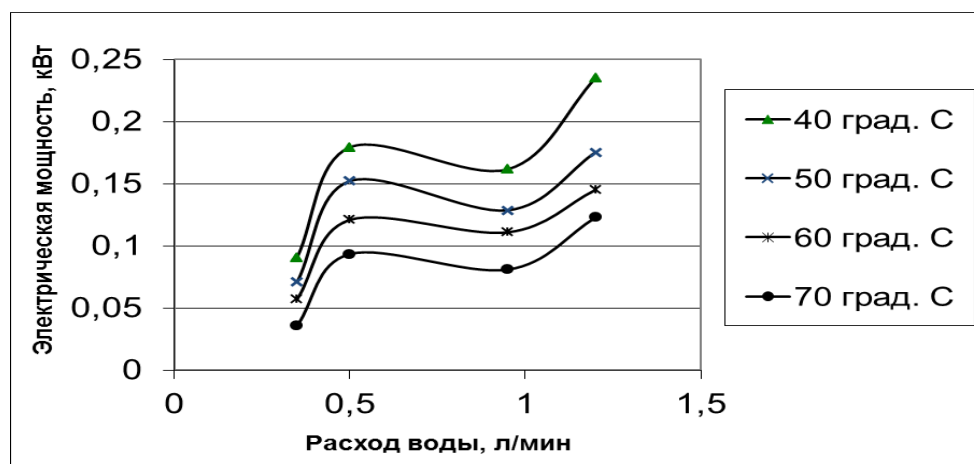


Рисунок 5 - Оптимальный диаметр отверстий диафрагм для осветленной воды

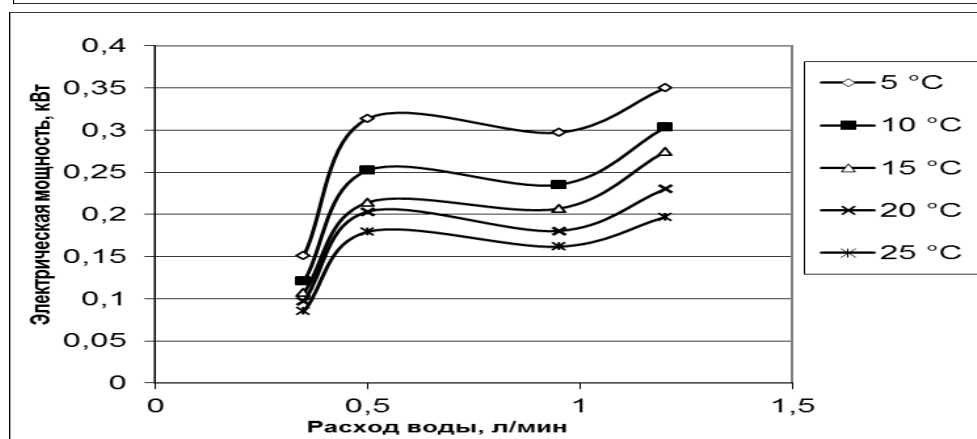
Анализируя зависимости на рисунках 4 и 5, приходим к выводу, что при изменении температуры на входе в разрядную камеру оптимальный диаметр отверстий в диафрагме: для сетевой воды составляет 1,3 мм – 40 °С, 1,4 мм – 50 °С, 1,6 мм – 60 °С, 1,7 мм – 70 °С; для осветленной воды 1,1 мм – 5 °С, 1,1 мм – 10 °С, 1,2 мм – 15 °С, 1,3 мм – 20 °С, 1,4 мм – 25 °С.

Этот факт объясняется увеличением плотности электрического тока в отверстии при уменьшении геометрических размеров, что благоприятно сказывается на эффективности генерации перекиси водорода и выходе ионов меди.

Установлены режимные факторы разряда с учетом определенных ранее оптимальных диаметров отверстий диафрагмы: влияние температуры на входе в разрядную камеру, расхода воды через камеру на электрическую мощность.



а)



б)

Рисунок 6 – Влияние мощности на расход сетевой (а) и осветленной воды (б)

На экспериментальной установке (рисунок 3) выставлялся определенный расход с помощью вентиля 4, с помощью электрического нагревателя 2 моделировалась различная температура перед камерой. При каждой началь-

ной температуре и установленному расходу жидкости через камеру определялась электрическая мощность посредством измерения силы тока и напряжения разряда. Данные заносились в таблицу, рассчитывалась электрическая мощность, строились графики (рисунок 6).

Полученные графические зависимости показывают, что электрическая мощность уменьшается с увеличением температуры и увеличивается с увеличением расхода воды. Но при расходах в диапазоне от 0,56 и до 0,95 л/мин наблюдается небольшое уменьшение электрической мощности при повышении расхода. Это происходит вследствие неустановившегося гидравлического режима, который характеризуется числом Рейнольдса. Так, например, число Рейнольдса при температуре 25 °С и расходе 0,5 л/мин составляет около 2000, а уже при расходе 0,95 л/мин около 3700 при этой же температуре.

