

**Л.С. АЛЕКСЕЕВ, Е.В. ГЛАДКОВА,
Г.А. ИВЛЕВА, К.Р. ПОНОМАРЧУК**

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

**ЧАСТЬ I. ПРОФИЛАКТИКА ПОВРЕЖДЕНИЯ
КОММУНИКАЦИЙ И ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ВОДЫ**



Москва 2012

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВПО РОССИЙСКИЙ ГОСУДАСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Л.С.АЛЕКСЕЕВ, Е.В.ГЛАДКОВА, Г.А.ИВЛЕВА,
К.Р.ПОНОМАРЧУК

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И
ВОДООТВЕДЕНИЯ.
ЧАСТЬ I. ПРОФИЛАКТИКА ПОВРЕЖДЕНИЯ
КОММУНИКАЦИЙ И ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ

УЧЕБНИК

Допущен Министерством сельского хозяйства Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям 656800 «Водные ресурсы и водопользование» и 280100 «Природообустройство и водопользование»

Москва 2012

УДК 631.67.03(075.8)

Инженерные системы водоснабжения и водоотведения. Часть I. Профилактика повреждений коммуникаций и вторичного загрязнения воды: Учебник / Л.С.Алексеев, Е.В. Гладкова, Г.А.Ивлева, К.Р.Пономарчук / Рос. гос. аграр. заоч. ун-т. М., 2012.

Обобщён имеющийся успешный опыт борьбы со вторичным загрязнением воды при транспортировании её по водопроводным трубам и коллекторам водоотведения.

При составлении учебного пособия были использованы материалы научно-исследовательских институтов, конструкторских фирм, проектных организаций, опыт передовых хозяйств страны, а также учтены предложения профессорско-преподавательского состава ведущих вузов.

Данное учебное пособие предназначено в помощь студентам сельскохозяйственных вузов, обучающихся по направлениям 656800 «Водные ресурсы и водопользование» и 280100 «Природообустройство и водопользование» при изучении ими дисциплины «Инженерные системы водоснабжения и водоотведения»

Рецензенты: д.т.н. В.Г.Николаев (ГОУ ВПО Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства)
д.т.н., Л.В. Гандурина (ОАО «НИИ ВОДГЕО»)

Л.С.Алексеев, Е.В. Гладкова, Г.А.Ивлева, К.Р.Пономарчук 2012 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.	5
Введение.	6
Глава 1. Оценка эксплуатационной надёжности современных систем подачи, распределения и отведения воды.	9
1.1. Конструктивное оформление трубопроводных систем.	9
1.2. Методы измерения повреждений трубопроводов	19
1.2.1. Индексы коррозии и инкрустации.	20
1.2.2. Технологическая оценка	23
1.2.2.1. Карбонатные испытания воды.	24
1.2.2.2. Практические измерения стойкости конструкционных материалов труб в воде.	26
1.2.2.3. Определение изменения пропускной способности труб во времени.	34
1.3. Внутренние отложения в трубах.	35
1.3.1. Коррозионные инкрустации.	35
1.3.2. Солевые отложения.	37
1.3.3. Биологические обрастания.	38
1.3.3.1. Хозяйственно-питьевой водопровод.	38
1.3.3.2. Технический водопровод.	41
1.3.3.3. Коллекторы водоотведения	42
1.4. Анализ результатов наблюдений за состоянием действующих трубопроводных систем	43
1.5. Аварийность современных систем подачи и распределения воды.	51
Глава 2. Технические мероприятия по повышению срока службы трубопроводных систем	60
2.1. Оптимизация гидравлических режимов потокораспределения воды в коммуникациях.	60
2.2. Предотвращение аварийных утечек воды из труб.	61
2.3. Вентиляция систем водоотведения.	73
2.4. Регламентирование ремонтных работ на водоотводящих коллекторах.	77
2.5. Внутренние защитные покрытия.	80
2.5.1. Цементно-песчаные покрытия в водопроводных трубах.	81

2.5.2. Санирование водостоков	84
2.5.2.1. Строительное санирование.	84
2.5.2.3.Обновление	90
Глава 3. Снижение разрушающих свойств воды по отношению к коммуникациям.	93
3.1. Обескислороживание воды.	95
3.2. Реагентная и фильтрационная стабилизация воды.	98
3.2.1. Реагентная стабилизация воды	98
3.2.1.1.Коррекция углекислотно – кальциевого равновесия.	99
3.2.1.2.Ингибиторная обработка воды	108
3.2.1.3.Биологическая стабилизация воды.	111
3.2.2.Фильтрационная стабилизация воды.	115
3.3.Транспортный контроль загрязнения сточных вод	116
3.3.1.Снижение загазованности систем водоотведения.	116
3.3.2.Финишная сепарация взвешенной иловой фракции микрофильтрацией	125
Заключение.	130
Литературные источники.	132
Условные обозначения	135

ВВЕДЕНИЕ

Преждевременный износ водных коммуникаций и вторичное загрязнение транспортируемой по ним воды – два связанных между собой процесса. Так, при напорном режиме движения вторичное загрязнение питьевой воды происходит в результате коррозионного разрушения конструкционных материалов труб, растворения продуктов коррозии в ней, а также биологической нестабильности воды, приводящей к росту бактерий в трубах. В охлаждающих системах водоснабжения потеря качества воды имеет место при нагревании её, когда нарушаются её водносолевые равновесия и образуются трудноудаляемые отложения углекислого и сернокислого кальция, апатита и силиката. Кроме того, при аэрировании охлаждаемой воды в охладителях и хорошей освещённости там её дневным светом интенсифицируется жизнедеятельность водной растительности и простейших организмов, снижающих пропускную способность циркуляционных коммуникаций. Таким образом, для напорных трубопроводов характерны структурные и функциональные изменения.

К структурным дефектам стальных трубопроводов следует отнести: образование свищей (единичных или множественных сквозных отверстий различного размера и формы), вызванных воздействием внешней и внутренней коррозии труб, разрывом швов, образованием микротрещин и продольных трещин; истирание лотковой части трубопровода транспортируемыми твёрдыми включениями (песком). В качестве функциональных дефектов стальных трубопроводов можно рассматривать появление ржавчины на внутренних стенках труб, что приводит к их утончению и потере несущей способности трубопроводов, биообрастаний, бугристых наростов в виде уплотнённых оксидов железа, марганца, извести, инородных включений, проникающих в трубопроводы при любом вмешательстве извне (например, сварке, ремонте и замене запорно-регулирующей арматуры).

Наибольшая гамма патологий характерна для безнапорных трубопроводов. В самотечных коллекторах водоотведения образуются продукты полного биоокисления органических веществ, растворённых в сточных водах, - метан и сероводород, которые разрушают своды водоотводящих коллекторов и накапливаются в ёмкостях, затрудняя безопасное их обслуживание. По результатам теледиагностических исследований и обработки архивной документации МГУП «Мосводоканал» разработан каталог или классификатор повреждений (дефектов) самотечной водоотводящей сети, в котором представлены и описаны около 50 типов патологий [15].

В водопроводно-канализационном хозяйстве (ВКХ) к настоящему времени имеются следующие технологии по снижению транспортных проблем воды, связанных с её качественными деструкциями.

1. Использование коррозионно - и износостойких конструкционных материалов для изготовления водных коммуникаций и сооружений (пластмасса, цветные металлы и пр.).

2. Электрохимическая защита

3. Внедрение коррозионно-стойких внутренних покрытий и прочностных оболочек (цементно-песчаных, пластмассовых и др.).

4. Биологическая стабилизация очищенной питьевой воды путём финишной обработки её на очистных станциях водоснабжения с помощью медленных фильтров и обратноосмотических установок.

5. Углекислотная стабилизация очищенной питьевой воды известью, кальцинированной содой и др. щелочными реагентами.

6. Введение в очищенную воду ингибиторов коррозии и инкрустации (полифосфатов, силикатов, хроматов, кислот и др.).

7. Поддержание в напорных коммуникациях турбулентного режима движения воды.

8. Создание аэробных условий в самотечных системах транспортировки сточных вод с минимальной их турбулизацией, при этом коллектор водоотведения оборудуется клапанами сброса газов. В очистных сооружениях водоотведения - создание над ними кровли.

9. Переход на двухтрубную систему холодного водоснабжения, в которой по одной трубе перекачивается частично очищенная вода для хозяйственных нужд потребителей, а по другой – вода питьевого качества, прошедшая глубокую очистку и стабилизацию при минимальных общих затратах, поскольку потребность в ней, а следовательно и расход, значительно меньше, чем по другой трубе.

10. Внедрение безводных вакуумных систем удаления отходов из жилых, административных и производственных зданий.

Естественно, что каждая из этих технологий имеет свою область эффективного применения, но общим является необходимость привлечения значительных капитальных вложений для практической полномасштабной реализации большинства из них. Ведь суммарная протяжённость коммуникаций водоснабжения и водоотведения в г. Москва составляет половину длины экватора земли, а в г. Санкт-Петербург – треть его длины. Годовая потребность в воде этих городов – около соответственно 3 и 2,5 км³. Вместе с тем, (1) ежегодный рост издержек на ремонт повреждённых или разрушенных коммуникаций; (2) увеличение онкологических заболеваний, нарушение репродуктивных функций у людей, пьющих водопроводную воду; (3) экологический ущерб, связанный с преждевременным разрушением построенных строительных конструкций от повышения уровня грунтовых вод из-за аварийных протечек водных подземных коммуникаций выдвигают проблему продления срока службы коммуникаций и борьбы со вторичным загрязнением транспортируемой воды в число важнейших государственных задач. На их решение направлены Водный кодекс РФ

(2007 г.) и принятая Правительством России Концепция программы «Чистая вода России».

