

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.04.03. Энергетическое машиностроение

Кафедра Парогенераторостроения и парогенераторных установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование изменения свойств ионитных материалов в зависимости от условий эксплуатации ВПУ котельных установок различного назначения

УДК 544.726: 621.182.13-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4А	Акулов А.Д.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тайлашева Т.С.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Романцов И.И.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПГС и ПГУ	Заворин А.С.	Д.Т.Н., профессор		

Томск – 2016 г.

Запланированные результаты обучения по ООП 13.04.03 «Энергетическое машиностроение»

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	Способность и готовность самостоятельно учиться и развивать свой общекультурный и интеллектуальный уровень, изменять свой научный и научно-производственный профиль в течение всего периода профессиональной деятельности с учетом изменения социокультурных и социальных условий, вести педагогическую работу в области профессиональной деятельности
P2	Способность проявлять и использовать на практике навыки и умения организации работ по решению инновационных инженерных задач в качестве члена или руководителя группы, нести ответственность, в том числе в ситуациях риска, за работу коллектива с применением правовых и этических норм при оценке и самооценке профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов, проблемных инженерных задач
P3	Способность и готовность приобретать и применять новые знания и умения с использованием методологических основ научного познания и библиографической работы с привлечением современных технологий, понимать роль информации в развитии науки, анализировать её естественнонаучную сущность, синтезировать и творчески применять при решении инновационных профессиональных задач
P4	Способность и готовность проявлять в инновационной деятельности глубокие естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте
P5	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной сфере и в обществе в целом, принимать нестандартные решения с использованием новых идей, разрабатывать, оформлять, представлять и докладывать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке
Профессиональные компетенции	
P6	Способность и готовность выполнять инженерные проекты с использованием современных технологий проектирования для разработки конкурентно

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	способных энергетических установок с использованием знаний теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах и аппаратах
P7	Способность и готовность ставить и решать инновационные задачи инженерного профиля, анализировать, искать и выработать компромиссные решения с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний в условиях неопределенности, использовать методы решения задач оптимизации параметров в различных сложных системах
P8	Способность и готовность проводить инновационные инженерные исследования, технические испытания и (или) сложные эксперименты, формулировать выводы в условиях неоднозначности с применением глубоких теоретических и экспериментальных методов исследований, современных достижений науки и передовых технологий, строить и использовать модели с применением системного подхода для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, описывать результаты выполненной работы, составлять практические рекомендации по их использованию
P9	Способность и готовность оценивать техническое состояние объектов профессиональной деятельности, с применением современного оборудования и приборов, анализировать и разрабатывать рекомендации по их надежной и безопасной эксплуатации, понимать проблемы научно-технического развития сырьевой базы, современных технологий по утилизации отходов в энергетическом машиностроении и теплоэнергетике и научно-техническую политику в этой области
P10	Способность и готовность к эффективному участию в программах освоения новой продукции и технологий, использованию элементов экономического анализа в практической деятельности на предприятиях и в организациях, готовность следовать их корпоративной культуре

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Энергетический
 Направление подготовки: 13.04.03 Энергетическое машиностроение
 Кафедра: парогенераторостроения и парогенераторных установок

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ПГС и ПГУ
 _____ Заворин А.С.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5ВМ4А	Акулову Андрею Дмитриевичу

Тема работы:

Исследование изменения свойств ионитных материалов в зависимости от условий эксплуатации ВПУ котельных установок различного назначения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№716/с от 03.02.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект исследования</p> <p>Стенд, макет установки ионного обмена, с имитацией ионитных фильтров. Число фильтров – 3 шт. Ионитный материал КУ-2-8</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введение (с обоснованием темы и цели работы) 2. Классификация современных ионитных материалов. 3. Аналитический обзор проблемы (обзор литературы) 4. Объект и методы исследования 5. Применяемые методики 6. Исследование свойств ионитных материалов при различных условиях 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 8. Социальная ответственность 9. Заключение
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Эскиз объекта исследования (формат А2) – 1 лист; Результаты исследования (формат А2) – 1 лист</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p style="text-align: center;">«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p style="text-align: center;">Попова Светлана Николаевна</p>
<p style="text-align: center;">«Социальная ответственность»</p>	<p style="text-align: center;">Романцов Игорь Иванович</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Классификация современных ионитных материалов. Особенности эксплуатации ВПУ с различными схемами. Основные факторы, влияющие на условия экономической и надежной работы.</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>14.03.2016 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p style="text-align: center;">Доцент</p>	<p style="text-align: center;">Тайлашева Т.С.</p>	<p style="text-align: center;">к.т.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p style="text-align: center;">5ВМ4А</p>	<p style="text-align: center;">Акулов А.Д.</p>		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5ВМ4А	Акулов Андрей Дмитриевич

Институт	Энергетический	Кафедра	Парогенераторостроения и парогенераторных установок
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Энергетическое машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования и области его применения	<i>Объектом исследования является цех химической водоочистки предназначенный для подпитки водогрейных котлов малой производительности.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Планирование работ	<i>Составить перечень работ, необходимых для достижения поставленных задач, определить участки каждой работы, установить продолжительности работ в рабочих днях.</i>
2. Расчет трудоемкости работ	<i>Составить перечень работ, необходимых для достижения поставленной задачи; определение объема работ; определение эффективности проведенных работ.</i>
3. Расчет затрат на выполнение поставленных задач	<i>Рассчитать и определить: основные расходы на оборудование, заработную плату, строительные работы; текущий ремонт; комплектующие материалы.</i>
4. Техничко-экономическая оценка научно-исследовательской работы	<i>Оценка проведенной работы</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ВМ4А	Акулов Андрей Дмитриевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 96 страниц, 16 источников, 11 рисунков, трех приложений.

Ключевые слова: водоподготовительная установка ионитный материал, регенирационный раствор, обменная емкость, установка обезжелезивания.

Объектом исследования является ионитный материал в условиях экспериментальной установки.

Цель работы – исследование изменения свойств ионитных материалов в зависимости от различных условий эксплуатации ВПУ котельных установок различного назначения.

В процессе исследования проводились серии экспериментов с помощью макета (стенда) ВПУ.

В результате проведенного исследования было определено влияние эксплуатационных факторов на ионит в процессе его работы.

В данной работе были рассмотрены – факторы, влияющие на работу ионитного материала в условиях стенда (макета) ВПУ.

Экономическая значимость работы: данная работа имеет важное значение, так как в целом направлена на решение актуальной стратегической задачи – обеспечение надежности и долговечности энергетического оборудования.

Обозначения и сокращения

ВПУ – водоподготовительная установка;

ИО – ионный обмен;

ТЭС – тепло электростанция;

УОО – Установка обратного осмоса;

ЧС – чрезвычайные ситуации;

КЕО – коэффициент естественной освещенности;

ВНС – водоносная станция;

КУ – котельная установка.

Список публикаций

1. Акулов А.Д. Стенд для исследования деградации свойств ионитов в условиях эксплуатации водоподготовительной установки // Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов и магистрантов «Молодая мысль – развитию энергетики», г. Братск, 2016г. – с. 223-227

Оглавление

	С
Введение	11
2 Классификация современных ионитных материалов	12
3 Аналитический обзор проблемы (обзор литературы)	15
3.1 Использование технологии ионного обмена в современных ВПУ ...	15
3.2. Особенности режимов эксплуатации ВПУ и ВХР	16
3.3 Современные технологии в методах очистки воды.....	18
3.4 Ионитные материалы. Условия использования.....	19
4 Объект и методы исследования	26
4.1 Выбор ионитного материала.....	26
4.2 Описание объекта	27
5 Применяемые методики.....	31
5.1 Определение общей жесткости.....	31
5.2 Определение содержания соединений железа	32
5.3 Определение общей щелочности.....	34
5.4 Оценка полной и рабочей обменной емкости.....	36
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	38
7.2 Экономические данные	42
7.3 Заключение расчета замены катионита.....	43
7.4 Установка обезжелезивания	43
7.6 Расчет средств на строительство водонасосной станции (ВНС)	43
7.7 Заключение по разделу финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения	47

Введение

Вода является одним из самых потребляемых природных ресурсов. С развитием техники неуклонно возрастает использование в технологических процессах глубокоочищенной воды, достижение необходимого качества которой обеспечивается функционированием водоподготовительных установок (ВПУ). [14]

Энергетическая отрасль является крупнейшим средоточием водоподготовительных установок различной производительности. На сегодняшний день на каждом объекте теплоэнергетики задействовано от одной до нескольких установок различных технологий подготовки воды. [13]

Самой распространенной технологией водоподготовки в энергетике признан ионный обмен. Эта технология является надежной и позволяет добиться качества воды, соответствующего нормам различных промышленных и энергетических объектов.