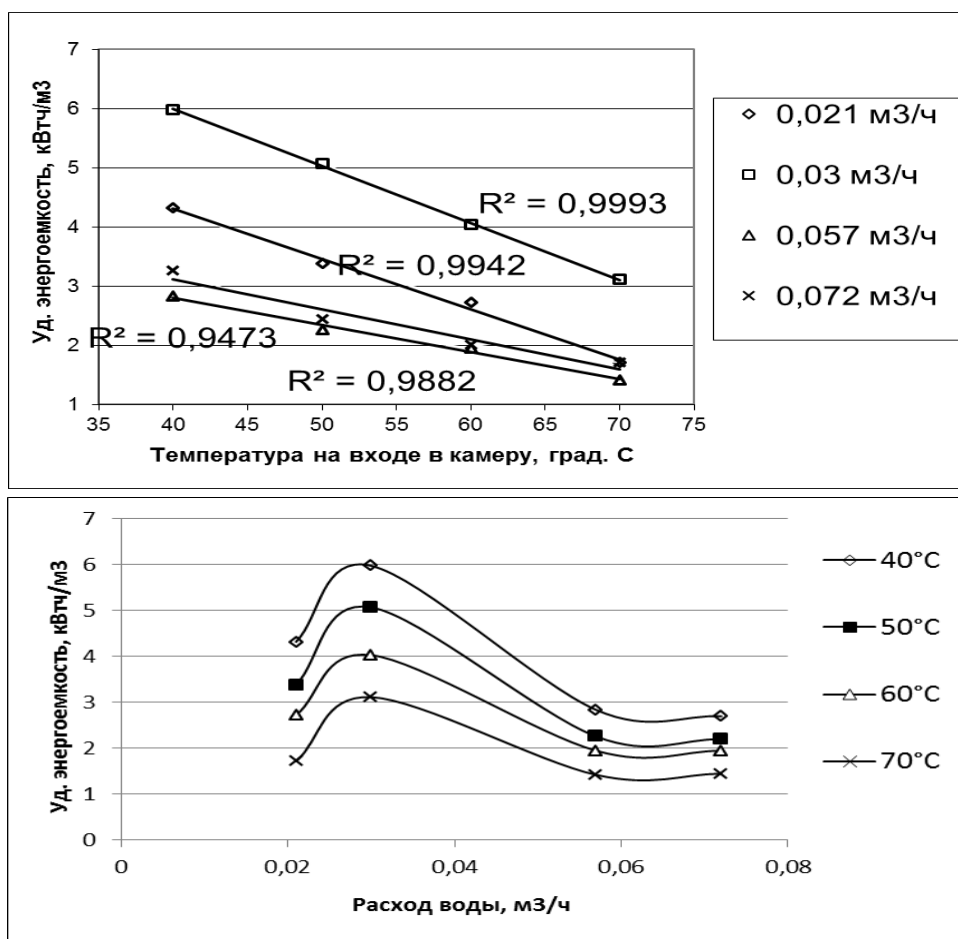
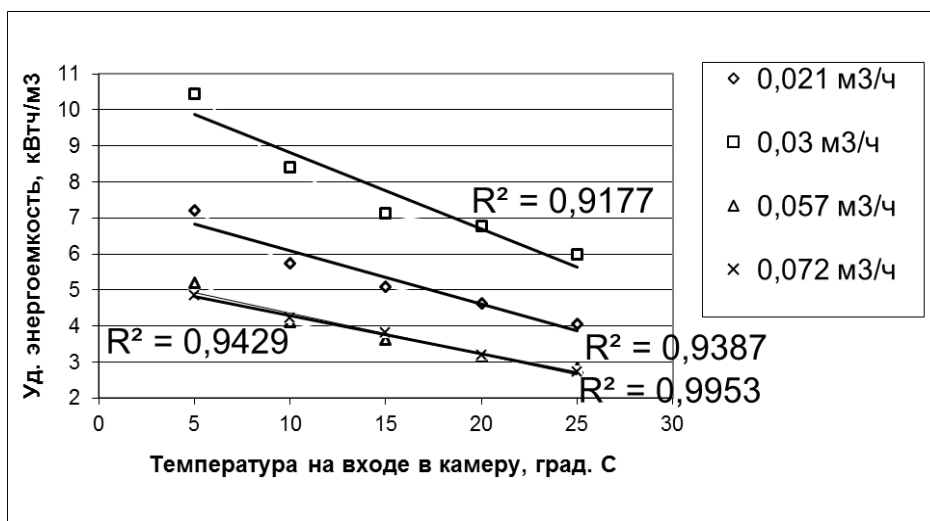


