Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

ВКР МАГИСТРА
ПРОВЕРЕНА
Рецензент
_____
_____
_____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
Д.В. Ульрих
_____
_____ 2019 г.

Влияние состава воды на развитие коррозии в системах водоснабжения

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА
ЮУрГУ–08.04.01.2019.305-04.227 ПЗ ВКР

Руководитель ВКР
магистра
Ницкая С.Г.
_____
_____ 2019 г.

Автор проекта
студент группы АС-227
Закорюкин Т.А.
_____
_____ 2019 г.

Нормоконтролер
Е.В. Николаенко
_____
_____ 2019 г.

Челябинск
2019

РЕФЕРАТ

Закорюкин Т.А. Влияние состава воды на развитие коррозии в системах водоснабжения
Челябинск: ЮУрГУ,АС-227, 2019. –70 с., 11 ил.,6 табл., библиогр. список –25наим.

Ключевые слова: Коррозия металлов, неисправности систем горячего водоснабжения, основные направления и результаты работ по защите трубопроводов.

Предметом научно-исследовательской работы является анализ причин возникновения коррозии в металлических трубопроводах системы горячего водоснабжении.

Цель работы – определить влияние качества воды на возникновение коррозии в металлических трубопроводах при эксплуатации систем горячего водоснабжения.

В первом разделе произведен системный анализ процессов вызывающих коррозионное разрушение трубопроводов горячего и холодного водоснабжения, основные направления и результаты по защите их от внутренней коррозии, а так же основные неисправности систем горячего водоснабжения.

Во втором разделе рассмотренна расчётная часть, индексы стабильности Ризнера и Ланжелье, изучение проб воды и последущий анализ и расчёт по предоставленным формулам.

В третьем разделе приведены результаты исследований.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ *8*
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ *10*
1.1 Факторы коррозионного разрушения трубопроводов *13*
1.2 Основные направления и результаты работ по защите трубопроводов от внутренней коррозии *19*
1.3 Основные неисправности систем горячего водоснабжения *25*
2 РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ *31*
2.1 Индекс насыщения карбонатом кальция *31*
2.2 Индексы стабильности Ризнера и Ланжелье *32*
2.3 Коррозия систем горячего водоснабжения зданий *38*
2.4 Коррозия наружных сетей водоснабжения *51*
ЗАКЛЮЧЕНИЕ *63*
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК *64*
ПРИЛОЖЕНИЕ А *67*
ПРИЛОЖЕНИЕ Б *68*
Приложение В *69*

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы требования населения к качеству предоставляемых коммунальных услуг неуклонно повышаются. Одной из основных проблем до настоящего времени остается неудовлетворительное качество воды системы централизованного горячего водоснабжения.

По сравнению с другими инженерными сооружениями, такими как системы отопления, холодного водоснабжения, системы централизованного горячего водоснабжения являются наименее надежными и долговечными. Для систем горячего водоснабжения при закрытой схеме теплоснабжения и выполнении коммуникаций из стальных труб без антикоррозионных покрытий фактический срок службы не превышает 10 лет, что объясняется использованием для горячего водоснабжения воды из системы холодного водоснабжения питьевого назначения (жесткая или мягкая, не деаэрированная), которую теплоноситель греет в теплообменнике. Трубопроводы горячего водоснабжения без защитных покрытий подвержены внутренней коррозии и значительному загрязнению ее продуктами.

Одной из основных причин, влияющих на состояние систем горячего водоснабжения, является высокая коррозионная активность нагретой водопроводной воды. Коррозионная активность воды независимо от источника водоснабжения (поверхностный или подземный) характеризуется тремя основными показателями: индексом равновесного насыщения воды карбонатом кальция, содержанием растворенного кислорода и суммарной концентрацией хлоридов и сульфатов[1].

Проводимая в настоящее время в исследованиях статистическая обработка материалов и литературных источников показывает, что на долю наружной коррозии в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения приходится более 60 % общего числа повреждений трубопроводов, внутренняя коррозия в общей коррозии трубопроводов составляет не менее 25% при наибольшей для одного объекта 95 %[2].

На нефтепромысловых трубопроводах ежегодно происходит около 50-70 тыс. отказов, из них 90% отказов являются следствием коррозионных повреждений. В настоящее время на территории России эксплуатируется 350 тыс. км промысловых трубопроводов.

Из общего числа аварий 50-55% приходится на долю систем нефтесбора и 30-35% - на долю коммуникаций поддержания пластового давления. 42% труб не выдерживают пятилетней эксплуатации, а 17% – двух лет. На ежегодную замену нефтепромысловых сетей расходуется 7-8 тыс. км труб или 400-500 тыс. тонн стали.

Проблемы защиты от коррозии металлических трубопроводов в системах теплоснабжении, горячего и холодного водоснабжения остаются актуальными и в настоящее время.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ

Коррозия – это разрушение металлов в результате химического или электрохимического воздействия окружающей среды, это окислительно-восстановительный гетерогенный процесс, происходящий на поверхности раздела фаз.

Хотя механизм коррозии в разных условиях различен, по виду разрушения поверхности металла различают:

1. Равномерную или общую коррозию, т.е. равномерно распределенную по поверхности металла. Пример: ржавление железа, потускнение серебра.

2. Местную или локальную коррозию, т.е. сосредоточенную на отдельных участках поверхности. Местная коррозия бывает различных видов:

- В виде пятен – поражение распространяется сравнительно неглубоко и занимает относительно большие участки поверхности;

- В виде язв – глубокие поражения локализуются на небольших участках поверхности;

- В виде точек (питтинговая) – размеры еще меньше язвенных разъеданий.

3. Межкристаллитную коррозию – характеризующуюся разрушением металла по границам кристаллитов (зерен металла). Процесс протекает быстро, глубоко и вызывает катастрофическое разрушение.

4. Избирательную коррозию – избирательно растворяется один или несколько компонентов сплава, после чего остается пористый остаток, который сохраняет первоначальную форму и кажется неповрежденным.

5. Коррозионное растрескивание происходит, если металл подвергается постоянному растягивающему напряжению в коррозионной среде. КР может быть вызвано абсорбцией водорода, образовавшегося в процессе коррозии.

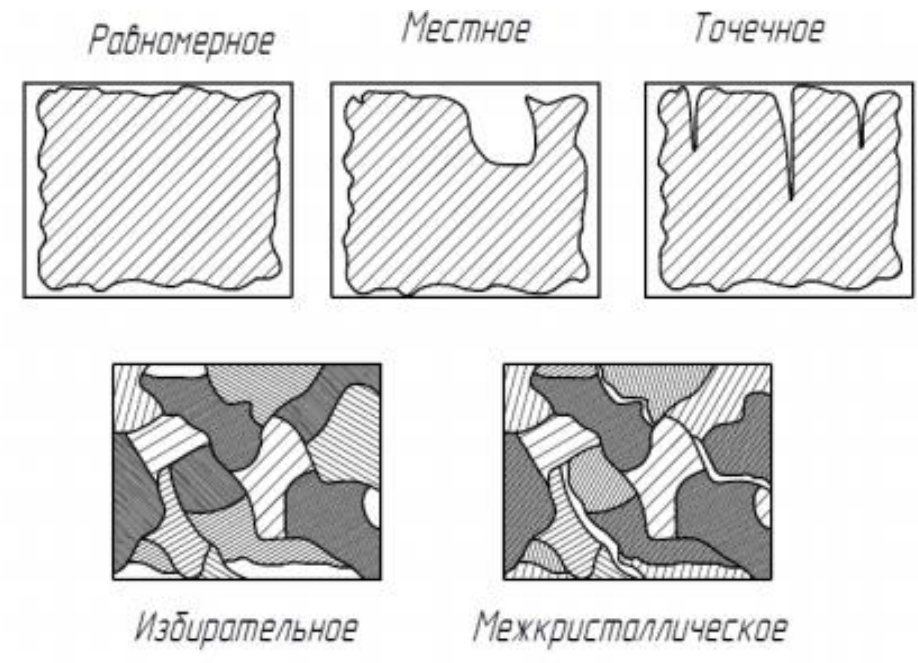

Рисунок 1.1 - Виды коррозионных разрушений

По механизму протекания различают химическую и электрохимическую коррозию.

Химическая коррозия характерна для сред, не проводящих электрический ток. Коррозия стали в водной среде происходит вследствие протекания электрохимических реакций, т.е. реакций, сопровождающихся протеканием электрического тока. Скорость коррозии при этом возрастает.

Электрохимическая коррозия возникает в результате работы множества макро- или микрогальванопар в металле, соприкасающемся с электролитом.

Причины возникновения гальванических пар в металлах:

- Соприкосновение двух разнородных металлов;
- Наличие в металле примесей;
- Наличие участков с различным кристаллическим строением;
- Образование пор в окисной пленке;
- Наличие участков с различной механической нагрузкой;
- Наличие участков с неравномерным доступом активных компонентов внешней среды, например, воздуха, и, таким образом, образуются гальванические элементы, микропары, то есть образуются анодные и катодные участки. Анодом

является металл с более высоким отрицательным потенциалом, катодом является металл с меньшим потенциалом. Между ними возникает электрический ток.

Процесс коррозии можно представить следующим образом.

На аноде: (реакция окисления)

$$Fe - 2e = Fe2 + \quad (1)$$

На анодных участках атомы железа переходят в раствор в виде гидратированных катионов $Fe2+$, то есть происходит анодное растворение металла и процесс коррозии распространяется вглубь металла.

Оставшиеся свободные электроны перемещаются по металлу к катодным участкам.

На катоде: (реакция восстановления)

$$2H^{+}+2e=Hадс.(2)$$

При pH<4,3 происходит разряд всегда присутствующих в воде ионов водорода и образование атомов водорода с последующим образованием молекулярного водорода:

$$H + H = H_2. \quad (3)$$

При pH>4,3 доминирует взаимодействие электронов с кислородом, растворенным в воде:

$$O_2+2H_2O+4e=4OH^{-}(4)$$

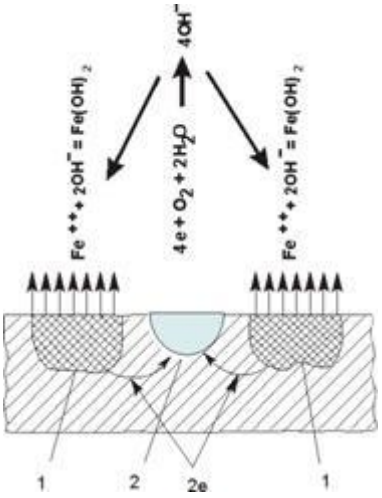

Рисунок 1.2 - Схема процесса коррозии

1-анодная зона, 2-катодная зона, 3-направление движения электронов

Катионы Fe 2+ и ионы OH-- взаимодействуют с образованием закиси Fe:

$$Fe^{++} + 2OH^{-} = Fe(OH)_2 \quad (5)$$

Если в воде достаточно свободного кислорода, закись Fe может окислиться до гидрата окиси Fe:

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O = 4Fe(OH)_3^{-} \quad (6)$$

который выпадает в виде осадка.

Итак, в результате протекания электрического тока анод разрушается: частицы металла в виде ионов $Fe2+$ переходят в воду или эмульсионный поток. Анод, разрушаясь, образует в трубе свищ.

Рассмотрим, от каких факторов зависит скорость коррозии.

1.1 Факторы коррозионного разрушения трубопроводов

1. Температура и pH воды

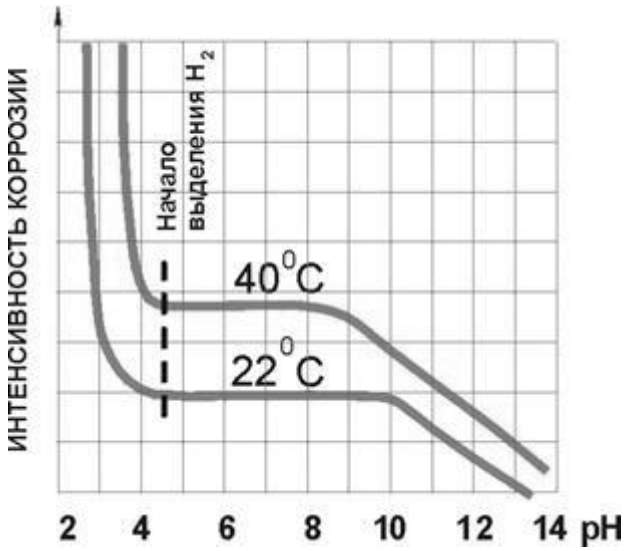

Рисунок 1.3 - Зависимость интенсивности коррозии от pH и температуры воды

Можно выделить 3 зоны:

1) pH <4,3. Скорость коррозии чрезвычайно быстро возрастает с понижением pH. (Сильнокислая среда).

2) 4,3 < pH <9-10. Скорость коррозии мало зависит от pH .

3) 9-10 <pH <13. Скорость коррозии убывает с ростом pH и коррозия практически прекращается при pH = 13. (Сильнощелочная среда).

В первой зоне на катоде протекает реакция разряда ионов водорода и образование молекулярного водорода (реакции 2,3); во второй и третьей зоне - идет реакция образования ионов гидроксила OH^{--} (реакция 4).

Повышение температуры ускоряет анодные и катодные процессы, так как увеличивает скорость движения ионов, а, следовательно, и скорость коррозии.

2. Содержание кислорода в воде

Как было отмечено выше, железо труб подвергается интенсивной коррозии в кислой среде при pH <4,3 и практически не корродирует при pH> 4,3, если в воде отсутствует растворенный кислород (рисунок 1.4, кривая 4).

Если в воде есть растворенный кислород, то коррозия железа будет идти и в кислой, и в щелочной среде (рисунок 1.4, кривые 1-3).