Наряду с этими «классическими» схемами обработки воды для питания энергетических установок достаточно широко распространены термическое обессоливание, а также мембранные технологии, которые в последнее время привлекают все большее внимание специалистов.

При реконструкции и модернизации действующих ВПУ, а также при проектировании новых, активно используются признанные и широко известные в нашей стране и за рубежом способы противоточной технологии ИО и мембранный метод очистки воды. Таким образом можно видеть, что особенности технологии ионного обмена и свойства ионитных материалов играют важную роль и требуют внимания. Исследования влияния различных эксплуатационных факторов на свойства ионитных материалов поможет сформировать рекомендации по экономичной и надежной работе оборудования ионного обмена.

2 Классификация современных ионитных материалов

Иониты – это твердые нерастворимые вещества, способные обменивать свои ионы на ионы окружающего их раствора. Обычно это синтетические или органические смолы, имеющие кислотные или щелочные группы. Иониты в свою очередь разделяются на катиониты способные поглощать катионы и иониты поглощающие анионы. На рисунке 1 представлено изображение, нового ионита под микроскопом. [15]

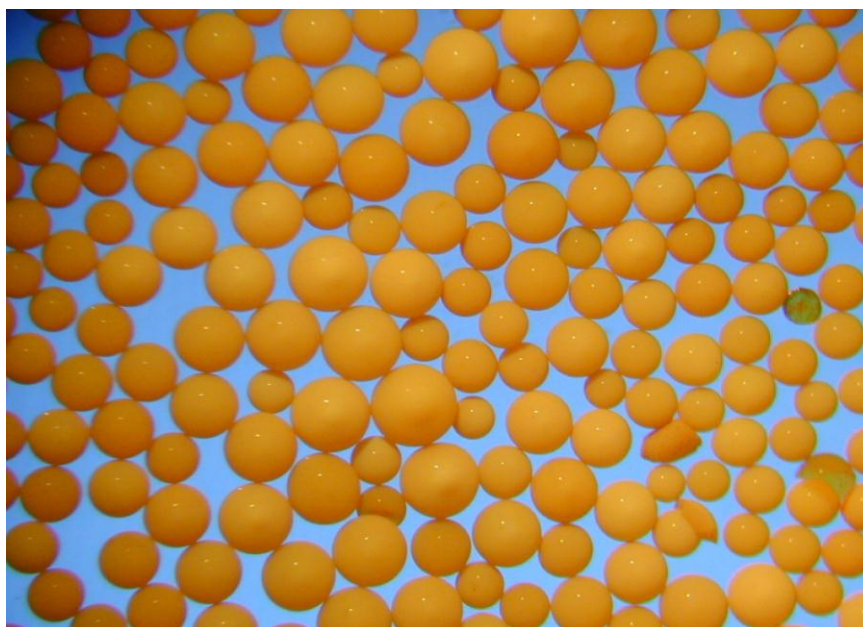


Рисунок 1 – Новый ионит перед загрузкой в фильтр

Основными свойствами ионитов являются:

- обменная емкость;
- обратимость процесса обмена;
- селективность;
- механическая прочность;
- осмотическая стабильность.

Обменная емкость важный показатель ионитных материалов. В условиях неоднократного применения ионита, в цикле фильтрации. Обменная емкость в процессе работы фильтра используется не в полном объеме, а лишь частично. Степень использования определяется методами регенерации и расходом

регенерирующего раствора, временем контакта ионита с водой и с регенерирующим агентом, концентрацией солей, жесткости исходной воды, конструкцией и гидродинамикой используемого аппарата.

Обратимость процесса ионного обмена является одним из важнейших правил, позволяющих экономично использовать ионообменный материал в технологиях и схемах. При истощении ионита можно, повысив в растворе концентрацию первоначальных обменных ионов, сдвинуть реакцию ионного обмена в направлении восстановления ионита в исходное состояние, т. е. произвести регенерацию ионита.

При обработке многокомпонентного раствора, каким является природная вода, большое значение имеет преимущественная абсорбция ионитами одних ионов по сравнению с другими. Причиной, вызывающей селективность ионного обмена, является различие энергий притяжения различных ионов твердой фазой, обусловленной величинами радиуса адсорбируемых ионов и их зарядов.

Механическая прочность обуславливается способностью ионита сопротивляться физическим воздействиям, истиранию и сдавливанию. Повышение механической прочности зерен ионита приводит к ухудшению ионного обмена.

Наибольшее разрушение ионов происходит при изменении характеристик среды в которой они находятся, так как иониты представляют собой гелиевую структуру, их объем зависит от содержания соли, жесткости среды и ионной формы самого ионитного материала. При изменении этих показателей, объем зерен ионита изменится. Вследствие осмотического эффекта объем зерна в концентрированных растворах меньше. Однако это изменение происходит не одновременно, а по мере выравнивания концентрации «нового» раствора по объему зерен. Поэтому внешний слой сжимается или расширяется быстрее, чем внутренний, возникают большие напряжения и происходит раскалывание верхнего слоя, или зерна в целом. Такое явление называется «осмотический шок». Каждый из ионитов, способен

выдерживать определенное число циклов таких изменений характеристик среды. Эта характеристика и называется его осмотической прочностью или стабильностью.

Объем и ассортимент современных ионитных материалов широк, это продукция как российского, так и зарубежного производства.

Отличительной особенностью градации ионитных материалов является характеристика диффузионного слоя, разделяется на две группы:

- с положительными ионами – катиониты
- с отрицательными ионами – аниониты

Кроме того, иониты могут различаться по структуре, свойствам, функциональным группам и т.д.

Общая классификация ионитных материалов приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация ионитов

Признак классификации	Катиониты		Аниониты	
	по функциональной группе	- SO ₃ H	- COOH - OH	- первичные - вторичные - третичные
по химическому составу	сильнокислотные	слабокислотные	слабоосновные	сильноосновные
по значению рабочей среды	при любом PH	при PH > 7	при PH < 7	при любом PH
по структуре	- глеевые - макропористые	макропористые	с полимерной полистирольной матрицей	с полимерной акриловой матрицей

3 Аналитический обзор проблемы (обзор литературы)

3.1 Использование технологии ионного обмена в современных ВПУ

Рассматривая тонкости использования ионитных материалов, возникает масса вопросов. Так как ионно-обменная технология, которая сегодня широко применяется, имеет существенные недостатки. Такие как большой расход реагентов, необходимых для регенерации ионитных фильтров и большое количество сточных вод. Решением данной проблемы может стать комбинированное применение обратноосмотических установок (УОО) и технологии ионного обмена что потребует значительных реконструкционных и финансовых затрат. Результатом нововведений станет увеличенный срок эксплуатации ионита сократится расход регенерирующего раствора и значительно снизится уровень сточных вод. [1]

Активное применение противоточной технологии ионного обмена вскрывает ряд особенностей. В работе [2] рассматривается эффективность регенерации ионитных фильтров различными видами, такими как АПКОРЕ ПЮРОПАК и прямоточным способами. В работе схематично изображена установка с возможностью исследования прямой и противоточной регенерации, рисунок 2, а также представлены графические зависимости, которые были получены в ходе исследования способов регенерации на данной установке. Установлено что продолжительность фильтроцикла при работе в противоточных режимах в 1,5 больше чем в прямотоке.

