

Б.Ш. БАДАЛОВ

**ПОВТОРНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОКОВ
ХИМОБЕССОЛИВАЮЩИХ УСТАНОВОК
ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПОДПИТОЧНОЙ
ВОДЫ ТЕПЛОСЕТИ**

БАКУ - 2009

Научный редактор: к.т.н., доц. А.М.Кулиев
Рецензенты: д.т.н., проф. Г.К.Фейзиев
д.т.н., проф. М.М.Агамалиев

**Б.Ш. Бадалов. Повторное использование стоков химо-
бессоливающих установок при подготовке подпиточной
воды теплосети. Баку, «Елм», 2009, стр.148.**

ISBN -5-8066-1605-1

В работе изложены результаты исследований отработанных регенерационных растворов (ОРР) химобессоливающих установок с сокращенными расходами реагентов и сокращенными стоками, возможности их утилизации при подготовке добавочной воды теплосети и системы оборотного охлаждения, а также для питания испарителей. Приводятся разработанные технологические схемы утилизации нейтральных, кислых и щелочных ОРР химобессоливающих установок, математические выражения для определения условий применения, значений основных потоков, концентраций и количества утилизируемых компонентов ОРР и др. показателей разработанных технологических схем.

$B \frac{2203070000}{655(07) - 09}$

© Б.Ш.Бадалов, 2009.
© «Елм», 2009.

ВВЕДЕНИЕ

С улучшением уровня жизни в нашей республике, создание новых экологически чистых и экономически целесообразных систем теплоснабжений имеет особое значение. Одним из основных факторов определяющих устойчивость и надежность работы, экономическую и экологическую эффективность этих систем является качество и технология обработки воды, подаваемой в эту систему в качестве добавочной.

С целью повышения эффективности процесса подготовки добавочной воды для систем теплоснабжения, т.е. подготовки обессоленной воды для восполнения потерь в источниках тепла, подготовки воды для подпитки тепловых сетей, а также систем оборотного охлаждения (СОО) разработаны, исследованы и внедрены многочисленные технологии подготовки воды, конструкции ионитных фильтров позволяющие улучшить экономические, и экологические показатели процесса водоприготовления.

Однако наиболее эффективными по сравнению с рассмотренными технологиями и конструкциями ионитных фильтров, являются технологии водоприготовления и конструкция двухпоточно-противоточного (ДП) ионитного фильтра разработанные в Азербайджанском Архитектурно-Строительном Университете (АзАСУ) под руководством доктора технических наук, профессора Г.К. Фейзиева. Эти технологии водоприготовления позволяют снизить удельные расходы реагентов на регенерацию ионитов практически до стехиометрических значений, повысить рабочие емкости поглощения ионитов, уменьшить удель-

ный расход воды на собственные нужды установки и количество сточных вод. Улучшение показателей химобессоливающих установок (ХОУ) достигается обеспечением легкорегенерируемой формы катионитов, применением противоточного принципа ионирования, изменением схемы и технологии регенерации ионитов. Для этой цели разработаны технология ДП ионирования и на её основе конструкция ДП ионитного фильтра. Разработки АзАСУ внедрены в 5-ти «Методических указаниях...» по проектированию химобессоливающих и умягчительных установок, выпущенных Минэнерго СССР и на ряде водоподготовительных установок различных ТЭС и систем теплоснабжения СНГ, в том числе и Азербайджана [1-11]. Образующиеся при обессоливании по этим технологиям, отработанные регенерационные растворы (ОРР) являются мягкими растворами, которые можно выпаривать до сухих солей. Однако, расходы, составы, концентрации образующихся при обессоливании пресных вод по технологиям АзАСУ, ОРР и процессы их утилизации, изучены мало и представляют интерес, как в научном, так и в практическом плане. Это особенно актуально в настоящее время, когда охрана водоемов и рациональное использование природных ресурсов имеют большое значение. Утилизацию образующихся при этом мягких растворов, можно осуществить также применением их в процессе подготовки подпиточной воды теплотрассы и СОО.

В этой работе представлены результаты исследований ОРР катионитных и анионитных фильтров ХОУ с сокращенными расходами реагентов и сокращенными стоками, разработка и исследование технологических схем ути-

лизации этих растворов и процессов регенерации ими катионитов, а также методика определения экономической эффективности проведенных работ.

При этом использовались методы анализа имеющихся технологических схем, разработанные в АзАСУ, расчетные методы для определения основных характеристик их ОРР и лабораторные исследования по регенерируемости катионитов.

1. СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ ПОДПИТОЧНОЙ

ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

1.1. Способы подготовки подпиточной воды для тепловых сетей

Системы теплоснабжения, как известно, предназначены для получения, транспортировки и использования тепловой энергии. Они в основном состоят из источника тепла, сети служащей для транспортировки теплоносителя от источника тепла к месту её использования и потребителей её тепловой энергии [12-16]. В качестве источника тепла используются котельные различного назначения, тепловые электрические централи (ТЭЦ), атомные тепловые электрические централи (АТЭЦ) и атомные станции теплоснабжения (АСТ). АСТ предназначены для утилизации отработанного в атомных тепловых электрических станциях топлива [13]. Потребителями тепловой энергии при этом являются системы теплоснабжения жилых, общественных и промышленных зданий, их системы горячего водоснабжения, вентиляция общественных и промышленных зданий, а иногда и промышленные предприятия. В качестве теплоносителей от источника тепла к источнику потребления тепловой энергии применяются в основном вода и водяной пар. Соответственно типу применяемого теплоносителя тепловые сети подразделяются на - водяные и паровые.

Даже при нормальной работе системы теплоснабжения, в них имеют место потери воды и пара. Последнее имеет место на источниках тепла с паровыми котлами, в

том числе и на тепловых электрических станциях. В зависимости от параметров вырабатываемого пара, на источниках выработки тепловой энергии для восполнения потерь, в качестве добавочной, используется обессоленная или же глубокооумягченная вода [17-23].

Тепловые сети являются сложными гидродинамическими системами, служащими для транспортировки и передачи тепловой энергии потребителям. При эксплуатации, в этих сетях также имеются потери теплоносителя через неплотности соединений, сальники арматуры, компенсаторы и т.д. Если учесть, что в тепловых сетях в качестве теплоносителя в основном используется вода, частичные потери последней, приводят к разрегулировке и нарушению нормального гидравлического режима работы системы [24-26]. Поэтому для поддержания нормального гидродинамического режима работы на тепловых сетях, для компенсации имеющихся потерь, требуется постоянная подпитка системы водой. В открытых же тепловых сетях кроме потерь воды, имеет место и водозабор из тепловой сети на горячее водоснабжение.

Надежная и бесперебойная работа тепловых сетей наряду с различными факторами определяется и качеством подпиточной воды, используемой для восполнения потерь в этих системах [21, 22]. Качество подпиточной воды должно удовлетворять предъявляемым к качеству этой воды требованиям и обеспечивать безнакипный режим работы оборудования в источнике тепла и на местах передачи тепловой энергии, без образования шлама в отдельных узлах системы, а также предотвращать их коррозию. Кроме этого, если теплосеть является открытой, то кроме выше-

отмеченных, качество подпиточной воды ещё должно удовлетворять и требованиям предъявляемым к качеству питьевой воды.

Качество воды для подпитки тепловых сетей согласно РД 34.20.501-95 должно удовлетворять следующим нормам:

Содержание свободной угольной кислоты.....	0
Значение рН для систем теплоснабжения:	
открытых.....	8,3 ÷ 9,0*
закрытых.....	8,3 ÷ 9,5*
Содержание растворенного кислорода, мкг/дм ³ , не более.....	50
Количество взвешенных веществ, мг/дм ³ , не более.....	5
Содержание нефтепродуктов, мг/дм ³ , не более.....	1

(*Верхний предел значения рН допускается только при глубоком умягчении воды, нижний – с разрешения АО-энерго может корректироваться в зависимости от интенсивности коррозионных явлений в оборудовании и трубопроводах систем теплоснабжения. Для закрытых систем теплоснабжения АО-энерго верхний предел значения рН допускается не более 10,5 при одновременном уменьшении значения карбонатного индекса до 0,1 (мг-экв/дм³)², нижний предел может корректироваться в зависимости от коррозионных явлений в оборудовании и трубопроводах систем теплоснабжения).

Кроме этого, качество подпиточной воды теплосети согласно этим же нормам должно удовлетворять карбонатному индексу – предельное значение произведения общей щелочности (Щ_п) и кальциевой жесткости (Са_п) воды (в мг-экв/дм³), выше которого карбонатное накипеобразование протекает с интенсивностью более 0,1 г/(м² ч):

$$I_k = Ca_p \cdot Щ_p \quad (1.1)$$

Допустимое значение карбонатного индекса подпиточной воды зависит от типа установленного в источнике тепла оборудования, от расчетной температуры воды и от типа теплосети. Нормативные значения карбонатного индекса подпиточной воды теплосети приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Тип оборудования	Температура нагрева сетевой воды, °С	И _к (мг-экв/дм ³) ² для систем теплоснабжения	
		Открытой	Закрытой
Водогрейные котлы, установленные на электростанциях и в отопительных котельных	70-100	3,2	3,0
	101-120	2,0	1,8
	121-130	1,5	1,2
	131-140	1,2	1,0
	141-150	0,8	0,5
Сетевые подогреватели	70-100	4,0	3,5
	101-120	3,0	2,5
	121-140	2,5	2,0
	141-150	2,0	2,0
	151-200	1,0	0,5
* Качество подпиточной и сетевой воды водогрейных котлов, установленных в промышленных котельных, принимается по ОСТ 108.030.47-81.			

Использование для подготовки подпиточной воды теплосети реагентов, представляющих опасность здоровью

человека, например гидразина или же других токсичных веществ запрещается. Наряду с этими в подпиточной воде должно соблюдаться условие невыпадения сульфатной накипи.

Для определения этого условия, в подпиточной воде проверяется произведение Ca^{2+} и SO_4^{2-} ионов:

$$\text{ПР}_{\text{CaSO}_4} = [\text{Ca}]_{\text{п}} [\text{SO}_4]_{\text{п}} f^2, \text{ (г-ион/л)}^2 \quad (1.2)$$

где $[\text{Ca}]_{\text{п}}$ - и $[\text{SO}_4]_{\text{п}}$ - концентрация Ca^{2+} - и SO_4^{2-} - ионов в подпиточной воде, г-ион /л;

f - активность Ca^{2+} и SO_4^{2-} - ионов.

Допустимое значение $\text{ПР}_{\text{CaSO}_4}$, в зависимости от расчетной температуры сетевой воды, определяется согласно НР-34-70-051-83 и представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2.

t°С	100	120	140	160	170	180	190	200
$\text{ПР}_{\text{CaSO}_4}$ (г-ион/л) ²	7,6 x 10 ⁻⁶	3,7 x 10 ⁻⁶	1,87 x 10 ⁻⁶	0,93 x 10 ⁻⁶	0,67 x 10 ⁻⁶	0,47 x 10 ⁻⁶	0,34 x 10 ⁻⁶	0,24 x 10 ⁻⁶
$\text{ПР}_{\text{CaSO}_4/\Gamma^2}$ (мг-экв/л) ²	60,8	29,6	14,96	7,94	5,36	3,76	2,72	0,65
* значение температуры принимается с учетом неравномерного ее распределения и превышения в пристенном слое труб котла на 40 °С.								

Для подготовки подпиточной воды теплосети, в зависимости от условий её работы и требований предъявляемых к охране окружающей среды, от возможности применения различных реагентов и оборудований и т.д. применяются методы:

- подкисление;
- известкование с последующим подкислением;
- содоизвесткование с последующим подкислением;
- обработка магнезитом;
- обработка комплексонатами;
- магнитная обработка;
- ионирование.

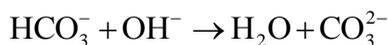
Наиболее простым и широко распространенным среди этих методов является подкисление, в процессе чего в обрабатываемую воду вводится кислота, H^+ - ионы которой способствуют разрушению бикарбонат-ионов воды и снижению её щелочности [21]. В результате образуется углекислый газ, который удаляется из воды при декарбонизации и последующей деаэрации. Однако при этом, в подпиточной воде, при вводе для подкисления H_2SO_4 , повышается концентрация SO_4^{2-} - ионов.

В случае несоответствия показателей подкисленной воды требуемым показателям качества подпиточной воды, можно осуществить известкование с последующим подкислением. Для этого обрабатываемая вода в осветлителе подвергается известкованию с коагуляцией. При этом в обрабатываемой воде, кроме снижения щелочности, уменьшается также и карбонатная жесткость. Для уменьшения расхода извести, процесс известкования воды целесообразно вести в бикарбонатном режиме и осадить из воды только $CaCO_3$ [20, 21]. Учитывая, что pH полученной при этом известково-коагулированной воды превышает норму необходимой для подпиточной воды, она дополнительно подкисляется. Для подкисления обычно использу-

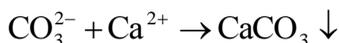
ется серная кислота. Однако указанный метод не эффективен для вод при малых значениях карбонатной жесткости. Поэтому для таких типов вод следует применять содоизвесткование с последующим подкислением.

При содоизвестковании с последующим подкислением при помощи соды (каустической - NaOH, кальцинированной - Na₂CO₃ или же пищевой - NaHCO₃) достигается также и снижение некарбонатной жесткости воды.

В Азербайджанском Архитектурно-Строительном Университете (АзАСУ) профессором Г.К.Фейзиевым для подготовки подпиточной воды теплосети предложен магнетитовый метод [1]. Следует отметить что, при реагентной обработке OH⁻ - ионы в обрабатываемую воду кроме NaOH, Ca(OH)₂ можно ввести также и каустический магнетит MgO или полубожженный доломит (CaCO₃ MgO). Исследования, проведенные в АзАСУ, показали что при этом MgO подвергается частичной диссоциации и незначительное количество OH⁻ - ионов переходит в воду. Эти OH⁻ - ионы реагируют углекислым газом и HCO₃⁻ - ионами содержащимися в воде, в результате чего образуется CO₃²⁻ - ионы. Последние, соединяются с Ca²⁺ - ионами и образуют при этом CaCO₃:



Образующее при этом, в результате реакции, соединение CaCO_3 выпадает в осадок:



Взамен израсходованных OH^- - ионов, в воду, в результате дальнейшей диссоциации MgO , переходят дополнительные гидрат-ионы. Таким образом, применением MgO достигается снижение жесткости обрабатываемой воды. В зависимости от состава обрабатываемой воды и требований предъявляемых к качеству подпиточной воды теплосети вместе с магнезитом могут применяться реагенты - $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2CO_3 или NaHCO_3 .

В последнее время, для предотвращения накипеобразования, в тепловых сетях применяется также метод подготовки подпиточной воды теплосети комплексонатами [27, 28]. В результате такой обработки устраняется лишь накипеобразующие свойства соединений и снижается коррозионная активность воды. Для этого используется специальные реагенты - комплексоны, такие как например, "Комплексон-6", ОЭДФК (оксиэтилидендифосфоновая кислота), ИОМС (ингибитор отложения минеральных солей) и т.д. Указанные реагенты дозируются в воду в количестве, зависящим от концентрации карбонатной жесткости исходной воды, от 0,25 до нескольких мг/л.

ОЭДФК сорбируется на поверхности зародышей кристаллов CaCO_3 , и предотвращает рост их размеров и агломерацию. Несмотря на то, что вода при этом по CaCO_3 находится в пересыщенном состоянии, отложение накипи при этом не происходит.

При магнитной обработке, обрабатываемая вода пропускается между полюсами постоянного магнита [12, 21, 29]. Имеются разные объяснения воздействия магнитного поля на накипеобразователи. Наиболее признанное среди них предложено учеными Московского Энергетического Института. Согласно этому объяснению ферромагнитные окислы железа, содержащиеся в воде в магнитном поле укрупняются, и их размеры становятся больше критического для данного пресыщения. На этих частицах адсорбируются образовавшиеся кристаллы CaCO_3 или CaSO_4 , которые в дальнейшем превращаются в центры кристаллизации. Это способствует тому, что выпадение накипи происходит не в теплопередающих поверхностях, а в объеме жидкости.

Однако магнитная обработка воды не всегда дает положительные результаты. Особенно в тепловых сетях с водогрейными котлами, при использовании в качестве топлива мазута, применение указанного вида обработки не целесообразно.

Таким образом, использование вышеперечисленных методов обработки воды для подпитки теплосети позволяет лишь уменьшить интенсивность процесса накипеобразования, не предотвращая его полностью.

Практически полное предотвращение накипеобразования достигается использованием ионообменных технологий обработки воды. При ионообменной обработке обрабатываемая вода пропускается через катиониты находящихся в различных ионных формах. Название ионообменной обработки соответствует об ионной форме катионита. При этом достаточно широко используется метод частичного или же полного Na-катионирования воды. Этот про-

цесс, как показано на рисунке 1.1, осуществляется в катионитных фильтрах загруженными катионитами и находящимися перед процессом очитки воды в Na-форме.

Все накипеобразующие катионы жесткости обраба-

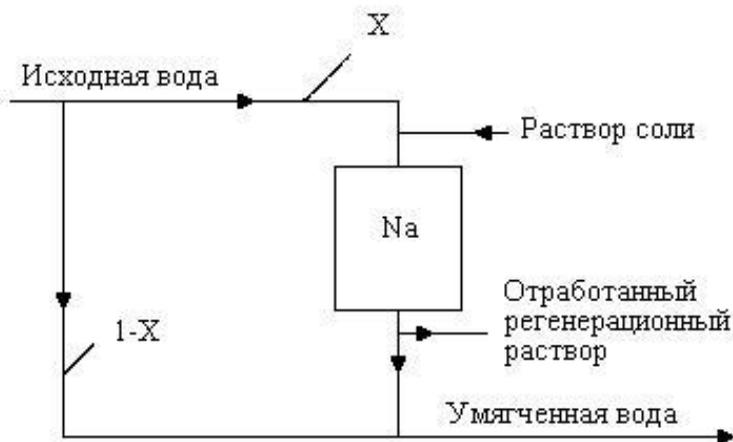


Рис. 1.1. Подготовка подпиточной воды теплосети натрий - катионированием

тываемой воды в катионите обмениваются на Na^+ - ионы, все соединения которых хорошо растворяются в воде. Для уменьшения производительности Na - катионитных фильтров и расхода реагентов для их регенерации, применяется частичное Na - катионирование воды. При этом через Na - катионитные фильтры пропускается лишь часть (X) обрабатываемой воды. Остальная часть (1-X) воды смешивается с Na-катионированной водой после фильтра в определенном соотношении с учетом обеспечения значе-

ния карбонатного индекса в подпиточной воде. После истощения катионита катионами жесткости обрабатываемой воды, катионит регенерируется раствором соли. В качестве соли обычно используется (8-10)% - ный раствор NaCl. Образующийся в процессе регенерации катионита отработанный регенерационный раствор (ОРР) сбрасывается [17, 24]. При Na-катионировании, щелочность обрабатываемой воды не меняется. Поэтому для получения необходимого значения карбонатного индекса воды часть (количество) пропущенной через Na - катионитные фильтры воды получается достаточно большим. Для уменьшения производительности ионитной обработки, часть Na - катионитных фильтров при этом целесообразно заменить H - катионитными фильтрами (рис.1.2).

Однако при реагентной обработке, получение глубо-

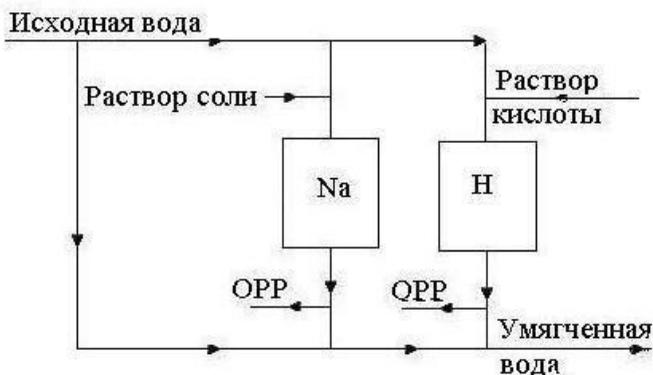


Рис. 1.2. Подготовка подпиточной воды теплосети с использованием Na- и H-катионитных фильтров

коумягченной воды не представляется возможным. Поэто-

му при подготовке подпиточной воды этими методами накипеобразование на поверхностях нагрева полностью не предотвращается, снижается лишь его интенсивность. Применяются также и Н-катионитные фильтры регенерируемые в «голодном» режиме (H_r) (рис.1.3.). Согласно этой технологии при регенерации и обработки воды, в фильтрате, кислота должна отсутствовать. Однако при обработке воды, для большинства составов вод, начальные порции фильтрата получается кислыми и для предотвращения попадания кислоты в подпиточную воду после H_r -

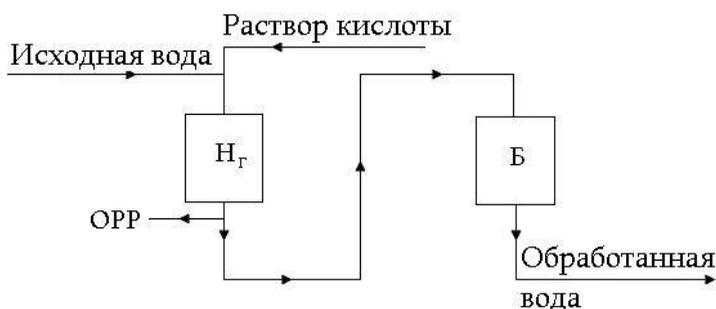


Рис.1.3.Схема подготовки подпиточной воды тепло - сети Н-катионированием в "голодном режиме" регенерации катионита

фильтров устанавливаются буферные саморегенерирующие фильтры (Б) [20, 21]. Следует отметить, что если реагентные методы очистки воды являются экологически чистыми, то есть не имеют стоков загрязняющих окружающие водоемы, то традиционные методы ионитной обработки воды для подпитки тепловых сетей являются экологически вредными.

Полное предотвращение накипеобразования достигается при ионитной обработке, но при этом образуются сточные воды, загрязняющие окружающую среду. Учитывая дороговизну и сложность традиционных технологических схем по очистке сточных вод водоподготовительных установок, они не нашли практического применения.

Учитывая недостатки ионообменных методов, в АзАСУ разработаны, исследованы и внедрены [30] бессточные методы ионитной обработки подпиточной воды для теплосети. Основа этих технологий заключается в том, что образовавшиеся при подготовке подпиточной воды для теплосети, стоки обрабатываются не в отдельной, а в основной установке [1]. При этом исходная вода, как показано на рис. 1.4, подается в осветлитель исходной воды (О), где осуществляется содоизвестковая обработка с коагуляцией.

Вода после осветлителя, собирается в бак осветленной воды (БОВ), откуда забирается насосом осветленной воды (НОВ) и пропускается через катионитный (К) фильтр, где осуществляется её глубокое умягчение. При этом применяются Н- или Na- катионитные фильтры. Эти фильтры регенерируются соответственно раствором кислоты и натриевой соли. Отработанный регенерационный раствор (ОРР) собирается в бак отработанного раствора (БОР), откуда в течение всего цикла умягчения воды насосом отработанного раствора (НОР) дозируется в осветлитель.

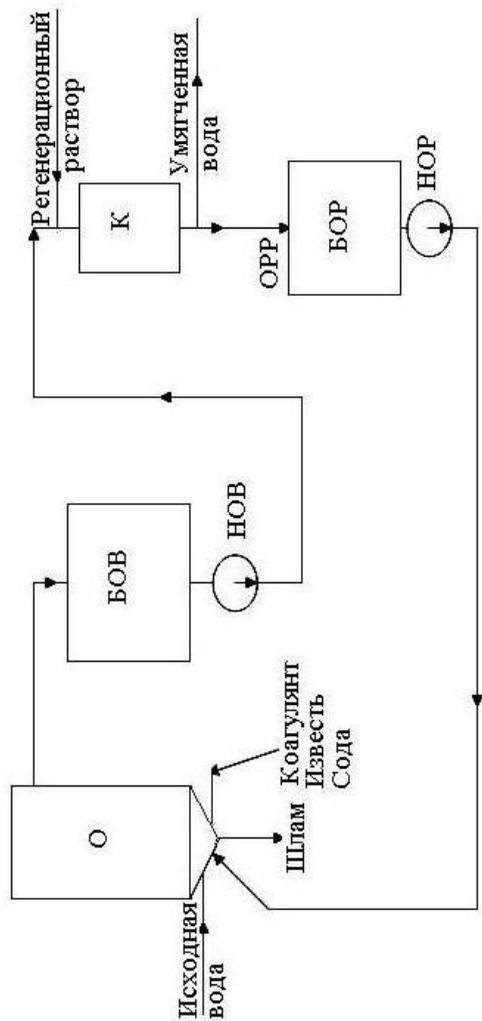


Рис. 1.4. Технологическая схема бессточного умягчения воды натрий - катионированием

Соли жесткости, содержащиеся в отработанном растворе совместно с катионами жесткости исходной воды, осаждаются в осветлителе в виде шлама.

Шлам осветлителя при этом в основном содержит соединения CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Кроме этих соединений в осветлителе осаждаются также и взвешенные вещества, содержащиеся в воде и осаждающиеся при коагуляции.

В зависимости от условий работы установки выбирается режим умягчения. Выбранный режим умягчения воды - Н или Na - катионирование, должен обеспечить снижение солесодержания умягченной воды по отношению солесодержания в исходной воде. Учитывая, что удельный расход регенерационного раствора кислоты на регенерацию катионита принимается в стехиометрическом количестве, отработанный регенерационный раствор получается нейтральным. Таким образом, стоки образующиеся при подготовке подпиточной воды теплосети, обрабатываются в осветлителе исходной воды совместно с ней. Для уменьшения расхода соды в осветлителе при необходимости, осуществляется осаждение CaSO_4 из ОРР в кристаллизаторе [8, 31]. При этом количество возвращаемых катионов жесткости в осветлитель уменьшается и соответственно сокращается расход соды в осветлителе.

В АЗАСУ разработаны также и технологии подготовки подпиточной воды теплосети без использования для этой цели соды. При этом все ионы магния, содержащиеся в воде осаждаются реагентом известь, а для осаждения кальций - ионов используются SO_4^{2-} - ионы исходной во-

ды или же применяемого при необходимости для регенерации катионита реагента Na_2SO_4 [1, 8]. Возможность использования для этой цели SO_4^{2-} - ионов исходной воды появляется при подаче части умягченной воды на обессоливание термическим, либо же химическими методами. При этом продувочная вода испарителей или же ОРР химобессоливающей установки содержит SO_4^{2-} - ионы которые можно использовать для осаждения кальций - ионов исходной воды.