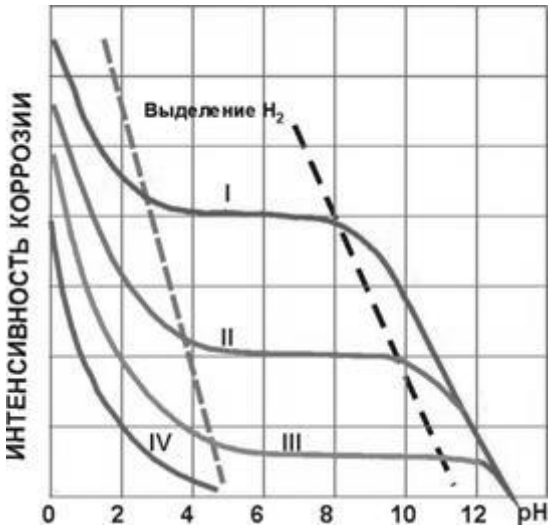

Рисунок 1.4 - Зависимость интенсивности коррозии от содержания кислорода в воде

3. Парциальное давления CO_2

Огромное влияние на разрушение металла труб коррозией оказывает свободная углекислота (CO_2), содержащаяся в пластовых водах. Известно, что при одинаковом pH коррозия в углекислотной среде протекает более интенсивно, чем в растворах сильных кислот[25].

На основании исследований установлено, что системы с PCO2 £0,02 МПа считаются коррозионно-неопасными, при 0,2 3P CO_2 >0,02 - возможны средние скорости коррозии, а при PCO2 >0,2 МПа - среда является высококоррозивной.

Объяснение влияния CO_2 на коррозионную активность среды связано с формами нахождения CO_2 в водных растворах[3]. Это:

- растворенный газ CO_2;
- недиссоциированные молекулы H_2CO_3;
- бикарбонат ионы HCO_3^{-}
- карбонат-ионы CO_3^{2-}.

В равновесных условиях соблюдается баланс между всеми формами:

$$CO_2 + H_2O = H_2CO_3 = H^+ + HCO_3^{-} = 2H^+ + CO_3^{2-} \quad (7)$$

CO_2 может влиять по двум причинам:

1. Молекулы H2CO3 непосредственно участвуют в катодном процессе:

$$H_2CO_3 + e = H_{адс} + HCO_3^- \quad (8)$$

2. Катодному восстановлению подвергается бикарбонат-ион:

$$2HCO_3^- + 2e = H_2 + (CO_3)_2^- \quad (9)$$

3. H2CO3 играет роль буфера и поставляет ионы водорода H+ по мере их расходования в катодной реакции (2):

$$H_2CO_3 = H^+ + HCO_3^- \quad (10)$$

При взаимодействии Fe2+ с HCO3- или H2CO3 образуется осадок карбоната железа FeCO3:

$$Fe^{2+} + HCO_3^- = FeCO_3 + H^+ \quad (11)$$

$$Fe^{2+} + H_2CO_3 = FeCO_3 + 2H^+ \quad (12)$$

Все исследователи обращают внимание на огромное влияние продуктов коррозии железа на скорость процесса коррозии.

$$4FeCO_3+O_2=2Fe_2O_3+4CO_2 \quad (13)$$

Эти осадки являются полупроницаемыми для коррозионно-агрессивных компонентов среды и замедляют скорость разрушения металла.

Таким образом, можно выделить две характерные особенности действия диоксида углерода:

- Увеличение выделения водорода на катоде.

- Образование карбонатно-оксидных пленок на поверхности металла.

4. Минерализация воды

Рисунок 1.5 - Зависимость скорости коррозии от минерализации воды

Растворенные в воде соли являются электролитами, поэтому увеличение их концентрации до определенного предела повысит электропроводность среды и, следовательно, ускорит процесс коррозии[24].

Уменьшение скорости коррозии связано с тем, что:

1) уменьшается растворимость газов, CO_2 и O_2, в воде;

2) возрастает вязкость воды, а, следовательно, затрудняется диффузия, подвод кислорода к поверхности трубы (к катодным участкам, реакция 4).

5. Давление

Повышение давления увеличивает процесс гидролиза солей и увеличивает растворимость CO_2.

6. Структурная форма потока

Относительные скорости течения фаз (газа и жидкости) в газожидкостных смесях (ГЖС) в сочетании с их физическими свойствами (плотностью, вязкостью, поверхностным натяжением и т.д.) и размерами и положением в пространстве трубопровода определяют формирующиеся в них структуры двухфазных (многофазных) потоков. Можно выделить семь основных структур: пузырьковая,

пробковая, расслоенная, волновая, снарядная, кольцевая и дисперсная (рисунок 1.6).

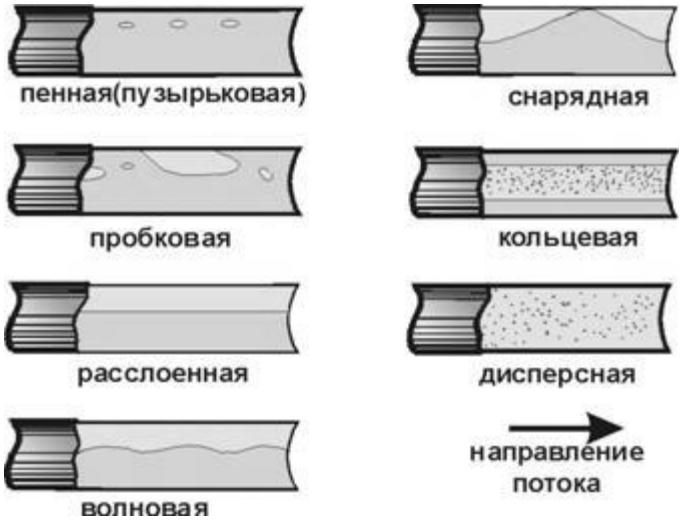

Рисунок 1.6 - Структуры ГЖС в горизонтальном трубопроводе

Каждая структура ГЖС влияет на характер коррозионного процесса. Вопрос о связи коррозионных процессов в трубопроводах со структурами потоков, транспортируемых по ним ГЖС, всегда интересовал и продолжает интересовать специалистов по коррозии. Имеющаяся информация о связи структур течения ГЖС с коррозией является еще недостаточно полной. Но тем не менее известно, например, что кольцевая(дисперсно-кольцевая) структура ГЖС снижает интенсивность коррозии трубопровода; снарядная (пробково-диспергированная) может способствовать коррозионно-эрозионному износу трубопровода по нижней образующей трубы на восходящих участках трассы, а расслоенная (плавная расслоенная) - развитию общей и питтинговой корозии в зоне нижней образующей трубы и в, так называемых, «ловушках» жидкости(особенно при выделении соленой воды в отдельную фазу).

6. Биокоррозия, коррозия под действием микроорганизмов.

С этой точки зрения имеют значение сульфатвосстанавливающие анаэробные бактерии(восстанавливают сульфаты до сульфидов), обычно обитающие в сточных водах, нефтяных скважинах и продуктивных горизонтах.

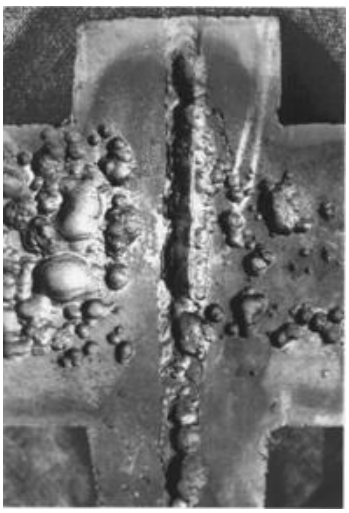

Рисунок 1.7 - Биокоррозия

В результате деятельности сульфатвосстанавливающих образуется сероводород H2S, который хорошо растворяется в нефти и в дальнейшем взаимодействует с железом, образуя сульфид железа, выпадающий в осадок:

$$Fe+H_2S=FeS^-+H_2 \quad (14)$$

Под влиянием H2S изменяется смачиваемость поверхности металла, поверхность становится гидрофильной, то есть легко смачивается водой, и на поверхности трубопровода образуется тонкий слой электролита, в котором и происходит накопление осадка сульфида железа FeS.

Сульфид железа является стимулятором коррозии, так как участвует в образовании гальванической микропары Fe - FeS, в которой является катодом (то есть разрушаться будет Fe как анод).

Некоторые ионы, например ионы хлора, активируют металлы. Причиной активирующей способности ионов хлора является его высокая адсорбируемость на металле. Хлор-ионы вытесняют пассиваторы с поверхности металла, способствуют растворению пассивирующих пленок и облегчают переход ионов металла в раствор. Особенно большое влияние ионы хлора оказывают на растворение железа, хрома, никеля, нержавеющей стали, алюминия.

Итак, коррозионную агрессивность воды характеризуют природа и количество растворенных солей, pH, жесткость воды, содержание кислых газов [3].

Степень влияния этих факторов зависит от температуры, давления, структуры потока и количественного соотношения воды и углеводородов в системе.

Маркин (СП «Ваньеганнефть») предложил уравнение для расчета скорости равномерной (общей) углекислотной коррозии углеродистой стали в воде для случая, когда карбонатное равновесие не нарушено, т.е. осадки солей не выделяются.

$$LgV_{кор} = A + \frac{B}{273,2 + t} + 0,32pH + 0,361lgPCO_2 \quad (15)$$

Для пластовой воды Самотлорского месторождения : A=3,996; B=1730.

Уравнение справедливо для следующих условий :

$10 < t < 60$ (0C);

$5,4 < pH < 7,6$;

$0,001 < Pco2 < 0,1$ (МПа);

$85 < HCO_3^- < 600$ (мг/л).

Это наиболее характерные показатели для реальных промысловых систем нефтяных месторождений Нижневартовского района.

Способы предупреждения внутренней коррозии трубопроводов подразделяются на технические (механические), химические и технологические.

1.2 Основные направления и результаты работ по защите трубопроводов от внутренней коррозии

Существующая схема эксплуатации большинства месторождений с поддержанием пластового давления за счет закачки в пласт сточной воды способствует повышению агрессивности среды, в которой «работают» трубы при добыче и транспортировке сырья. По данным ОАО «ВНИИТнефть» за последние пять лет из-за увеличения обводненности добываемой нефти скорость коррозии трубопроводов возросла с 0,04 до 1,2 г/м2/час.

Сейчас нефтяники считают трубопроводы миной замедленного действия, которая может «взорваться» в любой момент.

Очевидно, что применяемые в настоящее время методы ингибиторной защиты не могут решить проблемы полностью. Добиться повышения надежности и снижения аварийности промысловых трубопроводов можно только за счет применения комплексных мер. Среди них основной, по-видимому, можно считать смену материала труб на коррозионно-устойчивый, а также применение труб с антикоррозионным покрытием, то есть технические способы защиты.

1. Технические способы защиты

Кардинальным средством борьбы с коррозионным повреждением стальных труб является замена их на пластмассовые.
В зарубежной практике для нефтегазопромысловых трубопроводов используются два вида пластмассовых труб:

- на малые давления до 1,0 МПа - из полиэтилена низкого давления(ПНД, а также из полипропилена, поливинилхлорида, полибутена, акрилонитрилбутадиона;
- на давление 4,0-6,0 МПа и выше – из композитных материалов: стеклопластиковые, бипластмассовые, армированные, термопластичные.

Полиэтиленовые трубы имеют в 7 раз меньшую массу, чем стальные. Для их монтажа не требуется тяжелого подъемно-транспортного оборудования. Они обладают большой эластичностью, высокой гладкостью, вследствие чего их пропускная способность увеличивается на 2-3%.

Из рисунка 1.8 следует, что у стальных трубопроводов гидравлические потери растут с увеличением срока эксплуатации (кривая 1), у металлопластмассовых труб и труб с защитными покрытиями роста гидравлических потерь не происходит(кривые 2,3).

Полиэтиленовые трубы могут использоваться для транспорта минерализованных вод любой агрессивности(ГОСТ 18599-83)[3].

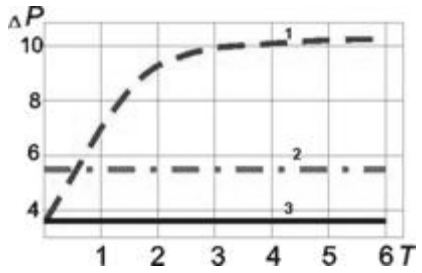

Рисунок 1.8 - Зависимость гидравлических потерь от времени эксплуатации труб: 1 - стальные; 2- металлопластмассовые и гибкие; 3 - с эпоксидными и полимерными внутренними покрытиями

Что касается транспорта нефти, нефтяной эмульсии, газового конденсата по напорным трубопроводам из полиэтиленовых труб, то здесь следует учитывать эффект набухаемости полиэтилена.

Было установлено:

1. Процесс диффузии нефти в полиэтилен, набухание полиэтилена, зависит от температуры.

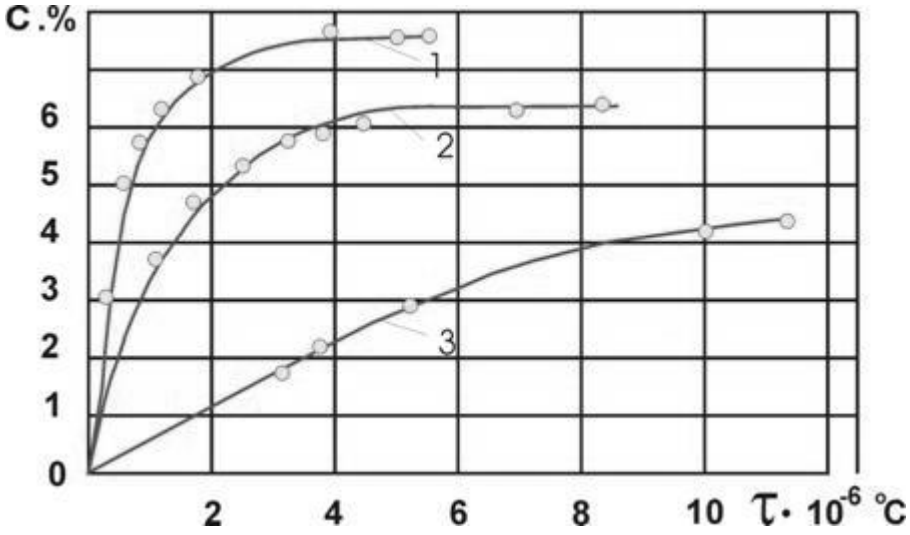

Рисунок 1.9 - Сорбция нефти полиэтиленом низкого давления: 1 - 60, 2 - 40, 3 - 20 °С

При температуре 60 °С равновесная концентрация нефти (насыщение) наступало при 8 % масс.