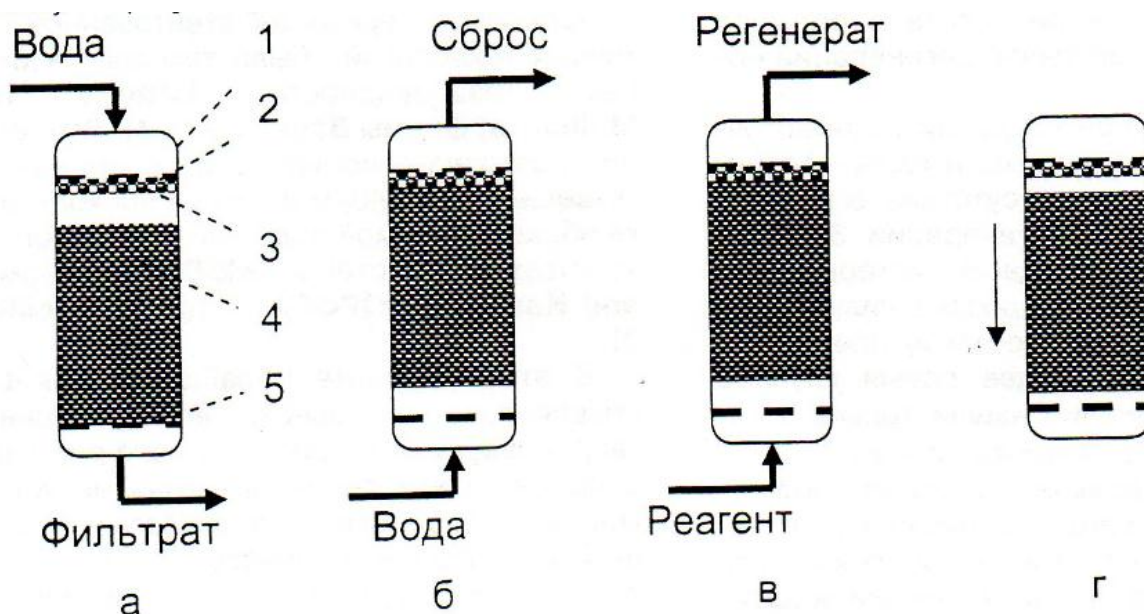


Рисунок 2 – Принцип работы системы АПКОРЕ

а – режим сорбции; б – подъем слоя и его отмывка от взвесей; в – регенерация; г – осаждение. 1 – корпус; 2 – верхний дренаж; 3 – слой инерта; 4 – ионит; 5 – нижний дренаж

В другой статье [3] так же рассматриваются вопросы технологии противоточной регенерации ионообменных смол периодического действия. Отмечается что ключевым фактором, определяющим успешную реализацию любого противоточного процесса, является обеспечение сохранности слоя ионита в «зажатом» состоянии без внутреннего перемешивания как в режиме рабочего цикла, так и при проведении регенерации. Так же рассматриваются достоинства и недостатки конструкции фильтров с прямым и обратным принципом работы.

3.2. Особенности режимов эксплуатации ВПУ и ВХР

В научной статье [4] рассматривается эффективность регенерации ионитных фильтров различными способами. Ионнообменные фильтры периодического действия могут регенерироваться в прямоточном либо противоточном. Основной задачей при создании противоточных фильтров является обеспечением отсутствия перемешивания слоя, как правило это

усложняет конструкцию и эксплуатацию оборудования. В настоящее время в промышленности применяются три типа таких фильтров, они описываются в данной статье. Первый тип фильтра с прямоточной очисткой воды и с противоточной регенерацией, в таком фильтре при регенерации предотвращают движение слоя воздухом, при такой схеме увеличивается объем воды, затрачиваемой на собственные нужды, но существенно сокращается расход реагента при регенерации. Следующий тип с противоточным умягчением и прямоточной регенерацией, ионит в такой схеме располагается между двумя дренажными устройствами. Достоинством такой схемы является низкое потребление воды на собственные нужды, и большой объем ионита в фильтре что позволяет либо уменьшить конструкцию фильтра, либо увеличить цикл работы. Третий тип фильтра с прямоточным умягчением и противоточной регенерацией по конструкции он схож со вторым типом фильтра, но в отличии от второго у него снижен объем сточных вод.

В научной статье [5] описываются примеры условий, при которых по мнению автора необходимо применение химических добавок в сетевые системы водоснабжения. Для котельных жилищно-коммунального хозяйства в которых чаще всего используются водогрейные котлы, либо паровые с низким давлением пара, эти котлы являются жаротрубными и подвержены образованию накипи и отложений на стенках труб. Практика показывает, что без аварийная эксплуатация таких котельных возможна, если схема предусматривает наличие ионообменной технологии, обработки воды. Так же в статье представлены нормативные документы, нормы качества питьевой и подпиточной воды. Установлена взаимосвязь мощности теплового потока и температур пристенного слоя воды с накипеобразованием.

В статье [6] описывается применение реагента зарубежного производства служащего для предотвращения образования накипи на поверхностях нагрева. При появлении отложений на внутренних стенках трубопровода возрастает расход топлива что приводит к снижению мощности

котельной. В работе приведены технические показатели, в том числе и содержания органических веществ в реагенте и рекомендации по его дозировке. Принцип действия реагента основывается на содержащихся в нем органических веществах, которые притягивают соли железа, хлориды, соли кремневой кислоты и др. Так же данный реагент способствует удалению уже существующей накипи в котле. Большой плюс состоит в том, что осуществлять профилактику, можно не останавливая всю систему.

3.3 Современные технологии в методах очистки воды

Существуют различные подходы к проектированию и оптимизации водоподготовительных установок, основанных на интегрировании мембранных технологий ИИО. В процессе проектирования ВПУ следует уделять внимание комплексному подходу и учитывать все достоинства и недостатки технологий подготовки воды и связи их между собой.

В работе [7] приведен принципиальная схема ВПУ с применением мембранных технологий, следствием такого подхода является уменьшение площади, занимаемой ВПУ, уменьшение затрат на строительство и снижение эксплуатационных затрат. Так же отмечается, что использование цепочной схемы для технологической связи различных циклов очистки воды обеспечивает высокую надежность работы ВПУ. Основным плюсом данной схемы является обеспечение стабильно высоких показателей очистки воды.

В работе [8] речь идет о повышении экономической эффективности систем ВПУ с применением установок ультрафильтрации. Ультрафильтрация, это процесс мембранного разделения растворов высокомолекулярных и низкомолекулярных соединений. Эта технология является сложно моделируемым процессом в отличие от процессов ионного обмена, поэтому при проектировании систем водоочистки с технологией мембранной ультрафильтрации следует опираться на опыт эксплуатации, статистику и показания пилотных испытаний непосредственно на воде данного источника.

В статье так же представлены методология расчета установок ультрафильтрации и графические зависимости удельной производительности и продолжительность работы установки по сравнению с другими системами.

В работе [9] авторы предлагают использовать электрическое поле для интенсификации поглощения ионов кальция ионитом. В статье приведены расчеты и таблица из которой видно, что время защитного действия, степень использования обменной емкости и объем умягченной воды увеличивается на 40 % по сравнению с работой обычной ионообменной колонной.

3.4 Ионитные материалы. Условия использования

Современные ионитные материалы представлены в большом разнообразии, но все они обладают перечнем технических характеристик.

Ухудшение работы установки ионного обмена за частую связано с изменением основных технических свойств и характеристик материалов, которые определяются эксплуатационным воздействием:

- скорость пропуска воды влияет;
- скорость пропуска регенерационного раствора;
- концентрация примесей в регенерационном растворе;
- температурный режим.

В отечественной и зарубежной практике подготовки подпиточной воды для котлов разной мощности благоприятным температурным режимом воды при проведении ионообменных процессов принято считать (20 ± 5) °С.

При отказе от подогрева исходной воды и снижении температуры (до 5–10 °С) отмечаются закономерности, которые требуют увеличения эксплуатационных и капитальных затрат на водоподготовку. В таблице 1 представлена рабочая температура для ионитного материала различной структуры. [16]

Увеличение сопротивления слоев ионита в последующем снижении вязкости воды на 20–25 %, что, учитывая 4–6 ионообменных фильтра в «цепи»

действующих ВПУ большинства ТЭС, приведет к необходимости повышать давление на входе, расход электроэнергии, а также установки дополнительных насосов приводит к торможению кинетики ионного обмена, что приводит к расширению зоны обмена, вследствие чего может ухудшиться качество обессоленной воды (особенно на финальной стадии очистки воды по показанию концентрации кремнекислоты при отсутствии дополнительного подогрева раствора едкого натра для регенерации).

Снижение обменной емкости ионитов (на 5 – 20 %), что в сочетании с ухудшением качества обессоленной воды приведет к необходимости увеличения их объема и расхода реагентов на регенерацию. Допустимые значения температуры обрабатываемой воды представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Максимально допустимая рабочая температура обрабатываемой воды для ионитов разных типов [12]

Тип ионита, структура	Максимально допустимая рабочая температура обрабатываемой воды, °С
Катиониты: сильнокислотные гелевая структура макропористая структура карбоксильные	110 130 110
Аниониты: с полимерной полистирольной матрицей сильноосновные тип 1 тип 2 слабоосновные с полимерной акриловой матрицей слабоосновные бифункциональные	60 35-40 100 35-40 35-40

Таким образом, стремление снизить общую себестоимость обессоленной воды за счет отказа от подогрева исходной воды может привести к ее повышению, за счет вынужденного увеличения эксплуатационных и капитальных затрат непосредственно в процессе ее очистки [11].