Рисунок 7 – Энергоёмкость установки по обеззараживанию сетевой воды

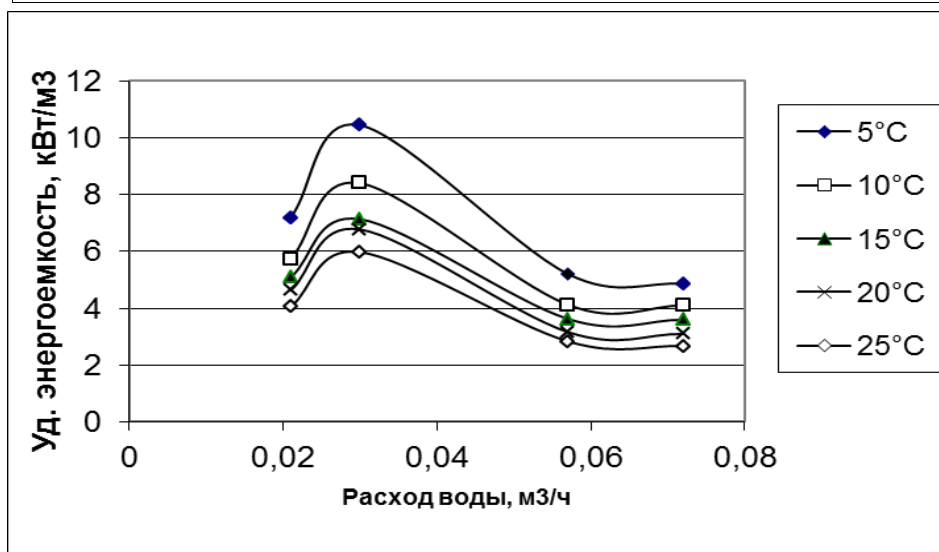
По зависимостям электрической мощности от расхода и температуры воды определялась удельная энергоёмкость (рисунок 7,8). Удельная энергоёмкость определяется как отношение электрической мощности к расходу.

Данная величина является важной эксплуатационной характеристикой установок, которая определяет затраты на ДЭР.

Для лучшей наглядности графики построены в двух интерпретациях: зависимость удельной энергоёмкости от температуры воды и зависимость удельной энергоёмкости от расхода воды. Зависимость удельной энергоёмкости от температуры воды на входе: чем выше температура, тем меньше электроэнергии требуется. Влияние же расхода воды характеризуется переходными гидравлическими режимами, описанными выше по числу Рейнольдса. Так, от 0,021 м³/ч до 0,03 ламинарный режим течения, от 0,03 до 0,057 м³/ч переходный режим, с 0,057 м³/ч турбулентный режим со стабилизацией и уменьшением удельной энергоёмкости. Поэтому при эксплуатации установки ДЭР для минимизации затрат предпочтительно использование режимов с расходами от 0,057 до 0,072 м³/ч и удельной энергоёмкостью 2,7...5,1 кВтч/м³ для осветленной и 1,5...3 кВтч/м³ для сетевой воды.



а)



б)

Рисунок 8 – Энергоёмкость установки по обеззараживанию осветленной воды

По результатам математической обработки графика удельной энергоёмкости от температуры на входе сетевой воды (рисунок 7а) получена экспериментальная зависимость теплоты, вносимой ДЭР в систему ГВС:

$$Q_{\text{ДЭР}} = -1,07 - 0,00258 \cdot t_1 - 3,18 \cdot V_G \cdot \ln V_G + 1,31 \cdot V_G^{2,5} \quad (1)$$

где t_1 – температура на входе в разрядную камеру, °С; V_G – расход воды, л/мин. Данная зависимость определяет изменение топливных издержек при последующих экономических исследованиях.

Поскольку известно, что для обеззараживания воды ДЭР необходимо обработать всего лишь некую часть и в последующем смешать ее с основным потоком и, согласно эффекта последействия, произойдет дезинфекция всего потока жидкости в течение 20...30 мин. Поэтому последующие исследование определяло, какую часть воды необходимо обработать для лучшего обеззараживания в процентном соотношении.

Исходное заражение производилось бактериями группы кишечной палочки *Escherichia coli* (*E.coli* № 25922 из музейной коллекции Центра эпидемиологии и гигиены Госсанэпиднадзора по Забайкальскому краю), так как данные микроорганизмы являются основными санитарными показателями загрязнения вод.

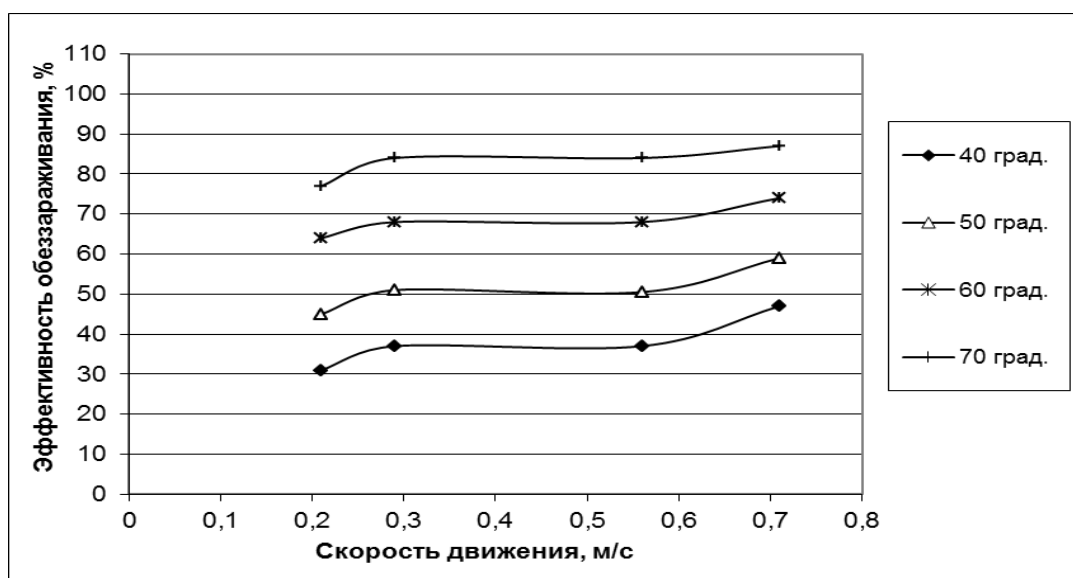
Микробиологические и химические исследования проб воды выполнены в Аккредитованном Испытательном лабораторном центре ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Забайкальском крае» (Аттестат аккредитации № ГСЭН.RU.ЦОА. 093 от 17 июля 2008 г. Действителен до 17 июля 2013 г.).