2. С увеличением концентрации сорбированной нефти снижается прочность полиэтилена(рисунок 1.10).

Например, при увеличении концентрации нефти в полиэтилене до 5% его прочность снижается на 10%.

Таким образом, основной недостаток полиэтиленовых труб - малая прочность. Поэтому во всем мире ведутся исследования по созданию пластмассовых труб, с одной стороны, химически стойких против агрессивных сред, с другой - обладающих прочностью, соизмеримой со стальными трубами.

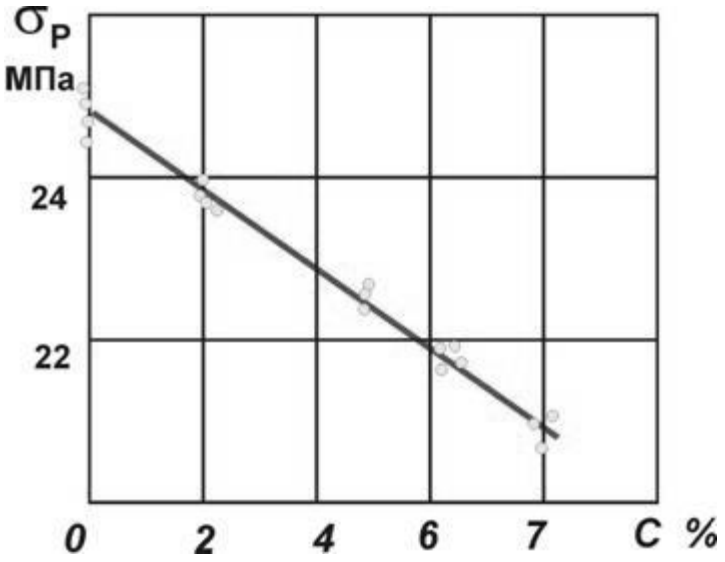

Рисунок 1.10 - Изменение прочности полиэтилена в зависимости от концентрации нефти при 20 °С

Решением этой проблемы являются трубы из композитных материалов: стеклопластиков, из армированных термопластов.

В США стеклопластиковые трубы занимают третье место в объеме потребления труб нефтепромыслового сортамента, уступая стальным и металлическим с антикоррозийным заводским покрытием. На некоторых месторожденияхх, содержащих высокоагрессивные компоненты, пластмассовые трубы составляют 60-70% от общего объема используемых труб. Фирмы «Экссон» и «Эссо Ресурс Канада» также заменили на своих промыслах часть стальных труб на композитные вследствие сильной обводненности и высокой концентрации сероводорода в транспортируемой среде.

Доля стеклопластиковых труб, применяемых фирмой «Шелл», превышает 30%.

Стеклопластиковые трубы обладают высокой коррозионной стойкостью в контакте со средой, содержащей сероводород и углекислоту, высокой прочностью

в широком диапазоне давлений. За счет подбора соответствующей смолы стеклопластиковые трубы могут работать при высоких температурах[5].

Теплопроводность стеклопластика в 250 раз меньше, чем у металла, то есть он обладает повышенными теплоизоляционными характеристиками.

ВНИИСТ еще в 70-х годах разработал конструкцию стеклопластиковой трубы, технологию и оборудование для ее получения, а также технологию соединения таких труб.

Труба представляла собой сэндвич, состоящий из стеклопластиковой несущей оболочки, плакированной изнутри газонепроницаемой полипропиленовой пленкой толщиной 0,8 мм.

Труба изготавливалась непрерывным способом и могла быть практически любой длины. В настоящее время конверсионные предприятия в гг. Пермь, Хотьково, Люберцы выпускают небольшие партии стеклопластиковых и армированных пластмассовых труб на высокие (до 4,0-6,0 МПа) давления. Причем, имеются варианты конструкций стеклопластиковых труб с допустимым температурным пределом до 60оС (диаметр 75 и 150 мм).

Такие трубы успешно работают в АО «Удмуртнефть» в системе ППД при следующих характеристиках транспортируемой среды:

минерализация - 280 мг/л;

содержание сероводорода (H_2S) - 150 мг/л;

содержание диоксида углерода (CO_2) - 160 мг/л;

давление - 6-8 МПа;

pH - 6,5;

температура - 40 ^oC.

В АО «Пермьнефть» стеклопластиковые трубы установлены на выкидных линиях, где прокачивается высокообводненная нефть (83%). За время эксплуатации с 1994 г. никаких утечек не наблюдалось[3].

Стеклопластиковые трубы производства фирм «Амерон» и «Вавин» использовались на трубопроводах в «Татнефти» и Западной Сибири и дали положительные результаты.

На результатах работы в ОАО «Татнефть» по защите от коррозии нефтепромыслового оборудования представляет интерес остановиться более подробно. Проблема по защите нефтепромыслового оборудования(трубопроводы систем нефтесбора, водовода, НКТ, технологические емкости и резервуары) в ОАО «Татнефть» впервые в мировой практике решалась на основе создания собственных баз по нанесению внутренней и внешней изоляции, приближенных к местам их применения, то есть нефтяному месторождению).

На реализацию этой программы ушло около 15 лет. В результате создана целая индустрия по комплексному решению проблемы надежности скважин и подземных нефтепромысловых коммуникаций. Она включает:

- входной контроль труб, поступающих от производителей;
- подготовку труб к покрытию(подготовка концов, очистка поверхностей);
- технику и технологию соединения труб в плеть(длиной около 30 м) и в трубопровод;
- нанесение внутренней и внешней изоляции;
- защиту сварных стыков;
- контроль за качеством строительства и эксплуатации трубопроводов;
- производство материалов и нестандартного оборудования.

Практика эксплуатации трубопроводов с внутренними защитными покрытиями показала, что для полного снижения отказов должны быть решены три основные проблемы:

- надежное внутреннее покрытие;
- надежная внешняя изоляция;
- защита сварных стыков с обеих сторон.

1.3 Основные неисправности систем горячего водоснабжения

Основными неисправностями системы горячего водоснабжения являются:

1. Разрыв водонагревателя из-за превышения расчетного давления, что определяется по появлению на его поверхности воды, просачивающейся через изоляцию. Эта авария может произойти, если отсутствует или неисправен предохранительный клапан (в результате перегрева воды при отсутствии или недостаточном ее разборе). Для предотвращения аварии необходимо не реже одного раза в месяц проверять действие клапана, который должен обеспечивать принятое расчетное давление в водонагревателе;

2. Разность температур воды у водоразборных точек на некоторых стояках вследствие: а) засоров в нижней части стояков; б) воздушной пробки в верхней части стояка, для устранения которой во многих случаях следует переделать стояк; в) не отрегулированных стояков системы с тупиковой разводкой. Необходимо отрегулировать расходы воды по стоякам с помощью вентилей, находящихся в их нижней части; г) засора циркуляционной линии недогревающегося стояка (определяется на ощупь по степени нагрева в часы минимального расхода воды); д) отсутствия теплоизоляции на горячей магистрали. В этом случае отстающим является последний стояк, считая по ходу движения воды;

3. Проржавление трубопровода и змеевиков водонагревателей в результате разъедания труб свободным кислородом, содержащимся в воде, при плохом качестве оцинковки труб, при опорожнении части трубопровода(из-за недостаточного напора) в местах сварки оцинкованных труб и пересечения трубами междуэтажных перекрытий, при глухой заделке трубы в этом перекрытии. Чтобы избежать проржавления и разъедания, необходимо держать водонагреватели и трубопроводы постоянно наполненными водой и устанавливать специальные фильтры, поглощающие кислород и углекислоту. Если стояки горячего водоснабжения скрыты в стене или панели, то утечка

воды через проржавевшие участки стояков может остаться незамеченной в течение длительного времени. Поэтому необходимо периодически просматривать нижние, выходящие в подвал части стояков и убеждаться, что они не смачиваются водой;

4. Проржавление полотенцесушителей, присоединенных к системе горячего водоснабжения. Сквозное проржавление происходит в местах сварки и в том случае, когда полотенцесушитель выполнен в виде регистра. Поэтому при замене проржавевших полотенцесушителей новыми их надо выполнять из оцинкованных труб в виде змеевика и все соединения делать на резьбе или устанавливать чугунные полотенцесушители;

5. Перерасход теплоты на горячее водоснабжение вследствие утечек горячей воды, отсутствия изоляции на магистралях и стояках и неотрегулированности расхода по стоякам. В системах с непосредственным водоразбором причиной перерасхода часто является неисправность терморегуляторов. Утечка воды обычно наблюдается из кранов смесителей и туалетных кранов. Значительное снижение расхода теплоты в системах горячего водоснабжения жилых зданий достигается при их работе в ночное время с пониженной температурой воды. Для этого в центральном или местном тепловом пункте монтируют два биметаллических реле - дневное, поддерживающее температуру поступающей к потребителям воды на уровне 60 °С, и ночное, обеспечивающее с 0 ч 30 мин до 5 ч утра температуру этой воды около 45 °С. Переключение реле производится автоматически – часовым механизмом. Применение такой установки обеспечивает экономию теплоты в ночное время до 50 %.

Отсутствие или недостаточная толщина изоляции магистралей и стояков системы горячего водоснабжения не только приводит к большим потерям теплоты, но и увеличивает расход электроэнергии на перекачку циркуляционной воды, так как при ее охлаждении в трубах необходимо увеличить ее расход. Потери теплоты трубопроводами систем горячего водоснабжения при наличии

центральных тепловых пунктов в среднем составляют около 30 % всей расходуемой и из них до 80 % приходится на потери теплоты стояками этих систем[18].

Потери теплоты при сливе жильцами воды, остывшей в системе, чаще происходят в группах зданий, снабжаемых водой от ЦТП; чем больше радиус действия этого пункта, тем более значительно снижение температуры нагретой воды у наиболее удаленных от него зданиях и больше слив воды жильцами. Дополнительное различие в температурах воды, выходящей из кранов-смесителей, создается внутри самой системы; чем дальше находится стояк от теплового ввода, тем больше охлаждение воды и циркуляция воды во многих стояках недостаточна. Улучшить работу таких систем ГВС можно, если заменить системы с двухтрубным присоединением стояков системами с однотрубным их присоединением к подающей магистрали; при этом резко уменьшается число циркуляционных колец - оно будет равно числу отдельных ветвей системы. Отрегулировать работу такой системы по стоякам сравнительно просто.

Одной из существенных причин перерасхода теплоты, потребляемой на горячее водоснабжение, является несвоевременное закрывание обслуживающим персоналом паровой задвижки у водонагревателей при достижении расчетной температуры, находящейся в них воды. Автоматическое регулирование подачи пара в змеевики водонагревателей устраняет перерасход теплоты.

Давление у смесителей, располагающихся на одном стояке, но на разных этажах здания, различно. Если в верхнем этаже оно должно быть не меньше расчетного 9,8-14,7 кПа, то на нижних этажах оно во много раз больше, что приводит к значительному перерасходу теплоты и воды при пользовании смеси телями. Для устранения этого недостатка на подводках к смесителям, находящимся на нижних этажах здания, устанавливают ограничительные (дроссельные) шайбы[24].

Основными дефектами системы холодного водоснабжения являются: неплотности трубопроводов и арматуры, зарастание труб отложениями, вода не поступает к водоразборным точкам.

Неплотности в трубопроводах возникают в основном из-за проржавления труб. Чаще всего проржавление наблюдается в оцинкованных трубах: при плохом качестве оцинковки; в местах глухой заделки труб в бетонные перекрытия без гильз; в магистральных трубах, проложенных под полами или в каналах подвалов. В последнем случае утечка воды через неплотности трубопроводов особенно опасна, так как ее трудно заметить вовремя, что может привести к разрушению фундамента здания. Чтобы обнаружить такую утечку, ночью отключают все стояки водопровода и поочередно прослушивают каждый из них, используя обрезок трубы, который прикладывают к стояку, и определяют тот, у которого шум вытекающей воды сильнее. Если утечка воды привела к затоплению подвала, то место утечки можно найти без предварительной осушки подвала с помощью компрессора или баллона со сжатым воздухом. Сжатый воздух по шлангу через контрольный кран поступает в сеть и будет выходить наружу через неплотность.

Зарастание труб отложениями происходит из-за того, что в воде часто содержится большое количество солей и инородных тел, которые постепенно осаждаются на внутренней поверхности труб, сужая их сечение. Неоцинкованные трубы, кроме того, ржавеют. Отложения внутри труб не только препятствуют поступлению воды на верхние этажи, но и ухудшают ее качество. При малой толщине отложений в трубах промывают их отдельные участки сильной струей воды, благодаря чему вымываются илистые и биологические отложения. Такое мероприятие целесообразно проводить один раз в 4-7 лет.

«Заросшие» трубы можно очищать сжатым воздухом, поступающим из баллона, который присоединяется в нижней части стояка. Поступающая в стояк воздушная смесь бурлит и хорошо удаляет со стенок все отложения. Очистка дает лучшие результаты, если предварительно перед началом работ в стояк ввести крупную поваренную соль, куски которой будут сдирать отложения со стенок.