1.2. Способы подготовки питательной воды котлов химическим обессоливанием в системах теплоснабжения

Для подготовки питательной воды котлов систем теплоснабжения в основном применяется химическое и термическое обессоливание [1, 14, 17, 20, 21, 24, 25, 32, 33]. При химическом методе, обессоливаемая вода пропускается через Н - и ОН - ионитные фильтры, загруженные соответственно катионитами и анионитами и регенерируемые соответственно растворами кислоты и щелочи. Удельные расходы реагентов на регенерацию ионитов традиционными технологиями, при этом колеблются в пределах (2 ÷ 4) г-экв/г-экв. Расход воды на собственные нужды установки получается, от 5 до 25%, и при регенерации ионитов образуются кислые или щелочные агрессивные сточные воды [7, 31, 32, 100]. Для предотвращения загрязнения окружающей среды эти стоки должны быть обработаны на специальных «хвостовых» установках [1, 6].

«Хвостовые» установки обычно состоят из:

- предочистки где стоки Н- ОН - ионитных фильтров после совместной нейтрализации и донейтрализации щелочью или кислотой подвергаются содоизвестковой обработке;

- выпарных аппаратов где содоизвесткованные стоки выпариваются до определенной концентрации солей;

- концентраторов концентрирующих продувочную воду выпарных аппаратов;

- дожигательных аппаратов где осуществляется высушивание концентрата до сухих солей;

- «могильников» где осуществляется захоронение сухих солей.

Все аппараты предназначенные для выпаривания, концентрирования, дожигания изготавливаются из дорогих сортов стали – из нержавеющей стали. «Могильники» занимают огромные территории и предназначаются на несколько десятилетий. Причем они строятся таким образом, чтобы через них не просачивались солевые растворы при выпадении на них атмосферных осадков и предотвратить возможность проникновения туда грунтовых вод. В противном случае это может привести к загрязнению грунтовых вод и в конечном итоге окружающей среды. Вследствии этого «хвостовые» установки в несколько раз удорожают процесс обессоливания воды и поэтому практически нигде не применяются.

Применяются различные мероприятия позволяющие повысить эффективность химобессоливания воды. При этом особенно надо отметить работы Ф.Г.Прохорова, К.А.Янковского, Ю.М. Кострикина, Н.П.Субботиной, А.М.Прохоровой. Эти ученые впервые в мировой практике

водоприготовления разработали и внедрили противоточные, ступенчатые, ступенчато-противоточные ионирование [9, 33], технологию регенерации катионита с ступенчатым повышением концентрации раствора серной кислоты предотвращающей выпадение кристаллов гипса при регенерации и др.

За рубежом для уменьшения удельного расхода реагентов на регенерацию ионитов применяются двухслойные загрузки ионитов из разных сортов, фирмой «DOW CHEMICAL COMPANY» (США) разработана технология противоточной регенерации ионитных фильтров («UPCORE»).

Разработана также противоточная технология «ШВЕБЕБЕТ» согласно которой подача обрабатываемой воды осуществляется по направлению снизу вверх, а регенерационного раствора сверху вниз. Фильтр практически полностью загружается ионитом.

По технологии «АМБЕРПАК» направление движений потоков обрабатываемой воды и регенерационного раствора аналогично технологии «ШВЕБЕБЕТ». Указанная технология предусматривает загрузку всего фильтра ионитом. Взрыхление ионита осуществляется периодически для нижнего слоя в специальной емкости. По этой причине иониты часто забиваются шламом и ухудшаются гидравлический режим в фильтре и показатели процесса очистки воды. Из-за высокой чувствительности к содержанию взвешенных веществ в исходной воде, системы «ШВЕБЕБЕТ» и «АМБЕРПАК» как и другие аналогичные технологии, не нашли практического применения на водоподготовительных установках СНГ.

В России разработаны новые конструкции противоточных ионитных фильтров. Противоточный ионитный фильтр ЗАО «Энергокаскад» представляет собой «фильтр в фильтре». Однако эти фильтры металлоемкие, а также на них усложнены и увеличены операции. При регенерации происходит разбавление ОРР, что затрудняет процесс его утилизации.

В НИИ Водгео и НПФ «Экос Водгео», разработана (патент РФ № 2139253 «Способ ионообменной обработки воды») технология аналогичная «UPCORE». Однако отличительная особенность её от «UPCORE» заключается в основном в том, что регенерация и отмывка фильтра производится после прижатия слоя ионита к верхнему распределительному устройству, с той же скоростью как для воды прижатия. Однако при этом уменьшается время контакта регенерационного раствора с ионитом и ухудшаются показатели регенерации. Усложняется процесс взрыхления ионита.

Учитывая недостатки существующих технологий химобессоливания, в АЗАСУ разработаны, исследованы и внедрены в промышленность технологии химического обессоливания воды с сокращенными реагентами и стоками.

Согласно этим разработкам, изменением режимов - регенерации ионитов, обработки воды и конструкции ионитных фильтров достигается уменьшение удельного расхода реагентов на регенерацию ионитов практически до стехиометрического значения, повышение значения рабочих емкостей поглощения ионитов, снижение расхода воды на собственные нужды установки и количество обра-

зуемых при этом сточных вод. В результате этого повышается экологическая и экономическая эффективность процесса химобессоливания, расширяется предел её применения. Улучшение показателей химобессоливания при этом достигается обеспечением легко регенерируемой формы катионитов перед регенерацией их, раствором кислоты, применением противоточного принципа ионирования, изменением схемы и технологии регенерации, как катионитов, так и анионитов. Эти технологические схемы внедрены в «Методических указаниях...» по проектированию химобессоливающих и умягчительных установок, выпущенных Минэнерго СССР и на ряде установок водоприготовления на различных тепловых электрических станциях и системах теплоснабжения [7, 8]. Учитывая недостатки существующих противоточных фильтров, в АзАСУ, Г.К.Фейзиевым, разработана новая технология двухпоточно-противоточного ионирования воды [2, 5]. На основе этой технологии, разработана конструкция двухпоточно-противоточного ионитного фильтра [1]. Эти фильтры устраняют практически все недостатки присущие противоточным фильтрам и в настоящее время серийно выпускаются Таганрогским котельным заводом [1, 11].

Технологии разработанные в АзАСУ кроме использования в «Методических Указаниях.....» внедрены также на водоподготовительных установках Али-Байрамлинской ГРЭС, Азербайджанской ГРЭС, на Московской ТЭЦ-21, на ТЭЦ Горьковского Автомобильного завода, на Саранской ТЭЦ, на Новосибирской ТЭЦ-2, На Казанских ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, на Минской ТЭЦ-3, на Волжской ТЭЦ, на Тюменской ТЭЦ-2 и т.д.. На всех перечисленных тепловых

электрических станциях осуществляется подготовка воды для питания котлов, для подпитки тепловой сети и для питания испарителей. На всех этих установках, удельные расходы реагентов, при подготовке питательной воды котлов, снижены практически до стехиометрических величин, повышены рабочие емкости поглощения ионитов, снижены в несколько раз удельные расходы воды на собственные нужды установки и количество образуемых при этом отработанных регенерационных растворов, получением их в большинстве случаев в виде умягченной воды.

Образуемые, при обессоливании вод этими технологиями, стоки представляют собой, мягкие растворы которые легко можно выпаривать до сухих солей. Однако, вопросы утилизации растворов, образуемых при обессоливании пресных вод технологиями АзАСУ, изучены мало и представляют интерес, как в научном, так и в практическом плане.

1.3. Обоснование направления и содержания исследований

Как уже было изложено выше, применение традиционных технологий химобессоливания воды не позволяет организовать производство без образования агрессивных сточных вод, удельные расходы реагентов на регенерацию ионитов в несколько раз превышают стехиометрические значения, расходы воды на собственные нужды установки получаются значительно больше и степень использования рабочей обменной емкости ионитов особенно катионитов не превышает (20 ÷ 40)% [1, 6]. Однако, применение новых, высокоэффективных технологий водоприготовления с

сокращенными стоками и сокращенными реагентами разработанных в АзАСУ, позволяет пересмотреть существующие традиционные взгляды на процессы очистки воды и разработать новые технологические приемы позволяющие повысить экологическую и экономическую эффективность этих процессов [1]. По результатам исследований выявлено, что дальнейшее повышение эффективности процессов водоприготовления может быть достигнуто путем утилизации отработанных регенерационных растворов, образующихся в одном процессе на другом. Наиболее подходящими для этой цели являются процессы химобессоливания и умягчения воды, которые одновременно имеют место на тепловых электрических центрах (ТЭЦ) или же на крупных котельных. Для достижения повышения экологической и экономической эффективности процесса химобессоливания и умягчения воды с сокращенными количествами реагентов и сокращенными количествами стоков решены следующие задачи:

- исследование количество и качества отработанных регенерационных растворов Н-катионитных фильтров химобессоливающих установок;

- исследование количество и качества отработанных регенерационных растворов анионитных фильтров химобессоливающих установок;

- исследование возможностей утилизации ОРР Н и ОН - ионитных фильтров в процессе получения вод: добавочной для подпитки теплосети и умягченной для питания испарителей или же котлов соответствующего давления;

-исследование процесса регенерации катионитов нейтральными натрийсодержащими отработанными растворами;

-исследование процесса регенерации катионитов кислыми натрийсодержащими отработанными растворами;

-исследование процесса утилизации щелочных натрийсодержащих растворов при подготовке добавочной воды;

-разработка и анализ технологической схемы утилизации нейтральных натрийсодержащих ОРР;

-разработка и анализ технологической схемы утилизации кислых натрийсодержащих ОРР;

-разработка и анализ технологической схемы утилизации щелочных ОРР;

-определение экономической эффективности разработанных технологических схем утилизации ОРР химобессоливающих установок с сокращенными реагентами и сокращенными стоками.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ СТОКОВ ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

2.1. Исследование качества и количества регенерационных стоков Н-катионитных фильтров химобессоливания воды

При подготовке питательной воды необходимой для восполнения потерь на источниках тепло систем теплоснабжения в основном используется химический метод обессоливания. Обессоливание воды указанным методом представляет собой последовательное Н и ОН-ионирование воды соответственно на Н и ОН-ионитных фильтрах. Эти фильтры регенерируются соответственно растворами кислоты и щелочи, в процессе чего образуются кислые и щелочные стоки. Удельные расходы регенерационного раствора кислоты и щелочи на регенерацию этих ионитов традиционными технологиями в $2 \div 3$, а иногда и еще больше раз превышает стехиометрическое значение [1]. Повторное использование этих растворов - кислых и щелочных стоков от Н и ОН - ионитных фильтров не представляется возможным или же получается экономически не целесообразным из-за содержания в их составе смесей солей жесткости и натрия. Поэтому эти стоки либо должны быть обработаны на «хвостовых» установках, либо же сбрасываться без обработки. В первом случае это в несколько раз удорожает стоимость химобессоленной воды, а во втором случае загрязняет окружающую среду.

В связи с этим экологически чистые и ресурсосберегающие технологии химобессоливания, разработанные в

Азербайджанском Архитектурно-Строительном Университете, представляют большой научный и практический интерес, так как позволяют сократить количество образуемых при обработке вод стоков, повысить значения рабочей обменной емкости ионитов и уменьшить удельный расхода реагентов на регенерацию последних практически до теоретических значений [1, 6, 8]. Самое главное, стоки полученные на установках химобессоливания работающих по технологии, разработанной в АзАСУ, не содержат соли жесткости и являются условно «чистыми». Поэтому повторное использование таких стоков – их утилизация, может легко оправдывать себя как в экономическом, так и экологическом аспекте.

Согласно технологии АзАСУ, для повышения эффективности процесса Н-катионирования воды используются несколько технологических приемов. Во-первых, для улучшения регенерируемости катионитов, они регенерируются из легкорегенерируемой формы. Такой в водоподготовке является натриевая форма. Указанное достигается переводом катионита перед его регенерацией раствором кислоты в натриевую форму, или же подачей на химобессоливание глубокоумягченной воды. Во-вторых, при этом используется противоточный принцип ионирования воды. Последний прием при уменьшенном расходе кислоты на регенерацию позволяет получить необходимую степень очистки воды [1]. Таким образом, регенерационные стоки Н-катионитных фильтров, при регенерации катионитов со стехиометрическим расходом кислоты, представляют собой мягкие натрийсодержащие растворы, которые можно легко подвергать утилизации.

Исследование регенерируемости катионита из натрий формы при этом выявило очень положительную особенность в отношении утилизации стоков и повышения эффективности процесса Н-катионирования в целом. Получено, что незначительное повышение удельного расхода кислоты, по сравнению со стехиометрическим значением, на регенерацию катионита способствует резкому повышению восстанавливаемой при этом его обменной емкости. Например, при регенерации катионита КУ-2-8 из натрий формы, раствором серной кислоты, повышение удельного расхода кислоты на регенерацию против стехиометрического значения всего на 20% ($m = 1,2$ г-экв/г-экв) позволяет повысить значения обменной емкости от $600 \div 700$ до 1100 г-экв/м³, т.е. приблизительно на $(60 \div 70)\%$ [1]. Отсюда следует, что в случае утилизации кислоты, содержащейся в составе стоков Н-катионитных фильтров, можно резко повысить эффективность работы Н-катионитных фильтров. Следует отметить, что кроме повышения значения рабочей обменной емкости катионита, при этом улучшается также качество Н-катионированной воды, уменьшается расход катионита, а иногда даже количество фильтров и тем самым повышается эффективность процесса Н-катионирования, а в конечном итоге и химобессоливания воды. Дальнейшие исследования, проведенные здесь, показали возможность использования избытка кислоты в этих стоках для регенерации катионитных фильтров, а также для подкисления подпиточной воды теплосети или же системы оборотного охлаждения (СОО) [1]. Несмотря на это, использование ОРР Н-катионитных фильтров для подготовки подпиточной воды теплосети и СОО

практически не нашло применения из-за малоизученности состава, солесодержания и расхода подлежащих утилизации растворов.

Известно, что при регенерации катионита раствором кислоты в начале процесса ОРР представляет собой нейтральный раствор. При регенерации катионита из Na-формы указанные порции ОРР содержат практически только соли натрия. Вид соли натрия зависит от применяемой кислоты. Если для регенерации используется раствор серной кислоты, то в составе ОРР содержится только Na_2SO_4 . В случае применения для регенерации катионита растворов соляной или азотной кислот, ОРР будет содержать соответственно NaCl или NaNO_3 . Причем при регенерации катионита из Na-формы, значение обменной емкости катионита получается значительно больше, чем при регенерации его из смешанной - Ca, Mg, Na-формы. Поэтому при регенерации катионита из Na-формы, объем начальных - нейтральных порций ОРР получается значительно больше, чем в обычной регенерации. Указанное позволяет с относительно высокой точностью определить значение порций ОРР. При этом для упрощения расчетов принимается, что вытеснение катионов из катионита происходит «поршнеобразно». После проскока H^+ -ионов в фильтрат последующие порции ОРР становятся кислыми. Концентрация кислоты в ОРР постепенно повышается и может достигнуть исходного значения. Ход процесса регенерации, зависит от удельного расхода кислоты, от её концентрации и от скорости пропускания регенерационного раствора через катионит. Кислые порции ОРР в зависимости от применяемой кислоты при этом могут содержать

$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$, $\text{NaCl} + \text{HCl}$ или $\text{NaNO}_3 + \text{HNO}_3$. Как отсюда следует, все эти смеси представляют собой ценные реагенты, которые могут быть полезно использованы. Для достижения эффективной утилизации нейтральных и кислых порций ОРР Н-катионитных фильтров необходимо определение их составов, концентрации в их составе соединений и их удельного расхода.

Для определения объемов нейтральных и кислых порции ОРР соответственно выведены выражения [37]:

$$V_{\text{H}} = V_{\text{k}} \left(\frac{e_{\text{ст}}}{C_{\text{p}}} + \alpha \right), \text{ м}^3, \quad (2.1)$$

$$V_{\text{кис}} = V_{\text{k}} \left(\frac{m e - e_{\text{ст}}}{C_{\text{p}}} + g_0 - \alpha \right), \quad (2.2)$$

где V_{k} - объем катионита, м^3 ;

C_{p} - концентрация регенерационного раствора кислоты, мг-экв/л ;

m - удельный расход кислоты на регенерацию катионита, г-экв/г-экв ;

$e_{\text{ст}}$ и e - значение обменной емкости катионита при стехиометрическом и m - кратном расходе кислоты на его регенерацию, г-экв/м^3 ;

α - водяная часть фильтра;

g_0 - удельный расход воды на отмывку катионита, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Как следует из этих выражений объём нейтральной части ОРР катионитного фильтра в основном зависит от

концентрации раствора кислоты подаваемой на его регенерацию. Объём же кислых порций ОРР катионитного фильтра зависит от концентрации регенерационного раствора кислоты и от её удельного расхода на регенерацию.

От этих же двух параметров зависит обменная емкость поглощения катионита при стехиометрическом ($m = 1$) и m кратном расходе кислоты на его регенерацию.

Учитывая, что эти зависимости имеют большое значение при исследовании состава ОРР катионитных фильтров из [4] представляются обработанные автором данные.

В таблице 2.1 представлено изменение обменной емкости катионита при стехиометрическом расходе кислоты на регенерацию в зависимости от её концентрации.

Для определения концентрации солей натрия в составе нейтральных порции ОРР Н-катионитного фильтра использовано выражение [6]:

$$C_{\text{Na,H}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{P}}} + \frac{\alpha}{e_{\text{cm}}}}, \quad (2.3)$$

Используя выражения (2.1) и (2.3) определены изменение удельного объема нейтральной части ОРР Н-катионитного фильтра ($V_{\text{H}}/V_{\text{K}}$) и концентрация солей натрия ($C_{\text{Na,H}}$) в нем. Результаты исследований приведены в таблице 2.2.

Следует отметить, что в расчетах значение водяной части фильтра и удельный расход воды на отмывку катионита КУ-2-8 в двухпоточно-противоточном фильтре приняты соответственно 0,7 и $3 \text{ м}^3/\text{м}^3$ [6].

Таблица 2.1

Изменение обменной емкости катионита КУ-2-8 при стехиометрическом расходе кислоты на регенерацию в зависимости от её концентрации.

Концентрация раствора серной кислоты на регенерацию катионита КУ-2-8 C_p , г-экв/л	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7 5	1,0	2,0
Обменная емкость поглощения катионита КУ-2-8 при стехиометрическом расходе кислоты на регенерацию $e_{ст}$, г-экв/м ³	67 3	64 6	61 5	60 7	60 0	600	60 0	60 0

Таблица 2.2

Изменение удельного объема нейтральной части ОРР Н-катионитного фильтра ($V_n/V_{к,н}$) и концентрация солей натрия ($C_{Na,н}$) в нём

C_p , МГ-ЭКВ/Л	100	200	300	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600	2000
$V_n/V_{к,н}$, М ³ /М ³	7,43	3,93	2,75	2,21	1,9	1,7	1,45	1,3	1,2	1,13	1,08	1,00
$C_{Na,н}$, МГ-ЭКВ/Л	90,5	164,4	223,6	273,7	315,8	353	413,8	461,5	500	531,7	558	600

Как следует, из этой таблицы с повышением концентрации регенерационного раствора кислоты на регенерацию катионита значение удельного расхода нейтральной части ОРР Н-катионитного фильтра уменьшается, а кон-

центрация натрий-ионов в её составе увеличивается. Используя данные, приведенные в таблице 2.2 можно выбирать необходимый режим регенерации Н-катионитного фильтра с целью утилизации ОРР Н-катионитного фильтра.

При использовании нейтральной части ОРР Н-катионитного фильтра для регенерации Na-катионитного фильтра подготовки умягченной воды например, для теплосети следует принимать такую концентрацию регенерационного раствора чтобы, при регенерации катионита не происходил процесс загипсовывание катионита.

Для определения расхода нейтральной части ОРР при этом выведено уравнение:

$$W_{o.n} = \left(\frac{e_{ст}}{C_p} + \alpha \right) \frac{C_{пр.х.о}}{e} \left(1 + \frac{q_{с.нн}}{100} \right) \cdot \left(1 + \frac{q_{с.на}}{100} \right) \cdot W_{x.o}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.4)$$

где $q_{с.нн}$ и $q_{с.на}$ – удельный расход воды на собственные нужды Н-катионитных и анионитных фильтров, %;

$C_{пр.х.о}$ - солесодержание обессоливаемой воды после предварительной очистки, мг-экв/л;

$W_{x.o}$ – нетто производительность химобессоливающей установки, м³/ч.

Как следует, из этого выражения удельный расход нейтральных порций ОРР Н-катионитных фильтров (2.5) в основном зависит от солесодержания обрабатываемой воды и от удельного расхода кислоты на регенерацию катионита. Несмотря на то, что в выражении (2.5) параметр зна-

чения удельного расхода кислоты на регенерацию непосредственно отсутствует, его влияние на удельный расход нейтральных порций ОРР Н-катионитных фильтров выражается через обменную емкость катионита (e).

$$q_{\text{онн}} = \left(\frac{e_{\text{ст}}}{C_p} + \alpha \right) \frac{C_{\text{пр.х.о}}}{e} \left(1 + \frac{q_{\text{с.нн}}}{100} \right) \cdot \left(1 + \frac{q_{\text{с.на}}}{100} \right) \cdot 100, \% \quad (2.5).$$

При анализе характера изменения обменной емкости катионита в зависимости от удельного расхода кислоты на регенерацию, как уже было отмечено, выявлено следующее. Незначительное повышение удельного расхода кислоты, против стехиометрического значения способствует резкому повышению обменной емкости катионита. С повышением удельного расхода кислоты, интенсивность повышения обменной емкости катионита снижается и уже при достижении практически трехкратного расхода регенерата приближается к значению полной обменной емкости. Для наглядности эта зависимость, полученная при регенерации катионита КУ-2-8 находящегося перед регенерацией раствором серной кислоты концентрацией 500 мг-экв/л, в натрий форме, приводится в таблице 2.3 [1].

Для наглядного представления изменений удельного расхода нейтральных порций ОРР Н-катионитных фильтров в зависимости от солесодержания обрабатываемой воды и от удельного расхода кислоты на регенерацию катионита на рис. 2.1 представлены соответствующие графики [34].

Таблица 2.3

Изменение обменной емкости катионита КУ-2-8 в натрий-форме, при регенерации его раствором серной кислоты концентрацией 500 мг-экв/л, в зависимости от её удельного расхода

m, Г-экв/Г-экв	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
e, Г-экв/М ³	1050	1150	1240	1325	1400	1460	1510	1575	1660	1670	1690

Следует отметить, что здесь и далее для упрощения расчетов, не учтено влияние на процесс изменения значений удельного расхода воды на собственные нужды Н и ОН - ионитных фильтров. При этом эти параметры приняты постоянными и равными их средним значениям. Как показывают расчеты, погрешность полученных при этом результатов не превышает 3 %.

Как следует из рис. 2.1 с повышением удельного расхода кислоты и снижением солесодержания обрабатываемой воды, значение удельного расхода нейтральных порций ОРР Н-катионитных фильтров уменьшается. Это объясняется следующим образом. При регенерации катионита различными удельными расходами кислоты на его регенерацию, объем нейтральных порций ОРР остается практически постоянным. С повышением же удельного расхода кислоты на регенерацию катионита и снижением солесодержания обрабатываемой воды объем полученной при этом химобессоленной воды увеличивается.

При этом при практически постоянном значении числителя, происходит повышение значения делителя. В результате этого в вышеуказанных условиях происходит

снижение удельного расхода нейтральных порций ОРР Н-катионитных фильтров. Отсюда также видно, что со снижением соледержания обрабатываемой воды, влияние удельного расхода кислоты на регенерацию катионита на удельный расход нейтральных порций ОРР Н-катионитного фильтра ослабевает.

Интересные результаты получились при исследовании кислых порций ОРР Н-катионитных фильтров [34].

Для определения среднечасового расхода кислых порции ОРР Н-катионитных фильтров получено выражение (2.6).

При этом определение удельного расхода кислых порций ОРР Н-катионитных фильтров в % - ах, обозначив:

$q_{\text{ОНК}} = \frac{W_{\text{ОНК}}}{W_{\text{ХО}}} \cdot 100$ получаем выражение (2.7):

$$W_{\text{о.нк}} = \left(\frac{me - e_{\text{ст}}}{C_p} + g_o - \alpha \right) \frac{C_{\text{пр.х.о}}}{e} \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.н}}}{100} \right) \cdot \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.а}}}{100} \right) \cdot W_{\text{х.о}}, \quad \text{м}^3 / \text{ч}, \quad (2.6)$$

$$q_{\text{онк}} = \left(\frac{me - e_{\text{ст}}}{C_p} + g_o - \alpha \right) \frac{C_{\text{пр.х.о}}}{e} \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.н}}}{100} \right) \cdot \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.а}}}{100} \right) \cdot 100, \quad \% \quad (2.7)$$

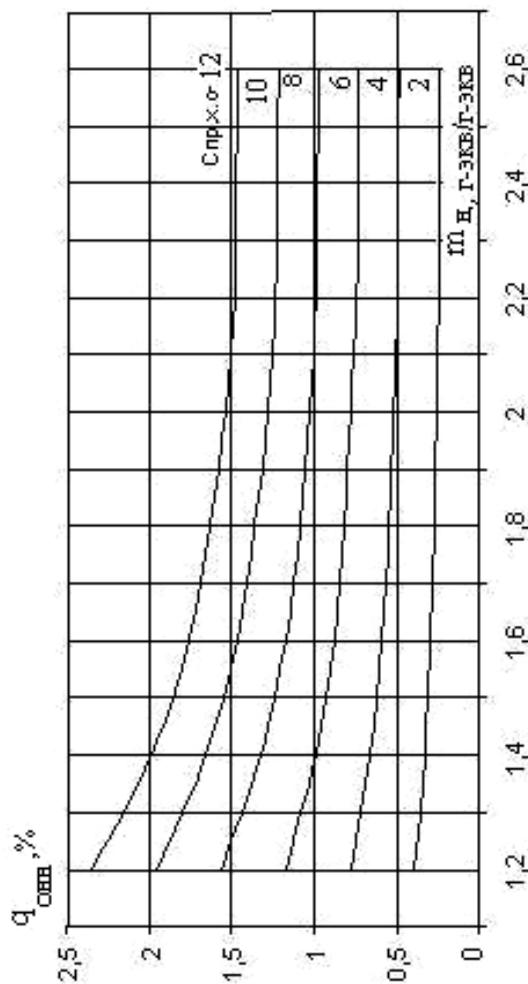


Рис. 2.1. Изменение удельного расхода нейтральных порций ОРР Н-катионитных фильтров ОРР Н-катионитных фильтров в зависимости от солевого содержания обрабатываемой воды и удельного расхода кислоты на регенерацию катионита

Здесь так же, как и в выражении (2.5) значение удельного расхода кислых порций ОРР Н-катионитных фильтров в основном зависит от удельного расхода кислоты на регенерацию катионита и от солесодержания обрабатываемой воды.