Некоторые из инновационных технологий уже внедряются в водном хозяйстве (нанесение внутренних покрытий и оболочек; вентиляция коллекторов водоотведения; биологическая и углекислотная стабилизация и др.), остальные находятся в стадии разработки и опытно-производственных испытаний.

В связи с этим представляется полезным в данном учебнике обобщить имеющийся успешный опыт борьбы с вторичным загрязнением воды при транспортировании её по водопроводным трубам и коллекторам водоотведения. Подготовка этого учебника осуществлялась авторами на основе анализа выполненных в РФ (в первую очередь, в гг. Москва и Санкт - Петербург), а также за рубежом работ по теме. Также приводятся результаты многолетних собственных исследований авторов по улучшению эксплуатационных характеристик различных коллекторов водоотведения и водопроводов в агропромышленном комплексе нашей страны и ряде пограничных стран.

Совершенствование технологических процессов и методов борьбы с вторичным загрязнением воды при транспортировании её по водопроводным трубам и коллекторам водоотведения было бы невозможно без теорий стабилизации качества воды и реновации коллекторов, в разработку которых громадный вклад внесли советские учёные И.Э.Апельцин, А.А.Говерт, В.И.Калицун и др. В дальнейшем развитие идей реновации водных коммуникаций продолжили в РФ В.А.Орлов, О.Г.Примин, С.В.Храменков, К.И. Чижик, А.Н. Рожков и др.

Авторы выражает признательность рецензентам: заведующему кафедрой «Гидравлики» ГБОУ ВПО Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства, докт. техн. наук В.Г.Николаеву и докт. техн. наук Л.В. Гандуриной (ОАО «НИИ ВОДГЕО»).

Глава 1. Оценка эксплуатационной надёжности современных систем подачи, распределения и отведения воды

1.1. Конструктивное оформление трубопроводных систем

Исторически так сложилось, что в качестве конструкционных для труб используются различные материалы. Раньше широко применяли камень, дерево и свинец. В настоящее время они заменены на чугун, асбест и сталь в крупных водоводах и медь, оцинкованное железо и пластмассу – в водораспределительной сети.

Водопроводная и водоотводящие сети городов служат одним из самых уязвимых элементов в системах водоснабжения и водоотведения и в тоже время - наиболее дорогим элементом комплекса водоснабжения любого большого города. По данным МЧС РФ, аварии, связанные с выходом из строя морально и физически устаревшего оборудования коммунальных сетей, составляют 31% от общего количества чрезвычайных ситуаций, уступая лишь пожарам и взрывам (31%). Стоимость систем подачи и распределения воды составляет от 40 до 70% стоимости всего комплекса водоснабжения города. В связи с этим поддержание высокой работоспособности систем транспортирования воды остается для городских коммунальных служб приоритетным.

В настоящее время в РФ в эксплуатации находится около 1 млн км подземных трубопроводов жилищно-коммунального хозяйства, в том числе 523 тыс. км водопроводов. К ним добавляется около 3 млн км внутридомовых трубопроводов систем холодного и горячего водоснабжения, где свыше 95% занимают стальные оцинкованные трубы.

Срочного ремонта требуют 92 тыс. км городских водопроводных сетей, т.е. около 20%, а из 163 тыс. км городских безнапорных водоотводящих трубопроводов - 58 тыс. км, т.е. около 30% сетей.

Из действующих трубопроводов более половины поражены внутренней коррозией и имеют другие дефекты, а 50 тыс. км коммуникаций находятся в предаварийном состоянии.

Как ни парадоксально, высоконапорные, высокопрочные стальные трубы, которые в системе коммунального водоснабжения задействованы лишь на 2-3% прочности, явились самым слабым звеном в жилищно-коммунальном комплексе. При отсутствии надёжной наружной и внутренней гидроизоляции стальные трубы в высокой степени подвержены электрохимической коррозии, что и приводит к снижению фактического срока их службы в 3-4 раза против нормативного.

На рис.1.1 показаны гистограммы характерных отношений между основными техническими показателями работы водопроводов в группах из разных городов мира.

На рис.1.1а и 1.1б эти отношения названы коэффициентом запаса «К». Они обозначают частное от деления располагаемой станциями мощностью

водоподачи на максимальное суточное водопотребление и вместимости резервуаров чистой воды на среднесуточное водопотребление.

Из рис. 1.1 видно, что для систем водоснабжения больших городов в экономически развитых странах характерно наличие значительных резервов установленной мощности головных сооружений и пропускной способности водоводов и распределительных магистралей. В группе городов с водоочистными станциями средняя величина коэффициента запаса производительности этих станций по отношению к максимальному суточному водопотреблению составляет 2,35 и, как видно из гистограммы на рис. 1а, почти в половине данной группы городов этот показатель превышает 1,3.

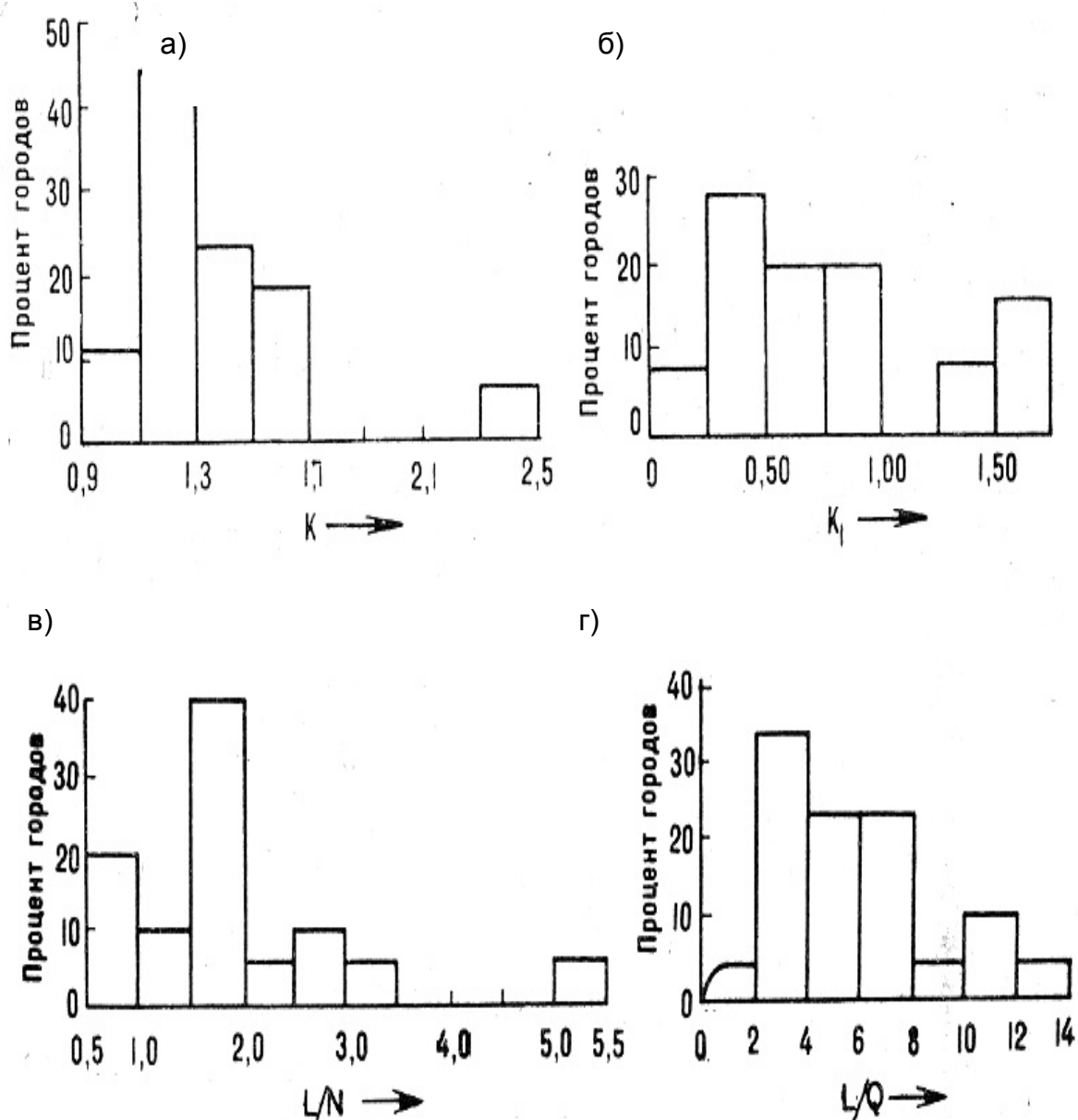


Рис.1.1.Распределение городов по коэффициенту запаса K производительности водоочистных станций «а», вместимости резервуаров чистой воды «б», протяженности водоводов и водопроводной сети (L , км) на 1000 жителей (N) «в» и на $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ водопотребления (Q) «г».

Следует также добавить, что большинство систем водоснабжения больших городов за рубежом располагает значительной вместимостью резервуаров чистой воды по отношению к среднесуточному водопотреблению (1.1б).

Системы подачи и распределения воды в больших городах характеризуются значительной протяженностью трубопроводов, как абсолютной, так и удельной - в расчете на 1000 жителей (1.1в) или на среднесуточное водопотребление (1.1г).

Средняя величина протяженности водоводов и уличной водопроводной сети в расчете на 1000 жителей по 30 городам составила около 2 км с минимальными значениями 0,6-0,7 в Лиссабоне и Александрии и максимальными - 5,2 км в Мельбурне и Сиднее. В расчете на пропуск 1000 м³/сут воды наибольшая протяжённость трубопроводов составила свыше 10 км для Брюсселя, Копенгагена, Мельбурна и Сиднея, наименьшая (до 3 км) для Парижа, Рима, Рио-де-Жанейро и некоторых других городов.