При этом скорость водовоздушной смеси должна достигать 2-3 м/с, давление подаваемого воздуха не менее 0,7 МПа при его расходе 5-6 $м^3$ на 1 $м^3$ воды. Воздух подают в сеть периодически с перерывами 1-3 мин по трубе, на которой установлен не вентиль, а пробочный кран.

Замерзание воды во внутридомовых водопроводных сетях происходит, если до наступления зимы не были проведены мероприятия, обеспечивающие поддержание плюсовой температуры в холодных помещениях, где проложен водопровод, в частности не были закрыты слуховые окна на чердаке (при верхней разводке водопровода), не заделаны отдушины в цоколе здания, не утеплены подвальные помещения и неотапливаемые кухни, не изолированы трубопроводы в холодных помещениях (на чердаках, в подвалах и пристройках). В этих местах трубы изолируют двумя слоями войлока или минеральной ваты, после чего их заключают в деревянные короба с опилками, смоченными известковым раствором . На зиму от водопровода отключают все временные подводки - для поливки тротуаров и мостовых, к ларькам, сатураторам и т.д[22].

Вода в дневное время не поступает к водоразборным точкам, находящимся на верхних этажах, по следующим причинам:

- недостаточное давление в местах присоединения домового водопровода к городской сети в дневное время; для устранения дефекта устанавливают насос, повышающий давление во внутридомовом водопроводе до нормального;
- загрязнение сетки водомера - ее необходимо прочистить;
- установка водомера малого калибра, создающего большое сопротивление; в этом случае необходимо заменить водомер на новый - большего диаметра;
- уменьшение сечения труб из-за отложений. Это проверяется пробной разборкой трубопровода в двух-трех местах. Засоры чаще всего обнаруживаются в угольниках, вентилях, тройниках и крестовинах. Их прочищают, удаляя засоры, посторонние предметы и мусор;

- значительный расход воды на нижних этажах. В этом случае следует ограничить расход воды, установив в муфте крана между торцами подающей трубы и шейки крана ограничительную шайбу с отверстием диаметром 5-8 мм.

Если вода круглосуточно не поступает к водоразборным точкам верхних этажей, то помимо указанных причин может быть неисправен обратный клапан на обводной линии насоса; клапан надо очистить от наслоений и притереть его золотник к гнезду. Если вода не поступает в водоразборные точки одного стояка, то в его начале может быть засор.

2 РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Индекс насыщения карбонатом кальция

При использовании воды в качестве теплоносителя к числу важнейших ее качеств относятся отсутствие выпадения осадков на поверхностях теплообмена и минимальная коррозионная активность. Стабильной называют воду, которая не вызывает коррозии поверхности металла, с которой она соприкасается, и не выделяет на этих поверхностях осадки карбонатов кальция.

Стабильность определяется индексом Ланжелье как:

J = pH – pHs,

где pHs – это pH равновесного раствора, насыщенного карбонатом кальция; pHs определяется расчетным путем или по номограмме.

Коррозионная активность воды, т. е. ее агрессивность по отношению к металлам, проявляется, когда индекс стабильности J является отрицательной величиной(J<0).

Если индекс стабильности больше единицы(J>1), то на стенках начинается отложение карбоната кальция. Вода, которая используется в качестве теплоносителя, должна иметь индекс стабильности J, близкий к 0.

Для поддержания стабильности воды в заданных пределах необходимо регулировать несколько параметров: pH, щелочность или карбонатную жесткость. Стабильность увеличивается при введении карбонатов натрия или кальция, подщелачивании, а уменьшается при умягчении воды или введении кислоты

Этот показатель характеризует стабильность воды, то есть ее коррозионную активность по отношению к стальным трубам и резервуарам, или, наоборот, склонность к образованию на них карбонатных отложений, пассивирующих поверхность.

Индекс насыщения – это безразмерная величина, которая зависит от значения нескольких параметров: водородного показателя pH, общего солесодержания,

общей щелочности, жесткости, температуры. На практике его рассчитывают из этих величин, используя специальные таблицы или номограммы.

Если индекс насыщения оказывается ниже 0, то вода является коррозионно-активной.

Для стабилизации ее необходимо подщелачивать с помощью кальцинированной соды или извести в количествах, которые расчитываются по определенной методике (СНиП 2.04.02-84). Кроме того, могут использоваться триполифосфат и гексаметафосфат натрия.

Если индекс насыщения выше 0, то вода будет давать карбонатные отложения, и для предотвращения этого (например, в плавательных бассейнах) ее подкисляют.

2.2 Индексы стабильности Ризнера и Ланжелье

Индекс стабильности Ризнара(ИСР) является попыткой учесть эмпирические данные о наблюдаемой толщине отложений в городских водопроводных сетях, или в системах водооборотного снабжения. Также, как и индекс Ланжелье, ИСР основывается на учете концентрации растворенного вещества. Ризнар предлагает определять соотношение между растворимостью карбоната кальция и образованием накипи.

Для определения индекса Ланжелье и индекса Ризнера необходимы следующие параметры:

- Температура в градусах Цельсия,
- pH (водородный показатель) при температуре 25 ^{o}C,
- Кальциевая жесткость ммоль/л,
- Общая жесткость ммоль/л,
- Общая щелочность ммоль/л,

Практические данные свидетельствуют о том, вода стабильна, когда индекс Ланжелье 2,5-3, а индекс Ризнера 3-3,5. При этом обеспечивается ингибирование солеотложении на уровне 96-98 %, скорость коррозии менее 0,01 мм/год.

Один из важнейших показателей состава воды - индекс насыщения Ланжелье - был разработан доктором Вилфридом Ланжелье, профессором университета в Санта-Монике, Калифорния. В 1936 году ученый представил свой доклад промышленникам, которые занимались изготовлением и эксплуатацией паровых котлов и сталкивались с двумя серьезными проблемами, возникающими в замкнутых системах водоснабжения. С одной стороны, там, где вода была мягкой, в системах водоснабжения возникала сильная преждевременная коррозия. С другой стороны, там, где вода была намного жестче, коррозия тоже возникала, но одновременно с ней появлялась и накипь, и выпадение осадка на стенках труб.

Ланжелье обнаружил, что если установить и поддерживать определенные химические условия, то можно обеспечить отложение тонкого слоя осадка на стенках водопроводных труб. Этот осадок будет защищать поверхность труб, но не будет их засорять. Как в случае с мягкой, так и в случае с жесткой водой образование такой пленки будет способствовать увеличению срока службы труб и другого металлического оборудования. Индекс насыщения Ланжелье теперь широко применяется как важная часть процесса регулирования нагревания воды в системе теплоснабжения.

В системе циркуляции воды плавательных бассейнов так же, как и в системе теплоснабжения, вода находится непрерывно в течение нескольких лет. При этом ее химический состав поддерживается в таком состоянии, которое оптимально для данного бассейна с точки зрения управляющего персонала.

При использовании индекса насыщения в расчет принимается общее солесодержание, в то время как при использовании большинства специальных наборов для тестирования воды в бассейне общее солесодержание не учитывается. Общее солесодержание - это основная причина коррозии, так что этот показатель является одним из самых важных при аналитическом контроле

качества воды в бассейне. Органы здравоохранения озабочены только бактериологическими свойствами воды и уровнем ее обеззараживания, в то время как управляющий бассейном должен также заботиться и о том, чтобы избежать дорогостоящей замены оборудования (труб, насосов, теплообменников и пр.) и преждевременного закрытия учреждения.

Если вода несбалансированная, то это может быть свидетельством того, что существует по крайней мере одна из тех проблем, которые могут выводить воду из состояния равновесия.

Если вода сбалансирована, то есть находится в состоянии равновесия, то управляющий бассейном может быть уверен, что поддерживаются нормальные условия использования воды, что обеспечивает длительный срок службы оборудования.

Вообще говоря, если вода сбалансирована, это означает, что микроскопически тонкий слой защитной пленки откладывается на внутренних поверхностях труб - это и было целью Ланжелье. Без такой защиты может произойти коррозия или засорение труб.

Определить, является вода сбалансированной или нет можно, используя индекс насыщения, который изобрел Ланжелье. Если индекс имеет отрицательное значение, то это указывает на агрессивное или коррозийно-активное состояние воды. Положительное значение индекса указывает на то, что на стенках труб выпал тонкий слой осадка и трубы защищены от вредного воздействия.

Индекс Ланжелье подсчитывается по следующей формуле:

$$\text{Индекс Насыщения} = pH + K_{темп} + K_{щелочн} + K_{жестк} - K_{сол}$$

В этой формуле:

$K_{темп}$ - Температурный коэффициент;

$K_{щелочн}$ - Коэффициент общей щелочности; $K_{жестк}$ - Коэффициент жесткости; $K_{сол}$ - Коэффициент солесодержания.

Хотя формула и может показаться сложной, но в действительности ее очень легко применять, особенно если пользоваться таблицами, которые придумал Ланжелье.

1. «pH» в формуле означает, что надо взять действительное значение фактора pH для бассейна и использовать это число в вычислениях. Так что если pH равно 7,6, то это число и надо брать, и вставлять в формулу.

2. Для определения Температурного Коэффициента требуется измерить температуру воды в бассейне. Затем запишите число, которое соответствует этой температуре в таблицах. Например, значению температуры29 oC, как мы видим из таблицы, соответствует коэффициент 0,7. Напишите эту цифру под цифрой, показывающей значение pH.

3. Для определения щелочности проводится тест, и результат теста, например, 100 мг на литр, используется для определения по таблице коэффициента щелочности - 1,6. Это число пишется под коэффициентами pH и температуры.

4. Жесткость воды по кальцию. Воду тестируют на жесткость, и по результату, например, 150 мг на литр, определяют коэффициент из таблицы - 1,8. Его помещают под другими тремя, найденными ранее.

5. Все четыре цифры складываются: 7,6 + 0,7 + 1,6 + 1,8. В результате получается 12,0.

6. Далее определяется общее солесодержание в воде. Обратившись к таблице, получаем соответствующий коэффициент. Этот коэффициент вычитаем из 12 и получаем значение Индекса Насыщения. Если общее солесодержание в воде, например, 2000 мг на литр, то по таблице мы находим, что искомый коэффициент равен 12,2. Тогда из 12,0 вычитаем 12,2 и получаем Индекс Насыщения -0,2: 12,0 - 12,2 = -0,2.

Отрицательный результат показывает, что вода коррозийно-активна. Положительный результат будет указывать на то, что на трубах и другом оборудовании имеется защитная пленка.

Хотя коэффициент pH, температурный коэффициент, коэффициент щелочности и коэффициент жесткости при определении значения Индекса Насыщения, каждый из них имеет свои собственные параметры. И именно в этих параметрах значения этих коэффициентов и должны поддерживаться, чтобы вода в бассейне была пригодна для купания.

Ниже приведены оптимальные значения параметров:

- pH (для оптимальной работы хлора) - 7,2 - 7,6.
- Общая щелочность (для оптимального защитного эффекта) - 80 - 120 мг/л.
- Жесткость по кальцию(чтобы минимизировать потерю цемента) - выше 500 мг/л.
- Температура (для экономичности управления) - 26 °C -30 °C.
- Общее солесодержание(промышленный стандарт) - ниже 1500 мг/л.

Низкая жесткость воды по кальцию не может быть компенсирована высокой щелочностью, даже хотя Индекс Насыщения в этом случае будет положительным. Целью, о которой говорил Ланжелье, является осаждение тонкой защитной пленки для защиты труб. А эта пленка состоит из карбоната кальция.

Если Индекс Насыщения имеет отрицательное значение, то следует провести тщательное обследование всех показателей, сравнить их с результатами, показанными в таблице, и постараться добиться нужных показателей, чтобы индекс стал положительным.

По величине индекса Ланжелье делаем выводы. Расчетная величина, равная нулю, говорит о нейтральности воды. Если результат отрицательный - вода коррозионное активна. В случае положительного результата ясно, что эта вода провоцирует образование слоя карбоната кальция, при этом она менее корозионно активна.

Таблица 1 - Определения коэффициентов в формуле Ланжелье

Общая щелочность	мг/л	25	50	75	100	150	200	400	800	1000
Коэффициэнт щелочности		1.4	1.7	1.9	2.0	2.2	2.3	2.6	2.9	3.0
Жесткость по кальцию	мг/л	50	75	100	150	200	300	600	800	1000
Коэффициент жесткости		1.30	1.50	1.60	1.80	1.90	2.10	2.35	2.50	2.60
t°	C°	0.0	2.8	7.8	11.7	15.6	18.9	28.9	34.4	40.6
Температурный коэффициэнт		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9
Общее солесодержание	мг/л	0	1000	2000	3000	4000	5000			
Коэффициэнт солесодержания		12.00	12.10	12.20	12.25	12.30	12.35			

Метод Ланжелье позволяет оценить стабильность воды. Известно, что конкретному значению pH соответствует конкретное количество свободной угольной кислоты, которая находится в равновесии с ее другими формами. Величину pH, соответствующую равновесному состоянию, называют «pH равновесного насыщения воды карбонатом кальция»(pHs). Формула, по которой она вычисляется:

$$pHs=pK2-pПРCaCO3-lg[Ca2+]-lgЩo+2,5\sqrt{I}+7,6,$$

где pK2 – отрицательный логарифм константы 2-й ступени диссоциации угольной кис-лоты; pПРCaCO3 – отрицательный логарифм произведения растворимости; [Ca2+] – концентрация ионов Ca2+ , мг/л; Що – общая щелочность, мг-экв/л; I – ионная сила.