Особое влияние на иониты оказывает присутствие опасных примесей в исходной воде. Взвешенные вещества, которые содержатся в исходной воде задерживаются ионитом (рисунок 3, 4) оказывая на него механическое воздействие блокируют поверхность и обменные группы ионита, увеличивают сопротивление слоя. Присутствие железа и его соединений осаждаются в слое ионита что также блокирует обменные группы и затрудняет регенерацию слоя. Хлор, кислород, другие окислители при использовании на стадии предварительной очистки воды окисляют и разрушают матрицу ионита, особенно гелиевой структуры в присутствии железа и его соединений, катализирующих процесс.

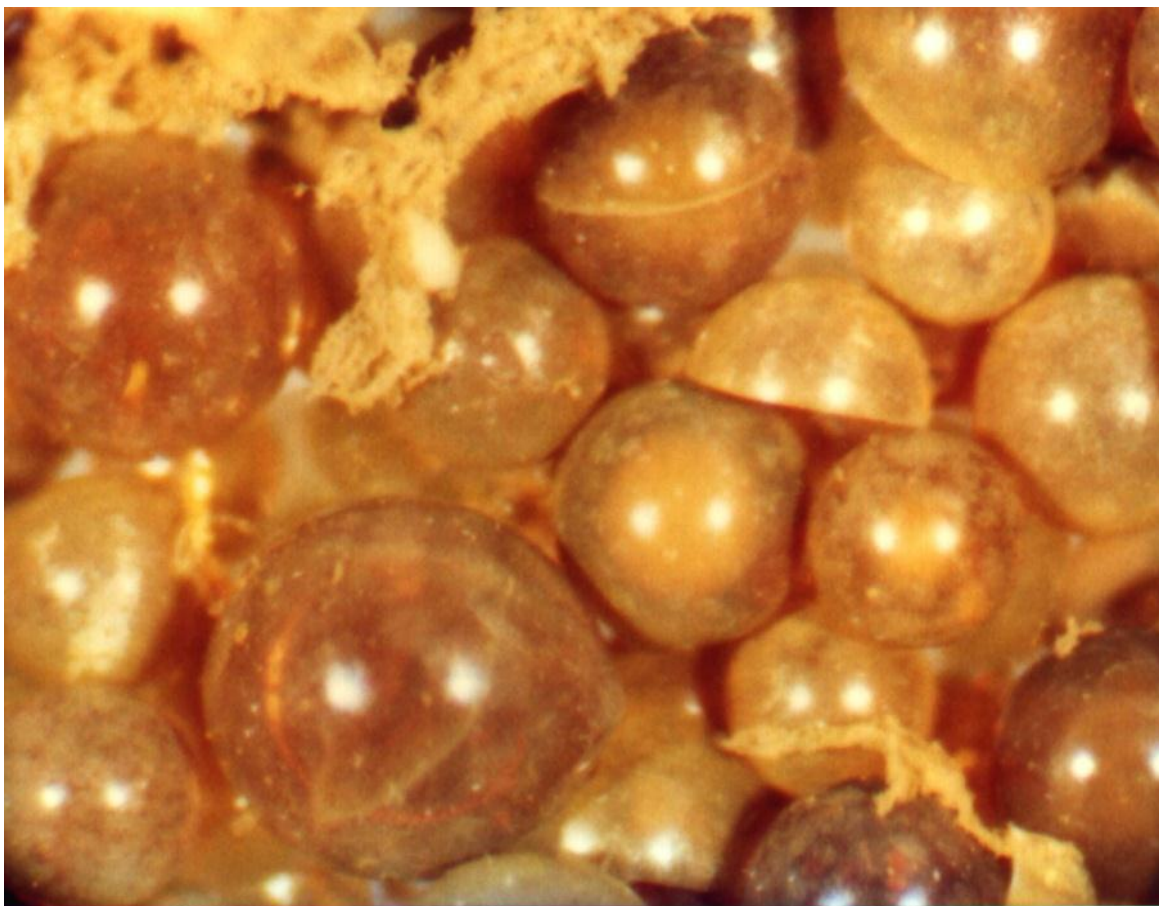


Рисунок 3 – Органические загрязнения на поверхности и внутри зерен анионита

Органические вещества, внедренные в матрицу, блокируют обменные группы. Вызывают появление амфотерных свойств, снижение обменной емкости, увеличение расхода воды на отмывку, ухудшение качества фильтрата и т.д.



Рисунок 4 – Ионит после года эксплуатации

Нефтепродукты вызывают залипание поверхности ионита, что блокирует обменные центры и препятствует эффективной промывке и разделению ионитов. В таблице 3 представлены требования к качеству зерен катионита.

Скорость пропуска исходной воды и скорость пропуска регенерационного раствора влияет на механическое истирание зерен, а также на фильтроцикл.

Основные требования к ионитам представлены в таблицах 3, 4 и 5.

Таблица 3 – Требования к качеству катионитов

Наименование	Технология катионирования, тип ВПУ					
	На-катионирование	Н-катионирование				ОУ, ВПУ теплосети **
		ОУ			БОУ*	
		1-я ступень	2-я ступень	3-я ступень*		
Тип катионита	Сильнокислотный (катионит КУ-2-8 и аналоги)				Карбоксильный	
Гранулометрический состав (ГОСТ 10900):						
размер зерен, мм	0,315-1,25; 0,4-1,25; 0,5-0,8	0,315-1,25 0,4-1,25; 0,5-0,8	0,4-1,25; 0,5-0,8; для ФСД - спецгрансостав		0,315-1,25; 0,4-1,25	
объемная доля рабочей фракции, %, не менее	98		99		98	
$K_{одн}$, не более	Для катионитов с грансоставом: гетеродисперсным - 1,7; монодисперсным - 1,2				1,8	
Осмотическая стабильность (ГОСТ 17338), %, не менее	98		99		98	
Количество целых гранул до осмотического шока (ГОСТ 17338), %, не менее	90		95		90	
ДОЕ (ГОСТ 20255.2), мг-экв/дм ³ , не менее	400				—	

Таблица 4 – Требования к качеству анионитов

Наименование	Технология анионирования, тип ВПУ			БОУ*	ОУ с сорбцией анионов сильных и слабых кислот в одном фильтре
	ОУ с отдельной сорбцией анионов слабых и сильных кислот				
	1-я ступень	2-я ступень	3-я ступень*		
Тип анионита	Слабо-основные	Сильноосновные, тип (анионит АВ-17-8 и аналоги)			Сильноосновные аниониты (типы 1, 2), бифункциональные
Гранулометрический состав (ГОСТ 10900):					
размер зерен, мм	0,315-1,25; 0,4-1,25; 0,5-0,8		0,4-1,25; 0,5-0,8; для ФСД - спецгрансостав		0,315-1,25; 0,4-1,25; 0,4-0,6
объемная доля рабочей фракции, %, не менее	98		99		98
$K_{одн}$, не более	Для анионитов с грансоставом: гетеродисперсным - 1,7; монодисперсным - 1,2				1,7
Осмотическая стабильность (ГОСТ 17338), %, не менее	98		99		98
Количество целых гранул до осмотического шока (ГОСТ 17338),%, не менее	90		95		90
ДОЕ (ГОСТ 20255.2), мг-экв/дм ³ , не менее	900**	Для анионитов гелевой структуры 600***			—
Результаты тестирования на отравляемость:					
снижение ДОЕ, %, не более	20	—			
увеличение расхода воды на отмывку, раз, не более	2,0				

Таблица 5 – Требования к ограничению концентрации примесей

Примеси, источник поступления	Воздействие на иониты	Предельная допустимая концентрация примесей, мг/дм ³
Взвешенные вещества; исходная вода	Механическое: задерживаются ионитом, блокируют поверхность и обменные группы ионита. Увеличивают сопротивление слоя	2-5 - для параллельноточной технологии; 0,5-1,0 - для противоточной технологии
Железо и его соединения; исходная вода, вода, коагулированная солями железа, продукты коррозии	Осаждение оксидов и гидратов железа в слое, блокирование обменных групп	0,3 - для режима Н–катионирования ОУ; 0,1 - для режима Na–катионирования; 0,05 - БОУ
Алюминий и его соединения; вода, коагулированная солями алюминия	Осаждение гидратов алюминия, неполное связывание алюминия катеонитом. Возможно загрязнение и анионита. Ограничение производительности. Затруднение очистки ионитов	0,1
Хлор, кислород, другие окислители при использовании на стадии предварительной очистки воды	Окисление и разрушение матрицы ионита, особенно гелевой структуры в присутствии железа и его соединений, катализирующих процесс	0,1 - для катионитов; 0,05 - для анионитов
Нефтепродукты; возвратные, турбинные конденсаты	Залипание поверхности ионита, что блокирует обменные центры и препятствует эффективной промывке и разделению ионитов	0,5 0,1-БОУ
Органические вещества: гумусовые, железо-гуминовые комплексы, лигнинсульфонаты и др.; исходная вода	Внедрение в матрицу, блокирование обменных групп. Появление амфотерных свойств, снижение обменной емкости, увеличение расхода воды на отмывку, ухудшение качества фильтрата и т. д., особенно анионитов гелевой структуры	Рекомендации по области применения анионитов с учетом фактора негативного воздействия ОВ приведены в п. 4.7

4 Объект и методы исследования

4.1 Выбор ионитного материала

Разнообразие и технические характеристики современных ионитов очень велико (см. пункт 2), кроме того использование ионитов в эксплуатации делится на 2 большие группы:

- установки умягчения воды
- установки обессоливания воды

В каждой из перечисленных технологий активно используется ионитный материал.