Система подачи и распределения воды в г.Москве включает в себя 10,5 тыс.км водопроводной сети, 10 городских насосных станций и 6 регулирующих узлов. Общая вместимость регулирующих узлов составляет 1,2 млн м³, водопроводная сеть - радиально-кольцевая. 72,3% водопроводных сетей г.Москвы составляют стальные трубопроводы, 25,9% - чугунные, 1,8% - из искусственных материалов.

В последние годы проблему обеспечения требуемой надежности и эффективности функционирования городской водопроводной сети Москвы существенно осложняет процесс сокращения водопотребления в Москве.

Согласно утвержденным Правительством Москвы нормам и правилам проектирования планировки и застройки Москвы, водопотребление принято в размере 370 л/сут на человека. Проведённые гидравлические расчеты распределительной сети на примере одного из новых районов г.Москвы показали, что при снижении расчетного значения удельного водопотребления до 370 л/сут на человека скорости движения воды в распределительной сети, даже с учетом расходов на пожаротушение в часы максимального водопотребления, составляют от 0,04 до 0,53 м/сек для диаметра 300 мм.

Очевидно, что снижение среднесуточной подачи воды, рост вместимости водоводов и резервуаров питьевой воды регулирующих узлов привели к целому ряду технических проблем и, в первую очередь, к снижению скоростей движения воды, образованию застойных зон, ухудшению режима обмена воды, изменению качества воды в распределительной сети, что в конечном итоге привело к удорожанию эксплуатации распределительной сети.

В зависимости от материала труб применяют в основном раструбные, сварные, резьбовые, муфтовые, фланцевые и клеевые соединения. С помощью раструбного соединения прокладывают трубопроводы из чугуна, железобетона, керамики и полимерных материалов. Сварные и резьбовые соединения характерны для стальных труб. Муфтовые соединения с

резиновыми уплотнителями чаще всего используют для соединения асбестоцементных труб. Трубопроводы с фланцевыми соединениями в основном устраивают из стальных труб.

Среди материалов на основе железа чугунные трубы знаменательны тем, что в некоторых старых городах находятся в эксплуатации более века. Первые трубы из серого чугуна (чугун, содержащий небольшие количества примесей, таких как элементарные магний или церий, добавляемых для уменьшения хрупкости) были отлиты ещё в 1465 г. Для уменьшения коррозии чугуна сейчас практикуют нанесение внутренних битумных и (или) цементно-песчаных покрытий, хотя в прошлом чугунные трубы укладывали как без изоляции, так и с гудроновым покрытием.

Срок эксплуатации в грунтах чугунных труб более длителен по сравнению со стальными. Объясняется это большей толщиной стенок чугунных изделий и наличием литейной корки на поверхности изделий, отлитых в песчаные формы.

В некоторых видах почв чугун подвержен особой форме коррозии, известной под названием «графитизация». В результате избирательного растворения феррита на поверхности чугуна остаётся слой из продуктов коррозии и таких составляющих чугуна, как графит, карбиды, оксиды железа и некоторые другие соединения. Эта масса сохраняет исходную форму изделия, но так мягка, что легко может быть разрезана ножом.

В последние десятилетия как альтернатива трубам из серого чугуна и стали нашли широкое применение трубы из высокопрочного чугуна с шаровым графитом (ВЧШГ). Первая экспериментальная труба была отлита в США в 1948 г. На сегодняшний день лидером в производстве и использовании труб из ВЧШГ (по зарубежной терминологии ковкого чугуна) кроме США, являются Канада, Франция, ФРГ, Швейцария, Австрия и Китай. Проведённые в нашей стране длительные испытания труб из ВЧШГ (ТУ 14-3-1848-92 и ТУ 14-161-172-99) показали, что их коррозионная стойкость в 4-5 раз превышает стойкость стальных труб. Трубы из ВЧШГ обладают механическими характеристиками, близкими к углеродистой стали. Эти трубы по прочности не уступают стальным, хорошо механически обрабатываются и обладают минимальной аварийностью. Зарубежная статистика показывает, что число аварий на водопроводах из ВЧШГ в 10 раз меньше, чем на трубопроводах из стали или серого чугуна и в несколько раз меньше, чем на трубопроводах из поливинилхлорида (ПВХ). Высокие прочностные характеристики чугуна с шаровым графитом обусловлены тем, что в отличие от серого чугуна он имеет микроструктуру (рис. 1.2) не в виде графических пластинок (а), а с углеродными компонентами в виде шаров (б), что ведёт к резкому снижению его ломкости (хрупкости), характерной для серого чугуна.

Трубы из ВЧШГ не боятся точечных нагрузок, что является проблемой, например, для полиэтиленовых труб, а также механических ударов, вакуума и гидравлического удара. Кроме того, разработана и серийно освоена технология сварки труб из ВЧШГ как между собой, так и

со стальными изделиями, что позволяет отказаться от менее надёжных раструбных соединений - постоянного источника аварийных протечек воды из чугунных трубопроводов.

Липецкий металлургический завод «Свободный сокол» выпускает трубы ВЧШГ согласно ТУ 14-154-23-90, которые соответствуют требованиям международного стандарта ИСО 2531. Производство труб из ВЧШГ методом центробежного литья уменьшает толщину стенки трубы и, соответственно, их массу при сохранении высоких механических характеристик.

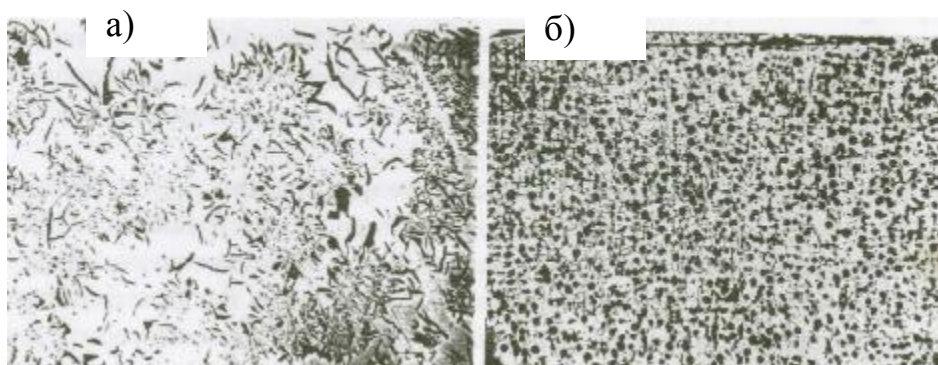


Рис.1.2. Структура серого чугуна (а) и чугуна с шаровидным графитом (б)
(снимок выполнен при увеличении шлифа в 100 раз)

Основными видами повреждений чугунных трубопроводов являются разгерметизация раструбных соединений, а также переломы и разрушения труб вследствие подвижек (просадка, вспучивание, оползни и пр.) основания и больших внешних статических и динамических нагрузок. Кроме того, для чугунных трубопроводов в такой же степени, как и для стальных, характерны минеральные отложения и биологические обрастания с соответствующими последствиями.

В условиях применения трубопроводов из ВЧШГ и долговечной запорно-регулирующей арматуры особое значение имеет выбор материалов крепежных изделий, обеспечивающих герметичность фланцевых и раструбных соединений в течение всего срока эксплуатации. Опыт применения крепежа из низкосортных углеродистых сталей показал, что срок службы пары болт - гайка не превышает 15 лет при самых благоприятных условиях. Как правило, в течение 5 лет эксплуатации крепежные изделия, установленные в камерах и колодцах, требуют замены из-за коррозионных разрушений. Большая часть крепежа (по разным оценкам от 15 до 30%) выходит из строя в течении 2 лет эксплуатации. Причиной интенсивной коррозии крепежа является высокая влажность воздуха в местах его установки, высокое солесодержание за счет попадания противогололедных реагентов, наличие конденсата на крепеже, наружных стенках трубопроводов и арматуры даже в теплый

период года. Все эти факторы приводят к тому, что поверхность крепежных изделий постоянно покрыта концентрированным соевым раствором с высоким содержанием растворенного кислорода.

Для обеспечения долговечности крепежа в МГУП «Мосводоканал» проводятся исследования по выбору оптимальных материалов и методов их антикоррозионной защиты. Достигнуты следующие результаты.

При использовании крепежа из стали 12Х18Н10Т увеличение момента закручивания с определенной величины не приводит к пропорциональному росту растягивающего усилия. Приложенное усилие тратится не на стягивание фланцевых соединений, а на преодоление трения в паре болт-гайка. Высокое трение вызывает повреждение поверхности, ведет к развитию процессов микросварки и в последствии - к заеданию резьбового соединения. Такое поведение резьбовых соединений из нержавеющей стали 12Х18Н10Т обусловлено двумя основными факторами: отсутствием плотных окисных пленок на поверхности свинчиваемых деталей и низким пределом текучести рассматриваемой стали.

Низкий предел текучести нержавеющей стали 12Х18Н10Т приводит к возможности легкого повреждения резьбы при транспортировании, хранении и сборке метизного крепежа. Возникающие дефекты способствуют увеличению трения и соответственно заеданию резьбы при закручивании.

При производстве работ на водопроводной сети с крепежом из стали 12Х18Н10Т необходимо применение консистентных графитосодержащих смазок. Перспективно применение крепежных изделий, прошедших термодиффузионное цинкование (ТДЦ), в результате которого повышаются их прочностные и антикоррозионные свойства [12].