Стабилизацию воды, имеющей в своем составе агрессивную угольную кислоту , возможно с помощью веществ, повышающих щелочность воды. Используемые реагенты - известь, карбонат и гидроксид натрия. При этом протекают следующие реакции:

$$NaOH+CO2=NaHCO3 ;$$

$Ca(OH)_2+2CO_2=Ca(HCO_3)_2$

$NaCO_3+CO_2+H_2O=2NaHCO_3$

Другой путь перевода агрессивной воды в стабильную - фильтрование ее через слой мрамора, известняка(кальцита), природного и полуобожженного доломита («магномассы»). Во время фильтрования воды через слой магномассы также идет реакция взаимодействия оксида магния и угольной кислоты:

$MgO+2CO_2+H_2O=Mg(HCO_3)_2$

Обработкой нестабильных вод кислотами(серной и соляной) или насыщением их диоксидом углерода (рекарбонизация) понижают их щелочность. Например:

$Na\ HCO_3+HCl=NaCl+\ H_2O\ +\ CO_2$

Также использование на некоторых очистных сооружениях мраморно-песчаных фильтров позволяет получить не только осветленную, но и стабильную воду.

2.3 Коррозия систем горячего водоснабжения зданий

Известно, что коррозионная активность воды определяется ее физико-химическими характеристиками (температурой, химическим составом). Основным коррозионным агентом воды является растворенный в ней кислород, а также хлориды и сульфаты. С другой стороны, факторы, способствующие образованию плотных карбонатных пленок, снижают коррозионную активность воды. Установлено, что большая часть воды, используемой в системах ГВС при закрытой схеме теплоснабжения, обладает высокой (0,3-0,6 мг/см^2) коррозионной активностью при 60°С, тогда как вода того же химического состава, используемая в системах холодного водоснабжения, может обладать невысокой или средней коррозионной активностью (0,07-0,16 мг/см^2). Показано, сульфат-ионы в гораздо большей степени, чем хлор-ионы, увеличивают коррозионную активность воды

(примерно в 2 раза)[Пути повышения долговечности и надежности систем централизованного горячего водоснабжения. Комплексный подход.

В работе также отмечается, что в условиях отсутствия постоянного протока воды(уменьшение водоразбора в ночное время, временное отключение циркуляции) образуются рыхлые, слабо связанные с металлом продукты коррозии (чем выше коррозионная активность воды, тем большее количество таких продуктов коррозии образуется), вследствие чего наблюдается снижение качества воды. При возобновлении циркуляции, или при появлении водоразбора слабо связанные с металлом продукты коррозии переносятся движущейся водой и оседают преимущественно в нижней части горизонтальных участков систем. Под осевшими продуктами коррозии создаются условия, благоприятные для локального разрушения металла, приводящего к возникновению глубоких язв и свищей. Применение на системах ГВС неоцинкованных и оцинкованных труб невысокого качества и использование вод с высокой коррозионной активностью обуславливают невысокий срок их службы(обычно ниже нормативного), значительные эксплуатационные затраты, связанные с устранением свищей и заменой отдельных элементов систем из-за образования отложений.

В проводимых исследованиях также отмечается, что на скорость и интенсивность коррозии оказывает влияние как характер обработки поверхности металла, так и состав и условия воздействия внешней среды (в частности – воды внутри трубопровода). Грубо обработанная поверхность способствует интенсификации процессов коррозии, в то же время шлифованная и полированная поверхность металла повышают устойчивость против коррозии. Поверхность металла может стать пассивной в результате образования на ней защитной оксидной пленки в случае процесса пассивации, который наблюдается при контакте металла с сильными окислителями, в том числе с кислородом. Одним из определяющимися факторами коррозии в водной среде являются углекислотное равновесие и концентрация растворенного кислорода. На интенсивность процесса коррозии влияют также концентрация солей в воде и присутствие в ней

микроорганизмов. Различные соединения углекислоты в воде находятся в состоянии динамического равновесия, практическое значение имеет карбонатно-кальциевая система равновесий, которая обусловливает такие свойства воды, как стабильность и агрессивность – в том случае, когда количество CO_2 отвечает равновесной концентрации вода является стабильной и в ней не происходит ни растворения, ни выпадения карбонатов. При меньшей концентрации CO_2 наблюдается образование малорастворимого карбонат кальция на поверхности металла и образуется пленка с выраженными защитными свойствами. Избыток CO_2 выше равновесной концентрации приводит к повышению агрессивности воды по отношению к металлам за понижения величины pH воды, при этом защитная пленка карбоната кальция при контакте с агрессивной водой растворяется, что способствует развитию коррозии.

Стабильность воды оценивают рядом способов, один из которых — определение разности величин pH исследуемой воды (pH_0) и воды с равновесными концентрациями соединений углекислоты (pH_s). Разность между этими величинами называется индексом насыщения: $I = pH_0 - pH_s$. Если I=0, вода считается стабильной; при I>0 вода способна выделять карбонат кальция; при I<0 вода обладает коррозионными свойствами.

Увеличение общего солесодержания повышает электропроводность воды и, таким образом, приводит к ускорению коррозионных процессов. Однако значительное повышение концентрации солей может привести к снижению скорости коррозии в результате уменьшения растворимости кислорода.

Некоторые катионы и анионы, присутствующие в воде, играют роль стимуляторов коррозии. Например, хлорид- ионы могут замещать кислород в защитной оксидной пленке, что приводит к образованию в ней пор и облегчает начало коррозии. Сульфаты ускоряют коррозию непосредственно, увеличивая электропроводность, и косвенно, способствуя развитию биологической коррозии. К числу стимуляторов коррозии относятся также ионы металлов с переменной

степенью окисления, например $Cu^{2+} \rightarrow Cu^{+}$, $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ Они ускоряют реакцию на катоде, выполняя роль деполяризатора:

$Fe^{3+} + e^{-} \rightarrow Fe^{2+}$

В растворе Fe^{2+} кислородом вновь окисляется до Fe^{3+}.

Хроматы, силикаты, гидроксил-ионы, напротив, снижают интенсивность коррозионных процессов, способствуя образованию защитных пленок на металле.

Обеспечение жилых и общественных зданий централизованным горячим водоснабжением осуществляется по закрытой схеме, при которой холодная водопроводная вода нагревается за счет теплоносителя ТЭЦ в теплообменных аппаратах, устанавливаемых в тепловых пунктах или технических этажах зданий. В качестве исходной используется водопроводная вода, прошедшая соответствующие этапы водоподготовки. Вода, подаваемая системами централизованного горячего водоснабжения и используемая для хозяйственно-бытовых нужд, должна быть безопасной в эпидемиологическом отношении, безвредной по химическому составу, а также иметь благоприятные органолептические свойства – качество горячей воды должно соответствовать требованиям, предъявляемым к питьевой воде. Качество горячей воды также регламентируется требованиями СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения» и СанПиН 2.1.4.2496-09 «Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Изменение к СанПиН 2.1.4.1074-01»

Для систем горячего водоснабжения применяются металлические трубы из углеродистой стали оцинкованные и неоцинкованные (ГОСТ 3262-75, ГОСТ 10704-91, ГОСТ 8732-78), нержавеющей стали(ГОСТ 9941-81) или меди(ГОСТ Р 52318-2005).

Температура воды в системе горячего водоснабжения в соответствии с нормативными документами в местах водоразбора независимо от применяемой системы теплоснабжения должна быть не ниже 60 °С и не выше 75 °С .

Одной из основных причин, влияющих на состояние систем горячего водоснабжения, является состояние стабильности воды, т.е. состояния, которое не вызывает коррозии поверхности металла, с которой она соприкасается, и не выделяет на этих поверхностях осадки карбонатов кальция. Природные воды, использующиеся в системах горячего водоснабжения, содержат агрессивную углекислоту, углекислотное равновесие(состояние стабильности) достигается при их нагреве до 55-65°С.

При более высокой температуре углекислотное равновесие нарушается, что приводит в трубопроводах систем ГВС к выпадению из воды карбоната кальция – в основном в виде мелкокристаллического шлама. Наибольшее количество шлама выпадает в разводящих трубопроводах, коррозионные поражения горизонтальных магистралей систем ГВС более интенсивны в нижней части труб, покрытых отложениями. При остывании воды по мере прохождения её в системе из неё выделяется осадок карбоната кальция, углекислотное равновесие смещается в обратную сторону, в результате чего часть растворённой в воде углекислоты становится агрессивной и способствует коррозии трубопроводов. Чем выше начальная температура нагрева воды, тем большее количество агрессивной кислоты образуется при остывании воды. Происходящие процессы приводят к увеличению скорости коррозии трубопроводов примерно в 1,5-2 раза на каждые 10 С повышения температуры воды

Провидимые исследования отмечают, что одной из основных причин, влияющих на состояние систем горячего водоснабжения, является высокая коррозионная активность нагретой воды.

Коррозионная активность воды независимо от источника водоснабжения характеризуется тремя основными показателями: индексом равновесного насыщения воды карбонатом кальция (углекислотное равновесие), содержанием

растворенного кислорода и суммарной концентрацией хлоридов и сульфатов. Для оценки коррозионной активности нагретой водопроводной воды необходимо учитывать совместное воздействие растворенного кислорода и углекислых соединений. Степень влияния этих факторов зависит от температуры, давления, структуры потока и количественного соотношения воды и углеводородов в системе.

Каждому состоянию углекислотного равновесия соответствует рав-новесная величина показателя pH. Для характеристики агрессивности во-ды используется индекс Ланжелье J = pH – pHs, где pHs – это pH равно-весного раствора, насыщенного карбонатом кальция; pHs определяется расчетным путем или по номограмме.

Индекс равновесного насыщения (индекс насыщения) – это безразмерная величина, которая зависит от значения нескольких параметров: водородного показателя pH, общего солесодержания, общей щелочности, жесткости, температуры. На практике его рассчитывают из этих величин, используя специальные таблицы или номограммы.

Коррозионная активность воды, т.е. ее агрессивность по отношению к метал-лам, проявляется, когда индекс стабильности J является отрицательной величиной ($J<0$) . Для поддержания стабильности воды в заданных пределах необходимо регулировать несколько параметров: pH, щелочность или карбонатную жесткость. Стабильность увеличивается при введении карбонатов натрия или кальция, подщелачивании, а уменьшается при умягчении воды или введении кислоты.

В настоящее время требования к качеству оказываемых услуг в различных сферах, в том числе и в сфере ЖКХ. Каждый год с наступлением отопительного сезона в контролирующих органах фиксируют рост обращений граждан с жалобами на подаваемую централизованно горячую воду.

Проблемы горячего водоснабжения городов рассмотрены на примере города Челябинска.

Исследование качества воды в системе горячего водоснабжения на склонность к развитию коррозии было проведено для здания после реконструкции и замены трубопроводов.

Проблема коррозии возникла практически одновременно с применением металлических материалов в различных конструкциях и сооружениях. Интенсивное строительство зданий с централизованной системой холодного и горячего водоснабжения в конце 50-х годов прошлого века и эксплуатация зданий в течение 2 – 3 лет выявила проблему разрушения трубопроводов горячего и холодного водоснабжения за счет развития процессов коррозии. Исследования процессов коррозии систем горячего и холодного водоснабжения, проведенные в 1956 – 1958 г. Московским институтом инженеров городского строительства(МИИГСМ – МГСУ), позволили определить, что основную роль в развитии процессов коррозии играет кислородная коррозия, протекающая в форме электрохимической коррозии в паре «металл – вода». Выводы и предложения проведенной работы получили дальнейшее развитие в нормативных документах по строительству и эксплуатации систем централизованного теплоснабжения. Однако проблемы защиты от коррозии металлических трубопроводов в системах теплоснабжении, горячего и холодного водоснабжения остаются актуальными и в настоящее время.

Высокий уровень комфорта в зданиях любого назначения(жилых, общественных и производственных помещениях) обеспечивается рациональной работой систем горячего водоснабжения. Эффективная работы систем горячего водоснабжения невозможна без обеспечения качества горячей воды.

Централизованная система горячего водоснабжения зданий организуется по закрытой схеме, при которой холодная водопроводная вода нагревается за счет теплоносителя ТЭЦ в теплообменных аппаратах, устанавливаемых в тепловых пунктах или технических этажах зданий. В качестве исходной используется водопроводная вода, прошедшая соответствующие этапы водоподготовки, и отвечающая требованиям, предъявляемым к питьевой воде [4]. Качество горячей воды также регламентируется требованиями [5, 6]

Температура воды в системе горячего водоснабжения в соответствии с нормативными документами в местах водоразбора независимо от применяемой системы теплоснабжения должна быть не ниже 60°С и не выше 75°С [6].

До настоящего времени в зданиях любого назначения в системах водоснабжения, как холодного, так и горячего, используются металлические трубы из углеродистой стали оцинкованные и неоцинкованные. Применяемая нелегированная сталь корродирует практически при любых условиях.

Согласно теоретическим обоснованиям процесса коррозии металлических материалов [7] развитие процессов коррозии в металлических трубопроводах определяется составом воды, транспортируемой трубопроводной системой. Химический состав природных вод поверхностных водоемов, используемых для питьевого водоснабжения, нормируется наличием веществ в растворенной форме и газов, которые обуславливают требуемое качество воды для питьевых целей. Агрессивность воды, определенная экспериментально или расчетным путем, играет важную роль при выборе способов защиты от коррозии. Кроме того, большую роль в процессе возникновения и развития коррозии играют и другие параметры – температура, скорость потока, концентрация нейтральных солей и концентрация кислорода.

Исследования, проводимые Всероссийским теплотехническим научно-исследовательским институтом (ОАО «ВТИ»), показывают, что одной из основных причин, влияющих на состояние систем горячего водоснабжения, является высокая коррозионная активность нагретой воды. Согласно исследованиям ВТИ, коррозионная активность воды независимо от источника водоснабжения характеризуется тремя основными показателями: индексом равновесного насыщения воды карбонатом кальция, содержанием растворенного кислорода и суммарной концентрацией хлоридов и сульфатов. Для оценки коррозионной активности нагретой водопроводной воды необходимо учитывать совместное воздействие растворенного кислорода и углекислых соединений.