Поскольку самым распространенным в России ионитом является катионит марки КУ-2-8 в основном из-за соотношения цена качество, в дальнейшем для проведения экспериментальной части в качестве фильтрующего материала будем использовать именно этот материал в Na-форме.

Сильнокислотный катионит, который послужил рабочим материалом для проведения исследования (КУ-2-8) существует в двух формах H-форма предназначена для обессоливания воды и конденсата, Na-форма для умягчения воды

Преимущество использования карбоксильных катионитов, в данном случае КУ-2-8 для снижения карбонатной жесткости воды, реализуется при обработке исходных вод гидрокарбонатного класса следующего качества (после предварительной очистки):

– концентрация анионитов сильных кислот в воде менее половины щелочности (в системах подготовки воды теплосети при условии обеспечения нормы карбонатного индекса в обработанной воде);

– при щелочности в общем анионном составе воды не менее 40 – 50 % (в схемах обессоливания воды с применением ступенчато-противоточной или

двухслойной противоточной технологии на стадии катионирования в сочетании с сильнокислотным катионитом).

4.2 Описание объекта

Для проведения основной части исследования был разработан стенд, который представляет собой сварную металлическую конструкцию высотой 150 см шириной 60 см и глубиной 40 см (рисунок 5), разделенную на три яруса по высоте. На верхнем ярусе располагаются две емкости, с регенерирующим раствором и с исходной водой. Исходную воду можно изменять по разным показателям в зависимости от поставленной задачи.

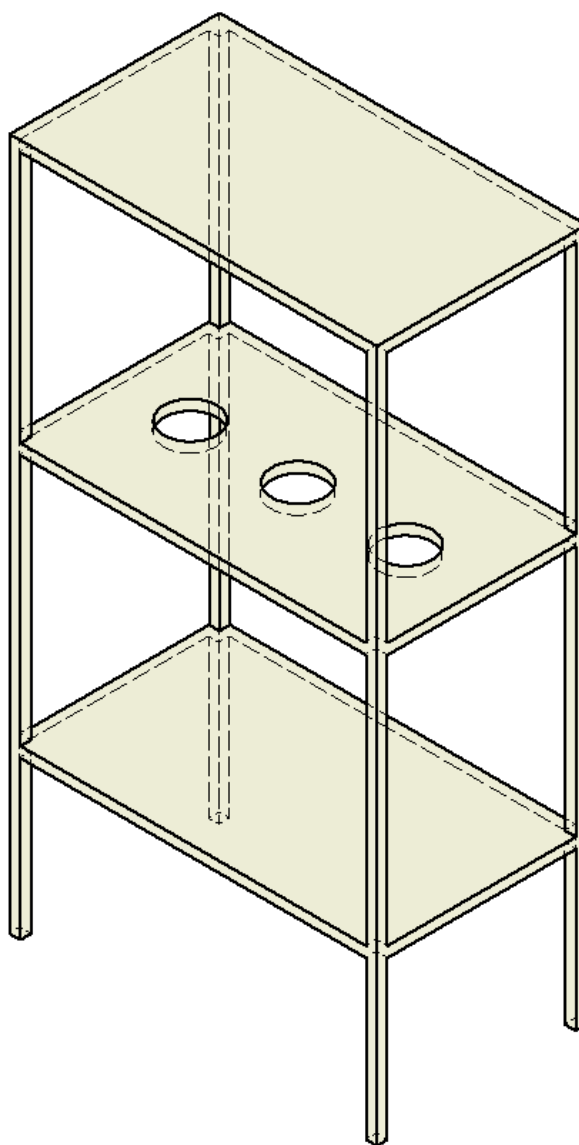


Рисунок 5 – Макет стенда

На среднем ярусе установлены три фильтра. Фильтры заполнены ионитным материалом марки КУ-2-8 в Na-форме. Внутри фильтра (рисунок 6) установлена латунная сетка, в нижней части она препятствует уносу мелких зерен ионита из системы, а в нижней части дает возможность организации противоточных режимов работы. Так же в каждой из верхних емкостей находится насос, он необходим для независимой работы установки. Насос соединяется с макетом фильтра при помощи резиновых трубок для регулировки скорости подачи воды, между насосом и макетом фильтра установлен пластиковый шаровой кран. Основные характеристики стенда представлены в таблице 6.

На данном стенде был проведен ряд испытаний с различными показателями исходной воды и регенерационного раствора (см. п.6)

Таблица 6 –Основные характеристики стенда

Название	Кол-во	Тех. данные
Рама металлическая	1	1600×600×400 мм
Емкости для исходной воды	2	30
Фильтр с ионитным материалом	3	0,5 дм ³
Насос центробежный	2	100 дм ³ /ч
Емкости для сбора проб	2	2 дм ³

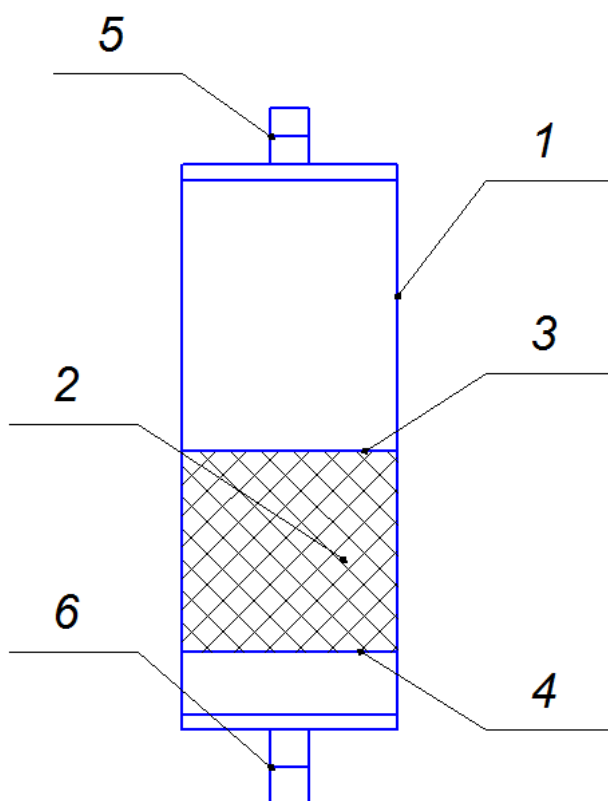


Рисунок 6 – Макет фильтра

1 – корпус; 2 – ионит; 3 – верхняя сетка; 4 – нижняя сетка;
5–верхний патрубок; 6 – нижний патрубок

На нижнем ярусе располагаются две емкости, одна из которых служит для сбора отфильтрованной воды, а вторая для сбора отработанного регенерационного раствора.

Для создания давления в фильтрах на верхнем ярусе в емкости с исходной водой и в емкости с регенерационным раствором установлено два циркуляционных насоса расходом $1000 \text{ дм}^3/\text{ч}$ с возможностью регулировки расхода подаваемой жидкости. Между собой фильтры соединены силиконовым шлангом с внутренним диаметром 1 см.

Установка трех фильтров дает возможность исследовать различные режимы фильтрации и регенерации, как последовательно подключение всех трех фильтров, так и в параллельном режиме. Также имеется возможность проводить регенерацию ионита в противоточном режиме. Установленная внутри макета фильтра сетка, дает возможно проводить испытания ионита в

режиме зажатого слоя. Также у разработанных фильтров присутствует возможность замены фильтрующего элемента, это позволяет проводить опыты как с новым материалом, так и с действующим и искать способы продления его срока службы.