Стальные водопроводные трубопроводы должны эффективно эксплуатироваться в течение 20, а чугунные - 60 лет. Однако старение коммунальных сетей водоснабжения и водоотведения, снижение их пропускной способности может наступить и в более ранние сроки (через 5-10 лет после прокладки) из-за влияния отдельных или совокупности ряда следующих факторов: несоответствия материала труб условиям эксплуатации, нарушения условий прокладки трубопроводных систем в соответствующих грунтах, агрессивного характера вод, коррозии стенок, возможности накипеобразований (в случае эксплуатации трубопроводов горячего водоснабжения), биообрастаний (в водоводах первого подъема, трубопроводах технического водоснабжения и напорных коллекторах водоотведения) и т.д.

Основными видами повреждений (дефектов), вызывающих аварии на водопроводных сетях являются: для стальных труб - сквозные проржавления, свищи (до 70 % по опыту Московского водопровода); для чугунных труб - нарушение герметичности раструбных соединений (до 12 %) и переломы труб (16 %). Преобладающее количество повреждений приходится на трубы малых диаметров (до 200 мм), что составляет около

75 % их общего количества. Главные причины повреждений водопроводных трубопроводов - износ труб, низкое качество материала, избыточные напоры, наружная и внутренняя коррозия, резкие сезонные перепады температуры и другие факторы. Существует два вида защиты металлических труб от коррозии: пассивный и активный. К пассивным методам относится изоляция наружной и внутренней поверхности труб или покрытие их специальными оболочками; к активным – электрохимическая защита. Из-за значительных затрат электроэнергии активная защита целесообразна как дополнительная защита труб.

Оцинкованные стальные трубы используются в основном в небольших водоводах, водоразборной сети и системах внутреннего водоснабжения.

В южной Калифорнии возникла проблема частых аварий из-за питтинга новых оцинкованных труб на домовых вводах. В результате судебного разбирательства, возбуждённого группой домовладельцев против водопроводных компаний, была установлена справедливость претензий домовладельцев. В некоторых трубах сварные швы делали внутреннюю поверхность труб неровной. Коррозионные питтинги наблюдались в точках, расположенных в стороне от шва, но когда питтинг развивался, он достигал самого шва и быстро разрушал трубу за счет образования сквозных прорывов. Многие трубы в домах разрушались таким образом, приводя домовладельцев к заключению, что трубы плохо сварены. Возможные факторы, стимулирующие питтинг, включают в себя: качество труб, присутствие растворённой меди и потенциальное реверсирование. Присутствие даже небольших количеств меди иногда является важным фактором интенсивного образования и роста питтинга на оцинкованном железе.

Качество оцинкованных труб в большинстве американских кадастров регламентируется трубными спецификациями ASTM A-120. Эти трубы предназначены для транспортирования пара, воды, газа и воздуха. Нет специальных механических испытаний этих труб, за исключением заводских испытаний под гидростатическим давлением. В РФ они нормализуются ГОСТом 3262-75 как водогазопроницаемые трубы.

Средняя масса цинкового покрытия регламентируется при минимальных отклонениях массы и диаметра. При одинаковых длине и диаметре масса оцинкованных труб на 3-4% больше массы чёрных труб (неоцинкованных стальных и чугунных труб).

Нет однозначного ответа, является ли цинковое покрытие стальных труб надёжной гидроизоляцией. Опыт их эксплуатации в г. Москве не позволяет ответить на этот вопрос утвердительно – фактически срок их службы в 2-3 раза ниже нормативного, и уже через 5-6 лет эксплуатации насосы, подобранные по шероховатости новых стальных труб (~0,15 мм), не справляются с работой, в результате чего верхние этажи жилых домов оказываются без воды. Выполненные измерения показывают, что гидравлическая шероховатость оцинкованных труб через 16 лет

эксплуатации в системах горячего водоснабжения жилых зданий Москвы достигла 20-22 мм.

Водогазопроницаемые трубы выпускаются с цилиндрической резьбой на концах и муфтами с той же резьбой из расчёта одна муфта на каждую трубу. Резьбу допускается использовать, если общая длина повреждённых ниток (срыв, неполнота ниток не превышает 10% всей длины резьбы). Однако, практика эксплуатации внутренних систем водоснабжения показывает, что аварийные разрушения труб при скачках давления воды в сети чаще всего случаются в резьбовых соединениях труб, поскольку в этих местах толщина их стенок уменьшена на глубину нарезки нитки.

Ранее свинец широко использовался в водоразборной сети и системах внутреннего водоснабжения из-за его пластичности и относительной долговечности. В свою очередь, долговечность свинца обуславливается низкой скоростью его коррозии в воде и его более высокой стойкостью к ржавлению по сравнению со стальными трубами.

Трубы, изготовленные из свинца, были впервые использованы в качестве водопроводных в г.Риме. Применение свинца в водопроводе начало сокращаться в 19-ом веке, когда железо стало конкурентноспособным как материал для изготовления труб. Некоторые водопроводы всё ещё используют свинцовые вводы между магистральными водоводами и внутренними трубопроводами. Однако эта практика быстро сокращается из-за широко распространённой тревоги по поводу опасности для здоровья населения продуктов коррозии свинца, растворяющихся в питьевой воде. Роль свинца в распространении среди населения гипертонии, почечном недостаточности и умственной отсталости выявляется в связи с использованием свинцовых труб для перекачки мягких кислых вод.

Во Франции использование свинцовых трубопроводов в системах внутреннего и наружного водопровода на вновь строящихся и реконструируемых объектах запрещено специальным Декретом, принятым в 1995 г. Начиная с 1996 г., на действующих системах городского водоснабжения проводится кампания по замене свинцовых труб на трубы из других материалов. Однако на сегодняшний день в жилом секторе ещё остаётся около 3,9 млн единиц свинцовых вводов и подводящих трубопроводов, подлежащих замене, что составляет в среднем по регионам почти 40% от общего их количества. В некоторых жилых зонах количество свинцовых труб на вводах водопровода превышает 60% (например, в Париже с предместьями, юго-восточных регионах Франции), в других не выходит за рамки 20% (например, в департаменте Rhon-Alpes).

Современные французские нормы качества питьевых вод лимитируют содержание свинца до 0,05 мг/л. По истечению 15 лет предусматривается снижение предельно допустимой концентрации свинца в воде до 0,01 мг/л.

Присутствие ионов свинца в питьевой воде может являться результатом контакта ее с составляющими материала трубы, т. е. самой свинцовой трубой или контакта со свинцовой заделкой в раструбах

трубопроводов из других материалов (например, чугуна). Не исключается определенное влияние на рост концентрации ионов свинца в воде наличие на свинцовых трубопроводах арматуры из сплавов на основе меди и цинка, которые провоцируют появление гальванической пары. На интенсивность перехода ионов свинца в транспортируемую воду оказывает влияние величина рН. Необходимо отметить, что большие концентрации ионов свинца часто наблюдаются в воде внутреннего водопровода. Данное обстоятельство объясняется рядом факторов:

- медленной скоростью движения воды в подводящих свинцовых трубопроводах ввода, т. е. большим временем контакта воды со стенками трубы;

- малым диаметром вводов и подводящих к водоразборной арматуре трубопроводов, что увеличивает площадь контакта воды и стенок труб;

- возрастающей скоростью коррозии стенок труб при увеличении температуры транспортируемой воды; температура воды на вводе и в подводящих трубопроводах может возрасти за счёт стагнации и медленного её движения: при изменении температуры с 10 до 20°С концентрация свинца в воде увеличивается в 2 раза, особенно для маломинерализованной воды.

Одним из главных путей контроля загрязнения воды свинцом в водопроводных системах из медных труб является использование припоев не на свинцовой основе, например, оловянно-сурьмяных в пропорции соответственно 35:5 вместо традиционных свинцово-оловянных (50:50). Оловянно-сурьмяный припой при внедрении встречает затруднения.

С 1950 г. XX-ого века медные трубы постепенно заменялись оцинкованными главным образом в системах внутреннего водоснабжения, вследствие чего коррозионное воздействие на медь часто сопровождается неблагоприятными побочными эффектами, например, позеленением воды при растворении в ней продуктов коррозии меди. Это, в свою очередь, обуславливает появление голубых и зелёных пятен в свинцовых креплениях. В результате коррозии меди вода приобретает неприятный вкус [22].

Пластмассовые материалы во всё увеличивающихся размерах используются также в системах водоснабжения. Впервые полимер был получен в 1884 г. в России путём полимеризации этилена в присутствии бромистого алюминия. Для наружной прокладки находят применение трубам из следующих полимерных материалов (или пластмассовых): полиэтиленовые, поливинилхлоридные (винилпластовые), полипропиленовые и стеклопластиковые.

По сравнению со стальными они обладают большей химической стойкостью. Гидравлический удар, возникающий, в трубопроводах из пластмассовых труб значительно слабее из-за более низкого модуля упругости. Они не подвержены электрохимической коррозии. Вероятность разрушения этих трубопроводов при замерзании в них воды мала. Применение этих труб ограничено из-за низкой сопротивляемости к

раздавливанию, значительного коэффициента линейного расширения при повышенных (более 40°C) температурах, низкой теплостойкости и склонности к старению.

Существует особая разновидность полипропиленовых труб – *композитные трубы*, которые производятся путём добавки в продукт тонкого слоя экструдированного алюминия. Наличие алюминиевого слоя снижает коэффициент линейного расширения материала, делает трубу кислородонепроницаемой, повышает прочность и стойкость к высоким нагрузкам при меньшей толщине стенок.

На прочность соединяемых труб влияет качество зачистки концов этих труб. На рис.1.3 приведена фотография фрагмента полипропиленовой трубы, установленной в системе отопления жилого дома. Выноской показаны последствия неудовлетворительной очистки концов труб от алюминиевого слоя, приведшей сначала к образованию каналов в местах сварки труб, а в дальнейшем – к локальным вздутиям на поверхности трубы.