На рис. 2.2 представлены изменения удельных расходов кислых порций ОРР Н-катионитных фильтров в зависимости от солесодержания обрабатываемой воды и от удельного расхода кислоты на регенерацию катионита [34]. Отсюда видно, что во-первых, значения удельного расхода кислых порций ОРР Н-катионитных фильтров, при одинаковых значениях остальных параметров, больше чем удельный расход нейтральных порций ОРР. Во-вторых, в отличие от нейтральных порций, значение удельного расхода кислых порций ОРР Н-катионитных фильтров, с повышением удельного расхода кислоты на регенерацию катионита и снижением солесодержания обрабатываемой воды увеличивается. Причем указанное влияние заметно при больших значениях солесодержания обрабатываемой воды. Это объясняется тем, что с повышением солесодержания обрабатываемой воды разность между значениями уменьшения количества вырабатываемой за фильтроцикл химобессоленной воды по этой причине и увеличением с повышением удельного расхода кислоты на регенерацию катионита растет. Большой практический интерес представляет также и состав кислой части ОРР Н-катионитных фильтров. В кислой части ОРР кроме натриевой соли содержится также и избыток поданной на регенерацию кислоты.

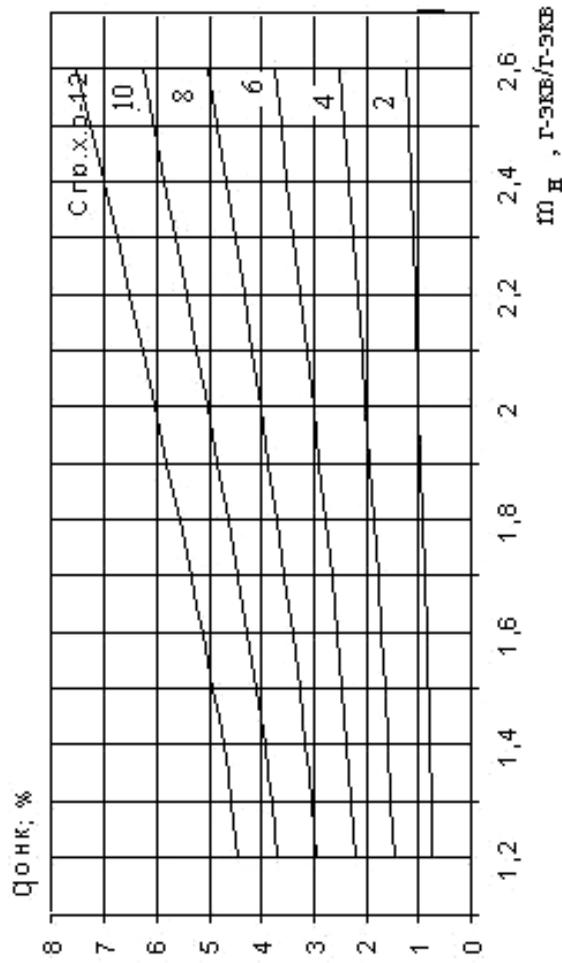


Рис. 2.2. Изменение удельного расхода кислот порций ОРР Н-катионитных фильтров в зависимости от солевого содержания обрабатываемой воды и удельного расхода кислоты на регенерацию катионита

Концентрации натриевой соли и избытка кислоты в кислой части ОРР Н-катионитного фильтра в мг-экв/л, определяется выражениями [6]:

$$C_{\text{H,к}} = \frac{(m-1) \cdot e}{\frac{m \cdot e - e_{\text{ст}}}{C_p} + g_o - \alpha}, \quad (2.8)$$

$$C_{\text{Na,к}} = \frac{e - e_{\text{ст}}}{\frac{m \cdot e - e_{\text{ст}}}{C_p} + g_o - \alpha} \quad (2.9).$$

При помощи этих выражений определены концентрации натриевой соли и кислоты в кислой части ОРР Н - катионитных фильтров в зависимости от удельного расхода и концентрации кислоты подаваемой на их регенерацию. Результаты этих расчетов графически показаны на рисунках 2.3 и 2.4 [35]. Как следует из рис. 2.3 и, как предполагалось заранее, с повышением концентрации раствора кислоты на регенерацию катионита концентрация натриевой соли в кислой части ОРР Н-катионитного фильтра повышается. Указанное объясняется тем, что натриевые соли образуются непосредственно при регенерации катионита вследствие обмена Na^+ - ионов в катионите H^+ - на ионы раствора кислоты. Поэтому повышение концентрации раствора кислоты приводит к увеличению концентрации раствора солей натрия в кислой части ОРР Н - катионитного фильтра.

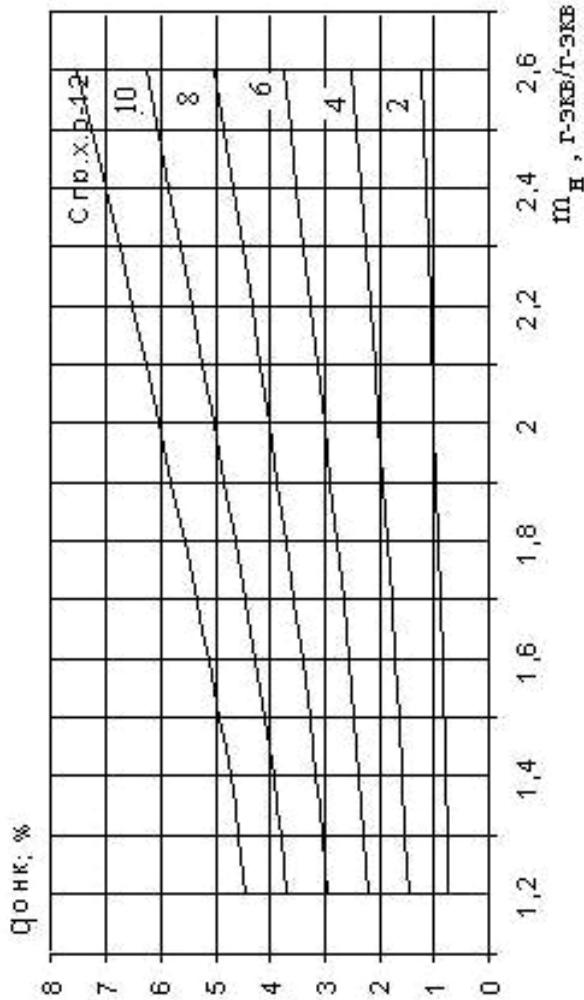


Рис. 2.3. Изменение удельного расхода кислоты порций ОРР Н-катионитных фильтров в зависимости от солевого содержания обрабатываемой воды и удельного расхода кислоты на регенерацию катионита

Однако при одной и той же концентрации регенерационного раствора кислоты концентрация натриевой соли в кислой части ОРР Н - катионитного фильтра в начале увеличивается, достигая своего максимума, а затем уменьшается. Это объясняется тем, что при относительно небольших значениях удельного расхода кислоты на регенерацию катионита, прирост его обменной емкости получается больше чем при больших значениях удельного расхода кислоты.

С повышением же удельного расхода кислоты прирост значения обменной емкости катионита уменьшается. Вследствие этого при больших значениях удельного расхода кислоты на регенерацию катионита количество получаемых H^+ - ионов в ОРР превышает образующиеся в результате регенерации катионита Na^+ - ионы. Поэтому в этих условиях происходит уменьшение концентрации Na^+ - ионов в ОРР.

Интересно, что с уменьшением концентрации раствора кислоты на регенерацию катионита изменение концентрации Na^+ - ионов в кислых порциях ОРР в зависимости от удельного расхода кислоты ослабевает, а при концентрациях раствора кислоты 200 мг-экв/л и ниже её значение постоянно уменьшается. Это объясняется тем, что при относительно низких концентрациях раствора кислоты её объём резко увеличивается.

Из рис. 2.4 следует, что концентрация H^+ - ионов в кислой части ОРР Н-катионитного фильтра с повышением значений удельного расхода и концентрации кислоты на регенерацию катионита постоянно растет. Причем указанный прирост с повышением концентрации

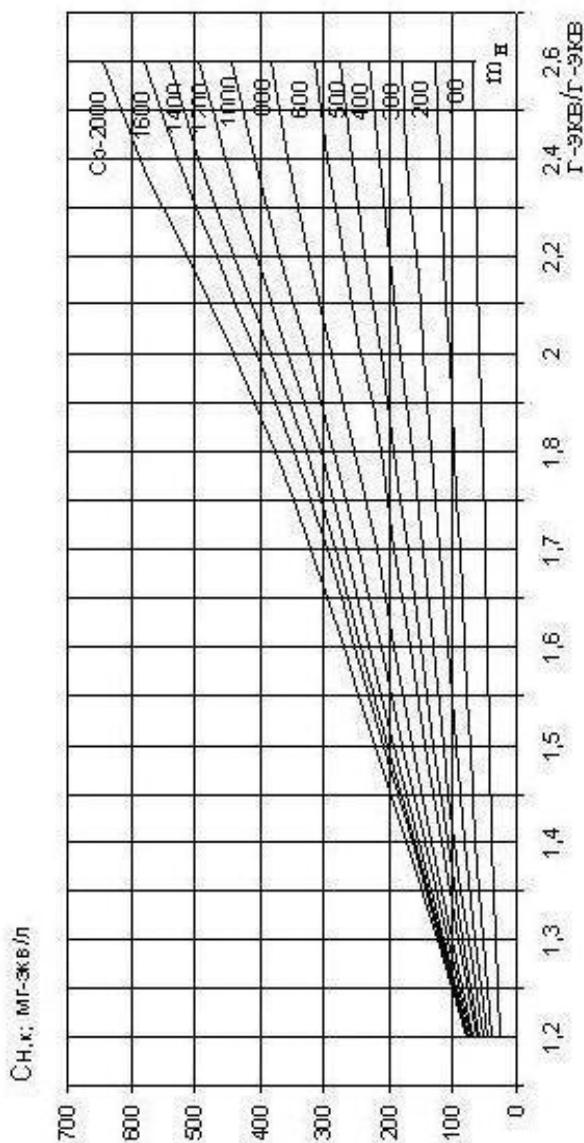


Рис. 2.4. Изменение концентрации кислоты в кислой части ОРР Н-катионит-ного фильтра в зависимости от удельного расхода и концентрации кислоты подаваемой на регенерацию

регенерационного раствора становится ещё сильнее. Это объясняется тем, что с повышением концентрации регенерационного раствора объем регенерационного раствора уменьшается. Поэтому при уменьшенном объеме ОРР вмещается больше кислоты, вследствие чего и концентрация H^+ - ионов в растворе увеличивается. Таким образом, в результате исследований, проведенных автором, определены количества и качества ОРР Н - катонитных фильтров работающих по технологиям с сокращенными стоками и реагентами разработанными в АзАСУ [35, 36].

Указанные результаты исследований позволяют эффективно утилизировать ОРР Н - катонитных фильтров в процессе водоприготовления для других потребителей. Этим можно достигнуть повышения экономической и экологической эффективности процессов водоприготовления на ТЭЦ в целом.

2.2. Исследование количества и качества стоков анионитных фильтров химобессоливания воды

При изучении стоков химобессоливания воды, с целью их дальнейшей утилизации, особый интерес представляют стоки анионитных фильтров. Химические соединения, содержащиеся в составе стоков анионитных фильтров, представляют собой продукты регенерации: натриевые соли ($NaCl$, Na_2SO_4) и щелочи (Na_2CO_3 , Na_2SiO_3) а также избытки регенерационного раствора щелочи. Последний в зависимости от используемой щелочи может содержать Na_2CO_3 , $NaHCO_3$ или $NaOH$. Соединения $NaCl$, Na_2SO_4 и избыток щелочи, как правило, получают в составе стоков анионитных фильтров первой ступени. Остальные соединения Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 и избыток щелочи содержатся в

составе стоков анионитных фильтров второй ступени. В составе этих стоков кроме указанных соединений в незначительном количестве содержатся также и NaCl. Последнее соединение в стоках второй ступени анионитных фильтров образуется вследствие регенерации Cl^- - ионов из высокоосновного анионита проскочивших после первой ступени.

Как отсюда следует, все эти соединения являются ценными реагентами, которые могут быть повторно использованы при обработке воды различного качества.

Дело в том, что при химическом обессоливании воды, по технологиям с сокращенными стоками и сокращенными реагентами, разработанными в АзАСУ, значения удельного расхода щелочи на регенерацию анионита на первой ступени, с применением двухпоточно-противоточных конструкций фильтров и двухпоточно-противоточной технологии регенерации анионитов, снижаются практически до стехиометрического. Поэтому в составе ОРР анионитных фильтров первой ступени в основном содержатся натриевые соли NaCl и Na_2SO_4 . Указанные солей можно использовать для регенерации катионитных фильтров глубокого умягчения воды. Незначительное количество щелочи содержащееся в этих стоках нейтрализуется при смешивании их со стоками Н-катионитных фильтров перед их утилизацией.

Количество натриевых солей, полученных при регенерации анионитных фильтров первой ступени, при этом можно определить следующим образом:

$$\sum Na_{A_1} = W_{x,o} \cdot \left(1 + \frac{q_{CH,A_1y}}{100} \right) \cdot \left(\sum A_{CK,BX,A_1} - \sum A_{CK,A_1} \right) \cdot m_{A_1}; \quad \Gamma - \text{экв/ч} \quad (2.10)$$

где $W_{x,o}$ - нетто производительность химобессоливающей установки, м³/ч;

q_{CH,A_1y} - удельный расход анионированной в первой ступени воды на собственные нужды установки, %;

$\sum A_{CK,BX,A_1}$ и $\sum A_{CK,A_1}$ - концентрации анионов сильных кислот на входе и после анионитного фильтра первой ступени, мг-экв/л;

m_{A_1} - удельный расход щелочи на регенерацию анионита в первой ступени, г-экв/г-экв.

На практике значение m_{A_1} принимается равной около (1,05 ÷ 1,1) г-экв/г-экв [1, 7].

Концентрация натриевых солей в составе ОРР A_1 -фильтра при этом определяется выражением:

$$C_{Na} = \frac{1}{\frac{1}{C_{p,A_1}} + \frac{q_{O,A_1}}{m_{A_1}e_{A_1}}}, \quad \text{мг - экв/л.} \quad (2.11)$$

где C_{p,A_1} - концентрация регенерационного раствора щелочи подаваемой на регенерацию анионита в A_1 -фильтре, мг-экв/л;

$q_{O,A1}$ - удельный расход воды на отмывку анионита в A_1 -фильтре, m^3/m^3 ;

e_{A1} – рабочая емкость поглощения анионита в A_1 -фильтре, г-экв/ m^3 .

При этом расход ОРР A_1 - фильтра определяется выражением:

$$W_{OPP,A1} = W_{X,O} \left(\frac{m_{A1}}{C_{p,A1}} + \frac{q_{O,A1}}{e_{A1}} \right) \cdot \left(1 + \frac{q_{CH,A1,Y}}{100} \right) \left(\sum A_{CK,BX,A1} - \sum A_{CK,A1} \right), \quad m^3/ч. \quad (2.12)$$

В отличие от стоков анионитного фильтра первой ступени, стоки анионитного фильтра второй ступени содержат практически только щелочи. При этом часть этой щелочи представляет собой продукты регенерации анионита во второй ступени, т.е. Na_2SiO_3 и Na_2CO_3 . остальное количество щелочи есть избыток регенерационного раствора $NaOH$. Все эти виды щелочей представляют большой интерес в отношении их утилизации.

Для определения общего количества щелочиполученной при регенерации A_2 -фильтры, выведено выражение [37]:

$$\sum \text{Щ}_{A_2} = W_{x.o} \left(1 + \frac{q_{c.n.n}}{100} \right) \left(1 + \frac{q_{c.n.a}}{100} \right) \cdot (\text{CO}_{2, \text{вх.} A_2} + \text{HSiO}_{3, \text{пр.}} - \text{HSiO}_{3, A_2}) \cdot m_{A_2}; \text{ г - экв/ч} \quad (2.13)$$

где $q_{c.n.n}$ – и $q_{c.n.a}$ – удельный расход воды на собственные нужды соответственно Н-катионитных и анионитных фильтров, %;

$\text{CO}_{2, \text{вх.} A_2}$, $\text{HSiO}_{3, \text{пр.}}$, HSiO_{3, A_2} – концентрации соответственно углекислого газа в воде на входе A_2 , кремневки после предочистки и A_2 - фильтра, мг-экв/л;

m_{A_2} - удельный расход NaOH на регенерацию анионита в A_2 - фильтре, г-экв/г-экв.

При этом расход, образующийся ОРР A_2 -фильтра определяется выражением:

$$W_{\text{ОРР}, A_2} = \left(\frac{m_{A_2}}{C_{p, A_2}} + \frac{q_{O, A_2}}{e_{A_2}} \right) (\text{CO}_{2, \text{вх.} A_2} + \text{HSiO}_{3, \text{пр.}} - \text{HSiO}_{3, A_2}) \cdot \left(1 + \frac{q_{c.n.n}}{100} \right) \cdot \left(1 + \frac{q_{c.n.a}}{100} \right) \cdot W_{x.o}, \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (2.14)$$

где C_{p, A_2} - концентрация регенерационного раствора NaOH для регенерации анионита в A_2 - фильтре, мг-экв/л;

q_{O, A_2} – удельный расход воды на отмывку анионита в A_2 -фильтре, м³/м³;

e_{A_2} – рабочая емкость поглощения анионита в A_2 -фильтре, г-экв/м³.

Общая концентрация щелочи в ОРР A_2 - фильтра составляет:

$$C_{\text{ОРР},A_2} = \frac{1}{\frac{1}{C_{p,A_2}} + \frac{q_{O,A_2}}{m_{A_2} \cdot e_{A_2}}}, \text{ мг - экв/л.} \quad (2.15)$$

Указанным выражением определяется сумма всех щелочей входящих в состав ОРР A_2 -фильтра. Получены также выражения для определения концентрации N_2CO_3 , Na_2SiO_3 и $NaOH$ в ОРР A_2 -фильтра, мг-экв/л [37]:

$$C_{Na_2CO_3} = \frac{CO_{2,вх.A_2}}{\left(\frac{m_{A_2}}{C_{p,A_2}} + \frac{q_{O,A_2}}{e_{A_2}} \right) (CO_{2,вх.A_2} + HSiO_{3,пр.} - HSiO_{3,A_2})}, \quad (2.16)$$

$$C_{Na_2SiO_3} = \frac{HSiO_{3,пр.} - HSiO_{3,A_2}}{\left(\frac{m_{A_2}}{C_{p,A_2}} + \frac{q_{O,A_2}}{e_{A_2}} \right) (CO_{2,вх.A_2} + HSiO_{3,пр.} - HSiO_{3,A_2})}, \quad (2.17)$$

$$C_{NaOH} = \frac{m_{A_2} - 1}{\frac{m_{A_2}}{C_{p,A_2}} + \frac{q_{O,A_2}}{e_{A_2}}}. \quad (2.18)$$

Таким образом, в результате исследований определены количественные и качественные показатели стоков

анионитных фильтров химобессоливающей установки, необходимые для их дальнейшей утилизации. Получены соответствующие математические выражения для определения расходов, общей концентрации продуктов регенерации и избытков регенерационного раствора щелочи в их составе.

2.3. Исследование взаимосвязи между установками подготовки добавочной воды теплосети, имеющих возможность утилизации стоков Н - и ОН - ионитных фильтров химобессоливания

Как уже было отмечено выше, при регенерации Н и ОН - ионитных фильтров, работающих по технологии с сокращенными стоками и реагентами, в зависимости от удельного расхода реагентов на регенерацию ионитов, в качестве ОРР получаются либо раствор, содержащий практически только натриевые соли, либо же вместе с последними и избытки реагентов кислоты или щелочи. Последний режим имеет место при подаче на регенерацию ионитов реагентов в избыточном, против стехиометрического количества.

Во всех режимах регенерации ионитных фильтров химобессоливающих установок, работающих по технологии, разработанной в АЗАСУ, в составе стоков отсутствуют соли жесткости, которые препятствуют дальнейшей эффективной утилизации остальных компонентов, содержащихся в этих стоках. Таким образом, стоки (ОРР) Н - и ОН - ионитных фильтров могут содержать катионы: Na^+ , H^+ и анионы: SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , SiO_3^{2-} , CO_3^{2-} , OH^- .

Катионы Na^+ и H^+ как известно, являются основными регенерирующими агентами катионитов. Катионы Na^+ при этом могут быть эффективно использованы в основном для регенерации сильнокислотных и полифункциональных катионитов. При использовании их для регенерации слабокислотных катионитов эффективность регенерации получается достаточно низкой. В отличие от Na^+ - ионов, H^+ - ионы универсальны и применяются для регенерации всех видов катионитов. Эти ионы особенно эффективно регенерируют слабокислотные катиониты. Эффективность регенерации при этом не снижается даже при содержании в растворе кроме H^+ - ионов и Na^+ - ионов. При анализе анионного состава стоков следует, что кроме анионов Cl^- и NO_3^- все остальные анионы (SO_4^{2-} , SiO_3^{2-} , CO_3^{2-} , OH^-) могут быть использованы при осаждении катионов жесткости. Однако соединения, образуемые этими анионами катионы жесткости, имеют разные растворимости и для их осаждения необходимо создать определенные соответствующие условия. Например, анионы SO_4^{2-} с Ca^{2+} - ионами образуют плохо растворимое соединения $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Данное соединение образуется также и при регенерации Н - катионитных фильтров раствором серной кислоты. Однако указанное явление является нежелательным и для его предотвращения выполняются различные мероприятия. К ним можно отнести ступенчатую регенерацию катионита раствором серной кислоты, при которой концентрация регенерационного раствора кислоты повышается постепенно с (1 ÷ 1,5) % до (5 ÷ 6) %. Подачей ма-

локонцентрированной кислоты обеспечивается вытеснение из катионита большей части Ca^{2+} - ионов. Дальнейшее же увеличение концентрации кислоты обеспечивает повышение степени регенерации катионита и значение его рабочей емкости поглощения.

Здесь же требуется осадить по возможности большее количество $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ из раствора, который получается при утилизации ОРР ионитных фильтров. Поэтому при утилизации ОРР ионитных фильтров химобессоливающей установки содержащим SO_4^{2-} - ионы для эффективного осаждения соединения $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ необходимо создать необходимые условия. Этим во - первых достигается утилизация SO_4^{2-} - ионов, во - вторых, обеспечивается получение труднорастворимого соединения в составе, который выводит из установки водоприготовления Ca^{2+} - ионы. Учитывая, что соединения SiO_3^{2-} , CO_3^{2-} , OH^- - ионов с катионами жесткости как например, CaSiO_3 , CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в воде имеют значительно меньшую растворимость чем, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, осаждение их в одном и том же аппарате требует поддержания специального режима. Либо же осаждение этих соединений может быть осуществлено в разных аппаратах.

Таким образом, после изучения состава ОРР [34, 35, 38], определения его качества, ознакомления с его компонентами и поведением их в процессе дальнейшей утилизации получены предпосылки возможных вариантов утилизации ОРР ионитных фильтров химобессоливающих установок, работающих по технологии, разработанной в АЗА-

СУ с сокращенными стоками и с сокращенными реагентами на регенерацию ионитов. При этом в качестве технологической схемы утилизации ОРР ионитных фильтров подобраны такие, при использовании которых имелась возможность использования, как катионов, так и анионов содержащихся в их составе соединений.

При этом рассмотрены варианты утилизации ОРР катионитных и анионитных фильтров.

При анализе технологических схем утилизации ОРР катионитных фильтров получено, что их можно использовать в качестве регенерационных растворов умягчительных фильтров, а в случае наличия кислых стоков и для подкисления подпиточной воды теплосети. Принципиально возможные схемы использования ОРР Н - катионитных фильтров показаны на рисунках 2.5 и 2.6 [34, 39, 40]. На рис. 2.5 показана схема, где как нейтральные, так и кислые порции ОРР Н - катионитных фильтров химобессоливающей установки используются для регенерации Na и Н - катионитных фильтров умягчительной установки. При этом исходная вода подается на предочистку химобессоливания воды (ПрХОВ), откуда последовательно пропускается через Н и ОН - ионитные фильтры, где обессоливается. Регенерация Н и ОН - ионитных фильтров осуществляется соответственно раствором кислоты и щелочи. Расход щелочи, подаваемой на регенерацию анионитных фильтров, принимается в стехиометрическом количестве. Раствор же кислоты на регенерацию катионитных фильтров подается в стехиометрическом, или же в избыточном против стехиометрического количества. Нейтральные порции ОРР Н - катионитных и ОРР анионитных фильтров собираются в

бак нейтральных растворов (БНР), откуда используются для регенерации Na - катионитных фильтров подготовки Кислые же порции ОРР Н - катионитных фильтров собираются в бак для кислых растворов (БКР) и используются для регенерации H-Na - катионитных фильтров подготовки подпиточной воды. Подпиточную воду можно использовать для восполнения потерь на тепловых сетях или же в СОО.

Если ОРР Н - катионитных фильтров содержат только соли натрия, тогда их можно использовать для регенерации как сильнокислотных, так и полифункциональных катионитов. Указанному соответствует режим регенерации Н - катионитных фильтров химобессоливающих установок раствором кислоты в стехиометрическом количестве.

Если ОРР Н - катионитных фильтров кроме солей натрия содержит также и избытки регенерационного раствора кислоты, тогда этим раствором можно отрегенировать практически все виды катионитов, т.е. и сильнокислотные, и полифункциональные и слабокислотные. Этого же раствора можно использовать для подкисления подпиточной воды теплосети или же СОО (рис. 2.6.). При регенерации кислым ОРР сильнокислотных катионитов степень утилизации H^+ - ионов зависит от качества умягченной воды. При относительно большой концентрации H^+ - ионов в ОРР Н - катионитных фильтров реакция получаемой умягченной воды может оказаться кислой.