5 Применяемые методики

В данном разделе рассмотрены методики определения различных примесей как в исходной воде, так и регенерационном растворе.

5.1 Определение общей жесткости

Ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na , Fe^{2+} , Fe^{3+} и др. активно присутствуют во всех природных водах. Так как концентрация большей части этих ионов в воде (за исключением Ca^{2+} и Mg^{2+}) крайне незначительна, то общая жесткость воды характеризуется суммой ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , выраженной в мг-экв/дм³ или мкг-экв/дм³.

Наиболее точный и распространенный метод определения общей жесткости комплексометрический, основанный на образовании ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} прочных внутрикомплексных соединений с трилоном Б. В качестве индикатора при определении общей жесткости используется эрихром черный (кислотный хромоген черный специальный ЕТ-00). В щелочной среде (рН=8-11) ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} образуют с эрихромом черным комплексы красного цвета менее прочные, чем комплексоны этих металлов с трилоном Б, не имеющим окраски.

Поэтому в точке эквивалентности красная окраска переходит в синюю, обусловленную окраской аниона индикатора.

Чувствительность комплексометрического определения общей жесткости воды практически равна 1 мкг-экв/дм³.

Воду с повышенной мутностью предварительно профильтровывать. При определении жесткости используются следующие реактивы:

- раствор трилона Б для титрования 0,1 Н или 0,01 Н концентрации;
- аммиачно-буферный раствор;
- индикатор эрихром-черный (порошок или спиртовой раствор).

В коническую колбу отмерить мерным стаканом 100 мл исследуемой воды. Добавить 5 мл аммиачно-буферного раствора, 0,1 грамма сухого порошка

эриохрома-черного и титруют рабочим раствором трилона Б 0,1 N концентрации до перехода вишнево-красной окраски в синюю. Окраска раствора от избытка трилона Б остается неизменной, поэтому в конце титрования рабочий раствор трилона следует добавлять по каплям, энергично перемешивая. После чего записывают результаты титрования, т.е. расход трилона Б.

5.1.1 Определение величины общей жесткости воды:

$$Ж_0 = \frac{a \times N \times 1000}{V}; \text{ мг-экв/дм}^3 \quad (1)$$

где a – расход раствора трилона Б на титрование пробы воды, мл;

N – нормальность рабочего раствора трилона Б;

V – объем пробы воды, мл.

Для оценки величины жесткости в регенерационном растворе, в исходной воде в фильтре при проведении экспериментов будет использоваться данная методика.

5.2 Определение содержания соединений железа

Железо постоянно присутствует в поверхностных и подземных водах, концентрация его в этих зависит от геологического строения и гидрологических условий бассейна. Высокое содержание железа в поверхностных водах указывает на загрязнение их шахтными или промышленными сточными водами. Для определения общего содержания железа в воде предлагается колориметрический метод определения с сульфосалициловой кислотой. Определение основывается на реакции сульфосалициловой кислоты с солями железа в щелочной среде с образованием желтого, комплексного железа. Этим способом можно определить 0,15 – 15 мг/дм³ железа. Точность определения $\pm 0,01$ мг/дм³.

Для определения содержания железа используются: аппаратура – фотоколориметр с фиолетовым светофильтром ($\lambda=410-440$ мм), кюветы с толщиной слоя 1 – 4 мм; реактивы:

- хлорид аммония 2Н раствор;
- аммиак (1:1) раствор;
- сульфосалициловая кислота, 20 % раствор;
- азотная кислота концентрированная;
- железо - аммонийные квасцы;
- основной раствор, 1 мл раствора содержит 0,1 мг железа;
- рабочий раствор.

Ход определения:

К 100 мл пробы, содержащему 0,01 – 1,0 мг железа, прибавляют 0,4 мл концентрированной азотистой кислоты и упаривают до уменьшения объемов. Затем раствор разбавляем дистиллированной водой и фильтруем, собирая фильтрат в мерный цилиндр емкостью 100 мл. Фильтр промывают, а фильтрат в цилиндре доводят дистиллированной водой до объема около 90 мл. К образовавшейся таким образом пробе приливают 2 мл хлорида аммония NH_4Cl , 2 мл раствора сульфосалициловой кислоты и 2 мл раствора аммиака; объем доводим дистиллированной водой в мерном цилиндре до метки и тщательно перемешивают. Через 5 мин измеряем оптическую плотность и из найденной величины вычитываем значение оптической плотности холостого определения, проведенного таким же образом с дистиллированной водой, и по калибровочной кривой находим содержание железа [12].

5.2.1 Содержание железа в мг/л вычисляют по формуле:

$$\text{Fe}^{3+} = \frac{C \times 100}{V}; \quad (2)$$

где C – концентрация железа, по калибровочной кривой, мг/дм³;

V – объем пробы, взятой для анализа, мл;

100 – объем, до которого разбавлена проба, мл.

5.2.1 Обработка результатов

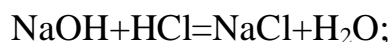
В ряд стаканов наливаем 0; 1,0; 2,0; 4,0; 10,0; 20,0; 40,0; 60,0; 80,0; 100,0 мл рабочего стандартного раствора, что соответствует концентрации 0; 0,1; 0,2 – 10,0 мг железа в 1 дм³. В приготовленном таким образом эталонах определяют железо вышеуказанным методом. Вычитаем оптическую плотность холостого определения из оптической плотности анализируемого раствора и строим график в координатах оптическая плотность – концентрация железа.

Для оценки содержания железа (Fe) в исходной воде при проведении испытания ионитного материала используем данную методику.

5.3 Определение общей щелочности

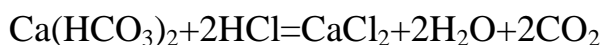
Щелочность воды обусловлена присутствием в ней гидратов, карбонатов, бикарбонатов и гуматов. Сущность метода определения щелочности заключается в нейтрализации щелочных компонентов соляной кислотой в присутствии индикаторов фенолфталеина и метилоранжа.

При титровании пробы воды соляной кислотой в присутствии фенолфталеина произойдет связывание гидратов и разрушение карбонатов с образованием эквивалентного количества бикарбонатов по следующим реакциям:



Завершение указанных реакций взаимодействия устанавливается по исчезновению розовой окраски титруемой пробы, т.к. к бикарбонатам фенолфталеин не чувствителен.

Титрование содержащихся в воде бикарбонатов, а также бикарбонатов, получившихся в результате разложения карбонатов, производится той же соляной кислотой в присутствии метилоранжа. При этом образуются нейтральные соли и углекислота.





Завершение реакций взаимодействия кислоты со щелочными компонентами воды устанавливается по изменению цвета раствора из желтого в оранжевый.

Для определения щелочности необходимы следующие реактивы:

- раствор соляной кислоты 0,1 Н или 0,01 Н концентрации;
- раствор едкого натра 0,1 Н концентрации;
- спиртовой раствор фенолфталеина 1 %-ной концентрации;
- водный раствор метилоранжа 0,1 %-ной концентрации.

Определение щелочности воды производится следующим образом. В коническую колбу емкостью 250 – 300 мл отмеривается мерным цилиндром 100 мл исследуемой воды, добавляем 1 – 2 капли фенолфталеина и окрасившийся в розовый цвет раствор титруем 0,1 Н раствором соляной кислоты до обесцвечивания; отмечают расход кислоты на титрование. Если же после введения фенолфталеина раствор не окрашивается в розовый цвет, это указывает на отсутствие в растворе гидратов и карбонатов. Затем к пробе добавляем две капли метилоранжа и получившийся желтого цвета раствор титруем тем же 0,1Н раствором соляной кислоты до перехода окраски в оранжевую. Помечаем общий расход кислоты на титрование (включая и расход на титрование с фенолфталеином). Титрование ведем при интенсивном перемешивании.

5.3.1 Определение величины общей щелочности:

$$\text{Щ}_0 = \frac{N \times a}{V} \cdot 1000 = \frac{0,1 \times a}{100} 1000 = a, \text{ мг-экв/дм}^3; \quad (3)$$

где N – нормальность раствора кислоты (0,1);

a – расход кислоты, пошедшей на титрование, мл;

V – объем пробы, взятой для анализа, мл.

Для оценки качества исходной воды и фильтрата при испытании ионита используем данную методику.

5.4 Оценка полной и рабочей обменной емкости

Динамическая обменная емкость важный показатель ионитных материалов. В условиях многократного применения ионита, в цикле фильтрации обменная емкость используется не полностью, а лишь частично. Степень использования определяется методом регенерации и расходом регенерационного раствора, временем контакта ионитного материала с исходной водой и с регенерационным раствором, концентрацией солей, pH, конструкцией и гидродинамикой используемого фильтра.