Процесс формирования вздутий следующий. При первом запуске системы отопления ещё не разогретый теплоноситель из внутреннего пространства труб через дефектное место в их стыковой сварке перемещается в межслойные каналы в стенке трубы и продвигается вдоль алюминия на некоторое расстояние. При повышении температуры теплоносителя задержанная в межслойных каналах труб вода расширяется и образует вздутия, что не допускается по ГОСТ Р-52134-2003 «Трубы напорные из термопласта и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления». При дальнейшей работе котла водопроницаемость межслойных каналов труб уменьшается как вследствие большего теплового расширения полипропиленовых слоёв по сравнению с фольгой, так и из-за забивки межслойных каналов трубы накипным шламом, образующимся из растворённых в теплоносителе солей, а также взвешенными в теплоносителе частицами окалина, что характерно для пускового периода эксплуатации котлового оборудования. В результате новые вздутия не образуются.



Рис. 1.3. Фотография фрагмента полипропиленовой трубы, установленной в системе отопления жилого дома со вздутием на её внешней поверхности.

Стеклопластиковые трубы изготавливаются по технологии Technobell Ltd. London уже более 40 лет и применяются для систем бытового и производственного водоснабжения и водоотведения, а также санации действующих трубопроводов. Для обеспечения необходимых физико-механических свойств стенки этих труб формируется из трёх слоёв на основе армированных стекловолокном термореактивных полиэфирных смол, песчаного наполнителя и стеклоткани.

Абсолютная шероховатость внутренней поверхности стеклопластиковой трубы, составляющая 23 мк, устойчивость к коррозии и отсутствие отложений позволяют трубам из стеклопластика иметь преимущество по гидравлическим характеристикам перед трубами из других материалов и снизить затраты на электроэнергию по транспортировке воды на 25-30%. Стоимость стеклопластиковых труб сопоставима с трубами из других материалов и уменьшается с увеличением диаметра.

Стеклопластиковые трубы из полимерных композиционных материалов выпускают компании «Amiantit», «Hobas», «ТсТ Technobell», Актюбинский завод неметаллических труб.

К недостаткам стеклопластиковых труб, по исследованиям АН Республики Беларусь, можно отнести недостаточную стойкость к истиранию, обуславливающую износ внутреннего слоя, появление оголенного стекловолокна, подвергающегося под действием воды гидролизу, и попадание в воду отщепляющихся частиц волокна.

Предварительно напряжённые железобетонные трубы [30] широко используются для магистральных водоводов большого диаметра, в то время как асбестоцементные трубы находят применение как для магистральных водоводов, так и водопроводной сети. В г. Санкт-

Петербург водоотводящие сети из железобетона составляют 87 % от всей протяжённости сети, так как они выпускаются большими диаметрами, чем керамические, и отличаются повышенной стойкостью к абразивному износу.

Материалом для изготовления бетонных труб является затвердевшая смесь специальных марок цемента, песка, гравия, щебня и воды. Железобетонными трубами называют бетонные трубы, усиленные стальной арматурой. Предварительно напряжённые железобетонные трубы представляют собой трёхслойную оболочку: стальной сердечник с навитой на него спиральной арматурой и покрытый изнутри и снаружи ЦПП. В нашей стране освоена технология изготовления ребристых труб с внутренней полиэтиленовой облицовкой, предохраняющей бетон от агрессивного воздействия транспортируемой воды или от газовой коррозии и обеспечивающей полную водонепроницаемость стенок.

Асбестоцементные трубы изготавливают из смеси портландцемента марки 400 (85% по массе), асбеста и воды (на каждый кг смеси добавляют 4-5 л воды). Иногда трубы из асбестоцемента изолируют.

Стоимость асбестоцементных труб значительно ниже стоимости металлических, железобетонных и даже керамических, что наряду с их высокой коррозионной стойкостью и небольшой массой является преимуществом. К недостаткам труб следует отнести хрупкость и сложность монтажа, особенно в зимнее время.

Керамические трубы применяются при устройстве безнапорных сетей, транспортирующих производственные и бытовые сточные воды, для водостоков, прокладываемых в местах с агрессивными грунтовыми водами, а также для дренажных систем.

Археологические раскопки показывают, что керамические (глиняные, гончарные) трубы были одними из первых, которые использовал человек для транспортирования питьевых и сточных вод.

Керамические трубы обладают следующими преимуществами: долговечностью, стойкостью против агрессивных жидкостей, а также дешёвой сырьём для их изготовления. К недостаткам керамических труб следует отнести небольшую механическую прочность, усложняющую их транспортирование и хранение, а также относительно небольшую длину, что затрудняет монтаж сетей самотечной системы водоотведения.

Причинами повреждений напорных железобетонных труб аналогичны чугунным. Кроме того, свою герметичность они могут терять вследствие развития микротрещин, образовавшихся в процессе транспортировки и монтажа.

1.2. Методы измерения повреждений трубопроводов

Эти методы можно разделить на камеральные, представляющие собой расчётные оценочные значения индексов коррозии, и технологические, основанные на экспериментальных замерах.

1.2.1. Индексы коррозии и инкрустации

Идеальный коррозионный индекс должен позволять производить прогноз коррозионного поведения воды на основе использования доступных показателей её качества. Хотя число индексов увеличивается, идеального индекса пока не создано даже для применения при ограниченных условиях перекачки воды.

Некоторые из существующих индексов дают общее указание о целесообразности применения одного из альтернативных методов водоподготовки, но не предназначены для прямого измерения скоростей коррозии.

В течение первой половины двадцатого века одним из наиболее разработанных в химии водопроводных вод был индекс насыщения карбонатом кальция, предложенный профессором калифорнийского университета в Беркелей У.Ф.Ланжелье.

Работа Ланжелье стала возможной в результате обобщения исследований по химическим равновесиям и появления рН-метров, что позволило обеспечить инструментально оценку степени насыщения воды карбонатом кальция. Этот индекс назван именем Ланжелье.

Одно время казалось, что достижение водой насыщения по карбонату кальция является основным мероприятием для контроля коррозии железа в водопроводных трубах. Если раствор будет приведён в состояние пересыщения карбонатами кальция, то на внутренней поверхности труб будет образовываться защитная плёнка, предохраняющая их от воды. Ранее по этой тематике были проведены исследования выдающимся немецким химиком Тилльмансом.

Ланжелье предложил термин "рН насыщения" (pH_S), при котором общая щёлочность и кальциевая жёсткость находятся в равновесии друг с другом и твёрдой фазой карбоната кальция. Ланжелье также внедрил индекс насыщения, который представляет собой разницу между измеренным значением рН и pH_S , т.е.

$$I = pH - pH_S \quad (1.1)$$

Здесь $pH_S = pK_2 - pPP_{CaCO_3} - \lg [Ca^{2+}] - \lg Щ + p(\gamma_{Ca} * \gamma_{HCO_3}) + 6,3$,

где pH_S – гипотетическая величина рН, отвечающая состоянию стабильности анализируемой воды; Са и Щ – концентрации в воде соответственно кальция в мг/л и щёлочности в мг-экв/л; $p(\gamma_{Ca} * \gamma_{HCO_3})$ – отрицательный логарифм произведения коэффициентов активности соответствующих ионов; pK_2 и pPP_{CaCO_3} – отрицательные логарифмы соответственно константы второй ступени диссоциации угольной кислоты и произведения растворимости карбоната кальция.

Состояние насыщения карбонатом кальция, таким образом, определяется значением индекса Ланжелье:

$I < 0$ - водный раствор ненасыщен CaCO_3 (склонен к растворению CaCO_3),

$I = 0$ - раствор находится в состоянии равновесия с CaCO_3 и

$I > 0$ раствор пересыщен CaCO_3 (склонен к осаждению CaCO_3).

Ориентировочно (без учета процесса образования ионных пар в растворе) такую проверку можно произвести по номограмме, приведенной на рис. 1.4.

Номограмма построена на основе уравнения Ланжелье, в котором поправка на активность выполнена по формуле Дэвиса. Номограмма позволяет находить величину pH_s при известных содержании кальция (Ca), солесодержании (P), температуре ($t^\circ\text{C}$) и общей щёлочности (Щ).

Как видно из примера, также приведенного на рис.1.4, величина pH_s определяется геометрической суммой отрезков l_1 и l_2 , откладываемых на нижней шкале номограммы. В том случае, когда суммарная длина этих отрезков превосходит, как это имеет место в примере, величину 9,0 (предельно допустимое значение pH для питьевых целей), стабилизация воды известью невозможна. Одновременно по этой же номограмме можно решать и другие задачи стабилизационной обработки воды. С её помощью, например, нетрудно установить по известным P, t и Щ, минимально необходимую концентрацию кальция в воде, при которой возможна стабилизация известью.