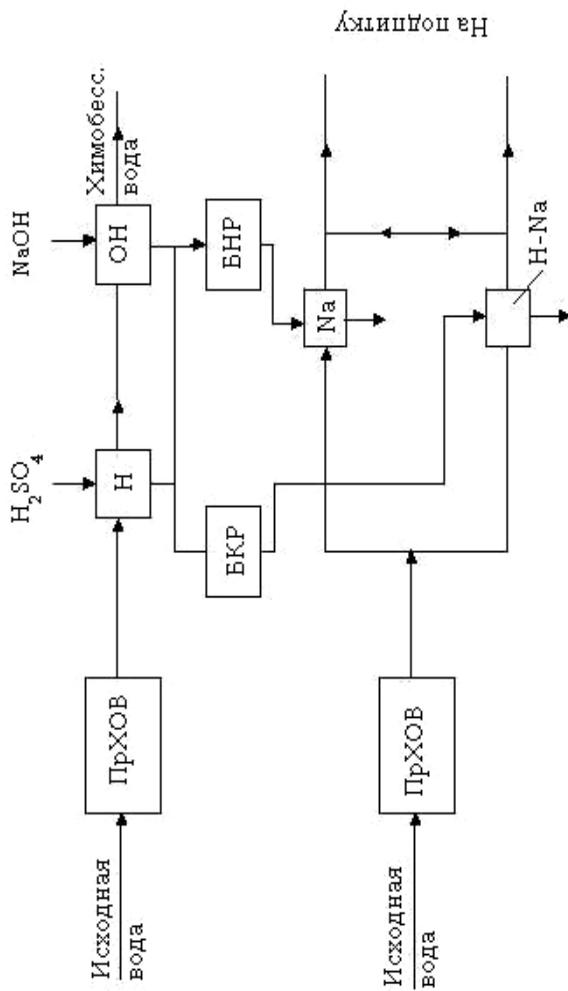


Рис. 2.5. Схема использования ОРР Н-катионитных фильтров для регенерации Na и H-Na-катионитных фильтров подпитки теплотрассы и же СОО

Учитывая, что результаты исследования указанного режима рассматриваются в следующей главе, здесь он подробно не описывается. использовании его для регенерации полифункциональных и слабокислотных типов катионитов.

Самый эффективный режим утилизации кислого ОРР Н - катионитных фильтров наблюдается при использова-

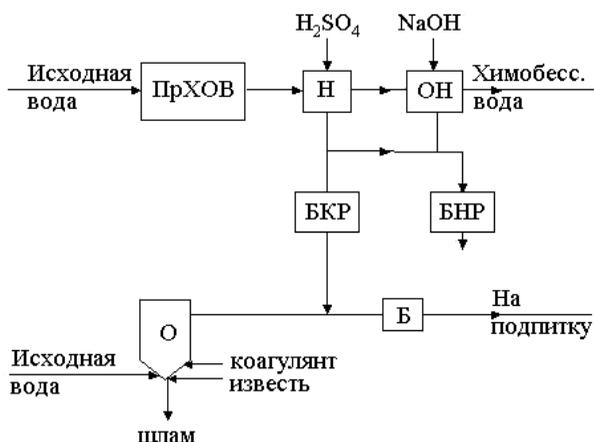


Рис. 2.6. Схема использования кислых порций ОРР Н-катионитных фильтров для подкисления подпиточной воды теплосети или же СОО

нии его для регенерации полифункциональных и слабокислотных типов катионитов.

Известно, что полифункциональные катиониты содержат сильнокислотные сульфогруппы - (SO_3H -), слабокислотные: карбоксильные (COOH -) и фенольные (OH -) ионообменные группы. Степень утилизации H^+ - ионов

ОРР Н- катионитных фильтров в основном зависит от содержания в катионите относительного количества карбоксильных и фенольных групп. С повышением относительной концентрации карбоксильных и фенольных групп в таких типах катионитах увеличивается степень утилизации H^+ - ионов ОРР Н - катионитных фильтров. Это объясняется природой этих типов катионитов. Катионы поглощенные карбоксильными и фенольными группами очень легко регенерируются H^+ - ионами раствора кислоты. Присутствие при этом в этом растворе даже катионов натрия, в качестве противоиона, практически не препятствует регенерации этих ионогенных групп H^+ - ионами. Однако с повышением относительного количества карбоксильных и фенольных групп в катионите уменьшается степень утилизации Na^+ - ионов, содержащихся в составе ОРР Н - катионитных фильтров. Поэтому, при утилизации кислых ОРР Н - катионитных фильтров подбор типа катионита должен производиться с учетом состава ОРР, т.е. относительной концентрации в нем H^+ - ионов.

Имеется также вариант утилизации кислого ОРР Н - катионитных фильтров для подкисления подпиточной воды теплосети (рис.2.6.) [34]. Подпиточная вода при этом готовится в осветлителе (О) путем известкования (или содоизвесткования) с коагуляцией. После подкисления подпиточной воды, кислыми порциями ОРР Н-катионитных фильтров, она пропускается через буферный фильтр.

При этом H^+ - ионы, содержащиеся в составе ОРР, используются для корректировки рН подпиточной воды теплосети. Однако, при этом в подпиточную воду теплосети вместе H^+ - ионами попадают и Na^+ - ионы ОРР Н-

катионитных фильтров. Поэтому, при использовании кислого ОРР Н-катионитных фильтров для корректировки рН подпиточной воды теплосети в зависимости от состава последней и относительной производительности подпиточной воды может иметь место повышение солесодержания последней, против солесодержания в исходной воде. Однако указанная технологическая схема утилизации кислых ОРР катионитных фильтров химобессоливающих установок проще всего и не требует большого капиталовложения. При этом емкость для сбора кислых порций или же всего ОРР все равно предусматривается на установках для сбора и подачи на нейтрализацию перед их обработкой или же сбросом.

Использование ОРР Н - катионитных фильтров регенерируемых раствором кислоты, в избыточном против стехиометрического количества, как уже было изложено, позволяет резко повысить значения рабочей обменной емкости катионита, улучшить качество Н-катионированной воды, уменьшить расход катионита и иногда даже количество фильтров и тем самым повысить эффективность процесса Н-катионирования и в конечном итоге химобессоливания воды.

Режим утилизации ОРР анионитных фильтров также имеет свои особенности. Если количество щелочи подаваемой на регенерацию анионитных фильтров соответствует стехиометрическому количеству поглощенных анионитом анионов, тогда ОРР анионитных фильтров содержит в основном катионы натрия и SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- - анионы. Однако учитывая, что в обессоливаемой воде кроме анионов сильных кислот содержатся также в незначительном

количестве анионы слабых кислот, в составе ОРР анионитных фильтров кроме Na_2SO_4 , NaCl и NaNO_3 содержится также и соединения Na_2CO_3 и Na_2SiO_3 . Если первые три соединения при их утилизации не представляют особой опасности для регенерации катионитных фильтров, то два последних соединения при этом образуют такие трудно растворимые соединения, как CaCO_3 и CaSiO_3 . Если даже в незначительном количестве в составе ОРР содержится, и соединение NaOH тогда в результате этого при регенерации таким раствором катионитного фильтра образуется еще одно трудно растворимое соединение $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Как отсюда следует, независимо от удельного расхода щелочи на регенерацию анионитного фильтра при утилизации его ОРР всегда имеет место опасность осаждения трудно растворимых соединений. Поэтому, перед утилизацией ОРР анионитных фильтров, обязательным условием для обеспечения безопасности этого процесса, является нейтрализация имеющейся в ОРР щелочи. Для этого необходимо кислота, которая может находиться в составе ОРР Н-катионитных фильтров. Таким образом, перед процессом утилизации ОРР Н- и ОН-ионитных фильтров необходима взаимная их нейтрализация. С учетом того, что удельные расходы регенерационных растворов по технологии АзАСУ приближены к стехиометрическому количеству, то для получения взаимной нейтрализации ОРР Н и ОН-ионитных фильтров в отличие от традиционных технологических схем следует произвести необходимые расчеты. На основании исследований [37] этих процессов выведены

соответствующие математические выражения для следующих условий:

1. На регенерацию анионитных фильтров щелочь подается строго в стехиометрическом количестве. При этом кислота необходимая в составе ОРР Н-катионитных фильтров должна расходоваться на нейтрализацию щелочи в ОРР анионитных фильтров второй ступени, образуемая в результате наличия в обессоливаемой воде анионов слабых кислот. Для этого случая необходимый удельный расход кислоты на регенерацию Н-катионитных фильтров определяется выражением:

$$m_H = 1 + \frac{1 + \frac{Q_{CHH}}{100}}{1 + \frac{Q_{CHH}}{100}} \cdot \frac{A_{СЛК}}{\sum K}, \quad \Gamma - \text{ЭКВ} / \Gamma - \text{ЭКВ}. \quad (2.19)$$

2. На регенерацию анионитных фильтров щелочь подается больше чем в стехиометрическом количестве. При этом избыток кислоты в составе ОРР Н-катионитных фильтров должен расходоваться не только на нейтрализацию продуктов регенерации второй ступени анионитного фильтра, но также должен нейтрализовать и избыток щелочи содержащейся в составе ОРР. В этом случае необходимое значение удельного расхода кислоты на регенерацию катионитного фильтра, Γ -ЭКВ/ Γ -ЭКВ, определяется выражением:

$$m_H = 1 + \frac{1 + \frac{q_{\text{СНА}}}{100}}{1 + \frac{q_{\text{СНН}}}{100}} \cdot \frac{m_A \cdot (A_{\text{С.К}} + A_{\text{СЛ.К}}) - A_{\text{С.К}}}{\sum K}, \quad (2.20)$$

где $A_{\text{С.К}}$, $A_{\text{СЛ.К}}$ - концентрации в обессоленной воде анионов сильных и слабых кислот в воде анионируемой во второй ступени, мг-экв/л;

$\sum K$ - суммарная концентрация в обессоливаемой воде катионов, мг-экв/л;

m_A - удельный расход щелочи на регенерацию анионитных фильтров, г-экв/г-экв.

Из выражения (2.20) можно получить также выражение (2.19) приравнявая m_A единицу.

ОРР анионитных фильтров химобессоливающей установки, когда на регенерацию анионитных фильтров щелочь подается значительно больше, чем стехиометрическое количество, избыток щелочи содержащийся в ОРР анионитных фильтров можно использовать также для обработки воды в осветлителе подготовки подпиточной воды теплосети или же СОО. При этом щелочные анионы SiO_3^{2-} , CO_3^{2-} и OH^- содержащиеся в составе ОРР анионитных фильтров используется для осаждения катионов жесткости обрабатываемой воды. При этом в эту осветлитель совместно ОРР анионитных фильтров можно подавать также и известь (рис.2.7).

В зависимости от состава обрабатываемой воды и отношения между производительностями подпиточной и химо-

бессоленной воды в осветлитель подпиточной воды можно подавать только ОРР анионитных фильтров. Причем, в осветлитель подпиточной воды можно подавать только щелочные порции или же весь ОРР. В зависимости от состава и от отношения между производительностями подпиточной и химобессоленной воды в случае подачи в осветлитель всего ОРР, может быть случай повышения содержания подпиточной воды относительно содержания в исходной воде. В этом случае необходимо разделение ОРР анионитных фильтров на нейтральные и щелочные порции. Нейтральные порции ОРР при этом утилизируется отдельно от щелочных порций. Наиболее эффективная утилизация ОРР анионитных фильтров в осветлителе подпиточной воды происходит тогда, когда ОРР анионитного фильтра второй ступени собирается отдельно [37]. При этом ОРР анионитных фильтров второй ступени содержит только щелочные соединения как Na_2SiO_3 , Na_2CO_3 и NaOH . Эти соединения полностью расходуются для осаждения ионов жесткости при подготовке подпиточной воды. Однако указанный режим сбора ОРР анионитных фильтров встречается очень редко, так как, для снижения удельного расхода щелочи на регенерацию анионитных фильтров и для повышения эффективности регенерации анионита во второй ступени анионитных фильтров применяется повторное использование ОРР после второй ступени для регенерации анионита в первой ступени.

В случае, когда регенерация анионитных фильтров первой ступени осуществляется раствором извести по бессточной технологии, или же стехиометрическим количест-

вом кальцинированной или пищевой соды, регенерация анионитных фильтров второй ступени осуществляется раствором NaOH. При этом для уменьшения удельного расхода щелочи на регенерацию анионитов во второй ступени применяется двухпоточно-противоточные фильтры. Этим достигается снижение удельного расхода щелочи на регенерацию анионита во второй ступени до $(3 \div 5)$ г-экв/г-экв.

Для определения общего количества щелочи, г-экв/ч, полученного при регенерации А₂-фильтров, выведено выражение (2.25) [37].

При этом расход, образующийся ОРР А₂-фильтра, м³/ч, определяется выражением (2.26).

Общая концентрация щелочи ОРР А₂-фильтра, мг-экв/л, составляет:

Получены также выражения для определения концентрации N₂CO₃, Na₂SiO₃ и NaOH ОРР А₂-фильтра, мг-экв/л, приведенные в (2.16; 2.17; 2.18). При подготовке подпиточной воды теплосети или же СОО, в зависимости от конкретных условий, требуется корректировка значения рН обработанной в осветлителе воды. Для этого применяется раствор кислоты. В качестве кислоты для корректировки значения рН подпиточной воды при этом можно использовать кислые порции ОРР Н-катионитных фильтров. Технологическая схема осуществления отмеченного показана на рисунке 2.8. Как следует, из этого рисунка в осветлителе подготовки подпиточной воды теплосети или же СОО осуществляется реагентная обработка воды с коагуляцией.

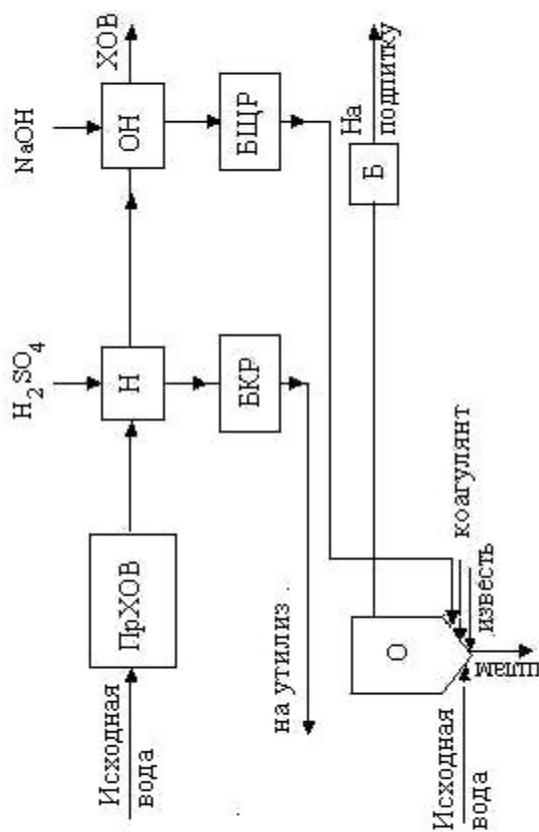


Рис. 2.7. Схема утилизации щелочных ОРР анионитных фильтров химобессоляющей установки в осветителе подпитки теплосети или СОО

При этом в качестве щелочных реагентов, в осветлитель из бака щелочных растворов подается щелочной ОРР

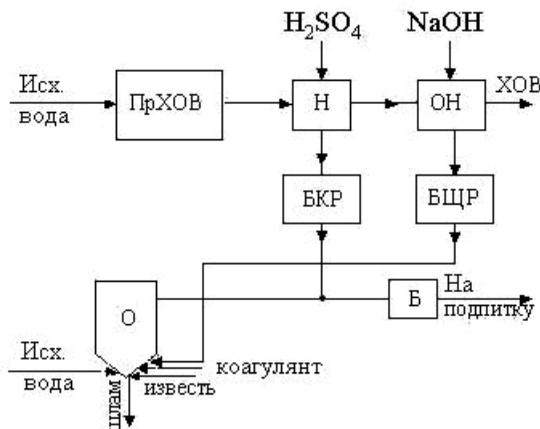


Рис. 2.8. Схема утилизации щелочных и кислых порций ОРР соответственно анионитных и катионитных фильтров химобессоливающей установки при подготовке подпиточной воды теплосети или же СОО

анионитных фильтров. В зависимости от конкретных условий можно предусмотреть подачу также и извести в осветлитель. В обработанную в осветлителе воду, для корректировки в ней значения рН, дозируются кислые порции ОРР катионитных фильтров. При этом одновременно осуществляется утилизация ОРР как катионитных, так и анионитных фильтров химобессоливающей установки. Этим достигается повышение рабочей обменной емкости как катионитных так и анионитных фильтров химобессоливающей установки, улучшаются экологические и экономические показатели процесса водоприготовления, обеспечивается

высокая надежность эксплуатации, т.к. для подготовки подпиточной воды используются не привозные реагенты, а продукты регенерации и избыточные от химобессоливания реагенты.

Технологическая схема химобессоливания воды, когда регенерация анионитных фильтров первой ступени осуществляется стехиометрическим количеством щелочи показана рис.2.9.

На химобессоливание при этом подается умягченная вода, полученная на предочистке химобессоливания (ПрХОВ) [1]. Анионитные фильтры при этом могут быть регенерированы растворами каустической (NaOH), пищевой (NaHCO₃) или кальцинированной (Na₂CO₃) соды. Если для этой цели используется только каустическая сода, то как первые, так и вторые ступени анионитных фильтров регенерируются раствором указанного реагента. В случае использования для регенерации анионитных фильтров различных из вышеуказанных щелочей, то для первой ступени используется один из реагентов NaHCO₃ или Na₂CO₃, а для регенерации второй ступени анионитного фильтра используется NaOH. Удельный расход щелочи на регенерацию анионита на первой ступени, посредством применения технологии с повторным использованием щелочи, снижается при этом до стехиометрического количества. Следует отметить, что при этом для регенерации низкоосновного анионита на первой ступени можно использовать также реагент известь, по бессточной технологии [1, 41]. При этом удельный расход воды на собственные нужды анионитных фильтров первой ступени снижается практически до нуля, и подлежащие утилизации стоки не образуются.

Анионитные же фильтры на второй ступени при этом, как показано на технологической схеме, представленной на рисунке 2.9, регенерируются раствором едкого натрия, с удельным расходом как уже было отмечено выше (3÷5) г-экв/г-экв.

ОРР анионитного фильтра второй ступени при этом собирается в БЩР, откуда подается в осветлитель подготовки подпиточной воды теплосети или же СОО. Здесь избыток щелочи NaOH, и продукты регенерации анионита – Na_2SiO_3 и Na_2CO_3 содержащиеся в составе ОРР в осветлителе расходуются для осаждения солей жесткости из исходной воды. Кислые же порции ОРР Н - катионитных фильтров, собранные в бак кислых растворов БКР, используются для корректировки значения рН подпиточной воды. Подпиточная вода при этом готовится в осветлителе известкованием с коагуляцией. Подача щелочного ОРР в осветлитель способствует снижению расхода извести в осветлителе и значения остаточной жесткости в осветленной воде. Нейтральные мягкие порции ОРР Н-катионитных и анионитных фильтров первой ступени при регенерации катионитов раствором кислоты, а анионитов раствором NaHCO_3 или Na_2CO_3 собираются в бак нейтральных растворов (БНР), откуда отводятся в сторону.

Их можно использовать в качестве регенерата для катионитных фильтров при получении умягченной воды, или же утилизировать вне установки водоприготовления.

Использование ОРР Н - катионитных фильтров, регенерируемых раствором кислоты в избыточном против стехиометрического количестве, позволяет резко повысить значения рабочей обменной емкости катионита, улучшить

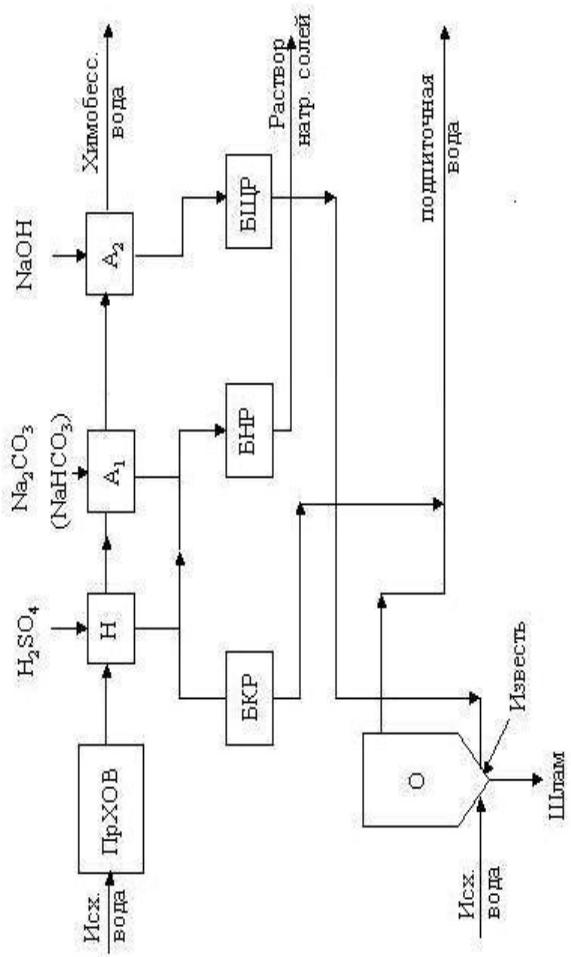


Рис. 2.9. Принципиальная схема утилизации ОРР Н и ОН -ионит-ных фильтров при подготовке подпиточной воды теплосети или же СОО

качество Н- катионированной воды, уменьшить расход катионита и иногда даже количество фильтров и тем самым повысить эффективность процесса Н-катионирования и в конечном итоге химобессоливания воды в целом.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УТИЛИЗАЦИИ ОРР Н - и ОН - ИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ ХИМОБЕССОЛИВАЮЩИХ УСТАНОВОК ПРИ ПОДГОТОВКИ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОСЕТИ И СОО

3.1. Исследование процессов утилизации натрийсодержащих ОРР химобессоливающей установки при подготовки подпиточной воды теплосети и СОО

Как известно, ОРР ионитных фильтров химобессоливающей установки работающей по технологии разработанной в АзАСУ могут быть нейтральными-содержащими только натриевые соли, кислыми-содержащими натриевые соли и избыток регенерационного раствора кислоты и щелочными-содержащими натриевые соли и избыток регенерационного раствора щелочи.

В случае, когда ОРР ионитных фильтров химобессоливающей установки содержат только натриевые соли их можно утилизировать в процессе регенерации катионитных фильтров подготовки подпиточной воды теплосети [1, 4, 35, 36, 39, 40, 42-44]. При этом для регенерации этих катионитных фильтров взамен привозной натриевой соли полностью или же частично можно использовать натрийсодержащие ОРР. Когда для регенерации катионитных фильтров используется только ОРР ионитных фильтров химобессоливающей установки, количество получаемой при этом умягченной в Na-катионитных фильтрах воды представляет большой интерес. Для определения возможного количества умягченной воды получаемой использо-

ванием ОРР химобессоливающей установки, необходимо сравнение располагаемого количества натриевой соли полученной при регенерации ионитных фильтров химобессоливания с количеством катионов жесткости подлежащих поглощению из умягчаемой воды. Первое зависит от производительности химобессоливающей установки, концентрации катионов в обессоливаемой воде, от значения обменной емкости катионита и от удельных расходов воды на собственные нужды катионитных и анионитных фильтров. Второе, т.е. количество поглощаемых ионов жесткости от умягчаемой воды, зависит от - концентрации катионов жесткости в умягчаемой воде, - удельного расхода натриевых солей на регенерацию катионита и удельного расхода воды на собственной нужды катионита.

Учитывая вышеизложенное, для определения максимально возможного расхода умягчённой воды (W_y^m) получаемой на установке, использованием нейтральной части ОРР Н-катионитных фильтров для регенерации Na-катионитных фильтров, выведено выражение [34]:

$$W_y^m \leq W_{x.o} \frac{\left(1 + \frac{q_{c.n.a}}{100}\right) \left(1 + \frac{q_{c.n.n}}{100}\right) \cdot C_{пр.х.о} \cdot \frac{e_{ст}}{e}}{\left(1 + \frac{q_{c.n.y}}{100}\right) \cdot m_{Na} \cdot \Delta J_y}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3.1)$$

где, $C_{пр.х.о}$ - солесодержание обессоливаемой, мг-экв/л;

ΔJ_y - снижение жесткости умягчаемой воды, мг-экв/л;

m_{Na} – удельный расход натриевых солей на регенерацию Na-катионитных фильтров, г-экв/г-экв;

$q_{c.n.y}$ - удельный расход воды на собственные нужды Na-катионитных фильтров.

Как следует из этого выражения, количество умягченной воды получаемой в Na-катионитных фильтрах регенерируемых натриевыми солями содержащимися в составе нейтральных порций ОРР H-катионитных фильтров, в основном зависит от количества вырабатываемой при этом химобессоленной воды, от концентрации солей в обессоливаемой воде, от снижения жесткости умягчаемой воды и от удельного расхода натриевых солей на регенерацию катионита. Производное последних параметров - $m_{Na} \cdot \Delta J_y$ представляет собой количество натриевых солей подаваемых на регенерацию катионитных фильтров, г-экв/м³. Для наглядного представления изменения максимального относительного количества вырабатываемой

умягченной воды - $\frac{W_y^m}{W_{x.o}}$ от концентрации обессоливаемой

воды и количества соли подаваемой на регенерацию катионита на рис. 3.1 представлены соответствующие графики. Как следует из этого рисунка, относительное максимальное количество вырабатываемой умягченной воды, с повышением концентрации количества натриевых солей, подаваемых на регенерацию катионита и снижением концентрации обессоливаемой воды, уменьшается. Это объясняется тем, что при этом количество натриевых солей получаемых в составе ОРР H-катионитных фильтров уменьшается, а их расход увеличивается. Причем интенсивность

этого изменения с повышением солесодержания обессоливаемой воды растёт.

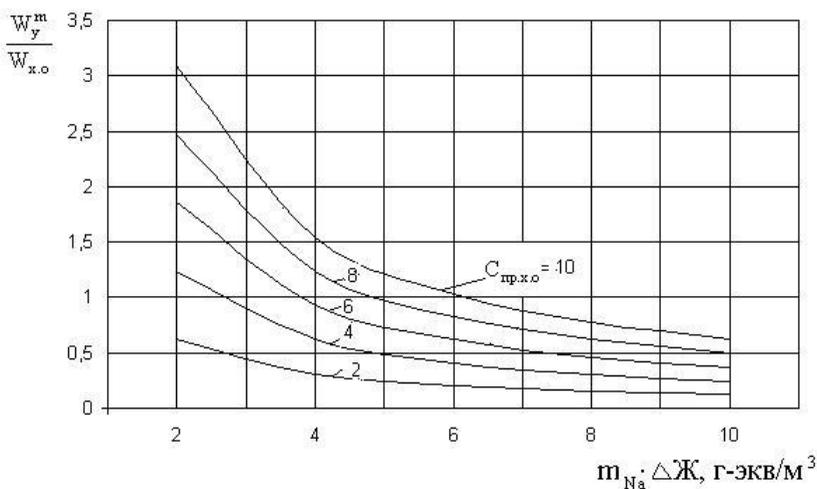


Рис. 3.1. Изменение максимального относительного количества выработываемой умягченной воды в зависимости от концентрации обессоливаемой воды и количества соли подаваемой на регенерацию.