В [8] отмечено, что процессы развития коррозии могут быть обусловлены такими причинами, как недостаточно сбалансированным составом воды, некорректным сочетанием различных металлов в трубопроводной системе, а также недостаточным вниманием к защите трубопровода, и приводится требования, которые следует учитывать при выборе материала при проектировании сетей водоснабжения зданий [9].

Исследования состояния централизованных систем и сетей горячего водоснабжения свидетельствует, что одной из основных причин, влияющих на развитие коррозии, является высокая коррозионная активность нагретой водопроводной воды [10]. В работе отмечается, что вода для приготовления теплоносителя на ТЭЦ или котельной, подвергается специальной обработки для снижения ее агрессивности, в то время как для горячего водоснабжения используется вода из системы холодного водоснабжения хозяйственно-питьевого назначения (содержащая углекислоту, кислород, хлориды, сульфаты и другие компоненты), что способствует увеличению коррозионной активности воды при нагреве.

В работе [11] приведены опытные данные по содержанию растворенного в воде кислорода и скорости внутренней коррозии трубопроводов систем горячего водоснабжения, отмечена прямая связь между этими параметрами.

При анализе причин возникновения коррозии на новых и бывших в употреблении стальных оцинкованных трубах при исследовании структуры и элементного состава цинкового покрытия сделано предположение, что одной из причин быстрой коррозии может быть неравномерность распределения цинкового покрытия по внутренней поверхности трубы, и предложен способ определения причин возникновения коррозии по тестовым образцам стальной трубы [9].

Отмечается также возникновение коррозии в сварных соединениях трубопроводов горячего водоснабжения, выполненных из нержавеющей стали, в случае повышенной концентрации хлорноватистой кислоты в воде [13]. В работе показано, что при наличии повышенного содержания свободного хлора велика

вероятность возникновения процессов коррозии и в нержавеющей стали, если не проводить мероприятия по восстановлению структуры стали околошовной зоны сварных соединений.

В [14] представлены результаты немотивированной ускоренной коррозии трубопроводов систем водоснабжения и отопления при возникновении токов утечки, которые способствуют увеличению скорости коррозии в 2 – 10 раз по сравнению с проектными расчетными данными. Решением данной проблемы предложена электрическая изоляция внутренних водопроводных линий или замена металлических труб на полимерные.

Многочисленные исследования причин коррозии, отмечают, что основной причиной, влияющей на коррозионную стойкость систем горячего водоснабжения, является высокая коррозионная активность нагретой воды. Степень влияния этого фактора зависит от температуры, давления, структуры потока и количественного соотношения углеводородов в системе [15].

Природные воды, использующиеся в системах водоснабжения, содержат агрессивную углекислоту, углекислотное равновесие (состояние стабильности) достигается при нагреве до 55 – 65°С.

Температура воды в системе горячего водоснабжения в соответствии с нормативными документами в местах водоразбора независимо от применяемой системы теплоснабжения должна быть не ниже 60°С и не выше 75°С [6].

При нагреве воды выше 65°С наблюдается нарушение углекислотного равновесия и выпадение карбоната кальция преимущественно в виде мелкокристаллического шлама. Важную роль играет колебание температуры – понижение температуры способствует образованию карбоната кальция и смещению углекислотного равновесие в обратную сторону, что приводит к возрастанию агрессивности воды и увеличению скорости коррозии трубопроводов. Чем выше температура нагрева воды, тем больше проявляется агрессивность горячей воды при ее охлаждении. Происходящие процессы

приводят к увеличению скорости коррозии трубопроводов примерно в 1,5 – 2 раза на каждые 10 С повышения температуры воды [16].

Известно, что каждому состоянию углекислотного равновесия соответствует равновесная величина показателя pH. Для характеристики агрессивности воды используется индекс Ланжелье, который определяется как $J = pH – pH_s$, где pH_s является характеристикой равновесного раствора, насыщенного карбонатом кальция, и определяется расчетным путем или по номограмме. Коррозионная активность воды, т.е. ее агрессивность по отношению к металлам, проявляется, когда индекс стабильности J является отрицательной величиной ($J<0$) [7].

В работе анализ причин появления коррозии в системе горячего водоснабжения проводили для административного здания после реконструкции трубопроводной сети. В административном здании после реконструкции системы горячего водоснабжения и установке новых металлических трубопроводов было отмечено появление продуктов коррозии в горячей воде. Для выявления причин коррозии были отобраны пробы по нескольким точкам для определения следующих показателей качества воды: общая жесткость, величина pH, показатель щелочности, содержание сульфат-ионов, гидрокарбонат-ионов, остаточного хлора, содержание хлоридов, общая минерализация.

Химический анализ отобранных проб воды был проведен сертифицированной лабораторией.

Для определения состояния воды по отношению к возникновению коррозии оценивали ее стабильность. Согласно проведенным расчетам индекса Ланжелье по различным методикам, используемым для определения коррозионной активности воды, значение индекса составляло $J \leq – 1$.

Согласно представленным данным лабораторного исследования воды системы горячего водоснабжения общая жесткость на всех исследуемых точках системы составляет 3,2, что характеризует воду как «мягкая», по показаниям величины pH (7,19 – 7,56) пробы воды относятся к нейтральным, показатель щелочности воды находится на уровне 2,1 – 2,2 мг-экв./л (СаНПиН 2.1.4.1074-01 не

регламентируется), концентрация гидрокарбонат-ионов составляет 128, 1 – 134,2 мг/л. В соответствии с классификацией агрессивности воды, разработанной ВТИ, при J ≤ – 1 и любой величине сумме концентраций хлор-ионов и сульфат-ионов ($Cl^{-1} + SO_4^{2-}$) вода является коррозионно-активной.

Для анализа состояния стабильности воды определятся индекс Ланжелье, который рассчитывается по формулам или с помощью таблиц для экспресс-расчета.

Величина индекса Ланжелье определяется как:

J = pH – pHs,

где pHs – это pH равновесного раствора, насыщенного карбонатом кальция; pHs определяется расчетным путем или по номограмме.

Экспресс-расчет величины pHs осуществляется по формуле:

pHs = (9.3 + A + B) - (C + D), где

A – проводимость воды (в ms/m) x 7 (общее содержание растворимых ве-ществ TDS, мг/л)

B – величина, зависящая от температуры воды

C – Жесткость по кальцию, мг/л ;

D – Щелочность по кальцию, мг/л

Величины A, B, C, D – табличные данные, определяются в зависимости от измеренных показателей.

Индекс насыщения J, рассчитанный для температуры горячей воды 60С составят J = –3. Полученные данные соответствуют коэффициенту J ≤ – 1 Индекс Ланжелье был рассчитан по методике, используемой для оценки состояния воды в бассейнах.

В данной методике индекс насыщения определяется по следующей фор-муле:

Индекс насыщения = pH + Ктемп + Кщелочн + Кжестк - Ксол ,

Ктемп – температурный коэффициент;

Кщелочн – коэффициент общей щелочности;

Кжестк – коэффициент жесткости;

Ксол – коэффициент солесодержания.

Коэффициенты определяются по таблицам в зависимости от величины изме-ренных показателей лабораторными методами.

Рассчитанный коэффициент J по данной методике составил J = –1,01 ≤ –1.

Согласно проведенным расчетам индекса Ланжелье, характеризующего стабильность воды и ее склонность к развитию коррозии, по различным методикам, используемым для определениям коррозионной активности воды, составляет J ≤ – 1.

В соответствии с классификацией агрессивности воды, разработанной ВТИ, при J ≤ – 1 и любой величине сумме концентраций хлор-ионов и сульфат-ионов вода является сильно коррозионной.

В соответствии с проведенной оценкой представленных результатов лабораторного анализа воды системы горячего водоснабжения по характеристикам, определяющим стабильность воды следует отметить следующее
.

1. Показатели, характеризующие качество воды для целей питьевого водоснабжения, отвечают нормативным требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигенетические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения».

2. Показатель общая жесткость на всех исследуемых точках системы горячего водоснабжения составляет 3,2 моль/л, что характеризует воду как «мягкая».

Как правило, воды с малой жесткостью значительно агрессивней вод со средней жесткостью, поскольку воды со средней жесткостью способны при определенных условиях образовывать защитные слои [4] и препятствовать развитию коррозии.

3. Известно, что повышением температуры водной среды скорость коррозии стали обычно возрастает. В системах горячего водоснабжения при колебании

температуры воды происходит нарушение углекислотного равновесия, что способствует увеличению агрессивности растворенной углекислоты.

4. Оценка состояния агрессивности воды по отношению к коррозии осуществляется по индексу Ланжелье J. Полученные значения величины J составляют ≤ – 1, что характеризует состояние воды, как «коррозионно-агрессивной»

5. Состояние исходной холодной воды, используемой для получения горячей воды, по таким показателям как «общая жесткость», «гидрокарбонаты», при нагреве способствуют увеличению агрессивности и развитию процесса коррозии.

Анализ представленных показателей качества воды в системе горячего водоснабжения показал, что состояние воды, по таким показателям как «общая жесткость», «гидрокарбонаты», характеризуется как «агрессивное» по отношению к возможности развития коррозии в металлических трубопроводах системы горячего водоснабжения.

Одним из мероприятий, позволяющих обеспечить требуемое качество горячей воды у потребителей, является определение общей жесткости исходной воды и регулирование величины максимальной температуры нагрева при приготовлении горячей воды. Другим вариантом сохранения качества горячей воды является применение трубопроводов из коррозионностойких материалов.

2.4 Коррозия наружных сетей водоснабжения

В работе был проведен анализ проб воды, подаваемой блочно-модульной котельной на территории городского поселка области.

Анализ результатов качества воды, проведенной сертифицированной лабораторией, позволил отметить следующее.

Качество горячей водопроводной воды, подаваемой населению с блочно-модульной котельной, по санитарно-химическим показателям не соответствует требованиям гигиенических нормативов:

1. в пробе исходной воды, используемой для горячего водоснабжения, показатель «цветность» составляет 30,0±6 градусов, «железо» – 0,6±0,15 мг/л;

2. в пробе горячей воды после водоподготовки (на выходе с блочно-котельной) показатель «цветность» составляет 60,0±6 градусов, «мутность» – 3,8±0,6 мг/л, «железо» – 1,5±0.4 мг/л;

3. качество горячей водопроводной воды в разводящей сети системы централизованного горячего водоснабжения от блочно-модульной котельной по санитарно-химическим и микробиологическим показателям не соответствует требованиям гигиенических нормативов:

4. в пробе горячей воды в точке водоразбора № 1 показатель «цветность» составляет 70,0±6 градусов, «мутность» – 5,5±1,1 мг/л, «железо» – 1,7±0,4 мг/л; в пробе горячей воды в точке водоразбора № 2 показатель «цветность» составляет 70,0 градусов, «мутность» – 5,5±1,1 мг/л, «железо» – 1,9±0,5 мг/л, «общие колиформные бактерии» в 100 мл – 0,4; «термотолерантные колиформные бактерии» – 0,4.

В таблице 2 представлены данные химического анализа воды в фоновом створе водозабора.

Таблица 2 - Химический состав воды поверхностного источника

№ п\п	Показатели качества	Среднее значение концентрации в фоновом створе водозабора	
		январь	февраль
1	взвешенные вещества, мг/дм^3	0	0
2	сухой остаток, мг/дм^3	99,89	88
3	БПК полный, мг/дм^3	1,4	0,82
4	хлориды, мг/дм^3	3,0	1,75
5	сульфаты, мг/дм^3	26,29	16,41
6	ионы аммония, мг/дм^3	0,44	1,1
7	нитрат-ионы, мг/дм^3	0,63	0,62
8	нитрит-ионы, мг/дм^3	0,04	0,03
9	железо общее, мг/дм^3	0,85	0,85
10	СПАВ, мг/дм^3	0,1	0,1
11	фосфаты, мг/дм^3	0,05	0,05
12	фефтепродукты, мг/дм^3	0,04	0,05
13	алюминий, мг/дм^3	0,3	0,35

3) Гидрохимическая характеристика водного объекта – скважины № 1 и 2.

Скважины № 1 и 2 расположены в черте населенного пункта. Вода из скважин смешивается с водой из поверхностного водоема и подается в поселокод. Скважины работают периодически.

Таблица 3 - Химический анализ воды скважин

№ п/п	Показатели качества	Среднее значение концентрации	
		№ 1	№ 2
1	цветность, мг/дм^3	5	5
2	сухой остаток, мг/дм^3	344	288
3	pH	7,5	7.5
3	мутность, мг/дм^3	1,05	0,71
4	хлориды, мг/дм^3	7,5	7,5
5	сульфаты, мг/дм^3	34,4	36,2
6	ионы аммония, мг/дм^3	0,05	0,05
7	нитрат-ионы, мг/дм^3		
8	нитрит-ионы, мг/дм^3	0,003	0,003
9	Железо общее, мг/дм^3	0,05	0,05
13	алюминий, мг/дм^3	0,04	0,04

Качество питьевой воды в режиме непрерывного водопользования при соответствии требованиям СанПиН 2.1.4. 1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» не зависит от типов труб и сохраняется неизменным в процессе эксплуатации сетей водоснабжения.

Согласно представленным протоколов анализа воды, питьевая холодная от поставщика на входе соответствует требованиям СанПиН 2.1.4. 1074-01, при этом отмечается превышение

по органолептическим показателям:

– цветность – на уровне от 25,0±5,0 градусов до 50,0±10,0 (требование по нормативу не более 20),

– мутность (на уровне 1,7±0,3 мг/дм^3(требование по нормативу не более 1,5 мг/дм^3);

по химическому составу наблюдается превышение содержания общего железа на уровне от 0,38±0,10 мг/дм^3 до 1,6±0,4(норматив не более 0,3 мг/дм^3).