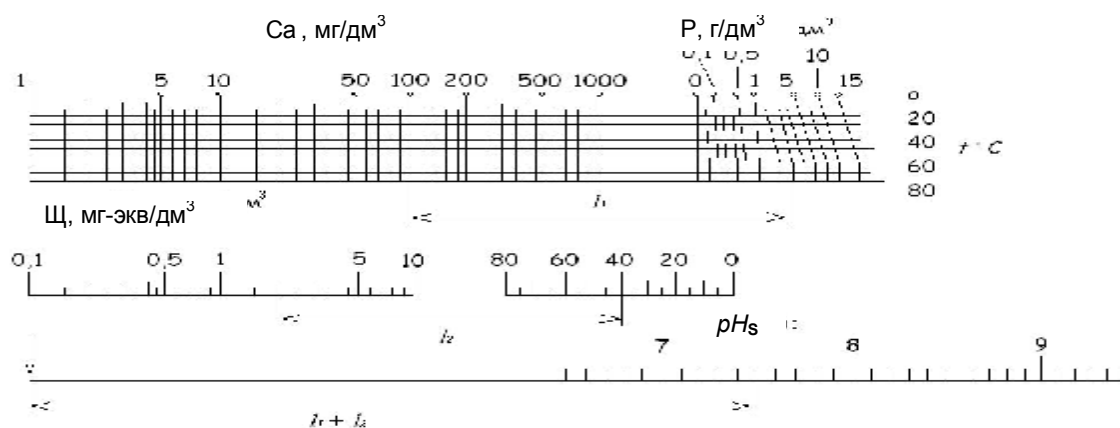


Рис. 1.4. Номограмма для определения pH_s

Для этого от отрезка, помеченного двумя вертикальными стрелками (одна на шкале при $\text{pH}_s = 9,33$; другая левее этой шкалы), надо геометрически отнять соответствующий исходным t и Щ, отрезок l_2 , а остаток отложить от точки на шкале P, отвечающей исходному солесодержанию, в направлении шкалы Ca, на которой и определится концентрация кальция.

Аналогичным образом по той же номограмме можно найти значения для щелочности и температуры, при которых возможна стабилизация воды известью при $\text{pH}_s \leq 9$. Очевидно, что номограмма рис. 1.4 пригодна и при установлении водопотребителями других максимальных значений pH_s в качестве норматива.

В практике коммунальных водопроводов при добавлении к перекачиваемой воде соды или извести повышают индекс насыщения к слегка положительному значению. Вследствие этого, как показывает опыт эксплуатации, жалобы на изменение окраски воды из-за загрязнения её продуктами коррозии железа уменьшаются.

С другой стороны, применение индекса насыщения для регулирования коррозии или образования отложений CaCO_3 подвергается сомнению. Сказанное иллюстрируется данными, которые показывают плохую корреляцию между индексом Ланжелье и скоростью формирования отложений. Хотя рН насыщения имеет рациональную основу, сущность индекса насыщения сама по себе эмпирическая. Несмотря на это, химия карбоната кальция является предметом широкого интереса.

После оригинальных исследований Ланжелье было предпринято ряд попыток усовершенствовать индекс, облегчить его определение или продемонстрировать его использование. Некоторые исследователи предложили альтернативные индексы, связанные с насыщением воды карбонатом кальция. Наиболее заметными из них являются индекс движущей силы, мгновенного избытка, индекс Ризнера и индекс агрессивности. В основе этих индексов заложены те же концепции, что и при разработке индекса Ланжелье.

Возможно, химия карбоната кальция в воде лучше всего характеризуется тремя факторами: свободной энергией движущей силы реакции осаждения CaCO_3 ; способностью осажждать карбонат кальция (СОКК) и буферной интенсивностью насыщения карбонатом кальция.

Свободная энергия движущей силы реакции осаждения CaCO_3 (ΔG) является количественной мерой энергии, способной продуцировать реакцию осаждения CaCO_3 . Нетрудно показать, что ΔG влияет на скорость реакции осаждения. Исходная ΔG должна быть втрое увеличена, чтобы обеспечить кристаллическое, ядрообразование CaCO_3 . ΔG связана с индексом Ланжелье (рис.1.4) следующим образом.

$$\Delta G = - 2,3 * R * T * I,$$

где R – универсальная газовая постоянная, T-температура воды⁰K.

Карбонат кальция спонтанно осаждается из водного раствора, когда ΔG меньше, чем диапазон от -20,9 до 29,3 кДж/М. При использовании состояния насыщения карбонатом кальция для контроля ржавой воды ΔG достаточно поддерживать около -2,1 кДж/М. Эти показатели должны быть использованы с осторожностью для вод с низкой щёлочность или жёсткостью, так как даже в случае пересыщения они имеют ограниченную способность осаждения защитных плёнок карбоната кальция. Это приводит нас к необходимости введения индекса СОКК.

СОКК представляет собой количество карбоната кальция, которое будет осаждаться или растворяться соответственно из воды или в воде,

когда она приходит в равновесие с твёрдой фазой карбоната кальция. Этот показатель называют ещё *потенциалом осаждения карбоната кальция*. Буферная интенсивность насыщения CaCO_3 измеряет чувствительность насыщенного карбонатом кальция водного раствора к изменению щёлочности. Этот индекс представляет особый интерес, так как измеряет чувствительность насыщенного CaCO_3 водного раствора к внешним воздействиям.

В США Стамм, наблюдая сильные изменения состава водного раствора в районе корродирующего электрода, предложил использовать буферную интенсивность как меру способности растворов сопротивляться изменению рН при добавлении кислоты или основания, что, в свою очередь, может служить хорошим индикатором коррозионности воды. Буферная интенсивность определяется следующим образом

$$\beta = \frac{\Delta \text{Щ}}{\Delta \text{pH}} .$$

Если буферная интенсивность велика, то в гетерогенной системе трудно сместить рН воды и тем самым ускорить коррозионную реакцию. Поэтому при прочих равных условиях скорость коррозии будет уменьшаться; желательно значение буферной ёмкости выше 0,5 мг-экв/(л*ед.рН).

Разработано несколько эмпирических индексов в попытке связать коррозионность воды с её составом. Один из наиболее ранних - индекс Риддика, включающий комбинацию параметров качества воды: щёлочность, жёсткость; концентрацию кислорода, диоксида углерода, кремния, азота и хлорида. Риддик предположил, что воды, имеющие индекс менее 5, исключительно некоррозионны, между 6 и 25 - некоррозионны, 26 - 50 - средне коррозионны, 51-75 - коррозионны, 76 - 100 (и более) - очень коррозионны. По-видимому, этот индекс имеет значение для мягких вод, которые часто обнаруживают в северо-восточной части США, где индекс был разработан (где-либо ещё он менее пригоден).

Другие исследователи пытались разработать похожие корреляции, однако никто из них не смог предложить универсальной зависимости. Хотя все индексы включают определяющие факторы в оценке скорости коррозии различных металлов, но нет универсальных индексов, значение которых можно было бы переносить с одних условий и материалов на другие.

1.2.2. Технологическая оценка

Данные санитарно-химического анализа не могут дать полного представления о свойствах исходной воды после её транспортирования по современным водоводам. В табл. 1.1 собраны показатели качества воды, расчётные значения индексов и действительные замеры скоростей коррозии металлов в нескольких различных источниках водоснабжения.

Видно, что индексы определяют лишь некоторую тенденцию, характеризующую скорость коррозии металла, поскольку не позволяют получить точный количественный прогноз коррозионности воды. Нет альтернативы прямому замеру скорости коррозии.

В связи с этим в практике водоснабжения широко применяют технологические методы оценки воды, позволяющие прогнозировать её качество с точки зрения возможности вторичного загрязнения. К числу таких относятся карбонатные испытания воды, лабораторные и натурные измерения стойкости конструкционных материалов труб в воде и динамики снижения их пропускной способности во времени

Таблица 1.1

Скорость коррозии конструкционных металлов в некоторых водопроводных водах различного состава

Источник водоснабжения Название города США	Буферная интенсивность, мг- экв/(л*рН)	СГ ----- HCO ₃ ⁻	Индекс Ланжелье	рН	Скорость коррозии, мм/год		
					Медь	Оцинкованное железо	Чёрная сталь
Водоток/Контра Коста	0,03	2,1	0	8,4	0,018	0,16	0,8
р.Оуэнс/Лос-Анжелес	0,12	0,4	0,3	8,3	0,11	0,25	0,77
р.Колорадо	0,13	2,1	0,6	8,2	0,064	0,22	0,7
р.Мокелемне	0,08	0,3	-0,4	9,3	-	-	1,01
Кетскиллс/Нью Йорк	0,08	1,6	-2,7	7	0,002	0,04	1,24
Толт/Сиэтл	0,04	2,8	-4,3	6,1	0,16	0,46	1,47
Цедар/Сиэтл	0,05	0,9	-2,2	7,3	0,05	0,42	1,17
Булл-Ран/Портленд	0,1	0,3	-3	7	0,4	0,06	0,34
р.Потомак/Армии Корпс	0,11	-	-0,01	7,8	0	0,05	0,01
р.Американ	-	0,4	-2,5	7,3	0,02	0,14	0,48
р.Секременто	-	0,4	-1,4	7,4	0,05	0,27	0,85

1.2.2.1. Карбонатные испытания воды

Огромное влияние на качество и свойства воды оказывают соединения угольной кислоты. Вместе с ионами кальция они образуют карбонатно-кальциевую систему равновесий, самую сложную и важную в природных водах.

В последние годы все чаще при оценке стабильности воды учитывают ионные пары, находящиеся в воде в молекулярной форме (рис.1.5). Из рис. 1.5 видно, что с карбонатно-кальциевой системой непосредственно связаны ионы водорода, и, таким образом, количественные соотношения между отдельными компонентами системы зависят от величины рН.

В условиях равновесия определенной концентрации гидрокарбонатов соответствует определенное количество свободной углекислоты, называемой равновесной. Вода при этом стабильна, так как не происходит ни выпадения карбонатов, ни их дополнительного растворения.

Если количество растворенной углекислоты больше ее равновесной концентрации, то равновесие реакций (см. рис.1.5) сдвинется вправо, что приведет к растворению CaCO_3 .