Например, при снижении жесткости умягчаемой воды на 2 мг-экв/л и при удельном расходе натриевых солей катионита загруженного в двухпоточно-противоточный фильтр 1,5 г-экв/г-экв и солесодержания обессоливаемой воды около 4,5 мг-экв/л, количество выработываемой воды практически получается равным количеству обессоливаемой воды. Это происходит в случаях, когда для получения умягченной воды используются только натриевые соли, содержащиеся в составе нейтральных порций ОРР Н-катионитных фильтров.

При использовании для регенерации катионитных фильтров ОРР как катионитных, так и анионитных фильтров химобессоливающей установки, указанное количество вырабатываемой умягченной воды можно резко увеличить. При этом для определения относительного количества умягченной воды выведено выражение [34]:

$$\frac{W_y^m}{W_{x.o}} \leq \frac{\left(1 + \frac{q_{c.n.a}}{100}\right) \cdot \left[\left(1 + \frac{q_{c.n.n}}{100}\right) \cdot C_{\text{пр.х.о}} + \left(\sum A_{c.к} + \sum A_{\text{сл.к}}\right) \cdot m_a\right]}{\left(1 + \frac{q_{c.n.y}}{100}\right) \cdot m_{Na} \cdot \Delta J_y} \quad (3.2)$$

Для сравнения повышения количества умягченной воды с данными в ранее приведенном примере, определено его значение по выражению (3.1) при

$$\Delta J_y = 2;$$

$$C_{\text{пр.х.о}} = 4,5;$$

$$A_{c.к} = 4,0;$$

$$A_{\text{сл.к}} = 0,4 \text{ мг-экв/л и}$$

$$m_{Na} = 1,5;$$

$$m_a = 1,1 \text{ г-экв/г-экв.}$$

При этом получается что:

$$\frac{W_y^m}{W_{x.o}} \leq 3,15.$$

Количество умягченной воды полученное с использованием натриевых солей в составе ОРР химобессоли-

вающей установки в данном примере почти в 3 раза превышает количеству химобессоленной воды.

В случаях когда, потребность в подпиточной умягченной воде меньше чем её максимально возможное значение, т.е. $W_y < W_y^m$, часть натрий ионов подлежащей утилизации остается не использованной. Избыточное количество натриевых солей можно определить по следующей формуле [38]:

$$\sum Na_{\text{изб}} = \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.а}}}{100}\right) \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.н}}}{100}\right) \cdot C_{\text{пр.х.о}} \cdot \frac{e_{\text{ст}}}{e} W_{\text{х.о}} - \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.у}}}{100}\right) \cdot m_{\text{Na}} \cdot (Ж_{\text{пр.у}} - Ж_{\text{п}}) W_y \quad (3.3)$$

При наличии запрета на сброс этих солей в составе ОРР в водоемы, после соответствующей обработки их можно направить другим потребителям.

3.2. Исследование процессов утилизации натрий содержащего кислого ОРР химобессоливающей установки при подготовки подпиточной воды теплосети и СОО

Кислый натрийсодержащий ОРР на химобессоливающей установке получается при регенерации Н-катионитных фильтров раствором кислоты в избыточном, против стехиометрического количеством. Этим раствором, не содержащим ионы жесткости можно регенерировать катионитные фильтры подготовки подпиточной воды теп-

лосети, а также COO , или же использовать для корректировки рН таких типов вод.

Кислые порции ОРР Н-катионитных фильтров при этом содержат Na_2SO_4 и H_2SO_4 . При использовании их для корректировки рН подпиточной воды теплосети или COO , H^+ - ионы этого раствора расходуются в реакции щелочными анионами содержащимися в подпиточной воде. Однако Na^+ -ионы кислых порций ОРР Н-катионитных фильтров, при корректировке рН подпиточной воды, способствуют повышению солесодержания этой воды. Если это повышение не превышает значение уменьшения щелочности подпиточной воды при её подкислении, увеличение солесодержания в подпиточной воде по сравнению с солесодержанием известкованной воды не происходит. Обычно при известковании воды, её солесодержание значительно уменьшается. Поэтому при корректировке значения рН известкованной воды кислыми порциями ОРР Н-катионитных фильтров, солесодержание подпиточной воды необходимо сравнивать с солесодержанием в исходной воде. Увеличение концентрации подпиточной воды Na^+ -ионами ОРР при этом компенсируется уменьшением солесодержания воды при известковании.

При изучении процесса подкисления известкованной воды для подпитки теплосети или же COO , осуществляемого кислыми порциями ОРР Н-катионитных фильтров химобессоливающей установки, для определения увеличения концентраций SO_4^{2-} – ионов в подпиточной воде получено выражение:

$$\Delta SO_{4, \text{изв.п}} = \Delta \text{Щ}_{\text{изв}} \frac{m - \frac{e_{\text{ст}}}{e}}{m - 1}, \quad \text{мг-экв/л.} \quad (3.4)$$

Концентрация SO_4^{2-} – ионов в подкисленной известкованной воде при этом увеличивается и определяется выражением [38]:

$$\text{SO}_{4, \text{изв.п}}^{2-} = \text{SO}_{4, \text{исх}}^{2-} + D_{\text{к}} + \Delta \text{Щ}_{\text{изв}} \cdot \frac{m - \frac{e_{\text{ст}}}{e}}{m - 1}, \quad \text{мг - экв/л} \quad (3.5)$$

где $\text{SO}_{4, \text{исх}}^{2-}$ - концентрация сульфат ионов в исходной воде,

$D_{\text{к}}$ - доза коагулянта FeSO_4 ,

$\Delta \text{Щ}_{\text{изв}}$ - уменьшение щелочности в известкованной воде в процессе её подкисления, в мг-экв/л;

m - удельный расход кислоты на регенерацию Н-катионитных фильтров, г-экв/г-экв.

Солесодержание же в подкисленной известкованной воде ($C_{\text{изв.п}}$) при этом, мг-экв/л, определяется выражением [38]:

$$C_{\text{изв.п}} = C_{\text{исх}} - \text{Щ}_{\text{исх}} + D_{\text{к}} + \text{Щ}_{\text{изв}} \cdot \frac{m - \frac{e_{\text{ст}}}{e}}{m - 1} - \text{Щ}_{\text{п}} \frac{1 - \frac{e_{\text{ст}}}{e}}{m - 1}, \quad (3.6)$$

где $\text{Щ}_{\text{исх}}$, $\text{Щ}_{\text{изв}}$ и $\text{Щ}_{\text{п}}$ - щелочность в исходной, известкованной и подпиточной воде, мг-экв/л.

Солесодержание подпиточной известкованной воды при этом не должно превышать солесодержание в исходной воде. Это требование выполняется при удовлетворении условия:

$$C_{\text{исх}} - C_{\text{изв.п}} \geq 0. \quad (3.7)$$

Учитывая указанное, из выражения (3.6) при помощи нижеприведенного выражения можно определить предельное значение щелочности исходной воды [38]:

$$\text{Щ}_{\text{исх. пр. мин}} \geq D_{\text{к}} + \text{Щ}_{\text{изв}} \frac{m - \frac{e_{\text{ст}}}{m-1}}{m-1} - \text{Щ}_{\text{п}} \frac{1 - \frac{e_{\text{ст}}}{m-1}}{m-1}, \text{ мг-экв/л.} \quad (3.8)$$

Необходимо отметить, что при известковании большинства пресных вод характерны показатели:

$$\text{Щ}_{\text{изв}} = 1,0;$$

$$\text{Щ}_{\text{п}} = 0,4;$$

$$D_{\text{к}} = 0,4 \text{ мг-экв/л.}$$

Использованием данных [1] по изменению обменной ёмкости катионита КУ-2-8 из Na-формы, в зависимости от удельного расхода регенерационного раствора серной кислоты концентрацией 500 мг-экв/л, для минимально возможного значения щелочности исходной воды, обрабатываемой для подпитки теплосети и подкисленной кислотами

порциями ОРР Н-катионитных фильтров, получают данные представленные в таблице 3.1 [38]:

Таблица 3.1

Минимально возможные значения щелочности исходной воды, обрабатываемой для подпитки теплосети

м, Г-ЭКВ/Г-ЭКВ	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,6
Щ _{исх.пр.мин} · МГ-ЭКВ/Л	2,69	2,18	1,97	1,85	1,77	1,72	1,64

Как следует из этой таблицы, с повышением удельного расхода кислоты на регенерацию Н-катионитного фильтра и подкислением кислыми порциями его ОРР подпиточной известкованной воды, минимально возможное значение щелочности исходной воды, уменьшается. Это связано с тем, что с повышением удельного расхода кислоты на регенерацию, относительное количество кислоты в составе кислых порций ОРР Н-катионитного фильтра увеличивается. Из этой же таблицы видно, что даже при минимальном значении избытка кислоты на регенерацию, минимально возможное значение щелочности исходной воды получается равным 2,7 мг-экв/л, что характерно для большинства встречаемых пресных вод.

Однако, при этом следует также определить относительный расход подпиточной воды, рН которой корректируется кислыми порциями ОРР Н-катионитных фильтров химобессоливающей установки.

Для определения предела возможного применения подкисления известкованной воды, кислыми порциями ОРР, выведено выражение [38]:

$$\frac{W_{\text{п}}}{W_{\text{х.о}}} \leq (m-1) \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.а}}}{100} \right) \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.н}}}{100} \right) \frac{C_{\text{пр.х.о}}}{\Delta\Pi_{\text{изв}}}, \quad (3.9)$$

где $W_{\text{п}}$ – расход подпиточной воды теплосети, м³/ч.

Однако при этом необходима проверка также и условия по выражению (3.7). Для вод со значением щелочности меньше 1,6 мг-экв/л, солесодержание подпиточной воды может незначительно превышать солесодержание исходной воды. Если это допускается, то проверка условия по выражению (3.7) не обязательна.

Кислые порции ОРР Н-катионитных фильтров можно утилизировать использованием их также для регенерации катионитных фильтров умягчения воды. При этом для эффективного использования H^+ - ионов раствора, катионитный фильтр целесообразно загрузить слабокислотным или же полифункциональным катионитом. В этом случае H^+ - ионы раствора практически полностью утилизируются.

Для определения возможности утилизации кислых порций ОРР Н-катионитных фильтров для регенерации катионитных фильтров умягчения, определения необходимых показателей процесса проведены соответствующие лабораторные эксперименты.

3.3. Исследование щелочных ОРР химобессоливающих установок в процессе подготовки подпиточной воды теплосети или СОО

Щелочные ОРР получаемые в процессе регенерации анионитных фильтров химобессоливающих установок могут быть различного происхождения. В зависимости от технологической схемы химобессоливания и от вида применяемых при этом реагентов эти стоки кроме натриевых солей могут содержать каустическую, пищевую или же кальцинированную соду.

В случае регенерации анионитных фильтров первой ступени раствором извести по бессточной технологии часть анионитов поглощающих Cl^- ионы в первой ступени, регенерируются наиболее дешёвыми по сравнению с каустической содой реагентами Na_2CO_3 или же NaHCO_3 . При этом ОРР этих фильтров кроме NaCl содержит также и избыток этих реагентов. В этом случае анионитные фильтры второй ступени регенерируются раствором NaOH . Для уменьшения удельного расхода щелочи на регенерацию анионита во второй ступени применяются фильтры двухпоточно-противоточной конструкции [1]. Несмотря на это значение удельного расхода щелочи на регенерацию анионитного фильтра второй ступени при двухпоточной регенерации колеблется в пределах (3÷5) г-экв/г-экв. Причем при регенерации анионитного фильтра второй ступени как продукты регенерации так и избыток регенерационного раствора содержат щелочь. Утилизацию этих щелочей целесообразно осуществлять в осветлителе подпиточной воды теплосети или СОО. Количественные и

качественные показатели щелочных стоков анионитных фильтров второй ступени приведены в параграфе 2.2.

В результате подачи ОРР A_2 -фильтра в осветлитель подготовки подпиточной воды теплосети происходит снижение остаточной жесткости осветленной воды и дозы извести, мг-экв/л, соответственно в количестве [37]:

$$\Delta J_{\text{осв}} = \frac{W_{\text{х.о}}}{W_{\text{п.в}}} \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.н}}}{100} \right) \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.а}}}{100} \right) \cdot (\text{CO}_{2,\text{вх.}A_2} + \text{HSiO}_{3,\text{пр.}} - \text{HSiO}_{3,A_2}) \cdot m_{A_2}, \quad (3.15)$$

$$\Delta D_{\text{и}} = \frac{W_{\text{х.о}}}{W_{\text{п.в}}} \cdot \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.н}}}{100} \right) \left(1 + \frac{q_{\text{с.н.а}}}{100} \right) \cdot (\text{CO}_{2,\text{вх.}A_2} + \text{HSiO}_{3,\text{пр.}} - \text{HSiO}_{3,A_2}) \cdot (m_{A_2} - 1) \quad (3.16)$$

При этом в зависимости от состава исходной воды и производительности химобессоленной и подпиточной вод возможны случаи, когда в осветлителе известь вообще не потребуется. При этом в осветлителе достаточно будет использование только ОРР A_2 -фильтра химобессоливающей установки. Причем остаточная жесткость осветленной воды при этом получится в минимальном значении [37, 40]. Следует отметить, что при утилизации щелочных ОРР анионитного фильтра второй ступени в осветлителе подпитки теплосети или СОО солесодержание осветленной воды по сравнению с солесодержанием известкованной воды практически не меняется. Однако уменьшение или

же исключение расхода извести в осветлителе способствует удешевлению процесса подготовки подпиточной воды. Кроме этого происходит утилизация щелочных ОРР химобессоливающей установки, в результате чего количество ОРР подлежащей дальнейшей обработке уменьшается.

3.4. Исследование процессов регенерации катионитных фильтров использованием ОРР ионитных фильтров химобессоливающей установки.

После изучения состава, удельного расхода и концентрации ОРР, образующихся в процессе регенерации ионитных фильтров химобессоливающих установок работающих с сокращенными расходами реагентов и сокращенными стоками, исследованы различные режимы регенерации катионитных фильтров умягчающих воды для подпитки теплосети или же для других видов потребителей, например для подпитки СОО или же испарителей [16].

Учитывая, что процесс утилизации натрийсодержащих ОРР от химобессоливающих установок должен был осуществлен при регенерации катионитных фильтров умягчения воды, исследования процесса их регенерации в зависимости от различных факторов влияющих на процесс, были проведены на лабораторном стенде, схема которого показана на рисунке 3.2, и состоит в основном из стеклянного фильтра (1) внутренним диаметром 30 мм и высотой 3м, емкостей для нейтрального (2) и кислого (3) регенерационного раствора, отмывочных (4) и обрабатываемых (5) вод, ротаметров (10 и 11) для определения расхода потоков раствора через фильтр, зажимов (6-9 и 11-17)

для регулирования и поддержания расходов потоков через фильтр, а также и стока для удаления сбросных вод.

Исследования проведены для проточного и двухпоточно-противоточного режима Na-катионирования воды. При двухпоточно-противоточном режиме умягчения воды обрабатываемая вода из емкости 5 подавалась в

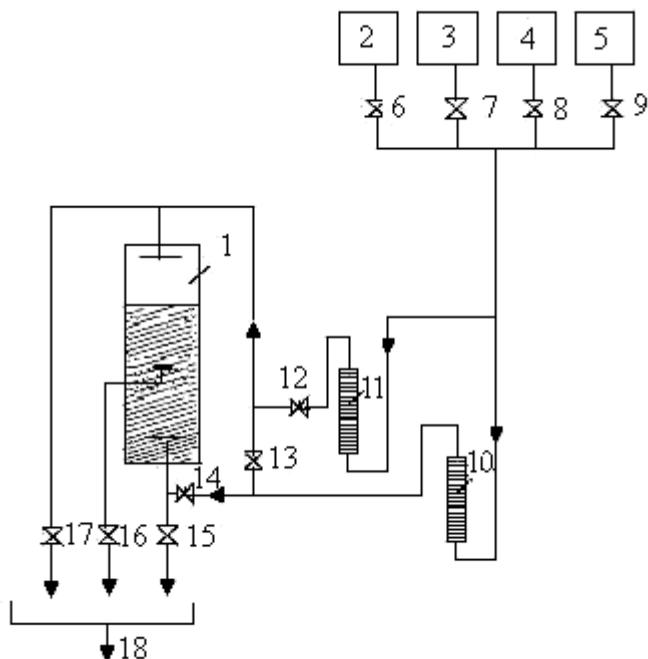


Рис. 3.2. Схема лабораторного стенда

фильтр двумя потоками: сверху и снизу, а умягченная вода из фильтра отводилась через среднее распределительное устройство (СРУ) установленное на высоте 1,5м, открытием зажимов 9, 12, 14 и 16 (все остальные зажимы при этом

были закрытыми). При прямоточном режиме обработки воды, обрабатываемая вода в фильтр подавалась из емкости 5 открытием зажимов 9, 12 и 15.

Как при прямоточном, так и при двухпоточно-противоточном режиме Na-катионирования воды направление пропускания регенерационного раствора было принято сверху вниз. Регенерационный раствор из емкости нейтрального (2) или кислого (3) ОРР подавался в фильтр открытием зажимов 6 или 7, 12 и 15. При отмывке катионита от продуктов и остатков регенерационного раствора закрывался зажим 7 и открывался зажим 8, расход воды и регенерационного раствора через фильтр контролировался ротаметрами 10 и 11.

В качестве загрузки фильтра использован широкопространенный и имеющий многочисленные аналоги в мире сильнокислотный катионит КУ-2-8 (Россия) и его аналог С-100 (фирмы Пьюролайт, Англия) высотой 2м и объемом 1,41л.

При регенерации катионитов в указанных режимах использован имитат концентрированных порций ОРР Н- и ОН- ионитных фильтров, содержащий Na_2SO_4 и NaCl в пропорциях соответственно 80 и 20 %, общей концентрацией 250 мг-экв/л.

Сначала исследовался режим прямоточного Na-катионирования воды. Для этого в начале катионит КУ-2-8 переводился в Na – форму пропусканием через него имитата ОРР с большим удельным расходом практически до установления равновесного состояния между катионитом и раствором. Далее через катионит со скоростью фильтрования 25 м/ч пропускалась обрабатываемая вода с катион-

ным составом, мг-экв/л: Са – 3,8; Mg – 1,9; Na – 1,5. Режим обработки воды продолжался до проскока катионов жесткости в фильтрат 100 мкг-экв/л. После этого исследовался режим регенерации катионита имитатом ОРР. Регенерационный раствор через фильтр пропускаться со скоростью фильтрования 10 м/ч. На выходе фильтра определялась общая жесткость раствора. Через фильтр пропускалось 20 литров раствора. Обработка данных полученных при регенерации КУ-2-8 показала, что значение обменной емкости поглощения катионита получилась равной приблизительно 1200 г-экв/м³. Обработка данных по этой регенерации показала, что регенерация катионита раствором, концентрация которого в несколько раз меньше обычной (8 ÷ 10)%-ным, происходит довольно эффективно. Причем вытеснение основного количества ионов жесткости из катионита происходит в начале процесса. Удельный расход регенерационного раствора соли на регенерацию при этом получается около 3 г-экв/г-экв. Далее через этот катионит пропускалась умягчаемая вода. Режим прямоточного Накатионирования воды повторялся в 3 раза. Однако при этом расход ОРР на регенерацию уменьшили приблизительно до 2 г-экв/г-экв. Результаты исследования показали, что значения обменной емкости катионита, полученные при этом, практически мало отличаются от значения полученного при регенерации катионита (8 ÷ 10)%-ным раствором соли и колебались в пределах (900 ÷ 1000) г-экв/м³. Остаточное значение катионов жесткости в фильтрате получилось в пределах (10 ÷ 20) мкг-экв/л. Количество пропускаемого для регенерации раствора в этом режиме составило (10 ÷ 11) л.

Вслед за этими опытами, был исследован режим двухпоточно-противоточного Na-катионирования воды. При этом регенерационный раствор через фильтр пропусклся по направлению сверху вниз, а обрабатываемая вода в фильтр подавалась двумя потоками – сверху и снизу. Скорость фильтрования воды в каждом потоке принималась 25 м/ч. Умягченная вода из фильтра отводилась, через СРУ. Результаты первого опыта как переходного, сбрасывали. Далее в 3 раза осуществлен вышеуказанный режим. Результаты этих опытов показали, что при одинаковом значении количества подаваемой на регенерацию ОРР (10 ÷ 11) л, значение рабочей обменной емкости катионита получается около 900 г-экв/м³. Значение удельного расхода при этом незначительно увеличивается и составляет около 2,07 г-экв/г-экв. Незначительное уменьшение рабочей обменной емкости катионита при двухпоточно-противоточной подаче воды в фильтр объясняется тем, что в этом случае недоистощенными, ионами жесткости исходной воды, остаются две части катионитной загрузки, как в верхней, так и в нижней части СРУ. Однако при двухпоточно-противоточной подаче воды в фильтр значение степени очистки умягченной воды получилось больше, чем при прямоточном катионировании. Остаточное значение катионов жесткости в умягченной воде при этом получилось в пределах (3 ÷ 5) мкг-экв/л. Как отсюда следует, одним из преимуществ двухпоточно-противоточного катионирования воды является повышение степени очистки умягченной воды. Это объясняется следующим образом. При прямоточном катионировании воды степень очистки воды определяется нижними слоями катионита, которые послед-

ними соприкасаются с регенерационным раствором покидающим фильтр. Учитывая, что количество регенерационного раствора ограничено и до выхода его последних порций из фильтра обогащается продуктами регенераций, т.е. катионами жесткости вытесненного из верхних слоев катионита, создающими противоионный эффект, эффективность регенерации нижних слоев катионита снижается. Поэтому при умягчении, степень очистки воды в этих слоях соответствует степени их регенерации т.е. получается меньше чем на ДП-фильтрах. Однако в ДП фильтре, при подаче умягчаемой воды двумя потоками: сверху и снизу, степень очистки воды определяется не выходными слоями катионита, как в прямоточных фильтрах, а соответствует степени регенерации слоев катионита, расположенных в части катионитной загрузки расположенной в районе СРУ. Очевидно, что регенерация этих слоев получается лучше, чем в нижних слоях. Поэтому и степень очистки воды при двухпоточно-противоточном исполнении фильтра получается значительно выше, чем в прямоточном фильтре.

Следует отметить, что при применении двухпоточно-противоточных фильтров степень очистки воды во всех случаях, т.е. как при двухпоточной подаче, так и при подаче воды в фильтр по направлению сверху вниз получается лучше, чем в прямоточных фильтрах. Это происходит из-за того, что при подаче воды в ДП-фильтр по направлению сверху вниз степень очистки воды определяется слоями катионита расположенными в нижней части фильтра и регенерируемых по «чисто» противоточному принципу.

Далее были изучены процессы регенерации катионита в зависимости от концентрации, удельного расхода и от

скорости пропускания регенерационного раствора через катионит натрийсодержащих растворов. При этом установлено, что значение скорости пропускания регенерационного раствора через катионит при этом зависит от относительной и абсолютной концентрации SO_4^{2-} - ионов в его составе, от состава умягчаемой исходной воды, от режима умягчения и колеблется в пределах $(8 \div 15)$ м/час.

Исследовался режим регенерации катионита, вышеуказанным раствором, в зависимости от удельного расхода соли. При этом получено, что значение рабочей обменной емкости катионита КУ-2-8 при изменении удельного расхода соли на регенерацию с 1,3 до 2 г-экв/г-экв колеблется в пределах от 360 до 900 г-экв/м³. Причем, если в начале рассматриваемого предела, повышение обменной емкости катионита с повышением значения удельного расхода соли на регенерацию происходит довольно резко, то с повышением значения последнего, интенсивность прироста значения обменной емкости катионита, уменьшается. Отмывка катионита, после пропускания через него регенерационного раствора, осуществлялась обрабатываемой водой. Значение удельного расхода воды на отмывку катионита при этом колебалось в пределах $(2 \div 2,5)$ м³/м³. Учитывая, что при двухпоточно-противоточном режиме обработки воды, умягченная вода забирается через СРУ, нет необходимости глубокой отмывки катионита от продуктов регенерации и остатков регенерационного раствора. В этом режиме в достаточной степени необходимо отмывать слои катионита расположенные вокруг СРУ. При этом нет необходимости в глубокой отмывке слоев катионита расположенных ниже СРУ так как, ионы жесткости оставшиеся после неглубо-

кой отмывки в этих слоях, поглощаются катионитом при умягчении воды, так как нижние слои катионита в двухточно-противоточных фильтрах работают в «чисто» противоточном режиме и умягчаемая вода здесь подается по направлению снизу вверх.

Учитывая, что основная часть анионов ОРР состоит из SO_4^{2-} - ионов, при регенерации катионита этим раствором, возникает опасность выпадения соединения CaSO_4 в катионите. Поэтому для предотвращения «гипсования» катионита исследован безопасный режим регенерации катионита. Установлено что значение скорости пропускания регенерационного раствора через катионит при этом зависит от относительной и абсолютной концентрации SO_4^{2-} - ионов в его составе, от состава умягчаемой воды, от режима умягчения и колеблется в пределах $(8 \div 15)$ м/час.

При снижении скорости пропускания регенерационного раствора через фильтр ниже 8 м/час в ОРР катионитного фильтра образуются центры кристаллизации, CaSO_4 которые, в течение короткого времени, выпадают в осадок.

Таким образом проведенные, с использованием катионита КУ-2-8, исследования показали эффективность утилизации ОРР химобессоливающих установок работающих по технологии с сокращенными стоками и сокращенными реагентами.

Однако для расширения предела применения результатов исследований по утилизации ОРР химобессоливающей установки, дальнейшие опыты были проведены аналогом катионита КУ-2-8, катионитом фирмы Пьюролайт С-100. Этот катионит в настоящее время успешно использу-

ется на многих водоподготовительных установках тепловых электрических станций различных городов бывшего Советского Союза. Указанный катионит является также сильнокислотным катионитом и также как и КУ-2-8 обладает высокой обменной емкостью и в основном применяется в качестве загрузки для первой ступени H- и Na- катионирования, где поглощается основное количество катионов очищаемой воды.

Указанный катионит также загружался в экспериментальный стеклянный лабораторный фильтр и после его подготовки соответствующим образом его высота составила 2 м, т.е. так же как у КУ-2-8 .

После этого были начаты исследования [36, 40] по определению характеристик этого катионита при регенерации ОРР химобессоливающей установки. Последовательность исследований соответствовала схеме показанной на рис.3.3.

Как следует из рисунка 3.3,а сначала катионит исследовался в режиме прямоточного Na-катионирования. При этом подача в фильтр как регенерационного раствора, так и исходной воды была осуществлена по направлению сверху вниз. В начале через фильтр со скоростью фильтрования 25 м/ч была пропущена исходная вода почти до установления равновесного состояния между катионитом и водой.