Данные эксперименты характеризуются теми же расходами, как и в предыдущих экспериментах. Переменной величиной было соотношение между исходной водой и обеззараженной, которое равнялось 99:1; 98:2; 97:3; 96:4; 95:5 %. Данные соотношения подбирались подбором и проведением экспериментальных исследований. В последующем находили оптимальное соотношение, руководствуясь затратами на электроэнергию и временем экспозиции.

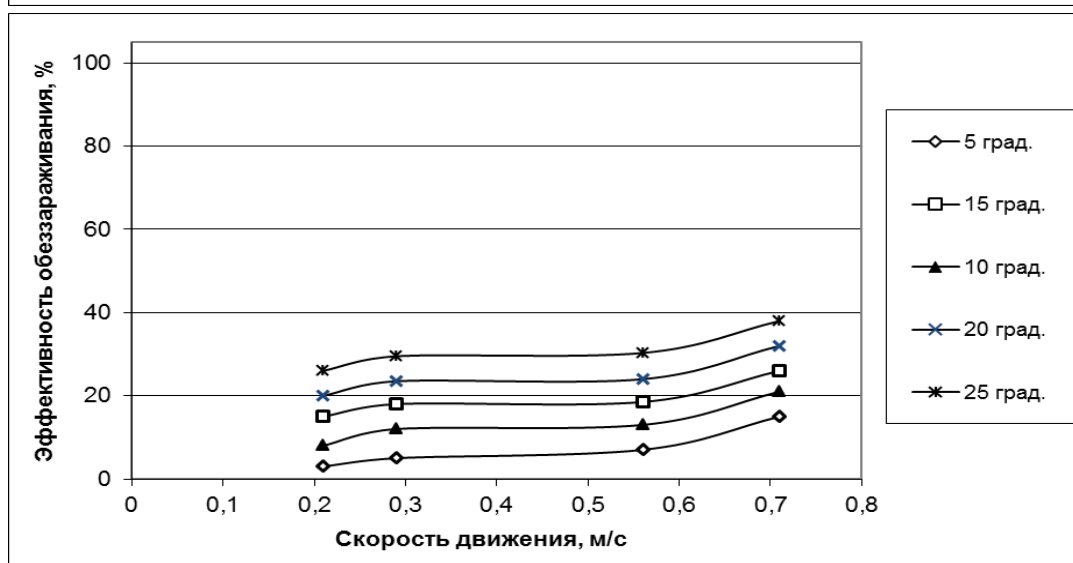
Графические зависимости, отраженные на рисунке 9, характеризуют кинетику отмирания бактерий в данный момент времени без учета эффекта последействия.

Повышение начальной температуры перед камерой электрического разряда ускоряет процессы обеззараживания. Увеличение скорости движения характеризуется большей турбулизацией потока и соответственно лучшему перемешиванию активных продуктов разряда (перекиси водорода и ионов

меди) с клетками бактерий. Экспериментально получено для систем теплоснабжения время экспозиции небольшое, поэтому используем соотношение исходной к обеззараженной воде 95:5%, а для систем ГЗУ при длительном смешении, возможно, использовать 98:2%. Расчеты энергопотребления и соотношений исходной и обеззараженной воды будут основой для исследования оценки экономической эффективности применяемых установок.



а)



б)

Рисунок 9 – Зависимость эффективности обеззараживания сетевой (а) и осветленной (б) воды от скорости ее движения

Для определения эксплуатационных характеристик цеолитсодержащих пород в фильтрах по очистке вод системы ГЗУ разработана методика повышения надежности действующих ТЭЦ и снижения их техногенного воздействия на окружающую среду. Был определен приоритетный элемент – фтор, эффективность очистки от которого снижается наиболее значительно.

Для разработки методики проведены исследования влияния сорбционных характеристик цеолита на обрабатываемую воду. Экспериментальные исследования выполнены для определения кривых насыщения цеолита по фтору. В фильтр засыпалась цеолитсодержащая порода Талан-Гозагорского месторождения. Фракция 2-5 мм. Исходный объем цеолита составил $6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$, результаты исследований отражены графической зависимостью содержания фтора от объема пропущенной осветленной воды (рисунок 10).