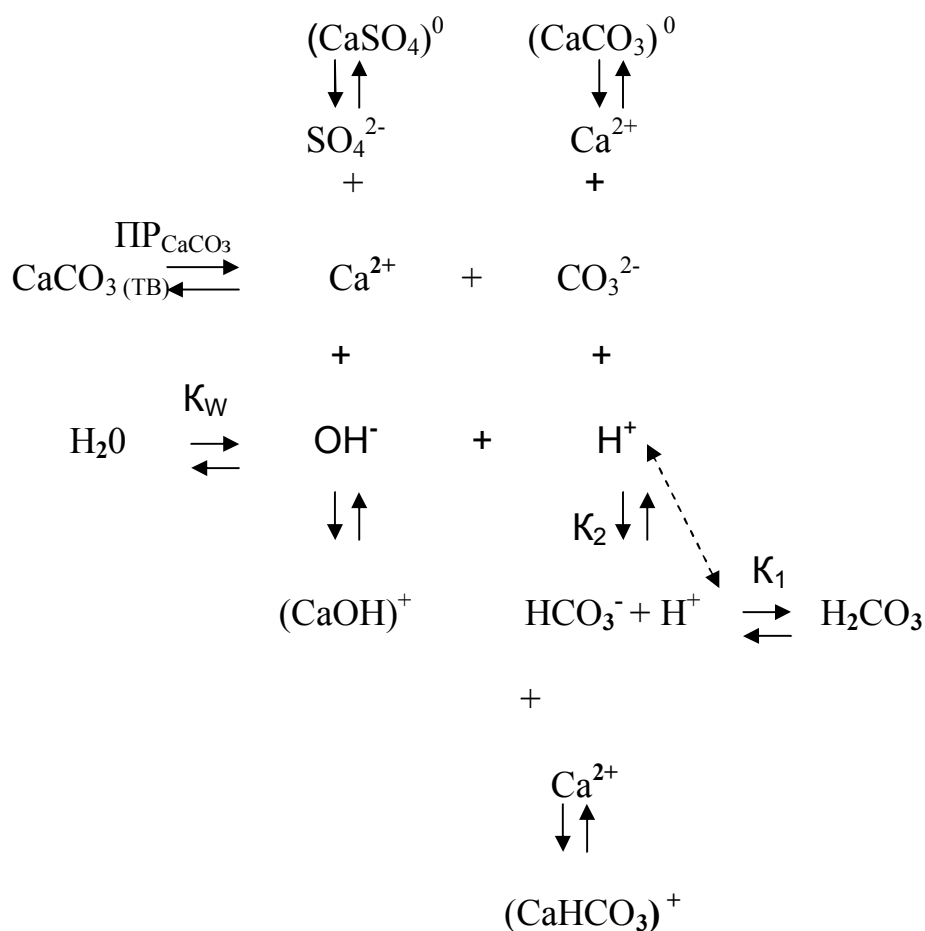


Рис.1.5. Модель основных химических равновесий компонентов воды и состояния насыщения ее карбонатом кальция

$\text{CaCO}_3(\text{ТВ})$ – твердая фаза карбоната кальция, K_W – ионное произведение воды; $(\text{CaSO}_4)^0$, $(\text{CaHCO}_3)^+$, $(\text{CaOH})^+$ и $(\text{CaCO}_3)^0$ – недиссоциированные комплексы соответствующих ионов (ионные пары)

В условиях равновесия определенной концентрации гидрокарбонатов соответствует определенное количество свободной углекислоты, называемой равновесной. Вода при этом стабильна, так как не происходит ни выпадения карбонатов, ни их дополнительного растворения.

Если количество растворенной углекислоты больше ее равновесной концентрации, то равновесие реакций (см. рис.1.5) сдвинется вправо, что приведет к растворению CaCO_3 .

Избыток H_2CO_3 сверх равновесной концентрации называется агрессивной углекислотой. Контакт агрессивной углекислоты с бетонными сооружениями приводит к вымыванию из них карбоната кальция. При недостатке H_2CO_3 по сравнению с равновесной концентрацией реакция протекает справа налево, что приводит к дополнительному образованию и выпадению в осадок малорастворимого карбоната кальция.

Стабильность воды может быть оценена экспериментально или путем вычисления индексов стабильности воды, по результатам определения в воде температуры, общего солесодержания, концентрации ионов кальция, общей щелочности и некоторых других её компонентов, как указано выше. Основным и более точным методом является экспериментальный. Суть его состоит в определении общей щелочности или величины рН в исходной пробе и после встряхивания её с карбонатом кальция в течение 1-2 ч.

1.2.2.2. Практические измерения стойкости конструкционных материалов труб в воде

Для практических целей разработаны несколько способов экспериментальной оценки коррозионной активности воды, которые успешно применяют для анализа поведения металлов в различных водах [11,12].

Техника коррозионных измерений развивается одновременно для определения скорости коррозии в лабораторных и натуральных условиях из-за наличия потенциально высокой стоимости коррозионных повреждений. Она используется для количественной оценки эффективности различных противокоррозионных мероприятий в новых трубах и изоляционных материалах. До начала 50-х годов XX-ого века коррозионные измерения исключительно основывались на определении массовых потерь металла (гравиметрические измерения), которые неудобны и занимают много времени. Позднее были развиты электрохимические методы; они позволяют практически мгновенно измерять скорость коррозии и могут быть использованы для постоянного мониторинга как в лабораторных условиях, так и при эксплуатации водопроводных систем.

Основные методы коррозионных измерений, используемые в настоящее время, можно разделить на две основные группы. В первую входят методы индикаторных измерений с помощью купонов, а во вторую, более современную, - с помощью гильз, используемых, например,

водохозяйственной компанией штата Иллинойс. Обе группы этих измерений описаны в стандарте США ASTM D2688 и отечественном ГОСТе 9.908 - 85. "Металлы и сплавы. Метод определения показателей коррозии и коррозионной стойкости" в РФ.

Купонный метод основан на использовании пластинчатых металлических индикаторов. Купон располагают в центре трубы, где скорость выше, чем у трубной стенки и где он будет подвергаться воздействию турбулизации, создаваемой держателем купона. В зависимости от свойств водного потока металл купона может подвергаться коррозии, на нём могут образовываться оксидная или солевая плёнки. Купонный держатель обычно устанавливают на байпасной линии к основному трубопроводу, чтобы позволить удалять и контролировать состояние индикатора без прерывания нормальной работы системы. Несколько купонов устанавливают на одном держателе, чтобы определить зависимость скорости коррозии металла от времени.

На рис. 1.6 приведено устройство для установки купонов в проходном сечении байпаса.

Держатель изготовлен из нержавеющей стали, а прокладки - из полихлорвинила. Корпус байпаса стальной. При изготовлении купонов поверхность их обрабатывается по шестому классу точности, а затем производят маркировку всех купонов. Перед установкой в байпас каждый купон обрабатывают спиртом для обезжиривания, высушивают при температуре 110⁰С до постоянной массы, взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0001 г.

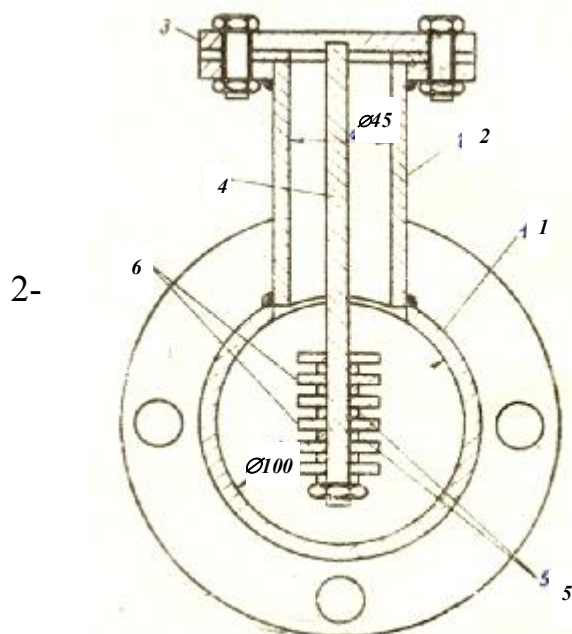


Рис.1.6. Устройство для установки купонов в проходном сечении байпасной трубы 1-байпас; патрубков с фланцем; 3-заглушка; 4-держатель; 5-прокладки; 6-индикаторы

Рекомендуется устанавливать купоны с двумя различными экспозициями. Первая предусматривает выемку купонов с интервалом 4-7 сут для определения скорости коррозии в начальный период коррозии.

Вторая - для определения скорости коррозии за длительный период времени, когда наступает её стабилизация: первые купоны должны быть изъяты через 1 месяц, а остальные - с интервалом 1-3 месяца.

После выемки перед повторным взвешиванием купоны подвергают очистке. В соответствии со стандартом ASTM Д2688 скорость коррозии для каждого купона оценивают следующим образом (предлагаемая формула обеспечивает достаточно близкое приближение к действительной скорости коррозии для большинства коррозионных исследований).

$$P = \frac{182,5 * N * (W_1 - W_2)}{W_1 * D},$$

где P - скорость коррозии, мм в год; N - начальная толщина купона, мм; W₁ и W₂ - масса купона соответственно до и после экспозиции, мг; D - время экспозиции, сут.

Соотношение между скоростью коррозии в [г/(м²*сут)] и проницаемость в [мм/год] выражается следующим образом:

$$[\text{мм/год}] = [\text{г}/(\text{м}^2 * \text{сут})] * (365/d),$$

где d - плотность металла, кг/м³ (например, d малоуглеродистой стали равна 7860 кг/м³).

Следует иметь в виду, что скорость коррозии, определённая таким образом, может отличаться от скорости коррозии в реальной водопроводной сети из-за разницы в режимах движения воды и различных поверхностных характеристик, зависящих от композиции материала, подготовки его поверхности, образования отложений, биологических обрастаний.