Среднегодовое содержание железа общего в воде водоисточника находится на уровне 0,85 мг/дм^3; содержание в воде питьевого качества после водоподготовки составляет 0,38…1,6 мг/дм^3. Из представленных данных следует, что процесс удаления ионов железа либо полностью отсутствует, либо не обеспечивает необходимой степени остаточного содержания.

В настоящее время существует достаточно много методов удаления ионов железа, не требующих больших капитальных затрат, а также способов, способствующих снижению его концентрации, например:

1) Очистка воды от железа при помощи аэрации.

2) Очистка воды окислением двухвалентного железа с добавлением сильных окислителей.

3) Очистка воды осаждением коллоидного железа традиционным промышленным способом.

4) Очистка воды от железа при помощи каталитического окисления с последующей фильтрацией.

5) Очистка воды от железа ионообменным методом.

6) Очистка воды от железа мембранными методами.

7) Очистка воды от железа биологическим обезжелезиванием.

8) Очистка воды от железа электромагнитным полем.

Повышенное содержание железа в исходной воде питьевого качества способствует дальнейшему протеканию процессов биологического и химического осаждения растворимых соединений железа из воды в результате окисления, но уже в сетях поставщика горячей воды. Такие процессы протекают самопроизвольно за счет присутствующего кислорода в воде, а также за счет деятельности железобактерий, которые всегда присутствуют в воде, если она не удовлетворяет требованиям СанПиН 2.1.4. 1074-01 по показателю «железо общее », причем повышенная температура систем централизованного горячего

водоснабжения приводит к ускоренному протеканию процесса окисления железа (двухвалентного) до железа(трехвалентного) с образованием труднорастворимого осадка гидроксида железа бурого цвета, затем образования $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$, выпадающий в осадок в виде бурых хлопьев

Образующийся осадок гидроксида железа придает воде бурый цвет, что проявляется в повышении цветности воды, и приводит к повышению мутности воды.

В процессе окисления в воде наблюдается увеличение содержания свободной углекислоты, что способствует коррозии трубопроводов, дальнейшему повышению содержания общего железа в воде и выходу из строя дорогостоящего оборудования из-за использования воды изначально ненадлежащего качества.

Одновременно дефицит растворенного кислорода активирует восстановительные процессы в клетках железо- и марганец редуцирующих бактерий и способствует вторичному загрязнению питьевой воды растворимыми соединениями железа и марганца, ранее осажденными железо- и марганецокисляющими бактериями.

По данным протоколов анализа горячей и холодной воды прослеживается следующая зависимость: чем выше концентрация железа общего в исходной холодной воде, тем больше концентрация железа общего в горячей воде после водоподготовки(таблица 4).

Таблица 4 - Содержание общего железа

№ п/п	Концентрация общего железа, мг/дм^3	
	исходная холодная вода	горячая вода после водоподготовки
1	0,38 ± 0,1(проба № 5)	0,46 ± 0,12 (проба № 8)
2	0,72 ± 0,18 (проба №9)	1,20 ± 0,3(проба № 2)
3	1,60 ± 0,4(проба № 1)	2,10 ± 0,5(проба № 7)

По данным протоколов анализа поставщика горячей воды цветность в результате данных процессов увеличивается до 70,0±7,0 градусов, мутность до 2,4±0,5 мг/дм^3, содержание железа общего до 2,3±0,6 мг/дм^3.

В соответствии с представленными данными лабораторного анализа воды, отобранной в различных точках технологической линии, можно сделать следующие выводы:

1) Согласно действующим санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам: СанПиН 2.1.4.2496-09 «Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения» п. 3.1.5. « Исходная вода для систем централизованного горячего водоснабжения, поступающая непосредственно на теплоисточники и тепловые пункты, должна соответствовать требованиям технических регламентов и санитарно-эпидемиологических правил и нормативов, регламентирующих безопасность и безвредность питьевой вод ы».

Для устранения ухудшений качества выходящей горячей воды по таким показателям, как железо, цветность, мутность, а также для предотвращения в результате неудовлетворительного качества поступающей воды полного выхода из строя основного и вспомогательного оборудования, использовать для нужд котельной воду, удовлетворяющую требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 (СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения), так как все нежелательные последствия(повышение цветности, мутности, содержания железа общего в горячей воде) вызваны ненадлежащим качеством поступающей «холодной воды из водопровода» от поставщик.

2) По возможности рекомендуется более широкое применение оцинкованных труб, как обеспечивающих лучшие свойства питьевой воды по органолептическим, микробиологическим и показателям безвредности по химическому составу.

3) Рекомендуется поддерживать непрерывный режим подачи питьевой воды и избегать прерывистого и застойного режимов, которые могут способствовать резкому увеличению концентрации растворенных в воде соединений железа и марганца. Для уменьшения отложений в трубопроводах рекомендуем по возможности увеличить скорость циркуляции воды в контурах.

В настоящее время на водоочистных сооружениях для обеззараживания воды используется комбинированный дезинфектант «Диоксид хлора и хлор». Вода в разводящие сети поступает с остаточным содержанием диоксида хлора для предотвращения ее вторичного заражения при транспортировке потребителю. При этом наблюдается некоторое увеличение содержания общего железа непосредственно у потребителя по сравнению с водой, поступающей из станции.

Происходит это по причине действия остаточных количеств диоксида хлора на железобактерии, живущие в трубах. В отличие от хлора диоксид хлора инактивирует эти бактерии, колонии перестают расти, постепенно нарушается адгезия между продуктами жизнедеятельности железобактерий и поверхностью трубы, разрушаются и смываются охристые образования. По этой причине возможно ухудшение качества воды у потребителя по содержанию железа, мутности и цветности по сравнению с водой, выходящей с очистных сооружений.

Продолжительность этого процесса для разных объектов разный и зависит от протяженности разводящих труб, их состояния из-за длительности эксплуатации. Диоксид хлора, растворенный в воде, не только постепенно удалит отложения, но и в дальнейшем будет предотвращать их образование.

Необходимо отметить, что выводы о действии диоксида хлора и хлора как дезинфицирующих агентов, инактивирующих железобактерии(вызывающих коррозию трубопроводов), при последующем разрушении и смыве охристых образований металлов вероятно справедливы только для холодной воды. Подобного действия в горячей воде диоксид хлора (ClO_2) не имеет, так как он разлагается от действия температуры.

Однако можно отметить следующую зависимость при использовании дезинфеканта «Диоксид хлора и хлор».

Диоксид хлора, проявляя высокую коррозионную активность, смывает охристые образования в трубопроводах и оборудовании холодного водоснабжения, в том числе образования соединений железа, ранее образованные железобактериями, затем вода поступает потребителю (котельная), там происходит нагревание и диоксид хлора распадается на кислород, хлор и хлорноватую кислоту.

Диоксид хлора (ClO_2) в водном растворе при нагревании разлагается, образующаяся впоследствии хлорная кислота, являясь слабым окислителем, не может предотвратить образование железосодержащих отложений. Хлорид железа, является высоко коррозионным соединением и затем на воздухе образует кристаллогидрат $FeCl_3 \cdot 6H_2O$(красно-коричневая, влажная на ощупь, мягкая кристаллическая масса, которая и откладывается в трубопроводах).

Согласно, образование охристых отложений также способствует протеканию коррозионного процесса, связанного с возникновением дифференцированных аэрируемых ячеек и кислородной деполяризацией участка металла, подвергшегося обрастанию. Сущность механизма образования дифференцированно аэрируемых ячеек состоит в следующем. В воде, протекающей по трубопроводу, содержится определенное количество кислорода. Участки трубопровода, не подвергшиеся обрастанию железобактериями, омываются водой и хорошо вентилируются. Участки под охристыми отложениями водой не омываются и поэтому аэрируются слабее. Таким образом, на поверхности внутренней стенки трубы создаются ячейки, в которых вентилируемые участки имеют более высокий потенциал и функционируют как катод, а менее аэрируемые, подвергшиеся обрастанию, действуют как анод, следовательно, возникает процесс коррозии. Именно поэтому после механического разрушения минерализованных охристых отложений под ними во всех случаях обнаруживаются коррозионные повреждения материала труб.

Дезинфекционная обработка обычно затрагивает только верхний слой биопленки, поэтому жизнеспособные бактерии, находящиеся глубоко в ней, повторно загрязнят систему, что вновь приведет к бактериальному росту в течение нескольких дней. Таким образом, холодная вода с использованием дезинфеканта «Диоксид хлора и хлор» после нагревания и разложения диоксида хлора приводит к коррозии трубопроводов и сооружений, приводит к образованию отложений металлов в трубопроводах и, как следствие, приводит к повышению мутности, цветности и содержанию железа в воде.

Так как КД «Диоксид хлора и хлор» изначально в холодную воду добавляется в меньших количествах чем при обычном хлорировании, то образовавшегося хлора (после разложения диоксида хлора при нагревании) в горячей воде может оказаться недостаточно(менее 75…100 мг/л) для дезинфекции горячей воды и в воде могут обнаруживаться микроорганизмы и их споры.

Следовательно, в сетях уже нет диоксида хлора, то есть нет агента, который дополнительно(кроме потока воды) смывал бы охристые соединения, следовательно, те соединения железа, которые поступают с готовой водой будут откладываться дополнительно к уже имеющимся в трубопроводах потребителя, вызывая коррозионную деятельность имеющихся и не уничтоженных ранее железобактерий, кроме этого коррозия усилится за счет присутствия в воде кислот (хлористой, хлорноватой и хлорной), образующихся при разложении диоксида хлора, поступающего с холодной водой, в итоге коррозия увеличивается на порядок и, как следствие, возрастает содержание общего железа, цветности и мутности у потребителя.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно проводим исследованиям по влиянию железобактерий на качество воды питьевого водоснабжения необходимо отметить следующее.

1. На участках сети с наибольшей частотой появления некачественной воды (более 4,5 % выборки) производились отборы проб и выполнялись микробиологические исследования следует вывод, что загрязнение воды обусловлено заселением стенок трубопроводов железобактериями и неравномерностью гидравлического режима работы водопроводной сети. Это позволяет объяснить проблему вторичного загрязнения воды следующим образом . Железобактерии – типичные представители микрофлоры подземных вод, которые выносятся из источника водоснабжения в водопроводную сеть, после чего закрепляются на стенках трубопровода. Учитывая, что поверхность трубы не является идеально гладкой, а железобактерии представлены нитчатыми формами, на первой стадии происходит механическое удерживание микроорганизмов. Закрепившись на стенке трубопровода, железобактерии размножаются, формируя биопленку.

При незначительном количестве (менее 0,3 мг/л) железа в воде(прежде всего, двухвалентного) клетки микроорганизмов активно аккумулируют его, так как испытывают в нем физиологическую потребность для ликвидации токсичного продукта метаболизма. Таким образом, на поверхности трубопровода появляются участки, покрытые обильными охристыми отложениями, образованными биогенным путем.

При резких изменениях давления и, соответственно, скоростей течения воды, а также знакопеременных потоков в водопроводной сети охристые отложения с внутренней поверхности трубы срываются, ухудшая тем самым качество воды по органолептическим показателям. В том случае, когда гидравлический режим водопроводной сети достаточно ровный, то охристые отложения минерализуются, в результате чего на внутренней поверхности трубопровода образуются плотные

бугристые отложения, которые с течением времени уменьшают поперечное сечение[22].

Влияние железобактерий на эксплуатационные характеристики водопроводной сети. В результате транспортировки воды по водопроводным сетям качество ее ухудшается – увеличивается содержание железа в воде, повышается мутность и цветность. Указанное явление, именуемое как вторичное загрязнение, традиционно связывают с коррозионной активностью воды, которая, как правило, объясняется ее химическим составом[23].

Немаловажным фактором в борьбе с вторичным загрязнением воды является равномерная загрузка всей водопроводной сети города. Там, где необоснованно занижены диаметры трубопроводов, пределы изменения и колебания давления воды в течение суток будут максимальны. Это нерентабельно с точки зрения энергосбережения и эксплуатации системы водоснабжения, а также отрицательно сказывается и на качестве питьевой воды. С другой стороны, увеличение диаметров трубопроводов приводит к снижению скоростей потоков воды, что может способствовать протеканию процессов биологических обрастаний. Однако при своевременной и качественной промывке таких участков водопроводных сетей процессы биообрастаний можно свести к минимуму. Поэтому для эффективной эксплуатации систем водоснабжения необходимы манометрическая съемка и гидравлические расчеты водопроводных сетей, выявление участков сети, требующих увеличения диаметров. Проведение таких мероприятий так же поможет выявить трубопроводы, подвергшиеся в результате эксплуатации интенсивному биоообрастанию, приводящему к значительному сокращению их диаметра.

2. «При значительном содержании в воде железа в ней развиваются железистые водоросли и железобактерии. При благоприятных условиях эти организмы могут сильно разрастаться в водопроводных трубах, что может повлечь за собой сужение и даже закупорку последних и вызвать этим порчу водопроводной сети.

Эти бактерии обладали способностью развиваться на средах, не содержащих органических веществ, и синтезировать составные части своего тела за счет углерода угольной кислоты.

Необходимую энергию эти бактерии получают за счет биохимических процессов, протекающих при окислении азота аммонийных солей в нитриты и нитраты, или за счет окисления двухвалентного железа в трехвалентное.

При содержании железа более 11мг/л вода приобретает бурый цвет, железистый привкус, соединения железа и железобактерии отлагаются в трубопроводах и уменьшают их пропускное сечение.

3. «Железобактерии – это такой тип бактерий, которые относятся к аэробным организмам, то есть тот тип живых организмов, главную роль, в жизнедеятельности которых играет кислород. Железобактерии в живой среде обитают в проточной воде, застоявшейся с определенным уровнем жесткости, pH от 4 до 10.