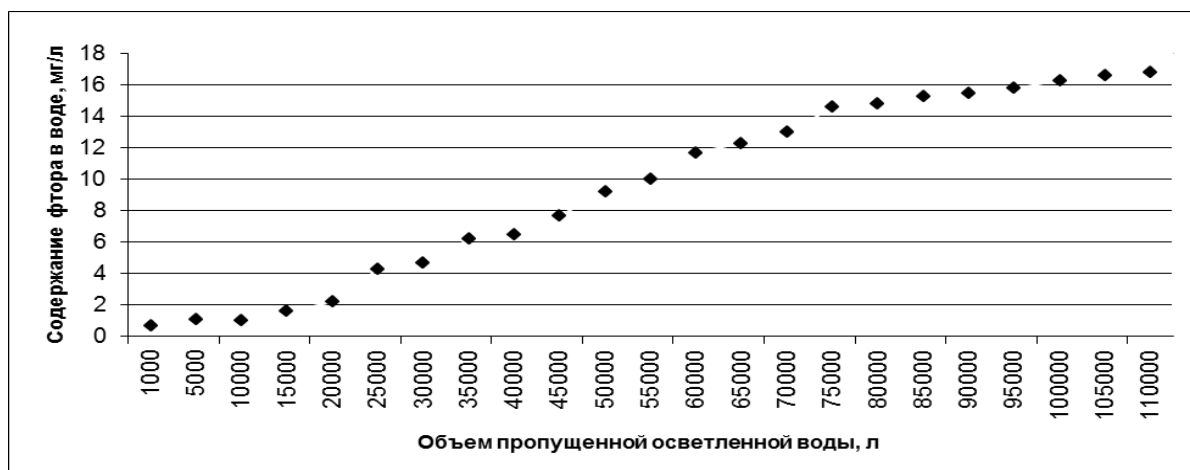


Рисунок 10 – Зависимость содержания фтора от объема пропущенной воды

Подбиралась оптимальная скорость прохождения через фильтр осветленной воды, которая выбрана таким образом, чтобы обеспечить необходимое время контакта 10-15 мин для очистки до норм ПДС фтора (1,5 мг/л) для водных объектов хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения.

В итоге по экспериментальной зависимости получена формула (2) определения концентрации фтора в воде:

$$C_{\phi} = C_{\phi}^K + (C_{\phi}^O - C_{\phi}^K) \cdot e^{-\frac{V_B^2}{(A \cdot G_{\phi})^2}} \quad (2)$$

где C_{ϕ}^K - концентрация фтора в осветленной воде без фильтрации, мг/л; C_{ϕ}^O - концентрация фтора в осветленной воде при нулевом пропуске воды через фильтр, мг/л; A – динамический коэффициент, характеризующий емкость цеолита и составляющий $1200 \text{ м}^3/\text{кг}$ для Талан-Гозагорского месторождения; G_{ϕ} - масса цеолита в фильтрах, кг; V_{ϕ} - объем пропущенной осветленной воды через фильтры, м^3 .

При этом время работы фильтра должно выбираться таким образом, чтобы величина C_{ϕ} , определенная по соотношению не превышала ПДС (ри-

сунок 11). То есть, например, при известных величинах $C_{\phi}^K = 17 \text{ мг/л}$; $C_{\phi}^0 = 0,68 \text{ мг/л}$; $G_{\phi} = 0,048 \text{ кг}$ и $C_{\phi}^{ПДС} = 1,5 \text{ мг/л}$ получаем аналитически или графически объем пропущенной осветленной воды (V_{ϕ}) через фильтр с цеолитом Талан-Гозагорского месторождения равный 13 м^3 .

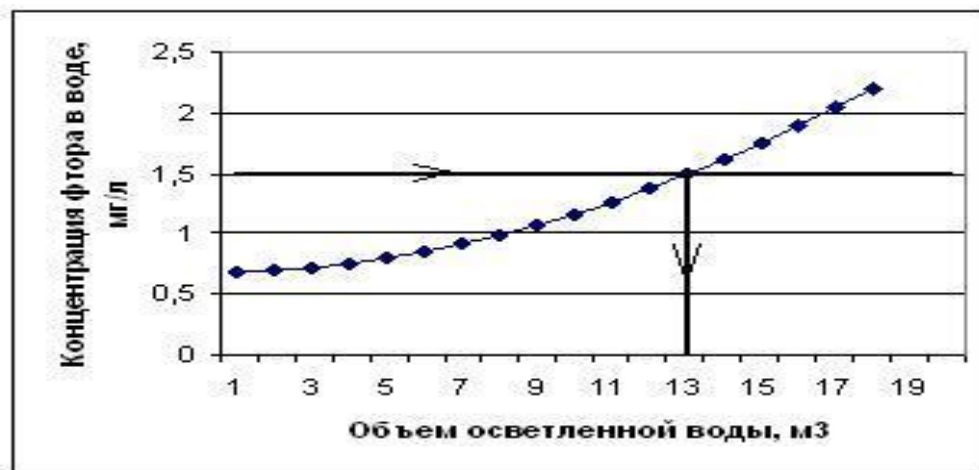


Рисунок 11 – Зависимость содержания фтора от объема пропущенной воды

Немало важной характеристикой расчета является соотношение сброса и возврата осветленной воды на ТЭЦ. Предполагается, что большая часть возвращается, а меньшая сбрасывается в водоем. Это рассматривается как способ снижения негативного воздействия на естественные водоемы и человека при водопользовании на ТЭЦ за счет применения ДЭР и цеолитсодержащих материалов в системах ГЗУ.