Главный критерий исследования на стенде – это изменение динамической объемной емкости ионита в зависимости от расхода регенерационного раствора и режимов работы установки. На стенде можно рассмотреть данные проблемы более детально в различном диапазоне температур, изменяя концентрацию регенерационного раствора, режимы регенерации и жесткость отмывочной воды.

Метод отбора проб указывают в нормативно-технической документации на конкретную продукцию. Для ионитов, у которых массовая доля влаги менее 30 %, отбирают пробу (100 ± 10) г. Для набухания пробу помещают в стакан вместимостью 600 см³ и заливают насыщенным раствором хлористого натрия, который должен с избытком покрывать слой ионита с учетом его набухаемости. Через 5 часов ионит промывают дистиллированной водой.

Характеристикой ионнообменной способности ионита является величина его рабочей обменной емкости, которая характеризуется количеством ионов, поглощенных ионитом, при пропускании воды через слой ионита, загруженного в лабораторный или промышленный фильтр, до начала «проскока» в фильтрат поглощаемых ионов. Рабочая обменная емкость ионита выражается в грамм-эквивалентах ионов, поглощенных 1 м³ набухшего ионита (г-экв/дм³).

Работа ионитного фильтра может быть изображена графически. На рисунке 4 представлен график работы катионитного фильтра.

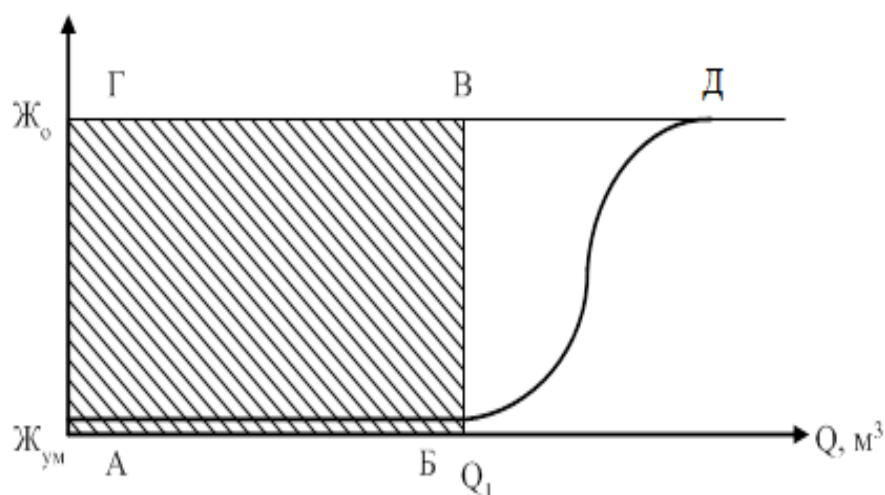


Рисунок 7 – График работы катионитного фильтра

Площадь АБВГ, эквивалентная количеству катионов, поглощенных катионитом за рабочий цикл, является рабочей емкостью фильтра E_p и определяется:

$$E_p = \frac{(J_o - J_{ум})Q_1}{V}; \quad (4)$$

где J_o – жесткость исходной воды, г-экв/дм³;

$J_{ум}$ – жесткость умягченной воды, г-экв/дм³;

Q_1 – количество воды, пропущенной через фильтр до проскока жесткости, л;

V – объем загруженного в фильтре катионита, м³.

Площадь АБДГ эквивалентна полной общей емкости катионитного фильтра и характеризуется количеством ионов, которые могут быть поглощены ионитом при полной замене всех обменных ионов, и рассчитывается:

$$E_{п} = E_p \frac{(J_o - J_{ум})(Q - Q_1)}{V}; \quad (5)$$

где V – объем загруженного в фильтре катионита, м³;

Q – количество воды, пропущенной через фильтр за полный цикл работы фильтра, дм³.

Цели и задачи раздела:

Рассчитать экономическую эффективность замены ионита в фильтрах на примере действующей водогрейной котельной. Водоподготовительная установка подпитки котлов состоит из трех катионитных фильтров (диаметр 1,5 м).

Производительность установки – до 20 м³/час (в отопительный сезон).

Рассмотрим на примере данной котельной рациональность замены ионита отечественного производства на иностранный аналог. Первым значительным плюсом является цена отечественного ионита, она отличается в полтора-два раза. Иониты зарубежного производства требуют бережного и квалифицированного обращения с ними в процессе эксплуатации.

Рассчитать эффективность постройки собственной водонасосной станции (ВНС) с узлом обезжелезивания при учете сторонних потребителей.

7.1 Расчет эффективности замены катионита КУ-2-8 на Амбрлайт IR 120

Приведенные в таблице 14 сравнительные показатели наглядно демонстрируют схожие характеристики Амбрлайт IR120 и КУ-2-8. Ниже приведен расчет основных эксплуатационных показателей работы катионитов КУ-2-8 и Амбрлайт IR120.

Таблица 14 – Сравнительные характеристики катионитов КУ-2-8 и Амбрлайт IR 120

Наименование показателя	Катионит	
	КУ-2-8	Амбрлайт IR 120
Ионная форма товарного ионита	Na	Na
Гранулометрический состав:		
Размер зерен, мм	0,5-1,2	0,42-1,2
Содержание рабочей фракции, %	99,5-100	99,0-100
Эффективный размер зерен, мм	0,4-0,6	0,55
Влажность товарного ионита, %	48-58	44-48
Насыпная масса, т/м ³	0,6-0,7	0,8-0,84
Полная статистическая обменная емкость, моль/м ³	770-790	800-810
Снижение обменной емкости, % в год	3-5	3-5
Высота слоя ионита в фильтре	2,5 м	2,5 м

7.1.1 Число регенераций в сутки:

$$n = 24 \cdot \mathcal{J}_o \cdot \frac{Q_n}{f_n \cdot H_{cl} \cdot E_p \cdot a}; \quad (6)$$

где n – число регенераций в сутки

\mathcal{J}_o – общая жесткость исходной воды, $\frac{\text{мг}\cdot\text{экв}}{\text{дм}^3}$;

H_{cl} – высота слоя ионита, м;

f_n – площадь фильтрации, м²;

E_p – рабочая обменная емкость ионита, $\frac{\text{мг}\cdot\text{экв}}{\text{дм}^3}$;

a – количество работающих фильтров.

Для КУ-2-8: $n=0,75$, рег/сутки;

для Амберлайт IR120: $n=0,73$, рег/сутки.

Регенерация Na-катионитных фильтров производится раствором соли. Для регенерации применяют техническую соль.

7.1.2 Количество соли, затрачиваемое на одну регенерацию:

$$Q_{\kappa} = \frac{E_p \cdot f_n \cdot H_{\text{сл}} \cdot q}{1000}; \quad (7)$$

где q – едельный расход соли на регенирацию;

Для КУ-2-8: $Q=370,7$;

Для Амберлайт IR120: $Q=385,8$.

7.1.3 Расход соли на регенерацию в сутки:

$$Q_{\text{тк}} = \frac{Q_{\kappa} \cdot n \cdot a \cdot K_0}{p}; \quad (8)$$

Удельный расход соли в сутки:

Для КУ-2-8: $Q=255,5$;

Для Амберлайт IR120: $Q=259,4$.

Общий расход воды на регенерацию Na-катионитного фильтра складывается из расходов на взрыхление, на приготовление регенерационного раствора и на отмывку от регенирационного раствора.

7.1.4 Расход воды на взрыхление:

$$Q_{\text{взр}} = \frac{i \cdot f_n \cdot 60 \cdot t_{\text{взр}}}{1000}; \quad (9)$$

где i – интенсивность взрыхления, мин;

Для КУ-2-8: $Q_{\text{взр}}=15 \text{ м}^3$;

Для Амберлайт IR120: $Q_{\text{взр}}=15 \text{ м}^3$.

7.1.5 Расход воды на приготовление регенерационного раствора:

$$Q_p = \frac{Q_{\kappa} \cdot 100}{1000 \cdot v \cdot P_p}; \quad (10)$$

где v – концентрация регенерационного раствора, %;

P_p – плотность регенерационного раствора

Для КУ-2-8: $Q_p = 4,3 \text{ м}^3$;

Для Амберлайт IR120: $Q_p = 4,5 \text{ м}^3$.