Далее катионит регенерировался ОРР, состав которого также был приведен в начале этого раздела. Значение удельного расхода регенерационного раствора на регенерацию принимали равным около $7 \text{ м}^3/\text{м}^3$ т.е. 10л. Опыты повторяли 3 раза. Умягчение воды в фильтре, начиная со

второго опыта, продолжали до проскока катионов жесткости в фильтрат 100 мкг-экв/л. Для получения кривой регенерации катионита ОРР с выхода фильтра был проанализирован на общую жесткость. Кривая регенерации катионита С-100 показана на рис. 3.4. Значение обменной емкости катионита при этом составило около 925 г-экв/м³.

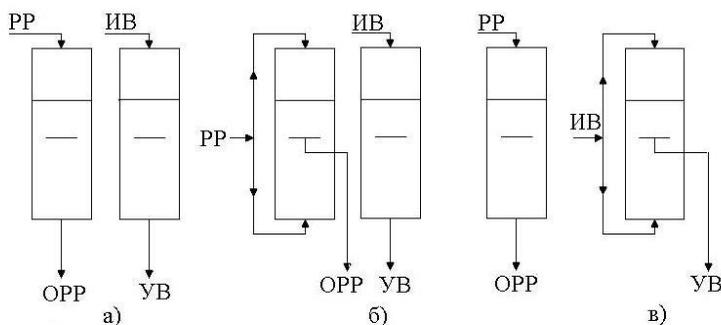


Рис. 3.3. Схемы лабораторных исследований по прямоточной (а) и двухпоточно - прототивоточной (б, в) технологии при двухпоточной (б) и однопоточной (в) подачи регенерационного раствора в фильтр

Удельный расход натриевых солей подаваемых на регенерацию при этом составил около 1,92 г-экв/г-экв. Из рис. 3.4 также видно, что отмывка катионита практически заканчивается при удельном расходе 2,5 м³/м³, т.е. дальнейшее увеличение удельного расхода воды на отмывку необходимо только при прямоточном режиме работы фильтра, для получения необходимой степени очистки воды.

Обработка результатов этого фильтроцикла показала, что регенерация катионита С-100 малоконцентрированным раствором натриевой соли, т.е. ОРР химобессоливающей

установки, происходит довольно эффективно и указанный катионит успешно может быть использован для этой цели.



Рис. 3.4. Кривая регенерации катионита С-100 ОРР

Дальнейшие исследования были продолжены в режиме двухпоточно-противоточного катионирования. Вначале был исследован режим показанный на рис.3.3,б. При этом регенерационный раствор подавался в фильтр двумя потоками: сверху и снизу и отвод ОРР из фильтра осуществлялся через СРУ. Направление же исходной воды подаваемой в фильтр для умягчения как следует из рис. 3.3,б принималась сверху вниз. Учитывая, что высота катионита над и под СРУ составляет 0,5 и 1,5 м и то, что степень истощения ионами жесткости верхней части катионита значительно выше, чем нижней, количество регенерационного раствора ($7 \text{ м}^3/\text{м}^3$) подаваемого сверху и снизу принимали в соотношении 1/3 к 2/3. Для получения указанного соотношения, скорости фильтрования регенерационного рас-

твора сверху и снизу принимали соответственно 6 и 12 м/ч. Однако при отмывке катионита умягченной водой указанное соотношение между скоростями было изменено.

При осуществлении отмывки катионита с таким же соотношением между потоками отмывочной воды приводит к её перерасходу, разбавлению ОРР и увеличивает продолжительность процесса. Исследования, проведенные в АзАСУ выявили, что это связано с разными водяными объёмами фильтра расположенными над и под СРУ. Изучение процесса отмывки ДП-фильтра показало, что продолжение отмывки катионита без изменения скорости в потоках имеющие место при подаче регенерационного раствора вначале отмываются нижние слои катионита. При этом отмывка части фильтра расположенной на верху СРУ ещё продолжается. Далее домываются верхние слои катионита. Остановка отмывки нижней части фильтра при этом не представляется возможным. Во-первых при эксплуатации этот момент трудно обнаружить, во-вторых, если даже обнаружен момент окончания отмывки нижней части фильтра и отмывка нижней части остановлена, продолжение отмывки верхней части фильтра приведет загрязнение слоев катионита, расположенных ниже в районе СРУ. Для одновременного окончания отмывки верхней и нижней части катионитного фильтра необходимо, чтобы расход воды, подаваемой на отмывку этих слоев соответствовал количеству необходимому для этого процесса. Указанный режим отмывки достигается изменением скоростей в потоках отмывочной воды в нижних и верхних слоях катионита. Учитывая, что водяные объёмы нижней и верхней частей ДП-катионитного фильтра почти одинако-

вы [6], значения скорости в каждом потоке принималось равным 10 м/ч. Трехкратное повторение этих опытов (переходный опыт при этом не учитывался) показало, что обменная емкость поглощения катионита при этом составила около 930 г-экв/м³, практически такая же, как и в предыдущем опыте. Остаточное значение катионов жесткости в фильтрате при этом получилось в пределах (1 ÷ 3) мг-экв/л. Значение удельного расхода соли на регенерацию при этом составило 1,9 г-экв/г-экв.

Результаты этих опытов показали, что они очень близки к результатам предыдущего опыта. Отсюда следует, что значение обменной емкости катионита практически независимо от технологии регенерации, т.е. она осуществляется прямотоком или же по двухпоточно-противоточной схеме, при постоянных значениях других параметров и определяется только удельным расходом соли.

Учитывая, что в практике умягчения воды с использованием ДП-фильтров в основном используется технологическая схема работы по рисунку 3.3,в, то дальнейшие исследования были продолжены в этом направлении.

При этом исследовались режимы регенерации в зависимости от удельного расхода, концентрации и скорости пропускания регенерационного раствора.

Вначале исследовался режим регенерации катионита С-100 в зависимости от удельного расхода соли. При этом значение удельного расхода соли на регенерацию изменяли в пределах (1,25 ÷ 2,5) г-экв/г-экв. Объем регенерационного раствора соли на регенерацию при этом был изменен с 2 - х до 15 л. Значения скорости пропускания регенерационного раствора и его концентрации при этом были по-

стоянными и соответственно равными 10 м/ч и 250 мг-экв/л (80 % Na_2SO_4 и 20 % NaCl).

При каждом значении удельного расхода соли на регенерацию, без учета переходных опытов было осуществлено по 3 фильтроцикла. Учитывая, что поддержание определенного значения удельного расхода соли в процессе является очень сложным, в каждой точке было принято её среднее значение. Результаты этих опытов графически представлены на рисунке 3.5, где приводится кривая изменения рабочей обменной емкости катионита С-100, в зависимости от удельного расхода соли на его регенерацию. Как следует из этого рисунка, повышение значения удельного расхода соли на регенерацию приводит к увеличению рабочей обменной емкости катионита. Причем интенсивность изменения обменной емкости при относительно низких значениях удельного расхода соли, довольно большая. Увеличением значения удельного расхода соли на регенерацию катионита интенсивность повышения значения рабочей обменной емкости катионита уменьшается. Как следует из этого рисунка, с повышением удельного расхода соли на регенерацию от 1,25 до 2,5 г-экв/г-экв, значение рабочей обменной емкости катионита повышается от 365 до 1050 г-экв/м³.

Указанное доказывает, что катионит С-100 может успешно конкурировать катионитом КУ-2-8 и он может быть использован в водоподготовительных установках как при регенерации катионита раствором натриевых солей обычной концентрации, т.е. (8 ÷ 10)%, так же и ОРР химобессоливающей установки с сокращенными расходами реаген-

тов и сокращенными стоками по методике разработанной в АЗАСУ.

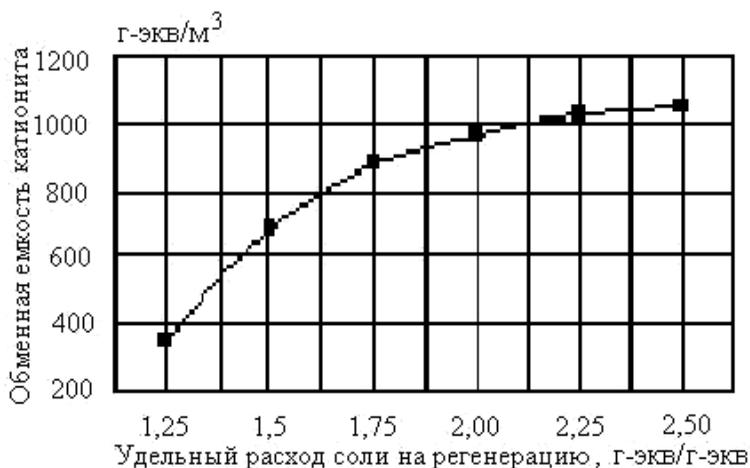


Рис. 3.5. Изменение обменной емкости катионита С-100 в зависимости от удельного расхода соли на регенерацию

Далее изучался режим регенерации катионита раствором концентрацией также 250 мг-экв/л и расходом соли на регенерацию катионита 10 л. При этом изменяли скорость фильтрования регенерационного раствора от 10 до 20 м/ч. Изучение скоростей фильтрования регенерационного раствора через катионит ниже 10 м/ч не представляет научного и практического интереса, так как, при этом повышается опасность образования гипса и осаждение его в катионитной загрузке. Указанное связано с тем, что ОРР химобессоливающей установки кроме NaCl содержит также большое количество Na_2SO_4 . Наличие же в растворе сульфатионов, аналогично регенерации Н-катионитных фильтров

раствором H_2SO_4 , способствует образованию в ОРР гипса. Последний, при относительно больших скоростях фильтрования регенерационного раствора через катионит не успевает осаждаться в катионите. Как показывают многолетние результаты промышленной эксплуатации водоподготовительных установок, осаждение гипса при соблюдении правильного скоростного режима при регенерации катионита происходит уже после фильтра. Кроме того, снижение скорости фильтрования регенерационного раствора ниже $(4 \div 5)$ м/ч вообще не допускается так как, при этом происходит нарушение равномерного распределения регенерационного раствора по сечению фильтра и снижается эффективность регенерации. Повышение же скорости фильтрования регенерационного раствора выше 20 м/ч приводит к снижению времени контакта катионита с регенерационным раствором, которое также приводит к снижению эффективности регенерации катионита.

Результаты этих опытов показали, что изменение скорости фильтрования регенерационного раствора в указанном интервале на значение рабочей обменной емкости катионита влияет незначительно. При этом повышение скорости фильтрования регенерационного раствора с 10 до 20 м/ч способствует уменьшению значения рабочей обменной емкости катионита всего на $(5 \div 7)$ %. Учитывая то, что при скорости фильтрования регенерационного раствора 10 м/ч с использованием раствора вышеуказанного состава, «гипсование» катионита не происходит, целесообразно остановится именно на этой скорости, т.е. значение 10 м/ч. При этом также установлено, что при обработке сульфатсодержащих вод, когда ОРР от химобессоливаю-

щей установки содержит больше чем 80 % сульфатов, для предотвращения процесса «гипсования» катионита можно повысить скорости фильтрования регенерационного раствора без ощутимого снижения рабочей обменной емкости катионита.

На дальнейшем этапе исследований был изучен вопрос влияния концентрации регенерационного раствора на значение рабочей обменной емкости катионита. Для этого сначала были проанализированы результаты промышленной эксплуатации установок химообессоливания с сокращенными реагентами и сокращенными стоками работающих, по технологическим схемам разработанными в АЗАСУ, на Волжской ТЭЦ-2, на ТЭЦ ГАЗ, на Казанских ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 и Минской ТЭЦ-3. Анализ составов и концентрации ОРР Н-катионитных и ОН-анионитных фильтров этих установок показали, что их концентрация колеблется в пределах (150 ÷ 350) мг-экв/л. Поэтому и в лабораторных исследованиях изменение концентрации регенерационного раствора принимали в пределах (150 ÷ 350) мг-экв/л, т.е. около (1 ÷ 2,4) %. Соотношение между концентрациями сульфат и хлорид ионов в регенерационных растворах принимали таким же как и в предыдущих опытах - 80 % и 20 %. Скорости пропускания регенерационного раствора и отмывочной воды поддерживали равными 10 м/ч. Значение удельного расхода натриевых солей при каждом значении её концентрации был принято равным около 1,5 г-экв/г-экв. Опыты в каждой точке без учета переходных, были повторены по 3 раза. Результаты этих опытов показаны на рис. 3.6, где графически приводится зависимость изменения рабочей обменной емкости

поглощения катионита С-100 от концентрации регенерационного раствора.

Как следует из этого рисунка, с повышением концентрации регенерационного раствора значение рабочей обменной емкости катионита растет. При этом значение рабочей обменной емкости катионита С-100 с повышением концентрации регенерационного раствора от 150 до 350 мг-экв/л, увеличивается с 605 до 785 г-экв/м³.

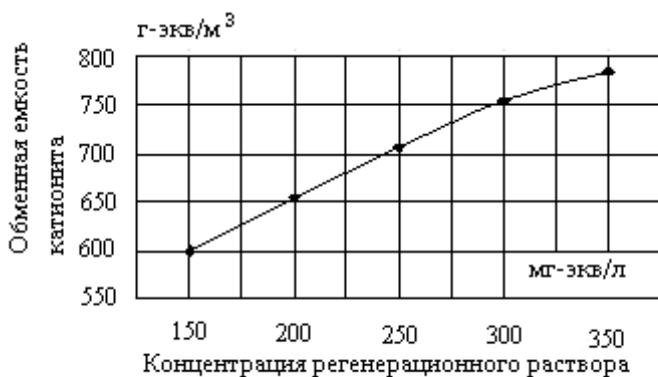


Рис. 3.6. Зависимость обменной емкости катионита С-100 от концентрации регенерационного раствора

Таким образом, исследованиями, проведенными в лабораторных условиях, получены результаты, характеризующие катиониты КУ-2-8 и С-100 при использовании их в процессе утилизации ОРР химобессоливающей установки, работающей по технологии, разработанной в АзАСУ, в процессе получения умягченной Na-катионированной воды. При этом изучены как прямоточное, так же и двухпоточно-противоточное катионирование воды в различных условиях. Исследованы влияние на процесс регенерации

концентрации, удельного расхода регенерационного раствора и скорость его пропускания через катионит. Определены основные параметры, такие как рабочая обменная емкость поглощения катионита, степень очистки воды и т.д.

Однако на практике иногда приходится встречаться с режимами, когда ОРР химобессоливающей установки обладает незначительной кислотностью. Это обычно имеет место на установках где в ОРР анионитных и катионитных фильтров после их совместной нейтрализации имеющих в них соответственно незначительных количеств щелочи и кислоты, в смеси остается незначительное количество кислоты. Нейтрализация остаточной кислотности смеси ОРР анионитных и катионитных фильтров требует времени, определенного количества щелочи и энергии для дальнейшего перемешивания смеси рециркуляцией или же сжатым воздухом. Поэтому изучение процесса регенерации катионита раствором с незначительной кислотностью имеет большой практический интерес, так как его успешное использование может привести к экономии времени, энергии, щелочи, а также и H^+ - ионов в качестве регенерата, которые в противном случае должны нейтрализоваться щелочью.

Для исследований указанного режима был выбран режим, когда исходная вода подается в фильтр двумя потоками, а умягченная отводится через СРУ и регенерационный раствор через катионит пропускается по направлению сверху вниз. В качестве регенерационного был взят раствор общей концентрацией солей 250 мг-экв/л (Na_2SO_4 -80 % и $NaCl$ -20 %), с добавлением серной ки-

слоты в количестве 10, 20 и 30 мг-экв/л. Опыты были повторены несколько раз, до получения стабильных результатов. Регенерация катионита кислотосодержащими растворами показала следующее: При регенерации катионита раствором, содержащим кислоту концентрацией 10 мг-экв/л, ОРР катионитного фильтра получился нейтральным. Однако, начиная уже с регенерации катионита раствором содержащим кислоту с концентрацией 20 мг-экв/л, часть ОРР катионитного фильтра получилась кислой. Указанная кислотность отмывалась только при отмывке катионита. Несмотря на то, что отношение H^+ -ионов в регенерационном растворе к его общей концентрации не очень то высокое и составляет всего $\frac{20}{270} \cdot 100 = 7,4$ и $\frac{30}{280} \cdot 100 = 10,7$ %,

часть этих ионов все - таки транзитом проходят через слой катионита и проскакивают в состав ОРР. Это объясняется природой катионита. Учитывая, что он является сильно-кислотным катионитом и то, что эти H^+ -ионы находятся в смеси с Na^+ -ионами он не может полностью поглощать их из этого раствора.

Результаты этих опытов показали, что при содержании солевого раствора содержащим кислоты более 10 мг-экв/л, использование его в качестве регенерационного раствора приводит к понижению рН ОРР катионитного фильтра, что может усложнить его дальнейшую обработку. Кроме того, в зависимости от состава исходной воды, точнее от её относительной щелочности, это может привести к получению некоторой части умягченной воды с пониженной рН. Поэтому в таких случаях следует осуществить необходимые мероприятия для предотвращения вытекающих

отсюда неблагоприятных явлений. Наилучшим решением указанного вопроса, по нашему мнению, является использование при этом в качестве загрузки смеси сильнокислотных и слабокислотных катионитов. Переход на полностью слабокислотный катионит при этом не целесообразен. Это связано с тем, что при этом утилизация Na^+ - ионов регенерационного раствора при регенерации происходит не эффективно. Поэтому самым лучшим способом является использование при этом смеси сильнокислотного и слабокислотного катионитов. Такие типы катионитов высокого качества в настоящее время выпускаются различными фирмами, в том числе и фирмой Пьюролайт под маркой С-104. Указанный катионит, являясь слабокислотным катионитом, обладает высокой обменной емкостью, значение которой в зависимости от значения рН обрабатываемой воды иногда доходит до 2000 г-экв/м^3 и выше. Использование смеси сильнокислотного и слабокислотного катионитов позволяет избегать снижения рН фильтрата ниже установленной нормы как при регенерации, так и при умягчении исходной воды. Кроме того, это приводит к экономии щелочи для донейтрализации кислоты в ОРР, экономии дополнительной энергии для повторного перемешивания раствора и позволяет полезно использовать H^+ - ионы для регенерации катионита. Объём слабокислотного катионита при этом можно определить следующим выражением:

$$V_{\text{сл.к.}} = \frac{K_3 \cdot V_{\text{ОРР}} \cdot C_{\text{к.рр}}}{e_{\text{сл.к}}} \quad (3.17)$$

где K_3 - коэффициент запаса объёма слабокислотного катионита, учитывающий его потери при взрыхлении, который можно принимать в пределах $1,05 \div 1,15$;

$V_{орр}$ - объём кислого регенерационного раствора ОРР подаваемого на регенерацию катионита m^3 ;

$C_{к,орр}$ - концентрация кислоты в этом ОРР, мг-экв/л;

$e_{сл.к}$ - значение рабочей обменной емкости поглощения слабокислотного катионита, г-экв/ m^3 .

4. РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ СТОКОВ ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

4.1. Разработка и анализ технологий утилизации натрийсодержащих стоков при получении умягченной воды

Как было изложено в предыдущих главах работы, при производстве химобессоленной воды на установках с сокращенными количествами стоков и сокращенными количествами реагентов образуются нейтральные или кислые стоки, не содержащие катионы жесткости. Эти стоки представляют собой растворы с ценными натриевыми солями, которые можно утилизировать в процессе получения подпиточной воды для тепловых сетей или же систем оборотного охлаждения конденсаторов паровых турбин ТЭС. Для этого в данной работе изучены составы, количества и расходы этих растворов в зависимости от различных факторов влияющих на процесс их образования.

Наиболее простыми по составу среди этих растворов являются нейтральные стоки, содержащие только натриевые соли. Эти натрийсодержащие сточные воды могут быть использованы для регенерации катионитных фильтров. Такие схемы уже были рассмотрены в предыдущих разделах работы. Однако здесь рассматриваются условия применения данного решения и пределы его применения в условиях наличия запрета на сбросные стоки. Дело в том что при применении для регенерации катионита в катионитных фильтрах, мягких ОРР от химобессоливающих ус-

тановок, образуются стоки содержащие соли жесткости и избытки натрий-ионов. Для достижения бессточности установки необходимо обработать эти стоки с получением по возможности мягких растворов, которые можно выпаривать на обычных испарителях из углеродистых сталей. Однако этот процесс требует дополнительных расходов связанных с использованием тепла и капиталовложением на выпарную установку. Поэтому утилизацию ОРР катионитных фильтров целесообразно осуществлять, в процессе умягчения воды как это показано на рис. 4.1 [34, 39, 44]:

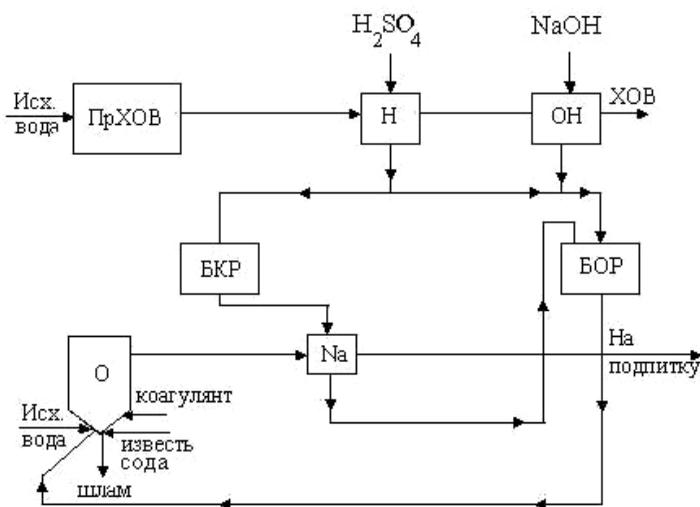


Рис. 4.1. Технологическая схема утилизации ОРР ионитных фильтров установки химобессоливания при умягчение воды

Согласно этой схеме исходная вода подается в предварительную очистку воды химобессоливающей установки (ПрХОВ), где умягчается по бессточной технологии и подается для химобессоливания на Н - и ОН - ионитные фильтры. Химобессоленная вода (ХОВ) после этих фильтров подается потребителям. Н - и ОН - ионитные фильтры регенерируются соответственно растворами кислоты и щелочи. Концентрированные и разбавленные порции ОРР собираются соответственно в баки, предназначенные для концентрированных (БКР) и отработанных растворов (БОР). Концентрированные порции этих растворов из БКР используются для регенерации катионитных фильтров умягчения воды, ОРР катионитных фильтров вместе с разбавленными порциями ОРР из БОР дозируются в осветлитель исходной воды умягчительной установки, где осуществляется содоизвесткование с коагуляцией. При этом утилизируются ОРР Н - и ОН - ионитных фильтров химобессоливающей установки и одновременно получается умягченная вода для подпитки теплосети или же для других потребителей.

При этом основным критерием применения данной технологической схемы является солесодержание умягченной воды, значение которого не должна превышать солесодержание в исходной воде. Однако для осаждения в осветлителе дополнительного количества солей жесткости, подаваемых туда в составе ОРР, необходима подача в осветлитель соды. Как известно, при обычном режиме содоизвесткования, солесодержание обработанной в осветлителе воды рассчитывается по выражению:

$$C_{c.и} = C_{исх} - \text{Щ}_{исх} + \text{Ж}_{c.и} + D_k + I_{и} + I_c, \text{ мг - экв/л} \quad (4.1)$$

Отсюда следует что, изменение солесодержания содоизвесткованной воды при этом можно определить выражением:

$$\Delta C_{c.и} = \text{Щ}_{исх} - \text{Ж}_{c.и} - D_k - I_c - I_{и}, \text{ мг - экв/л.} \quad (4.2)$$

Из выражения (4.2) следует, что при выполнении условия

$$\text{Щ}_{исх} > \text{Ж}_{c.и} + D_k + \text{Щ}_{изв}, \text{ мг - экв/л,}$$

солесодержание содоизвесткованной воды всегда меньше солесодержания исходной воды. Если учесть, что значение дозы коагулянта и остаточной жесткости в содоизвесткованной пресной воде в этих условиях можно принимать около 0,4 и 1,1 мг-экв/л и $I_{и} = I_{c.и} \approx 0$ то можно получить:

$$\Delta C = \text{Щ}_{исх} - 1,5 \text{ мг - экв/л} \quad (4.3)$$

Из выражения (4.3) следует, что при

$$\text{Щ}_{исх} > 1,5 \text{ мг - экв/л,}$$

значения ΔC всегда получаются положительными. Отсюда следует, что изменение солесодержания воды в процессе её содоизвесткования зависит в основном от значения щелочности в исходной воде. При этом для определения минимального значения щелочности исходной воды при её содоизвестковании, позволяющим уменьшение солесодержания и жесткости в осветленной воде, можно применить нижеприведенное выражение:

$$\text{Щ}_{\text{исх.мин}} = \text{Ж}_{\text{с.и}} + D_{\text{к}} + I_{\text{и}} + I_{\text{с.и}} = 1,5 \text{ мг - экв/л} \quad (4.4)$$

Поэтому рассмотрение процесса утилизации стоков натрий - катионитных фильтров в осветлителе исходной воды при содоизвестковании возможно только при соблюдении условия:

$$\text{Щ}_{\text{исх.}} > D_{\text{к}} + \text{Щ}_{\text{изв}} = 1,5 \text{ мг - экв/л.}$$

Однако возвращение ОРР катионитных фильтров в осветлитель исходной воды приводит к увеличению солесодержания смеси против солесодержания в исходной воде. Указанное увеличение солесодержания эквивалентно равняется значению –

$$m_{\text{Na}} \cdot \text{Ж}_{\text{с.и}} \cdot \left(1 + \frac{q_{\text{Na}}}{100} \right) \quad \text{мг-экв/л}$$

где m_{Na} - удельный расход натриевых солей на регенерацию катионита, г-экв/г-экв;

$J_{c.и}$ - остаточное значение общей жесткости в содоизвесткованной воде, мг-экв/л;

q_{Na} - удельный расход воды на собственные нужды Na – катионитного фильтра, %.

Это значение состоит из двух частей - концентраций ионов натрия и ионов жесткости. Концентрации ионов натрия и ионов жесткости здесь соответственно равны значениям:

$$\Delta Na = (m_{Na} - 1) \cdot J_{c.и} \cdot \left(1 + \frac{q_{Na}}{100} \right) \text{ и}$$

$$\Delta J = J_{c.и} \cdot \left(1 + \frac{q_{Na}}{100} \right).$$

Концентрация ионов жесткости состоит из концентрации кальция и магний ионов:

$$J_{c.и} = J_{Ca} + J_{Mg}.$$

Концентрация магний – ионов содоизвесткованной воды (J_{Mg}) приводит к увеличению дозы извести в осветлителе, а общая концентрация ионов жесткости в осветлителе приводит к увеличению дозы соды.