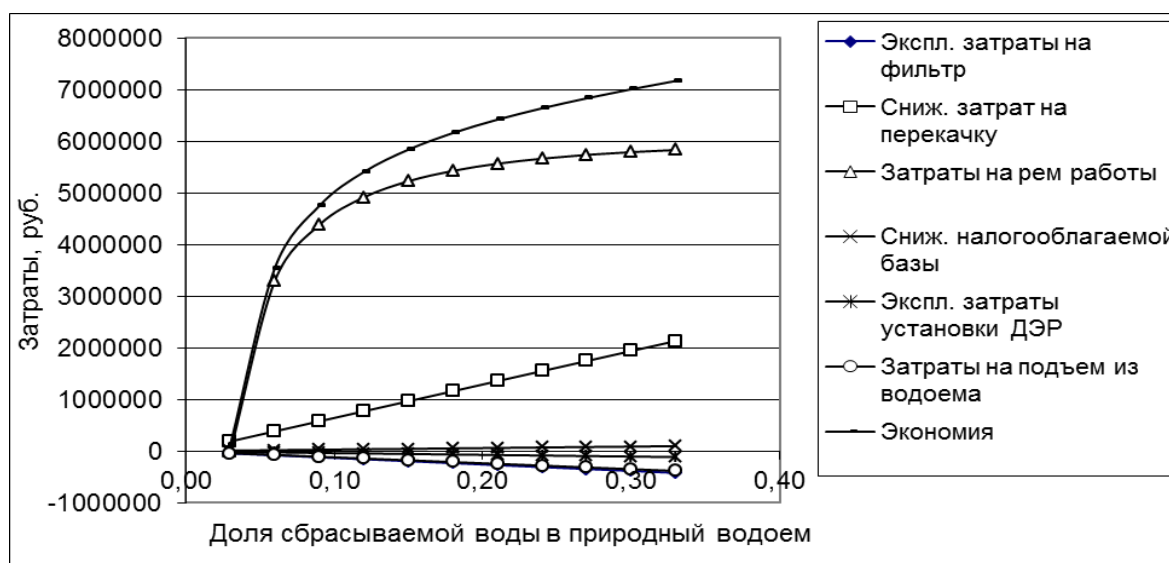


Рисунок 12 – Разница затрат до и после внедрения от соотношения сброса и возврата осветленной воды

С целью определения необходимого количества сброса осветлённой воды для предотвращения насыщения карбонатом кальция и дальнейшего образования отложений произведен экономический расчет, результаты которого отражены на графиках (рисунок 12, 13).

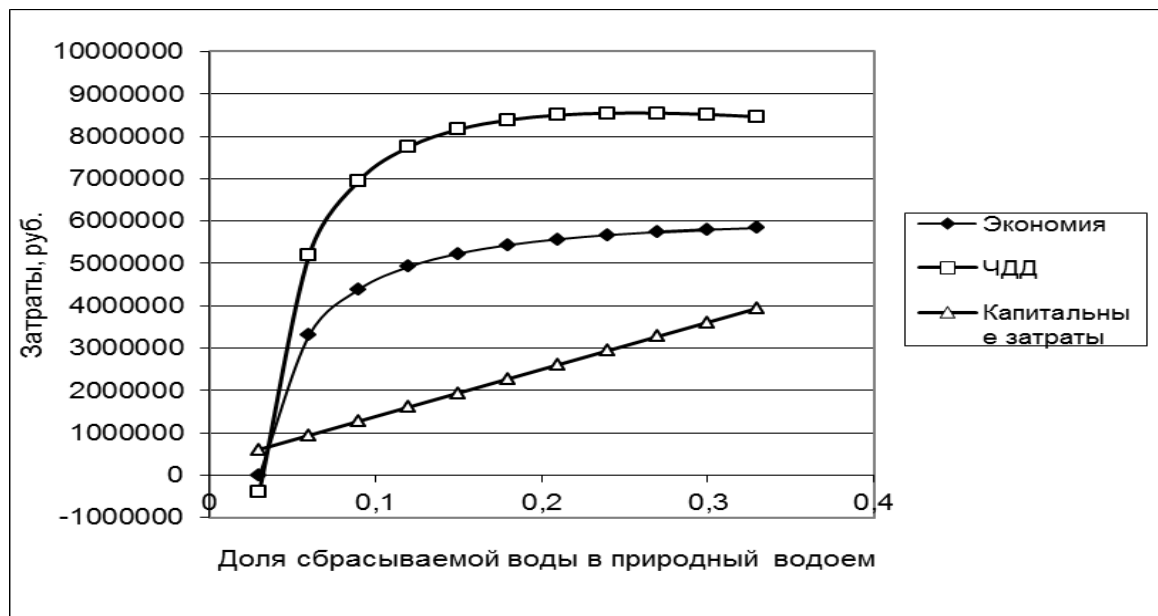


Рисунок 13 – Чистый дисконтированный доход, капитальные затраты и полученная экономия от соотношения сброса и возврата осветленной воды

Из графика (б) видно, что 0,18 (18%) является экономически обоснованной точкой, при которой чистый дисконтированный доход (ЧДД) стабилизируется.