7.1.6 Расход воды на после регенерационную отмывку:

$$Q_{om} = q_{om} \cdot f_n \cdot H_{cl}; \quad (11)$$

где q_{om} – концентрация регенерационного раствора, %;

Для КУ-2-8: $Q_{om} = 26 \text{ м}^3$;

Для Амберлайт IR120: $Q_{om} = 26 \text{ м}^3$.

7.1.7 Общий расход воды на регенерацию Na-катионитного фильтра:

$$Q_n = Q_{взр} + Q_p + Q_{om}; \quad (12)$$

Для КУ-2-8: $Q_n = 37,2 \text{ м}^3$;

Для Амберлайт IR120: $Q_n = 37,4 \text{ м}^3$.

7.1.8 Среднесуточный расход воды на собственные нужды:

$$Q_{сн} = Q_n \cdot n; \quad (13)$$

Для КУ-2-8: $Q_{сн} = 30,28 \text{ м}^3/\text{сутки}$;

Для Амберлайт IR120: $Q_{сн} = 30,8 \text{ м}^3/\text{сутки}$.

Для наглядности расчетные эксплуатационные показатели катионитов КУ-2-8 и Амбрлайт IR120 представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Расчетные эксплуатационные показатели катионитов КУ-2-8 и Амбрлайт IR 120

Эксплуатационный показатель	Катионит	
	КУ-2-8	Амбрлайт IR 120
Среднечасовая производительность, м ³	20	20
Количество регенераций в сутки	0,75	0,73
Расход соли на одну регенерацию, кг	370,7	385,5
Среднесуточный расход соли, кг/сутки	255,6	260,4
Суточный расход воды на всю регенерацию, м ³ /сутки, в том числе:	37,2	37,4
- на взрыхление, м ³ /сутки	6,3	6,3
- на приготовление регенерационного раствора, м ³ /сутки	4,3	4,5
- на послерегенерационную отмывку, м ³ /сутки	26,4	26,4
Среднесуточное количество воды на собственные нужды	30,28	30,8
Рабочая обменная емкость, ммоль/дм ³	770-790	800-810

7.2 Экономические данные

Стоимость исходной воды не берем во внимание, так как она поступает из собственных артезианских скважин организации.

- количество загружаемого фильтрующего материала – 10 тонн;
- стоимость катионита КУ-2-8– 100000 руб/т;
- стоимость смолы Амбрлайт IR120 – 250000 руб/т;
- стоимость 1 т. соли – 7000 руб/т;
- количество рабочих дней в году установки п/к – 350 дней;
- срок службы КУ-2-8– 7-8 лет;
- срок службы Амбрлайт IR120 – 8-9 лет;
- производительность установки п/к –18 м³/час.

7.3 Заключение расчета замены катионита

Из выше изложенного следует, что замена катионита КУ-2-8 (Россия) на Амблайт IR 120 (Англия) не эффективна, несмотря на незначительное превосходство в некоторых технических параметрах, и не выгодно для котельной, поскольку важнейшим фактором в данном случае является цена исходного материала, а у катионита Амблайт IR 120 она выше в полтора раза.

7.4 Установка обезжелезивания

Для обеспечения продолжительной и бесперебойной работы ионитных фильтров, необходима установка с обезжелезиванием. Она представляет собой отдельное здание с промежуточными емкостями. Внутри находятся три фильтра высота которых составляет 2,5 м. и диаметр 1,5 м. фильтры заполнены мраморной крошкой. К ним поведен сжатый воздух из компрессорной установки он подается в корпус фильтра вместе с водой из промежуточной емкости, это необходимо для окисления железа, содержащегося в воде.

7.6 Расчет средств на строительство водонасосной станции (ВНС)

Поскольку вся система водоснабжения рассматриваемой организации потребляет 690 м³ холодной воды в сутки, в данном разделе мы рассмотрим будет ли выгодно с экономической точки зрения строительство собственных скважин и системы предварительной очистки исходной воды.

7.6.1 Стоимость закупаемой исходной воды 10,5 руб.м³

7.6.2 Годовые затраты на воду составляют 2644500 руб.

В таблицах, приведенных ниже (16 – 19) обозначены затраты на строительство системы скважин, накопительной емкости и цеха предварительной очистки. С установкой обезжелезивания.

Таблица 16 – Материалы для строительства здания установки

Наименование	Цена руб за 1 шт.	Шт.	Сумма руб.
кирпич (шт.)	7	33596	240000
цемент (меш.)	220	150	33000
ж.б. плиты (шт.)	5000	20	100000
кровля (м ²)	1000	64	64000
Итого:			445000

Таблица 17 – Материалы для строительства накопительной емкости

Наименование	Цена руб за 1 шт.	Шт.	Сумма руб.
бетон	2500	50	126000
цемент (меш.)	220	20	5000
ж.б. плиты (шт.)	7000	12	84000
кровля (м ²)	1000	70	70000
Итого:			285000

Таблица 18 – Комплектующие элементы

Наименование	Цена руб за 1 шт.	Шт.	Сумма руб.
1	2	3	4
мраморная крошка (т)	4500	10	45000
корпус фильтра (шт.)	120 000	3	360000
насос (шт.)	25000	6	150000
компрессор (шт.)	32000	1	32000
трубы:			
d150 (м)	700	100	70000
d125 (м)	600	500	300000
d100 (м)	500	1000	500000

Продолжение таблицы 18

1	2	3	4
d72 (м)	200	200	40000
здвижки:			
d150 (шт.)	8000	6	48000
d100 (шт.)	4000	15	60000
d125 (шт.)	6000	10	60000
электрооборудование	50 000		50000
Итого:			1715000

Таблица 19 – Материалы для строительства скважин

Наименование	Цена руб за 1 шт.	Шт.	Сумма руб.
кирпич (шт.)	7	15000	105000
цемент (меш.)	220	40	8800
ж.б. плиты (шт.)	3000	6	18000
кровля (м ²)	1000	26	64000
насос глубинный (шт.)	20000	3	60000
бурение скважины (м)	1700	85*3	433200
электрооборудование	11 000		11000
Итого:			610000

Глубинные насосы для скважин были выбраны исходя из объема потребляемой воды, с запасом производительности на случай аварийной ситуации. Необходимое число скважин три штуки. Средняя производительность одного насоса составляет 30 м³/ч, в случае нештатной ситуации или поломки одного из насосов, мощности двух будет достаточно для обеспечения предприятия необходимым количеством воды.

Таблица 20 – Затраты на строительные работы

Наименование	Цена руб за 1 шт.	Шт.	Сумма руб.
Кладка кирпичная (м ³)	1000	100	100000
Кровля (м ²)	200	160	32000
Монтаж перекрытий			50000
фундамент (м ³)	1800	8	14400
сварочные работы			200000
ямочные работы			100000
электропитание			70000
Итого:			566400

7.6.3 Затраты на строительство собственной системы водоснабжения с учетом строительных и монтажных работ составят 3621400 руб.

Таблица 21 – Заработная плата

Должность	Кол-во человек	Оклад	Годовой оклад
Оператор ВНС	3	16000	576000
Слесарь по ремонту	1	15000	180000
Дежурный слесарь	1	16000	192000
Электрик	1	17000	204000
Уборщица	1	10000	120000
Итого:			1274000

Таблица 22 – Ежегодные затраты на эксплуатацию ВНС

Наименование	Сумма
Заработная плата персонала	1274000
Текущий ремонт	50 000
Плановый ремонт	80 000
Итого	1404000

Поскольку потребителями данной ВНС является не только котельная, но и жители прилегающего населенного пункта которые потребляют 380 м³ в сутки. Из этого следует, что ежегодная прибыль от продажи добываемой воды составит 4104000 руб.

Ежегодная прибыль от использования собственной ВНС составит 2700000 руб. окупаемость проекта с учетом затрат на строительство, составит два года.

7.7 Заключение по разделу финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Из проведенного расчета следует, что строительство собственной водонасосной станции для действующей котельной выгодно как с экономической, так и с эксплуатационной точки зрения. Поскольку строительство ВНС будет нести выгоду с минимальными расходами на её эксплуатации, а также являться одним из способов пополнения бюджета организации за счет предоставления жителям прилегающего населенного пункта, услуг водоснабжения и водоотведения.

Также в данном разделе были проведены технико-экономические расчеты, определены затраты, необходимые для замены ионитного материала. Расчеты показывают, что замена Российского ионита на зарубежный аналог не эффективна, несмотря на незначительное превосходство в некоторых технических параметрах, и не выгодно для котельной, поскольку важнейшим фактором в данном случае является цена исходного материала, где стоимость зарубежного катионита Амблайт IR 120 выше в полтора раза.