Таким образом, солесодержание содоизвесткованной воды в осветлителе, в мг-экв/л, при возврате туда ОРР натрий – катионитных умягчительных фильтров увеличивается и становится равным значению:

$$C_{с.и} = C_{исх} - \Pi_{исх} + (m_{Na} + 1) \cdot Ж_{с.и} \cdot \left(1 + \frac{q_{Na}}{100}\right) + D_k + I_i + I_c. \quad (4.5)$$

Учитывая, что концентрация солей, в мг-экв/л, при Na-катионировании воды не меняется, тогда солесодержание умягченной воды получается таким же как и в содоизвесткованной смеси:

$$C_y = C_{исх} - \Pi_{исх} + (m_{Na} + 1) \cdot Ж_{с.и} \cdot \left(1 + \frac{q_{Na}}{100}\right) + D_k + I_i + I_c \quad (4.6)$$

Учитывая, что для бессточности установки необходимо соблюдать условие

$$C_y \leq C_{исх}$$

или же

$$C_{исх} - C_y \geq 0$$

то можем написать:

$$\Pi_{исх} - (m_{Na} + 1) \cdot Ж_{с.и} \cdot \left(1 + \frac{q_{Na}}{100}\right) - D_k - I_i - I_c \geq 0 \quad (4.7)$$

Если принимать:

$$m_{Na} = 1,5 \text{ Г-ЭКВ/Г-ЭКВ,}$$

$$Ж_{с.и} = 1,1 \text{ мг-экв/л,}$$

$$Д_k = 0,4 \text{ мг-экв/л,}$$

$$И_i = И_c \approx 0$$

и учесть, что значение q_{Na} - для катионитов типа КУ-2-8, имеющих достаточно высокое значение рабочей обменной емкости, не превышает 1%, и пренебрегая его значением для определения минимального значения щелочности исходной воды при котором можно применять возврат ОРР натрий-катионитных фильтров в осветлитель исходной воды и предусмотреть там его утилизацию, можем получить:

$$Ш_{исх} \geq (m_{Na} + 1) \cdot Ж_{с.и} + Д_k = (1,5 + 1) \cdot 1,1 + 0,4 = 3,15 \text{ ; мг-экв/л.} \quad (4.8)$$

Здесь следует отметить, что в [1] указанное значение приводится равным 3,1 мг-экв/л. Однако, там режим содоизвесткования в осветлителе принимается с избытками извести и соды равными 0,1 мг-экв/л. Однако, результаты дальнейших исследований, проведенных в АзАСУ под руководством Г.К.Фейзиева, показали что при возврате стоков в осветлитель исходной воды, содоизвесткование смеси исходной воды и стоков целесообразно осуществить в режиме с нулевыми избытками извести и соды [8]. Остаточное значение ионов жесткости содоизвесткованной смеси в осветлителе при этом необходимо принимать равным 1,1 мг-экв/л. Поэтому при определении предельного значения щелочности исходной воды в таких условиях получаем 3,15 мг-экв/л.

Таким образом, в результате анализа режима возврата ОРР натрий-катионитных фильтров в осветлитель исходной воды и его утилизации там совместно с исходной водой при помощи содоизвестковой обработки получено, что возможность осуществления указанного процесса зависит от значения щелочности в исходной воде. Указанное значение, при условии применения двухпоточно-противоточных Na-катионитных фильтров, когда удельный расход натриевых солей на регенерацию катионитов типа КУ-2-8 принимается равным 1,5 г-экв/г-экв, равняется 3,15 мг-экв/л. Указанное значение щелочности характерно для большинства пресных вод. Поэтому применение указанного условия утилизации стоков катионитных фильтров, можно осуществить для большинства составов пресных вод. Однако при этом ещё должно быть проверено условие наличия достаточного количества солей содержащихся в составе ОРР ионитных фильтров химобессоливающей установки. Для расчета указанного условия можно использовать выражения, приведенные в [1].

Однако имеются также и варианты обеспечения бессточности технологической схемы комбинированного химобессоливания и умягчения воды, для случаев когда значение щелочности исходной воды меньше чем 3,15 мг-экв/л. Как известно, из [1] для этого ОРР натрий-катионитного фильтра перед подачей в осветлитель исходной воды пропускается через сатуратор, где осуществляется осаждение катионов жесткости в виде $Mg(OH)_2$ и $CaSO_4$. При этом достигается снижение возвращаемого количества катионов жесткости в осветлитель исходной воды и снижение там дозы соды. Этим предельное значе-

ние щелочности исходной воды снижается и в зависимости от количества осаждаемых катионов жесткости в сатураторе может достигнуть значения 2,05 мг-экв/л. Указанное значение может быть достигнуто при осаждении всего количества катионов жесткости в сатураторе. Опыты показывают, что при этом в составе ОРР после сатуратора может быть не только отсутствие некарбонатной жесткости, но даже может иметь место такой режим когда, в растворе присутствует свободный NaOH образованный в сатураторе вследствие присутствия в составе ОРР катионов натрия. Образование свободной каустической соды при этом, как показали исследования, происходит при концентрации катионов натрия в растворе более 50 мг-экв/л [1, 6]. При этом снижение дозы соды в осветлителе происходит вследствие двух причин. Во-первых, это происходит из-за снижения возвращаемых в осветлитель катионов жесткости в количестве равным остаточной жесткости в содоизвесткованной воде, т.е. при этом некарбонатная жесткость в осветлителе практически не возвращается. Во-вторых, в сатураторе образуется NaOH, которая как и каустическая сода, в осветлителе способствует дополнительному снижению катионов жесткости. Однако при отсутствии необходимости применения данной технологической схемы, в условиях, когда значение щелочности в исходной воде превышает 1,5 мг-экв/л, применение сатуратора на установке требует технико-экономического обоснования. Указанное связано с тем, что если снижение расхода соды в осветлителе обеспечивает уменьшение эксплуатационных расходов, то с другой стороны это приводит к повышению капитальных затрат и усложняет схемы.

4.2. Разработка и анализ технологии утилизации натрийсодержащего кислого ОРР Н - ОН - ионитных фильтров химобессоливающей установки при получении умягченной воды

При исследованиях процесса утилизации натрийсодержащих кислых ОРР Н- и ОН- ионитных фильтров установок химобессоливания получено, что H^+ -ионы содержащиеся в их составе могут быть полностью использованы для регенерации катионитных фильтров умягчительных установок. Для этого необходимо использовать в одном фильтре смеси слабокислотных и сильнокислотных, либо же полифункциональных катионитов. Однако при этом следует учесть, что возможное количество используемых H^+ -ионов при умягчении воды ограничено значением её остаточной щелочности. Если учесть, что минимально допускаемое значение остаточной щелочности умягченной воды принимается равным $(0,3 \div 0,4)$ мг-экв/л, тогда возможная максимальная концентрация катионов жесткости, заменяемой Н-ионами при катионировании, получится равной:

$$\Delta J_{H} = \text{Щ}_{H-Na}^{\text{вх}} - \text{Щ}_{H-Na}^{\text{вых}} \quad (4.9)$$

Утилизация кислых ОРР Н- и ОН- ионитных фильтров в процессе регенерации катионитных фильтров умягчительных установок имеет ряд положительных моментов. Во-первых, количество Na^+ -ионов возвращаемых в осветлитель исходной воды уменьшается, что приводит к снижению солесодержания умягченной воды. Во-вторых, при

умягчении воды часть катионов жесткости заменяются H^+ -ионами [34], в результате чего происходит уменьшение соледержание умягченной воды. Таким образом, утилизация H^+ - ионов в процессе регенерации катионитных фильтров умягчительных установок приводит к снижению минимальной концентрации щелочности исходной воды, при которой можно осуществить утилизацию стоков в осветлителе и обработать их совместно с исходной водой.

Технологическая схема осуществления утилизации натрийсодержащих кислых ОРР Н- и ОН- ионитных фильтров химобессоливающей установки при регенерации катионитных фильтров показана на рис. 4.2.

Как следует из этого рисунка, основной процесс утилизации натрийсодержащих кислых ОРР аналогичен утилизации натрийсодержащих ОРР, технологическая схема которого показана на рис. 4.1. Однако на рис. 4.2 в качестве ионитного, для умягчения используется Н-Na-катионитный фильтр.

При этом в БКР собирается кислый натрийсодержащий ОРР. Катионитный фильтр при этом загружается смесью сильнокислотного и слабокислотного катионитов или же полуфункциональным катионитом. При регенерации катионита кислым ОРР, все H^+ -ионы раствора поглощаются в катионите, а вместо них из катионита вытесняются катионы жесткости. ОРР катионитного фильтра совместно с разбавленными порциями ОРР Н - и ОН - ионитных фильтров собираются в бак отработанного раствора (БОР). Туда же при необходимости направляется ОРР анионитных фильтров, регенерируемых практически стехиометрическим расходом щелочи.

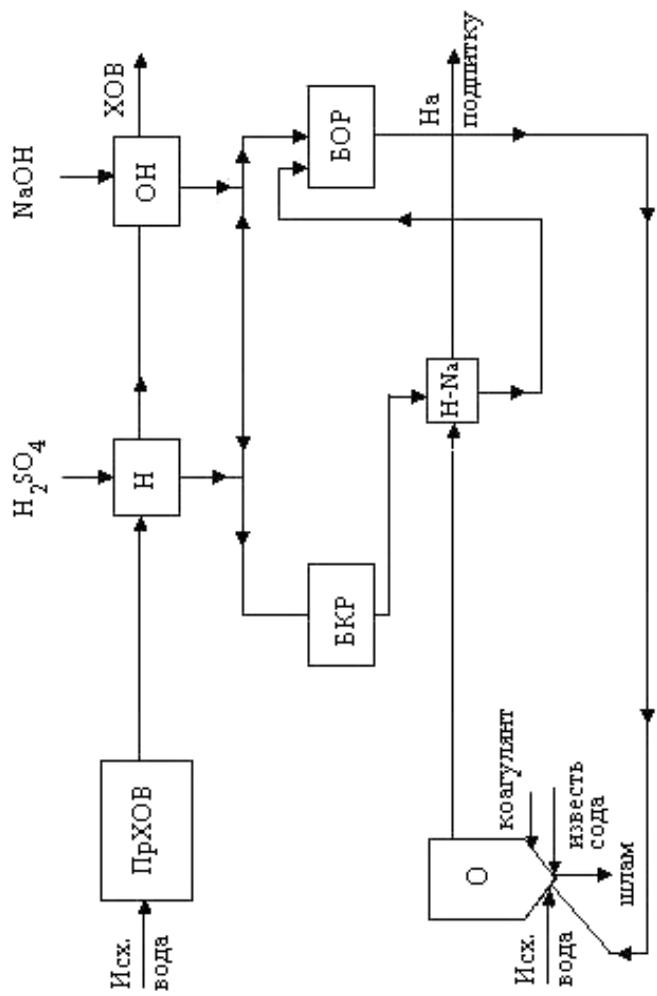


Рис. 4.2. Технологическая схема утилизации натрий-содержащих кислот ОРР кончатных фильтров установки химобессоливания при умягчении воды

Используя выражение (4.9) можно написать баланс получаемых и используемых, на установке приготовления хлоробессоленной и умягченной воды, H^+ -ионов. Количество, получаемых на установке хлоробессоливания воды H -ионов, можно определить с помощью выражения:

$$\sum H_{x.o} = Q_{x.o}^H \left(1 + \frac{q_a}{100} \right) \cdot \left[\left(1 + \frac{q_H}{100} \right) (m_H - 1) \cdot \sum K_{вх} - \sum A_{сл.к}^{вх.А_2} - (m_a - 1) \sum A_{с.к}^{вх.А_1} \right] \quad (4.10)$$

Количество используемых при регенерации H - Na -катионитного фильтра H^+ -ионов определяется выражением:

$$\sum H_{H-Na} = \Delta Ж_H \left(1 + \frac{q_{H-Na}}{100} \right) \cdot Q_{H-Na}^H \quad (4.11)$$

Количество H^+ -ионов получаемых на хлоробессоливающей установке должно обеспечивать регенерацию H - Na -катионитных фильтров. При этом должно быть обеспечено ниже приведенное условие:

$$Q_{x.o}^H \left(1 + \frac{q_a}{100} \right) \cdot \left[\left(1 + \frac{q_H}{100} \right) (m_H - 1) \cdot \sum K_{вх} - \sum A_{сл.к}^{вх.А_2} - (m_a - 1) \sum A_{с.к}^{вх.А_1} \right] \geq \Delta Ж_H \left(1 + \frac{q_{H-Na}}{100} \right) \cdot Q_{H-Na}^H \quad (4.12)$$

Отсюда можно получить выражение для определения значения удельного расхода кислоты на регенерацию катионитных фильтров на химобессоливающей установке:

$$m_H \geq 1 + \frac{(\Pi_{H-Na}^{BX} - \Pi_{H-Na}^{ВЫХ}) \left(1 + \frac{Q_{H-Na}}{100}\right) \cdot Q_{H-Na}^H}{Q_{x.o}^H \left(1 + \frac{q_a}{100}\right) \left[\left(1 + \frac{q_H}{100}\right) \cdot \sum K_{BX} - \sum A_{сл.к}^{BX.A_2} - (m_a - 1) \sum A_{c.к}^{BX.A_1} \right]} \quad (4.13)$$

Выражение (4.13) удобнее записать в следующем виде:

$$m_H \geq 1 + \frac{Q_{H-Na}^H}{Q_{x.o}^H} \cdot \frac{(\Pi_{H-Na}^{BX} - \Pi_{H-Na}^{ВЫХ}) \left(1 + \frac{Q_{H-Na}}{100}\right)}{\left(1 + \frac{q_a}{100}\right) \left[\left(1 + \frac{q_H}{100}\right) \cdot \sum K_{BX} - \sum A_{сл.к}^{BX.A_2} - (m_a - 1) \sum A_{c.к}^{BX.A_1} \right]} \quad (4.14)$$

Отсюда следует, что значение удельного расхода кислоты на регенерацию H – катионитных фильтров химобессоливающей установки в основном зависит:

- от соотношения между производительностями H-Na-катионированной и химобессоленной вод $\left(\frac{Q_{H-Na}}{Q_{x.o}^H} \right)$;
- от снижения щелочности воды при H-Na-катионировании ($\Delta\Pi = \Pi_{H-Na}^{BX} - \Pi_{H-Na}^{ВЫХ}$);
- от состава воды ($\sum K_{BX}$ и $\sum A_{c.к}^{BX.A_1}$);
- от удельного расхода щелочи на регенерацию анионитных фильтров (m_a).

Для наглядного представления изменения удельного расхода кислоты на регенерацию H-катионитных фильтров

химобессоливающей установки в зависимости от соотношения между производительностями Н-Na-катионированной и химобессоленной вод и от снижения щелочности воды при Н-Na-катионировании, при постоянных значениях остальных параметров, произведены расчеты, результаты которых графически показаны на рис.4.3.

При осуществлении расчетов были приняты следующие допущения:

- Значения удельного расхода воды на собственные нужды Н - ; ОН - и Н – Na - фильтров приняты соответственно равными 3%, 3% и 2%;

- Концентрации катионов и анионов в обессоливаемой воде соответственно равны 6 и 3,5 мг-экв/л;

- Удельный расход щелочи на регенерацию анионитных фильтров равен 1,05 г-экв/г-экв;

- Концентрация анионов слабых кислот на входе А₂-фильтра составляет 0,4 мг-экв/л.

Как следует из этого рисунка, с повышением значения соотношения между производительностями Н-Na-катионированной и химобессоленной вод и снижения концентрации щелочности умягчаемой воды, удельный расход кислоты на регенерацию Н-катионитного фильтра увеличивается. Однако интенсивность этого увеличения зависит от снижения концентрации щелочности в умягчаемой воде. Как следует из рис. 4.3, с повышением значения снижения щелочности умягчаемой воды, интенсивность прироста удельного расхода кислоты на регенерацию Н-катионитных фильтров химобессоливающей установки растет. Поэтому в полученной смеси происходит частичная взаимная нейтрализация умягченных кислых и щелоч-

ных вод. Указанный процесс облегчает режим работы буферных фильтров.

Из рис. 4.3. также следует, что при относительно малых значениях снижения щелочности умягчаемой воды, с

повышением соотношения $\frac{Q_{H-Na}}{Q_{x.o}^H}$, значение удельного

расхода кислоты на регенерацию Н-катионитных фильтров повышается умеренно. Например, при снижении щелочности умягчаемой воды равной 0,5 мг-экв/л, с увеличением

$\frac{Q_{H-Na}}{Q_{x.o}^H}$ от 0,5 до 5 значение удельного расхода кислоты

на регенерацию Н-катионитных фильтров повышается от 1,05 до 1,45 г-экв/г-экв т.е. всего около 40 %. Однако при снижении значения щелочности умягчаемой воды равной

2,0 мг-экв/л, и с увеличением $\frac{Q_{H-Na}}{Q_{x.o}^H}$ от 0,5 до 5, удельный

расход кислоты на регенерацию Н-катионитных фильтров повышается от 1,20 до 2,75 г-экв/г-экв, т.е. около в 2,3 раза. Отсюда можно сделать вывод о том, что в условиях когда увеличение удельного расхода кислоты на регенерацию Н-катионитных фильтров не целесообразно, необходимо работать в режиме с малым изменением щелочности умягчаемой воды. Указанный режим особенно выгоден в условиях известковой обработки умягчаемой воды. При этом значение снижения щелочности умягчаемой воды получается равной около 0,7 мг-экв/л.

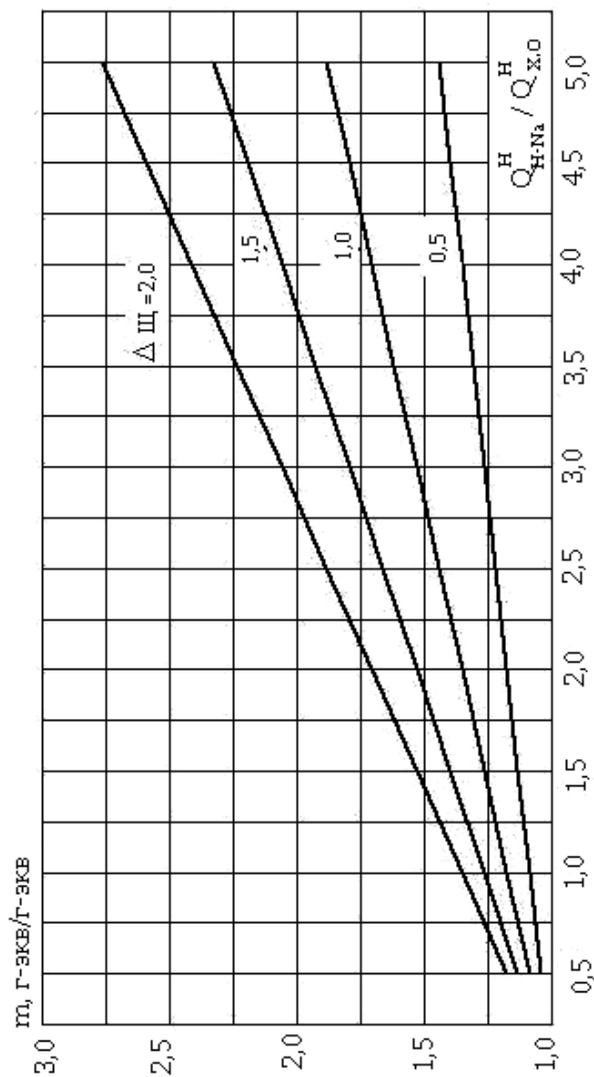


Рис. 4.3. Зависимость удельного расхода кислоты на регенерацию H-катионных фильтров от соотношения между производительностями H-Na-катионированной и химбессоленной вод и уменьшения щелочности умягчаемой воды

Для известкованной воды разница между концентрациями катионов и анионов остается практически постоянной и равной около 1 мг-экв/л. Поэтому представляет интерес изменение удельного расхода кислоты на регенерацию Н-катионитных фильтров в зависимости от состава воды, т.е. например, от концентрации катионов в известкованной воде. Для этого с использованием выражения (4.14) осуществлен расчет по определению вышеуказанной зависимости. При этом значения остальных параметров были приняты как в вышеуказанном случае. На рис. 4.4 приведен график изменения удельного расхода кислоты на регенерацию Н-катионитного фильтра в зависимости от соотношения $\frac{Q_{H-Na}}{Q_{x.o}^H}$ и суммы катионов в известкованной воде.

Как известно, в известкованной воде концентрация анионов сильных кислот получается всегда меньше суммы катионов на около 1 мг-экв/л, т.е. эквивалентно щелочности известкованной воды.

Как следует из рис. 4.4 с повышением значений $\frac{Q_{H-Na}}{Q_{x.o}^H}$ и снижением суммы катионов удельный расход кислоты на регенерацию Н-катионитных фильтров увеличивается. Причем интенсивность этого увеличения с повышением концентрации катионов в очищаемой воде уменьшается. Это объясняется тем, что с понижением значения суммы катионов в очищаемой воде, относительное значение количества кислоты необходимое для регенерации Н-Na-катионитных фильтров умягчительной установки растет. Т.е. при постоянном количестве кислоты на регенера-

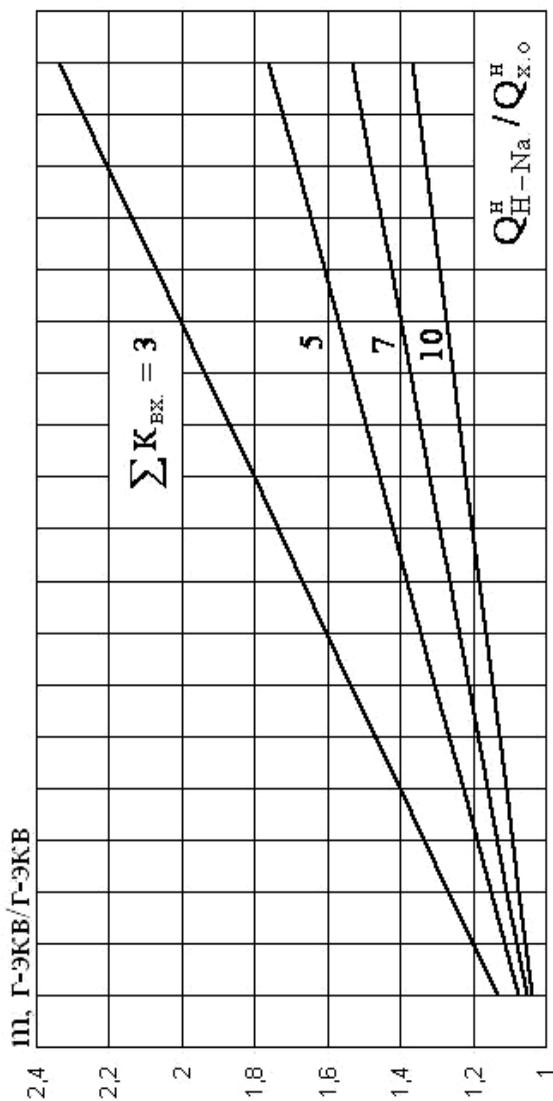


Рис. 4.4. Зависимость удельного расхода кислоты на регенерацию H-катионных фильтров от соотношения между производительностями H-Na-катионированной и хлоробессоленной вод и от концентрации катионов в известкованной воде

цию H-Na-катионитных фильтров, с уменьшением суммы катионов в обессоливаемой воде необходимое количество кислоты на регенерацию H-катионитных фильтров снижается. Поэтому удельный расход кислоты на регенерацию H-катионитных фильтров растет. Отсюда также следует, что с повышением концентрации катионов в обессоливаемой воде реально возможное количество утилизируемой кислоты, от регенерации H-катионитных фильтров химобессоливающей установки, уменьшается. Однако даже 20% - ное повышение удельного расхода кислоты на регенерацию H-катионитных фильтров (при $m = 1,2$ г-экв/г-экв) позволяет резко повысить рабочую обменную емкость поглощения катионитов типа КУ-2-8 и улучшить качество H- катионированной воды, а также экологические и технологические показатели процесса.

Улучшение экологических показателей процесса объясняется тем, что при этом происходит полная утилизация ОРР H-катионитных фильтров химобессоливающей установки, не требуются привозные реагенты для регенерации умягчительных фильтров, вследствие чего ликвидируются стоки, которые должны были - бы образованы при регенерации умягчительных фильтров этими реагентами.

Экономические показатели процесса улучшаются вследствие отсутствия привозных реагентов для регенерации умягчительных фильтров, повышения рабочей обменной емкости катионита в H - катионитном фильтре химобессоливающей установки. Последнее условие способствует уменьшению расхода воды на собственные нужды установки химобессоливания, уменьшает количество фильтров, а также загружаемых в них катионитов, т.е. снижает

капиталовложения и повышает компактность установки. Результаты научно-исследовательских работ по изучению количества и качества отработанных регенерационных растворов Н-катионитных и ОН-анионитных фильтров, а также утилизация этих стоков в процессе водоприготовления внедрены на Казанской ТЭЦ-1 и Минской ТЭЦ-3.

Согласно технологии на Казанской ТЭЦ-1, ОРР Н-катионитных и ОН-анионитных фильтров химобессоливающей установки производительностью 475 т/ч, работающей по технологии с сокращенными реагентами и сокращенными стоками, собираются и используются для регенерации ионитных фильтров химобессоливающей установки и установки приготовления подпиточной воды теплосети. В результате внедрения, на установке водоприготовления снижены стоки на 5%, повышены рабочие емкости поглощения катионитов и анионитов в среднем на 50% и 30% соответственно. Экономия воды и реагентов составила в 2007 году: воды 12717 т; кислоты – 8,683 т; щелочи – 14,086 т.

Экономия воды и реагентов составила в 2008 году: воды 9459 т; кислоты – 4,897 т; щелочи – 10,545 т.

Таким образом, экономическая эффективность от внедрения за 2007 – 2008 гг., только от снижения расходов воды и реагентов на установке, без учета снижения экологического ущерба составляет 427712 Российских рублей.

4.3. Определение экономической эффективности разработанных и исследованных технологий

Как уже отмечалось, разработанные новые технологии относятся к комбинированным технологиям подготовки хлоробессоленной воды и вод для подпитки теплосети, СОО, испарителей и других потребителей умягченной воды. Качество умягченной воды принимается в зависимости от требований предъявляемых потребителями к данной воде. В зависимости от требуемого качества умягченной воды принимается и схема подготовки последней. При этом имеется возможность применения реагентной, ионитной и последовательной очисток применением реагентного, ионитного и других методов.