В четвертой главе представлено исследование оценки экономической эффективности применяемых установок в системах водопользования. Для осветленной воды на примере Читинской ТЭЦ-2, а для сетевой воды для потребителя со средним расходом $0,62 \text{ м}^3/\text{ч}$. В виду своих габаритных характеристик представленная разрядная камера (рисунок 3) может быть использована в качестве промышленной установки в системах централизованного теплоснабжения с открытым водоразбором.

Исследование оценки экономической эффективности очистки и обеззараживания осветленной воды системы ГЗУ Читинской ТЭЦ-2 осуществлено с помощью расчета срока окупаемости инвестиционного проекта (РР), который составил 1,2 года.

При этом капитальные затраты на установку ДЭР и цеолитсодержащий фильтр составили 2275569,5 руб., а производственные издержки делятся на:

- издержки электроэнергии за счет транспортировки пульпы с отложениями в пульпопроводе 1167114,7 руб./год;
- издержки, связанные с ремонтными работами 1226312 руб./год;
- издержки при эксплуатации установки ДЭР 59773,57 руб./год из расчета удельной энергоемкости 2,7-5,1 кВтч/м³;
- издержки при эксплуатации цеолитсодержащего фильтра -227124 руб/год из расчета по разработанной методике объема цеолита 29,6 м³/год;
- затраты на подъем воды из природного водоема 206325 руб./год.

Для учета конечной температуры функционирования потребителей открытого водоразбора ГВС с дополнительными установками диафрагменного электрического разряда разработана комплексная математическая модель, в которой учтены разнородность тепловых нагрузок и не стационарность тепловых режимов работы.

В итоге математическая модель для потребителей позволила оценить технико-экономический эффект от применения на объектах теплоснабжения с открытым водоразбором установки ДЭР и определить зависимости температуры обратной сетевой воды от температуры прямой сетевой воды потребителя при нерасчетных значениях нагрузки горячего водоснабжения, температуры наружного воздуха и дополнительной тепловой мощности, вносимой ДЭР, определенной по формуле (1).

По результатам модели разработана программа расчета и оптимизации теплогидравлических режимов систем централизованного теплоснабжения с государственной регистрацией, что является практическим применением.

Для расчета технико-экономического обоснования технологии очистки и обеззараживания определили себестоимость 1 м³ очищенной воды и сравнили с себестоимостью 1 м³ очищенной по технологии хлорирования (таблица 1).

Таблица 1 – Экономическое сравнение вариантов очистки и обеззараживания

№	Показатель	Предлагаемая установка ДЭР и фильтра	Установка хлорирования
1	Капитальные вложения,руб	63957,5	75000
2	Амортизация, руб	12791,5	15000
3	Затраты на реагенты, руб	0	35421
4	Затраты на материалы, руб	12176	0
5	Затраты на эл/эн., руб	1696,1	0
6	Транспортные расходы,руб	1000	4000

Окончание таблицы 1 – Экономическое сравнение вариантов очистки и обеззараживания

№	Показатель	Предлагаемая установка ДЭР и фильтра	Установка хлорирования
7	Страховые взносы, руб	0	15000
8	Изменение топливных издержек, руб	9250	0
9	Итого затраты, руб	18413,6	69421
10	Годовой расход воды, м ³	2361,4	2361,4
11	Итого себестоимость на единицу объема, руб./м ³	11,0	33,2

В результате расчетов себестоимость обработки и обеззараживания в системе теплоснабжения с открытым водоразбором составляют: для установки ДЭР и цеолитсодержащего фильтра 11 руб./м³, а для хлорирования 33,2 руб./м³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы сводятся к следующему.

1. Предложен способ снижения негативного воздействия на естественные водоемы и человека при водопользовании на ТЭЦ за счет применения ДЭР и цеолитсодержащих материалов в системах ГЗУ.

2. Разработана методика повышения надежности действующих ТЭЦ и снижения их техногенного воздействия на окружающую среду за счет совершенствования технологии ГЗУ с использованием ДЭР и цеолитсодержащих материалов.

3. Установлены оптимальные диаметры отверстий в диафрагме установок ДЭР, обеспечивающие максимальный выход перекиси водорода и ионов меди в осветленной и сетевой водах.

4. Разработана программа расчета и оптимизации теплогидравлических режимов систем централизованного теплоснабжения с совмещенными схемами присоединения установок ГВС «HOT – WATER»: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2011612715.

5. Срок окупаемости инвестиционного проекта, разработанной схемы для осветленной воды составил 1,2 года.

6. Себестоимость обработки и обеззараживания сетевой воды в системе теплоснабжения с открытым водоразбором составляет: 11 руб/м³ для

установки ДЭР с цеолитсодержащим фильтром и 33,2 руб/м³ для сравнимого варианта хлорирования жидким хлором.

7. Результаты работы приняты к внедрению в системе ГЗУ на Читинской ТЭЦ-1 ОАО «ТГК-14».

8. Перспективы дальнейшей разработки темы состоят в детальном изучении поведения цеолитсодержащей породы в условиях ее комплексного функционирования с установками ДЭР на ТЭЦ.

Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

Ведущие рецензируемые научные журналы из перечня ВАК

1. Батухтин, А.Г. Обеззараживание воды в системах централизованного теплоснабжения [Текст] / А.Г. Батухтин, В.В. Петин, И.Ф. Суворов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. - № 1. – С. 209–212.

2. Петин, В.В. Современные технологии использования электрической энергии в системах централизованного теплоснабжения [Текст] / В.В. Петин, А.Г. Батухтин, А.В. Калугин, П.Г. Сафронов // Научно-технические ведомости СПбГТУ. –2010. – № 4. – С. 32–38.

3. Петин, В.В. Комплексное использование инновационных методов обработки воды в системе «ТЭЦ-потребитель» [Текст] / В.В. Петин, А.Г. Батухтин, Ю.В. Дорфман // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 2011. – № 1. – С.63–68.

4. Петин, В.В. Оптимизация характеристик диафрагменного электрического разряда для систем водопользования ТЭС [Текст] / В.В. Петин, А.Г. Батухтин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. №1.– С. 367–370.

5. Программа расчета и оптимизации теплогидравлических режимов систем централизованного теплоснабжения с совмещенными схемами присоединения установок ГВС «HOT – WATER» [Текст]: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2011612715: / Батухтин А.Г., Петин В.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Читинский государственный университет.– № 2011611134/11; заявл. 22.02.2011; зарег. 06.04.2011.

Статьи в материалах всероссийских и международных конференций

6. Петин, В.В. Об экологически безопасном складировании золошлаковых отходов ТЭС [Текст] / В.В. Петин, С.Ф. Мирошников // Материалы четвертой Всероссийской научно-практической конференции «Кулагинские чтения». – Чита: ЧитГУ, 2004. Ч. I.– С. 119–122.

7. Петин, В.В. Экологическая обстановка города Читы. Мероприятия Читинской ТЭЦ-2, направленные на улучшение экологии города [Текст] / В.В. Петин, С.Ф. Мирошников // Сборник докладов четвертой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Энергетика: управление,

качество и эффективность использования энергоресурсов». – Благовещенск: АмГУ, 2005. – С. 544–546.

8. Петин, В.В. Проблемы золоулавливания Читинских ТЭЦ [Текст] / В.В. Петин // Материалы третьей Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика в современном мире». – Чита: ЧитГУ, 2006. – С. 48–50.

9. Петин, В.В. Применение осветленной воды системы гидрозолоудаления для орошения труб Вентури [Текст] / В.В. Петин, С.А. Иванов // Материалы тринадцатой Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии СТТ 2007» – Томск: ТПУ, 2007. Т.3.– С. 243–245.

10. Петин, В.В. Борьба с отложениями в оборотных системах гидрозолоудаления [Текст] / В.В. Петин, С.Ф. Мирошников, С.А. Иванов // Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых; под ред. Е.В. Торопова «Проблемы теплоэнергетики». – Челябинск: ЮУрГУ, 2007.– С. 101–103.

11. Петин, В.В. Снижение скорости образования отложений в системах гидрозолоудаления ТЭС [Текст] / В.В. Петин, С.Ф. Мирошников, С.А. Иванов // Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии». – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. – С. 177–179.

12. Петин, В.В. Эксплуатация систем гидрозолоудаления при сжигании на ТЭС твердого топлива с высоким содержанием кальция [Текст] / В.В. Петин, С.А. Иванов, С.Ф. Мирошников // Материалы тринадцатой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность». – Томск: ТПУ, 2007. – С. 132–134.

13. Петин, В.В. Особенность образования отложений в системах гидрозолоудаления при сжигании угля в низкотемпературном кипящем слое [Текст] / В.В. Петин // Материалы четвертой Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика в современном мире». – Чита: ЧитГУ, 2009. – С. 16–18.

14. Петин, В.В. Проблемы современных систем централизованного теплоснабжения с открытым водоразбором [Текст] / В.В. Петин, А.Г. Батухтин, С.А. Иванов // Материалы шестнадцатой Всероссийской конференции «Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах». – Санкт-Петербург: СПбГТУ. 2010. Т.1. – С. 200–201.

15. Петин, В.В. Установка по обеззараживанию в схеме открытого водоразбора [Текст] / В.В. Петин // Материалы шестнадцатой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность». – Томск: ТПУ, 2010. – С. 99–101.

16. Петин, В.В. Способы предотвращения микробиологического загрязнения в открытых системах ГВС [Текст] / В.В. Петин, А.Г. Батухтин, Е.А. Железнова, Т.Л. Соловьева // Материалы второй Международной научно-практической конференции «Чистая капля воды». – Чита: ЗабГУ, 2012. – С. 65–68.
17. Batukhtin, A.G. MODERN METHODS OF MODERNIZATION EXISTING SYSTEMS HEAT / A.G. Batukhtin, M.V. Kobylkin, A.V. Mitkus, V.V. Petin // RESEARCH JOURNAL OF INTERNATIONAL STUDIES. – 2013. № 7-2. С. 40–45. = Батухтин А.Г. Современные способы модернизации существующих систем теплоснабжения [Текст] / А.Г. Батухтин, М.В. Кобылкин, А.В. Миткус, В.В. Петин // МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЖУРНАЛ. – 2013. №7 (14). Часть 2.– С. 40–45.