Важна и температура, они великолепно себя чувствуют при 24°С, но также могут жить и при более низких, до 5 градусов, и при более высоких температурах, до 40°С. …железобактерии нуждаются в кислороде, получают они кислород из двуокиси кислорода, которая растворена в воде. …Они одни из немногих микроорганизмов, которые способны к разрушению органических комплексов железа, благодаря чему внутри бактерий образуется окись железа. Существует немалое количество различных видов бактерий, каждый из которых отличается той или иной способностью к разрушению железа. Внутри водопровода железобактерии ведут активную жизнь, они оставляют продукты своей жизнедеятельности на внутренней поверхности труб, тем самым постепенно засоряя ее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время защита внутренней поверхности трубопроводов в основном направлена на решение двух задач – создание барьерных защит между металлом и средой, и снижение коррозионной активности самой среды.

В первом случае основное внимание уделяется способам использования защитных покрытий из материалов, обладающих противокоррозионной стойкостью более высокой, чем углеродистая сталь – металлические (цинковые), лакокрасочные и т.п. Но в некоторых случаях при повышении температуры выше 60-70 °С цинковое покрытие, являющееся коррозионным барьером, начинает ускорять коррозию самой углеродной стали.

Способами снижения коррозионной активности среды являются:

- коррозионно-безопасные технологии устройства водопроводных систем (исключение подсосов воздуха, застойных зон, наличие постоянной циркуляции воды, поддержание оптимальной температуры, создание условий для образования стабильных естественных защитных слоев и т.д.);
- стабильное поддержание в воде заданных эксплуатационных норм допустимого содержания взвешенных веществ, солей, органических примесей;

Для уменьшения развития микробиологической коррозии используются следующие методы:

- химическая дезинфекция – хлорирование и купоросование воды (в месте водозабора);
- физическая дезинфекция с помощью ультрафиолетового и ультразвукового облучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гривкова, Т.П. Эколого-гигиеническое обоснование риска для здоровья населения в связи с качеством горячего водоснабжения. - Санкт-Петербург, 2006 – 162с.
2. Чапаев, Д.Б. Характеристики внутренней коррозии и надежности тепловых сетей крупного города. – Новосибирск, 2004 – 165с.
3. Учебно-методический модуль № 5 Сбор, транспортировка, хранение и подготовка нефти. Учебно-методический блок № 3 Внутренняя коррозия трубопроводов. – Томск, 2000 – 34с.
4. ФЗ “О водоснабжении и водоотведении” - 07.12.2011 - N 416-ФЗ.
5. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения: СанПиН 2.1.4.1074-01 от 26.09.2001
6. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения: СанПиН 2.1.4.2496-09 от 7.04.2009
7. Улиг, Г.Г. Коррозия и борьба с ней// Р.У. Реви, Г.Г. Улиг, Введение в коррозионную науку и технику. 1989.– Пер. изд., США, 1985. – 456 с.
8. Nino Zinna, Как защитить трубопровод от коррозии / Nino Zinna // Сантехника. – 2005. – №1, с. 54 – 56.
9. Nino Zinna, Плюсы и минусы металлических труб / Nino Zinna // Сантехника. 2006, – № 5. – с. 52-67
10. Запольская, И.Н. Повышение эффективности систем ГВС установкой автоматизированных АТП / И.Н. Запольская, Ю.В. Ваньков, Ш.Г. Зиганшин, А.Ф. Валеев, О.И. Зверев // Вестник КГЭУ. – Энергетика. – 2017.– № 4 (36). – С. 54 – 64.
11. Плетнев, М.А. Влияние концентрации растворенного в воде кислорода / М.А. Плетнев // Вестник Удмуртского университета. – Серия «Физика. Химия» – 2012. – Вып. 3. – с. 78 – 83.

12. Чухин, В. А. Анализ причин коррозии оцинкованных труб в системах горячего водоснабжения / В. А. Чухин, А. П. Андрианов // С.О.К. (Сантехника, Отопление, Кондиционирование) – 2018 – №1. – с. 17 – 24.

13. Зайцев, А.Н, Суздальцева Е.Н. К вопросу о коррозии труб горячего водоснабжения из нержавеющей стали / А.Н Зайцев, Е.Н. Суздальцева // Системные технологии. – 2017. – № 23. – с. 4 – 14.

14. Григорьев, О.А. Влияние неисправностей системы электроснабжения зданий на ускоренную коррозию трубопроводов / О.А. Григорьев, В.С.Петухов, В.А.Соколов // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 07

15. Внутренняя коррозия трубопровода – причины, механизмы и способы защиты. - http://oilloot.ru/84-oborudovanie-truby-materialy-dlya-nefti-i-gaza/446-vnutrennyaya-korroziya.

16. Шваб В.В. Обеспечение качества горячей воды / Шваб В.В. // Водоочистка. – 2012. – № 1. – с. 28 – 30.

17. Черкасов, С.В Проблемы микробиологических загрязнений систем водоснабжения / С.В. Черкасов // СОК – 2005. - №8.

18. Таубе, П.Р. Химия и микробиология воды / П.Р. Таубе, А.Г. Баранова // Книга по Требованию - 2013. – 280с.

19. Шафлик, В. Современные системы горячего водоснабжения / Шафлик В. // К.: ДП ИПЦ «Такі справи» - 2010. – с. 14–19.

20. Мадорский, Б.М. Эксплуатация центральных тепловых пунктов, систем отопления и горячего водоснабжения. / Б.М. Мадорский, В.А. Шмидт // М.: Стройиздат, 1971. – с. 145–147.

21. Пырков, В.В. Современные тепловые пункты Автоматика и регулирование / Пырков В.В. // К.: ДП ИПЦ «Такі справи» - 2007. – с. 61-74.

22. Захарова, И.К. Сравнительная характеристика методов очистки питьевой воды / И.К. Захарова // Менделеевские чтения – 2019. – С. 353-354

23. Менча, М.Н. Железобактерии в системах питьевого водоснабжения из подземных источников / М.Н. Менча // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. - №7. – С. 25-34.

24. Новгородцева, Л.В. Физико-химические особенности ингибиторной защиты трубопровода в системе поддержания пластного давления в НДГУ “Лениногорскнефть” / Л.В. Новгородцева, Ю.В. Гаврилова // Омский научный вестник. – 2012. - №2(114)-С. 199-203.

25. Кузьмин, М. И. Повышение эффективности эксплуатации нефтяных скважин в условиях намагниченности подземного оборудования: на примере Урманского нефтяного месторождения. - Санкт-Петербург, 2013 – 203с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Результаты испытаний

№№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты исследований ± характеристика погрешности*	Величина допустимого уровня	НД на методы исследований
1	2	3	4	5	6
ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ Образец поступил 07.04.2014 12:00 Регистрационный номер пробы в журнале 519 дата начала испытаний 07.04.2014 13:00 дата выдачи результата 16.04.2014 12:37					
1	Запах	балл	0	не более 2	ГОСТ 3351-74*
2	**Цветность**	градус	**35,0±7,0**	не более 20	ГОСТ Р 52769-2007
3	Мутность (по каолину)	мг/дм3	менее 0,58	не более 1,5	ГОСТ 3351-74*
КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ Образец поступил 07.04.2014 12:00 Регистрационный номер пробы в журнале 519 дата начала испытаний 07.04.2014 13:00 дата выдачи результата 16.04.2014 12:37					
1	**Железо**	мг/дм3	**0,72±0,18**	не более 0,3	ГОСТ 4011-72*
БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ Образец поступил 07.04.2014 11:40 Регистрационный номер пробы в журнале 519 дата начала испытаний 07.04.2014 11:40 дата выдачи результата 09.04.2014 11:53					
1	Общее микробное число	КОЕ/мл	0	не более 50	МУК 4.2.1018-01
2	Общие колиформные бактерии	бактерий в 100 мл	не обнаружено	отсутствие	МУК 4.2.1018-01
3	Споры сульфитредуцирующих клостридий	число спор в 20 мл	не обнаружено	отсутствие	МУК 4.2.1018-01-
4	Термотолерантные колиформные бактерии	бактерий в 100 мл	не обнаружено	отсутствие	МУК 4.2.1018-01
ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ Образец поступил 07.04.2014 12:00 Регистрационный номер пробы в журнале 520 дата начала испытаний 07.04.2014 13:00 дата выдачи результата 16.04.2014 12:39					
1	Запах	балл	0	не более 2	ГОСТ 3351-74*
2	**Цветность**	градус	**40,0±8,0**	не более 20	ГОСТ Р 52769-2007
3	**Мутность (по каолину)**	мг/дм3	**1,8±0,4**	не более 1,5	ГОСТ 3351-74*
КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ Образец поступил 07.04.2014 12:00 Регистрационный номер пробы в журнале 520 дата начала испытаний 07.04.2014 13:00 дата выдачи результата 16.04.2014 12:39					
1	**Железо (Fe, суммарно)**	мг/дм3	**1,2±0,3**	не более 0,3	ГОСТ 4011-72*
БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ Образец поступил 07.04.2014 11:40 Регистрационный номер пробы в журнале 520 дата начала испытаний 07.04.2014 11:40 дата выдачи результата 09.04.2014 11:55					
1	Общее микробное число	КОЕ/мл	0	не более 50	МУК 4.2.1018-01
2	Общие колиформные бактерии	бактерий в 100 мл	не обнаружено	отсутствие	МУК 4.2.1018-01
3	Споры сульфитредуцирующих клостридий	число спор в 20 мл	не обнаружено	отсутствие	МУК 4.2.1018-01
4	Термотолерантные колиформные бактерии	бактерий в 100 мл	не обнаружено	отсутствие	МУК 4.2.1018-01

**Уровень оцененной неопределенности соответствует заданным пределам*

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Расчет pHs

pHs = (9.3 + A + B) - (C + D), где:

A = (lg [TDS] - 1)/10

B = -13.12 x lg (t^oC + 273) + 34.55

C = lg [жесткость воды по Ca, выраженная в мг/кг $CaCO_3$] - 0.4

D = lg [общая щелочность воды, выраженная в мг/кг $CaCO_3$]

TDS – общее солесодержание, мг/л

LSI = pH_0 – pHs

pH_0 – измеренное значение pH воды в системе

Значение Индекса Ланжелье показывает:

LSI < 0 – образование накипи карбоната кальция не происходит, при этом весьма вероятно развитие коррозии углеродистой стали и чугуна. При этом минеральные отложения внутри системы водоснабжения будут формироваться из образующихся продуктов коррозии.

LSI = 0 - вода стабильна, на практике такая ситуация редко встречается, так как в любой системе водоснабжения имеется перепад температур и различие других условий, а, следовательно, будет и изменение индекса Ланжелье в ту или иную сторону.

LSI > 0 - вода в системе имеет склонность к образованию накипи карбоната кальция. Чем больше значение индекса Ланжелье (LSI) – тем большая склонность к образованию накипи.

Приложение В

Таблицы для экспресс-расчета индекса Ланжелье.

pHs = (9.3 + A + B) - (C + D)

TDS, мг/л проводимость (в ms/m) x 7	значение A
50 - 300	0,1
301 - 1000	0,2

вода	темп., C	значение B
системы охлаждения	0 - 1	2,6
	2 - 6	2,5
	7 - 9	2,4
	10 - 13	2,3
скважина	14 - 17	2,2
водопровод	18 - 21	2,1
	22 - 27	2.0
	28 - 31	1,9
оборотная	32 - 37	1,8
	38 - 43	1,7
	44 - 50	1,6
	51 - 56	1,5
ГВС	57 - 63	1,4
	64 - 71	1,3
	72 - 81	1,2

Жесткость по кальцию, мг/л	значение C
10 - 11	0,6
12 - 13	0,7
14 - 17	0,8
18 - 22	0,9
23 - 27	1,0
28 - 34	1,1
35 - 43	1,2
44 - 55	1,3
56 - 69	1,4
70 - 87	1,5
88 - 110	1,6
111 - 138	1,7
139 - 174	1,8
175 - 225	1,9
226 - 275	2,0
276 - 345	2,1
346 - 435	2,2
436 - 555	2,3
556 - 695	2,4
696 - 875	2,5
876 - 1000	2,6

Щелочность по кальцию, мг/л	значение D
10 - 11	1,0
12 - 13	1,1
14 - 17	1,2
18 - 22	1,3
23 - 27	1,4
28 - 35	1,5
36 - 44	1,6
45 - 55	1,7
56 - 69	1,8
70 - 88	1,9
89 - 110	2,0
111 - 139	2,1
140 - 176	2,2
177 - 225	2,3
226 - 275	2,4
276 - 355	2,5
356 - 445	2,6
446 - 555	2,7
556 - 695	2,8
696 - 885	2,9
886 - 1000	3,0

Индекс Ланжелье рассчитывается по формулам или с помощью таблиц для экспресс-расчета.

Формула: LSI = pH – pHs.

pHs = (9.3 + A + B) - (C + D), где:

- A = (Log10[TDS] - 1)/10
- B = -13.12 x Log10(ºC + 273) + 34.55
- C = Log10[жесткость по $CaCO_3$] - 0.4
- D = Log10[щелочность по $CaCO_3$]

Пример расчета:

pH = 7,5

TDS = 320 мг/л

Жесткость по $CaCO_3$ = 150 мл/л

Щелочность по $CaCO_3$ = 34 мг/л

при температуре 25°С:

pHs = (9,3 + 0,15 + 2,09) - (1,78 + 1,53) = 8,2

LSI = 7,5 - 8,2 = -0,7

при температуре 82°С:

pHs = (9,3 + 0,15 + 1,09) - (1,78 + 1,53) = 7,2

LSI = 7,5 - 7,2 = +0,3