Для всевозможных вариантов применения технологии очистки воды разработаны схемы, или же исследованы уже имеющиеся технологические схемы с целью утилизации ОРР хлоробессоливающей установки для получения умягченной подпиточной воды [34, 37, 38, 42 - 45].

Эффективность разработанных и исследованных автором технологических схем проявляет себя как в экономическом, так и экологическом аспектах.

Экономическая эффективность разработанных и исследованных технологических схем достигается:

- Утилизацией ОРР ионитных фильтров не в отдельной установке, а в процессе комбинированной выработки хлоробессоленной и подпиточной воды;

- Повышением рабочей обменной емкости катионитов и анионитов хлоробессоливающей установки;

-Уменьшением количества катионитных фильтров и загружаемых в них катионитов химобессоливающей установки, вследствие повышения рабочей обменной емкости катионитов;

-Снижением количества воды на собственные нужды ионитных фильтров химобессоливающей установки;

-Применением для подготовки подпиточной воды не привозных, а утилизируемых реагентов от химобессоливания.

Экологическая эффективность разработанных и исследованных технологических схем комбинированной выработки химобессоленной и подпиточной воды получается вследствие нижеприведенных условий:

-ОРР химобессоливающей установки утилизируются и не сбрасываются в водоемы загрязняя их, или же не обрабатываются на дорогих «хвостовых» установках, предназначенных для обработки сточных вод водоподготовительных установок;

-Для подготовки подпиточной воды применяются утилизируемые от химобессоливания воды, а не привозные реагенты, устраняя стоки получаемые при использовании привозных реагентов, которые должны были обработаны или же сброшены в водоемы.

При определении эффективности разработанных и исследованных технологий необходимо учесть как экологическую, так и экономическую эффективность этих технологий. Таким образом, эффективность разработанных и исследованных технологий можно определить следующим выражением:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{экол}} + \mathcal{E}_{\text{кап}} + \mathcal{E}_{\text{реаг}}, \quad \text{ман.}; \quad (4.15)$$

где $\mathcal{E}_{\text{экол}}$ - экономия полученная в результате снижения экологического ущерба природе, ман.;

$\mathcal{E}_{\text{кап}}$ - экономия полученная в результате снижения капиталовложения на установку, ман.;

$\mathcal{E}_{\text{реаг}}$ - экономия полученная в результате снижения расхода реагентов на обработку воды, ман.

Экологическая эффективность от внедрения новых разработок определяется ликвидацией экологического ущерба природе:

$$\mathcal{E}_{\text{экол}} = Y_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ст}}, \quad \text{ман./год}; \quad (4.16)$$

Здесь

- $Y_{\text{ст}}$ - ущерб природе от сброса стоков ман./м³;

- $V_{\text{ст}}$ - количество стоков выбрасываемых за год водоемы, м³/год.

Количество выбрасываемых за год стоков в водоемы определяется выражением:

$$V_{\text{ст}} = V_{\text{ст}}^{\text{п.в}} + V_{\text{ст}}^{\text{х.о}} = \left(Q^{\text{х.о}} \cdot \frac{q_{\text{ст}}^{\text{х.о}}}{100} + Q^{\text{п.в}} \cdot \frac{q_{\text{ст}}^{\text{п.в}}}{100} \right) \cdot \tau, \quad \text{м}^3/\text{год}; \quad (4.17)$$

где $Q^{\text{х.о}}$ - производительность химобессоленной воды, м³/ч;

$Q^{\text{п.в}}$ - производительность подпиточной воды, м³/ч;

$q_{\text{ст}}^{\text{х.о}}$ - удельный расход сточных вод от производств химобессоленной воды, %;

$q_{\text{ст}}^{\text{п.в}}$ - удельный расход сточных вод от производств подпиточной воды, %;

τ - количество за год число часов совместной работы установок, ч.

Экономическую эффективность от внедрения новых разработок можно определить следующим образом:

$$\mathcal{E}_{\text{кап}} = (P_{\text{а}} + P_{\text{н}})\Delta K_{\text{об}} + (\alpha_{\text{к}} + P_{\text{н}})\Delta K_{\text{кат}}, \quad (4.18)$$

где $P_{\text{а}}$ - норма амортизационного отчисления для оборудования;

$P_{\text{н}}$ - нормативный коэффициент эффективности капиталовложения;

$\alpha_{\text{к}}$ - годовая норма досыпки ионита;

$\Delta K_{\text{об}}$ - снижение капиталовложения на оборудование, ман.;

$\Delta K_{\text{кат}}$ - снижение капиталовложения на иониты, ман.

Снижение капиталовложения на оборудование в основном связано с уменьшением количества катионитных фильтров, в результате повышения их рабочей емкости поглощения. Кроме того, иногда снижаются также капиталовложения на узел приготовления регенерационных растворов, т.к. уменьшается их количество из-за уменьшения количества одновременно регенерируемых катионитных фильтров. Однако, это имеет место при относительно

больших производительностях установки химобессоливания.

Снижение капиталовложений на оборудование, таким образом можно определить по выражению:

$$\Delta K_{об} = C_{\phi} \cdot \psi \cdot (n_c - n_n), \text{ ман.}; \quad (4.19)$$

где C_{ϕ} - стоимость одного двухпоточно-противоточного фильтра в металле, ман.;

ψ - коэффициент для определения стоимости фильтра, учитывающий все необходимые затраты на его изготовление, монтаж, химвоккрытие, автоматизацию и т.д.;

n_c - количество фильтров по существующей технологии;

n_n - количество фильтров по новой разработке.

Снижение капиталовложения на катионит определяется по выражению:

$$\Delta K_{кат} = (n_c - n_n) \cdot V_k \cdot C_k, \quad (4.20)$$

где V_k - объем катионита в одном фильтре, м³;

C_k - стоимость катионита ман./м³.

Экономическую эффективность от снижения расхода реагентов на водоприготовление в целом по установке определяют выражением:

$$\mathcal{E}_{реар} = Q^{п.в} \cdot y_p \cdot C_p \cdot \tau \cdot 10^{-3}. \quad (4.21)$$

Здесь y_p - удельный расход реагента на приготовление подпиточной воды который заменяется реагентом от химобессоливания, подлежащим утилизации, кг/м³;

C_p - стоимость этого реагента, ман./т;

10^{-3} - коэффициент учитывающий перевод кг на тонны.

Таким образом, общую экономию от внедрения новых разработок можно определить выражением:

$$\Xi = y_{\text{ст}} \cdot \left(Q^{\text{x.o}} \cdot \frac{q_{\text{ст}}^{\text{x.o}}}{100} + Q^{\text{п.в}} \cdot \frac{q_{\text{ст}}^{\text{п.в}}}{100} \right) \cdot \tau + (n_c - n_n) \cdot$$

$$\cdot [(P_a + P_n) \cdot C_{\text{ф}} \cdot \psi + (\alpha_k + P_n) \cdot V_k \cdot C_k] + Q^{\text{п.в}} \cdot y_p \cdot C_p \cdot \tau \cdot 10^{-3}, \text{ ман.} \quad (4.22)$$

Однако, в настоящее время, при новых экономических ситуациях, оценивать стоимость обработки стоков, или же ущерб окружающей среды при сбросе агрессивных или солевых стоков из-за отсутствия стабильных цен на оборудование, отсутствия методик для определения экологического ущерба окружающей среде очень трудно. Это с одной стороны уменьшает эффективность, а с другой стороны повышает надёжность расчетов.

В качестве примера рассмотрим комбинированную подготовку химобессоленной и умягченной воды с производительностью химобессоливания 200 м³/ч. В качестве исходной принимаем Куринскую воду. Состав этой воды, мг-экв/л, на различных стадиях обработки приведен в таблице 4.1. Как следует из этой таблицы Куринская вода перед химобессоливанием с сокращенными сбросами и со-

кращенными реагентами подвергается бессточному умягчению.

Таблица 4.1.

Состав Куринской воды

Вода	Ca	Mg	Na	SO ₄	Cl	HCO ₃	CO ₃	OH	ΣК
Исходная	3	4,4	7,1	4,3	6,4	3,8	-	-	14,5
После бессточного глубокого умягчения (содоизв. умягч. на Н-ф-рах, с возвратом стоков в осветлитель)	-	0,005	12,1	5,7	6,4	0	0	0	12,1

При этом вода подается в осветлитель где совместно со стоками катионитных фильтров подвергается содоизвлекательной обработке. Далее осветленная вода подается в механическо-Н-катионитные фильтры, где глубоко умягчается. Глубокоумягченная вода, концентрацией 12,5 мг-экв/л подается на химобессоливание. Н-катионитные фильтры регенерируются раствором серной кислоты со стехиометрическим расходом. Нейтральный ОРР Н-катионитных фильтров умягчения подается в осветлитель, где осуществляется его утилизация и обработка.

При регенерации Н-катионитных и ОН-анионитных фильтров химобессоливающей установки практически стехиометрическим количеством кислоты и щелочи ($m_{щ}=1,05$ г-экв/г-экв), получается значительное количество Na^+ ионов, которые можно использовать для регенерации Na-катионитных фильтров установки глубокого умягчения воды. Удельный расход кислоты на регенерацию Н-катионитных фильтров, с учетом нейтрализации избытков щелочи и анионов слабых кислот в составе ОРР анионитных фильтров, определяются по формуле:

$$m_H = 1 + \frac{1 + \frac{q_{СНА}}{100}}{1 + \frac{q_{СНН}}{100}} \cdot \frac{m_A \cdot (A_{С.К} + A_{С.Л.К}) - A_{С.К}}{\sum K} \quad (4.23)$$

Удельные расходы воды на собственные нужды катионитных и анионитных фильтров ориентировочно принимаются равными соответственно 1,06 и 1,05 г-экв/г-экв. Тогда:

$$m_H = 1 + \frac{1 + \frac{5}{100}}{1 + \frac{6}{100}} \cdot \frac{1,05 \cdot (12,5 + 0,4) - 12,5}{12,5} = 1,08 \text{ г-экв/г-экв} \quad (4.24)$$

При этом для определения относительного количества умягченной воды выведено выражение:

$$\frac{W_y^m}{W_{x.o}} \leq \frac{\left(1 + \frac{q_{c.n.a}}{100}\right) \cdot \left[\left(1 + \frac{q_{c.n.h}}{100}\right) \cdot C_{пр.х.о} + (\sum A_{c.к} + \sum A_{сл.к}) \cdot m_a\right]}{\left(1 + \frac{q_{c.n.y}}{100}\right) \cdot m_{Na} \cdot \Delta Ж_y}, \quad (4.25)$$

$$\frac{W_y^m}{W_{x.o}} \leq \frac{\left(1 + \frac{5}{100}\right) \cdot \left[\left(1 + \frac{6}{100}\right) \cdot 12,5 + (12,5 + 0,4) \cdot 1,05\right]}{\left(1 + \frac{q_{c.n.y}}{100}\right) \cdot m_{Na} \cdot \Delta Ж_y},$$

$$\frac{W_y^m}{W_{x.o}} \leq \frac{27,5}{\left(1 + \frac{q_{c.n.y}}{100}\right) \cdot m_{Na} \cdot \Delta Ж_y}. \quad (4.26)$$

Здесь $27,5 \cdot W_{x.o} = 27,5 \cdot 200 = 5500$ г-экв/ч показывает количество чистых натриевых солей, полученных на химо-бессоливающей установке в каждый час. Эти соли в эквиваленте NaCl получают в количестве около 322 кг/ч. Используя такое количество соли можно глубоко умягчать содоизвесткованную воду жесткостью около 1 мг-экв/л, либо же исходную Куринскую воду жесткостью 7,4 мг-экв/л.

В зависимости от типа умягчаемой воды выбираются параметры умягчительной части установки т.е. $q_{c.n.y}$, m_{Na} и $\Delta Ж_y$.

Если умягчаем содоизвесткованную воду тогда принимаем:

$$q_{c.n.y} = 0,3\% ;$$

$$m_{\text{Na}} = 1,5 \text{ г-экв/г-экв};$$

$$\Delta\text{Ж}_y = 1 \text{ мг-экв/л.}$$

Тогда максимально возможное количество глубокоумягченной воды полученной с использованием натриевых солей определяется по выражению:

$$\frac{W_y^m}{W_{x.o}} \leq \frac{27,5}{\left(1 + \frac{1}{100}\right) \cdot 1,5 \cdot 1,0} = 18, \quad (4.27)$$

$$W_y^m = 18 \cdot W_{x.o} = 18 \cdot 200 = 3600 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

При умягчении исходной Куринской воды жесткостью 7,4 мг-экв/л, можем принимать:

$$q_{c.n.y} = 2,5\% ;$$

$$m_{\text{Na}} = 1,5 \text{ г-экв/г-экв};$$

$$\Delta\text{Ж}_y = 7,4 \text{ мг-экв/л.}$$

$$\frac{W_y^m}{W_{x.o}} \leq \frac{27,5}{\left(1 + \frac{3}{100}\right) \cdot 1,5 \cdot 7,4} = 2,4 \quad (4.28)$$

Тогда максимально возможное количество умягченной воды, полученной на установке, составляет:

$$W_y^m = 2,4 \cdot 200 = 480 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Из приведенных расчетов следует, что при получении из Куринской воды 200 м³/ч химобессоленной воды,

возможно получение ещё 480 или же 3600 м³/ч глубоко-умягченной воды.

Следует отметить, что при умягчении Куринской воды в количестве 480 м³/ч по обычной прямоточной технологией, регенерацией катионита КУ-2-8 раствором натриевой соли концентрацией около 10% (1700 мг-экв/л), количество образуемых стоков получится:

$$Q_{\text{ст}} = Q_y \cdot Ж_y \cdot \left(\frac{m_{\text{Na}}}{C_p} + \frac{g_o}{e_k} \right), \quad \text{м}^3/\text{ч} \quad (4.29)$$

где $C_p = 1700$ мг - экв/л - концентрация регенерационного раствора NaCl, $g_o = 6$ м³/м³ – удельный расход воды на после регенерационную отмывку катионита КУ-2-8 [20]:

$$\frac{W_y^m}{W_{\text{x.o}}} \leq \frac{27,5}{\left(1 + \frac{3}{100}\right) \cdot 1,5 \cdot 7,4} = 2,4$$

$$Q_{\text{ст}} = 480 \cdot 7,4 \cdot \left(\frac{2}{1700} + \frac{6}{900} \right) = 27,85 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (4.30)$$

Учитывая, что для регенерации катионита используется ОРР химобессоливающей установки и привозная соль при этом не применяется, следовательно и стоки от этой регенерации также отсутствуют. При этом и отсутствует расходы для обработки этих стоков на «хвостовых» установках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1.Фейзиев Г.К. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды, Изд.2-е, перераб. и доп. ТПП, 2009. 442с.

2.Фейзиев Г.К. А.С. СССР 676311. Способ регенерации ионитных фильтров, Б.И., 1979, № 28

3.Фейзиев Г.К. А.С. СССР 697170. МКИ В 01 J 1 / 09, С 02В 1 / 42. Способ регенерации ионитных фильтров установки для обессоливания и умягчения воды, Б.И., 1979, № 42

4.Фейзиев Г.К. А.С. СССР 952752. МКИ С 02 F 1 / 42. Способ умягчения воды, Б.И., 1982, № 31

5.Фейзиев Г.К. А.С. СССР 1022948. МКИ С 02 F 1 / 42. Способ ступенчато - противоточного ионирования воды, Б.И., 1983, № 22

6.Джалилов М.Ф. Химическое обессоливание воды на ТЭС сокращенными количествами реагентов и стоков. Баку: Элм, 1996, 150 с.

7.Методические указания по проектированию обессоливающих установок с сокращенными стоками // Гоуфман Э.Н., Быстрова Т.Ф., Образцова В.А., Измайлов М.И. (ВНИПИЭнергопром), Фейзиев Г.К., Кулиев А.М., Сафиев Э.А., Джалилов М.Ф. (АзИСИ), МУ-34-70-126-85 М.: Мин. Энерг. и электрофик. СССР, СПО «СОЮЗТЕХЭНЕРГО» 1987, 63 с.

8.Методические указания по проектированию ТЭС с максимально сокращенными стоками // Боднарь Ю.Ф., Быстрова Т.Ф., Гронский Р.К., Федосеев Б.С., Фейзиев Г.К., Чеканов Т.С., при участии: Джалилова М.Ф., Ефремова

А.Д., Золотовой В.В., Копейна В.А., Кулиева А.М., Образцовой В.А., Переславцева А.А., Петрова Ю.И., Сафиева Э.А., М.: ВТИ, ВНИПИЭНЕРГОПРОМ, АзИСИ, 1991, 152 с.

9.Фейзиев Г.К., Джалилов М.Ф., Гусейнова Г.Г. Об экологически чистых и ресурсосберегающих технологиях водоприготовления / Энергетика, Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ, Минск: 2005, № 6, с. 78 - 84

10.Фейзиев И.Г. Комбинированные методы обессоливания и умягчения воды, Баку: Элм, 1999, 191 с.

11.Feyziev G.K., Jalilov M.F. Treatment of makeup water for heat-and-power engineering factories with environmentally appropriate and resource-saving technology // Natural Catclysms and global problems of the modern civilization, Baku-Innsburg: 2007, p. 572 - 576

12.Пшеменский А.А., Клевайчук К.А., Балабан-Ирменин Ю.В. и др. // Методические указания по водоподготовке и водно-химическому режиму водогрейного оборудования и тепловых сетей. Нормативные документы для тепловых электростанций и котельных РД 34.37.506-88. Внесено изменение, утвержденное Департаментом науки и техники РАО «ЕЭС России» 27.03.1997

13.Соколов Э.Я. Теплофикация и тепловые сети // Учебник для вузов.- 6 - е изд., перераб. Москва.: МЭИ, 1999, 472 с.

14.Стерман Л.С., Покровский В.Н. Химические и термические методы обработки воды на ТЭС: Учебное пособие для вузов // М.: Энергия, 1981, 232с.

15. Dietmar Röttsch, Zuverlässigkeit von Rohrleitungssystemen. Fernwärme und Wasser. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 3. Norbert Schläfer, Fernwärmeversorgung, Hausanlagentechnik in Theorie und Praxis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2001, 333s.

16. Zuverlässigkeit von Rohrleitungssystemen, Dietmar Röttsch, 1999.

17. Белан Ф.И. Водоподготовка: (расчеты, примеры, задачи) М.: Энергия, 1980, 256 с.

18. Богловский А.В., Копылов А.С., Очков В.Ф. и др. Предварительная очистка воды в схемах водоподготовки. М.: МЭИ, 2002, 79 с.

19. Гребенок В.Д., Мазо А.А. Обессоливание воды ионитами, М.: Химия, 1980, 256 с.

20. Лившиц О.В. Справочник по водоподготовке. 2 - е издание, М.: Энергия, 1976, 238 с.

21. Лопатышкина Н.П., Сазонов Р.П. Водоподготовка и водно - химический режим тепловых сетей, М.: Энергоиздат, 1982, 200 с.

22. Нормы качества подпиточной и сетевой воды тепловых сетей. НР-34-70-051-83. М.: СПО Союзтехэнерго, 1984.

23. Bennett P. Boffardi. Водоподготовка для систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и холодильных установок, / АВОК №6, 1999. Рубрика: Отопление и горячее водоснабжение. Перепечатано из журнала ASHRAE (май 1999 г.). Перевод с английского О.П. Булычевой.

24. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике, М.: МЭИ, 2003, 309 с.

25.Копылов А.С. Процессы и аппараты водоподготовки. М.: МЭИ, 2006, 60 с.

26.Кулешов В.Н., Морыганова Ю.А., Меньшикова В.Л. и др. Химический анализ в теплоэнергетике, М.: МЭИ, 2004, 128 с.

27.Применение антинакипинов и ингибиторов коррозии в системах теплоснабжения и оборотного охлаждения. Информация ВТИ // Промышленная энергетика, 2006, №6

28.Федосеев Б. С., Балабан-Ирменин Ю. В., Рубашов А. М. Обобщение опыта применения фосфорорганических антинакипинов и ингибиторов коррозии / Энергетик, 2006, № 3

29.Резник, Я.О. "Нехимических" методах обработки воды // Энергосбережение и водоподготовка, 2006, №5

30.Джалилов М.Ф., Кулиев А.М., Прибыльский Л.С. и др. Опыт эксплуатации установки подготовки подпиточной воды теплосети на Минской ТЭЦ-3 // Энергетика, Изв. ВУЗ-ов и энергетических объединений СНГ, Минск: 1997, № 1 и 2. с. 71 – 75

31.Кулиев А.М., Фейзијева Г.Г. Технология утилизации стоков Н-катионирования фильтров систем теплоснабжения // АЗИСУ «Ученые записки», 1996, №1, с. 35-37

32.Abdullayev K.M., S.Ə.Şahmarov, A.S.Əlizadə, M.M. Ağamalıyev. stilik energrtikasında suyun kimyəvi və fiziki üsulla emalı. Ali texniki məktəblər üçün dərslik. Bakı.: “Maarif Nəşriyyatı, 1998, 308 s.

33.K.M.Abdullayev, R.K.Məmmədov, Y.İ.Lətifov. Enerji ehtiyatları, elektrik enerjisi istehsalı və ətraf mühit,II cild, Bakı.: “Zaman”, 2007, 408s.

34.Бадалов Б.Ш. О путях повышения эффективности процесса водоприготовления для систем теплоснабжения //Ekologiya və su təsərrüfatı jurnalı, Bakı: 2005, № 7, s. 12-20

35.Cəlilov M.F., Bədəlov B.Ş. İstilik təchizatı sistemlərində əlavə suyun istehsalı səmərəliliyinin yüksəldilməsi // AzMİU-nun Elmi əsərləri, 2005, №1, s. 61-66

36.Бадалов Б.Ш. Исследование процессов утилизации натрийсодержащей ОРР химобессоливающей установки при подготовки подпиточной воды теплосети и СОО / IV Beynəlxalq Simpozium. “Fövqəladə hallarda təhlükəsizliyin idarə olunması” 15-16 noyabr, 2007, s. 63-65

37.Джалилов М.Ф., Бадалов Б.Ш. Об утилизации отработанных регенерационных растворов химобессоливания в процессе подготовке подпиточной воды теплосети или СОО // Экоэнергетика, Баку: 2006, №2 (1), с. 18-21

38.Джалилов М.Ф., Бадалов Б.Ш. О повышении экономической и экологической эффективности процесса водоприготовления /Энергетика, Изв. ВУЗ-ов и энергетических объединений СНГ, Минск: 2006, № 1, с. 66 - 71

39.Бадалов Б.Ш. О технологии утилизации натрийсодержащих стоков, при получении умягченной воды для систем теплоснабжения // Az.MİU-nun Elmi əsərləri, 2009, №1, səh. 75-79

40.Бадалов Б.Ш. О регенерации катионитных фильтров теплосети регенерационными стоками ионитных фильтров химобессоливающих установок воды с сокращенными реагентами и стоками //Ekologiya və su təsərrüfatı jurnalı, Bakı: 2009, № 5, s. 21-27

41.Джалилов М.Ф., Кулиев А.М., Фейзиев И.Г. Внедрение эффективных технологий регенерации ионитных

фильтров химводоочистки / Материалы респ. научно-практ. конф. посвящ. 80-летию АзГНА «Рациональное использование энергоресурсов и надежность электрооборудования». Баку: 2000, с.168-172

42. Bədəlov B.Ş. İstilik təchizatı sistemləri üçün əlavə suyun səmərəli üsulla istehsalı / "Fəlakətlərin proqnozlaşdırılması, qarşısının alınması, ləğvi və fəvqəladə hallarda terrorizmin rolu" mövzusunda III Beynəlxalq simpoziumun materialları. Bakı: 2005, s. 125- 127

43. Bədəlov B.Ş. İstilik təchizatı sistemlərində Na – kationit süzgəclərinin təkrar istifadə edilən axıntılar ilə regenerasiyası / AzMİU – nun professor – müəllim heyətinin və aspirantlarının elmi konfransının materialları. Bakı: 2007. s. 162-163

44. Фейзиев Г.К., Джалилов М.Ф., Кулиев А.М., Бадалов Б.Ш. О повторном использовании отработанных регенерационных растворов химобессоливающих установок с сокращенными расходами реагентов и сокращенными стоками / Химия и технология воды. Межд. научно-технич. журнал, Киев: 2007, № 2, т. 29. с.195-203

45. Бадалов Б.Ш. Регенерация катионитных фильтров теплосети с использованием натрийсодержащих растворов от химобессоливания воды / "İstilik energetika tullantılarından ətraf mühitin mühafizəsinin mühəndis problemləri" mövzusunda Beynəlxalq Elmi-Praktiki Konfransın materialları. Bakı: 2006, s. 55-59

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ ПОДПИТОЧНОЙ	6
ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	6
1.1. Способы подготовки подпиточной воды для тепловых сетей	6
1.2. Способы подготовки питательной воды котлов химическим обессоливанием в системах теплоснабжения....	21
1.3. Обоснование направления и содержания	26
ИССЛЕДОВАНИЙ	26
2. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ СТОКОВ ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	29
2.1. Исследование качества и количества регенерационных стоков Н-катионитных фильтров химобессоливания воды	29
2.2. Исследование количества и качества стоков анионитных фильтров химобессоливания воды	47
2.3. Исследование взаимосвязи между установками подготовки добавочной воды теплосети, имеющих возможность утилизации стоков Н - и ОН - ионитных фильтров химобессоливания.....	53
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УТИЛИЗАЦИИ ОРР Н - И ОН - ИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ ХИМОБЕССОЛИВАЮЩИХ УСТАНОВОК ПРИ ПОДГОТОВКИ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОСЕТИ И СОО	73
3.1. Исследование процессов утилизации натрийсодержащих ОРР химобессоливающей установки при подготовки подпиточной воды теплосети и СОО.....	73
3.2. Исследование процессов утилизации натрий содержащего кислого ОРР химобессоливающей установки при подготовки подпиточной воды теплосети и СОО.....	78
3.3. Исследование щелочных ОРР химобессоливающих установок в процессе подготовки подпиточной воды теплосети или СОО.....	84
3.4. Исследование процессов регенерации катионитных фильтров использованием ОРР ионитных фильтров химобессоливающей установки.	86

4. РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ СТОКОВ ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	108
4.1. РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ УТИЛИЗАЦИИ НАТРИЙСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ УМЯГЧЕННОЙ ВОДЫ	108
4.2. РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ НАТРИЙСОДЕРЖАЩЕГО КИСЛОГО ОРР Н - ОН - ИОНИТНЫХ ФИЛЬТРОВ ХИМОБЕССОЛИВАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ УМЯГЧЕННОЙ ВОДЫ.....	118
4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННЫХ И ИССЛЕДОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	130
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	141