Купоны также устанавливают в экспериментальных контурах, имеющих ту же скорость движения воды в трубопроводе, что и в реальных условиях эксплуатации водовода.

Исследования с помощью гильзовых индикаторов. Гильзы представляют собой небольшой длины трубки, изготовленные из действительного материала труб. На рис.1.7 схематично показана гильза для оценки коррозии и накипеобразования.

Гильзы устанавливают на байпасе к обследуемому трубопроводу для периодического контроля состояния его внутренней поверхности с возможностью их извлечения, осмотра и измерения без отключения трубопровода от сети.

Держатель образцов конструируется таким образом, чтобы не производить существенного изменения скорости водного потока при движении его в гильзе и тем самым не допускать гидравлического искажения при измерениях коррозии. Внутренняя поверхность гильз не шлифуется.

При измерениях скорости коррозии в существующих системах гильза выполняется из конструкционного материала труб. Кроме того, байпасная трубная линия монтируется для возможности выемки гильз без остановки водовода. По данным водохозяйственной компании шт. Иллинойс, для предотвращения турбулентности и неоднородности водного потока перед гильзой должен быть обеспечен минимальный прямой участок длиной около 10 м. Первая серия испытаний гильз перед выемкой и контролем должна иметь продолжительность не менее 120 суток, а вторая - по возможности ~12 месяцев.

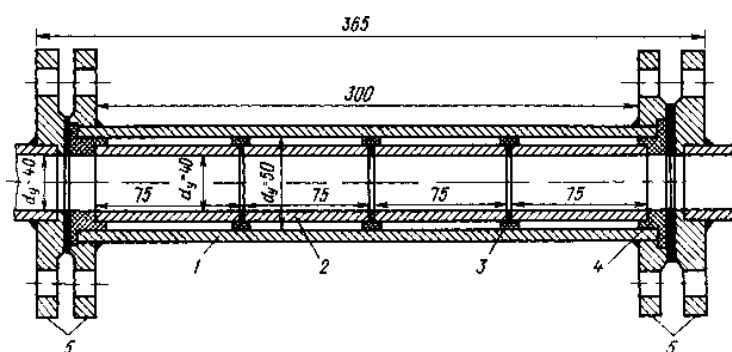


Рис.1.7. Гильза для оценки коррозии и накипеобразования

1 - корпус-патрон, 2 - индикатор, 3 - резиновые прокладки между индикаторами, 4 - то же между концами индикаторов и патроном, 5 – фланцы.

При эксплуатации трубопроводов в районах с холодным или жарким климатом между пристенным и центральным потоками воды внутри труб большую часть года имеет место существенная температурная дифференциация. Поэтому в таких водах в качестве купонов целесообразно использовать образцы-свидетели.

Образец-свидетель изготавливается в виде полого тонкостенного цилиндра из материала исследуемого трубопровода. Вдоль его оси делается прорезь, что обеспечивает образцу-свидетелю упругую податливость под действием радиальных усилий и вследствие этого плотное прилегание к внутренней поверхности трубы. В результате образец-свидетель практически полностью воспринимает температурные воздействия на трубу и находится с ней в эквивалентных гидродинамических и электрохимических условиях работы.

В лабораторных условиях для определения коррозионной активности воды, выявления причин коррозии трубопроводов в системах водоснабжения можно использовать фортепианную проволоку или вращающийся цилиндрический электрод.

Методика определения общей коррозионности воды по отношению к стали с помощью фортепианной проволоки заключается в следующем. Стекланную, чисто вымытую колбу полностью заполняют исследуемой

водой, закрывают резиновой пробкой, к которой снизу на шёлковой нити подвешивают отрезок фортепианной проволоки длиной 50 ± 1 мм, и погружают в водоём. Проволока представляет собой промышленный образец, известный под названием «железо металлическое - фортепианная проволока диаметром 0,57 мм, химически чистое для анализа».

Образец должен быть чистым и иметь ровную блестящую поверхность, без следов коррозии и механических повреждений. Перед помещением в колбу (после того как к ней уже привязана шёлковая нить) образец тщательно протирают гигроскопической ватой, смоченной петролейным эфиром, не прикасаясь к проволоке руками. После обезжиривания образца эфиру дают испариться в течение 3 – 5 мин.

Время экспозиции колбы в водоёме составляет 2 ч. Затем колбу извлекают из воды, открывают, вынимают отрезок проволоки (так чтобы вода с него стекала в колбу) и тщательно очищают его поверхность от продуктов коррозии небольшим кусочком обеззоленного бумажного фильтра. При этом надо следить за тем, чтобы продукты коррозии полностью попали в колбу, куда опускают также и кусочек фильтра, которым очищали отрезок проволоки. Далее в колбу наливают 15 мл соляной кислоты (разбавленной 1:1) и содержимое колбы перемешивают стеклянной палочкой до полного растворения продуктов коррозии железа (в течение 30 мин).

Затем берут из колбы пипеткой 25 мл воды и вливают её в колбу меньшего объёма, добавляют 1 мл насыщенного раствора хлорноватистокислого калия и ставят на 10 мин на кипящую водяную баню, закрыв часовым стеклом горлышко колбы.

Одновременно в другую такую же колбу вливают 25 мл свежей испытуемой воды, 1 мл раствора соляной кислоты (1:1) и 1 мл насыщенного раствора хлорноватистокислого калия и также ставят на 10 мин на кипящую водяную баню.

После чего содержимое колб охлаждают до комнатной температуры и определяют в них содержание общего железа.

Прирост железа в воде, в которой находился отрезок проволоки, по сравнению с содержанием железа в свежей воде, характеризует её способность к коррозии. Следует отметить, что все природные воды, не освобождённые от кислорода, и дистиллированная вода в той или иной мере обладают этой способностью.

В способе с вращающимся цилиндрическим электродом в развитом турбулентном режиме боковая поверхность образца равнодоступна в диффузионном отношении и гидродинамически подобна внутренней поверхности трубы.

Основные детали устройства, реализующего этот метод измерения коррозии, показаны на рис. 1.8. Электродвигатель 1 крепится к верхнему кронштейну вертикально валом вниз. На диэлектрическую втулку 13 на валу электродвигателя насажен медный токосъем 12 с отражательным фторопластовым кольцом 11. К токосъему пружиной поджимается

меднографитовая щетка 6, находящаяся в держателе 2 и соединенная с контактным гнездом 4. Кронштейны на штативе крепятся винтами 5. Цилиндрический образец ввинчивается в токосъем. Для проведения опытов пробу воды помещают в присоединенную к термостату ячейку с водяной рубашкой. Верхний кронштейн с электродвигателем разворачивается на 180° над стаканом. Образец при перемещении вниз верхнего кронштейна погружается в исследуемую воду. Коррозионная активность воды определяется по общему количеству продуктов коррозии (в растворе и на образце), образовавшихся за 3 ч опыта.

Растворение продуктов коррозии, имеющих на поверхности образца, производят ингибированным раствором соляной кислоты. Перешедшие в ингибированном растворе продукты коррозии должны полностью попасть в стакан с исследуемой водой. Нерастворенные продукты коррозии, попавшие в раствор во время опыта, отфильтровываются.

Экспериментальные исследования, однако, показывает, что при стабилизации мягких низкощелочных вод гравиметрические измерения с помощью индикаторных образцов по ГОСТ 9.908-85 часто дают неудовлетворительную воспроизводимость и ненадежный прогноз. Одной из главных причин тому служит снижение рН воды в течение испытаний.

Это снижение может осуществляться как за счет абсорбции водой углекислого газа из воздуха (1), так и в результате гидролиза растворенных продуктов коррозии металла (2). Достоверность прогноза уменьшается также из-за разницы температуры воды по площади поперечного сечения трубопровода (3).

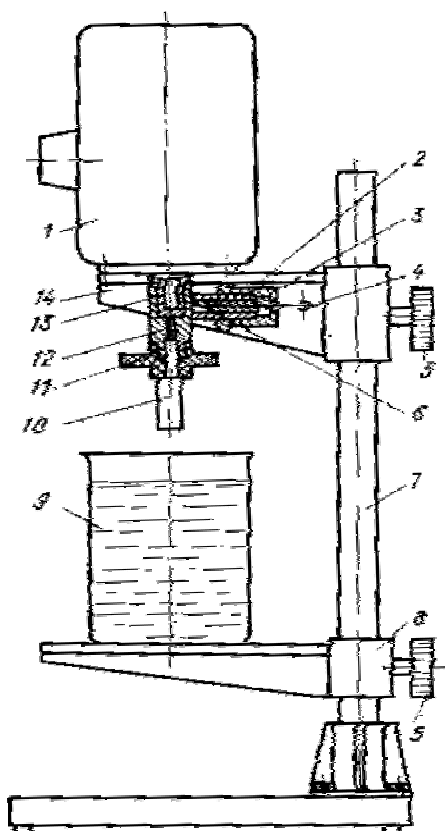


Рис. 1.8. Устройство для определения коррозионной активности воды (коррозиметр "ОКА")

1 - электродвигатель; 2 - щеткодержатель; 3 - пружина; 4 - гнездо контактное; 5 - винт; 6 - щетка; 7 - штатив; 8 - кронштейн нижний; 9 - стакан; 10 - образец; 11 - кольцо фторопластовое; 12 - токосъем; 13 - втулка диэлектрическая; 14 - кронштейн

Рассмотрим I-ый случай – *влияние углекислого газа из воздуха*. Зависимость щелочности воды от ее pH и pH_s при парциальном давлении углекислого газа 60 Па (для урбанизированных районов) может быть вычислена по первой ступени диссоциации угольной кислоты (сплошные линии относительно pH на рис. 1.9) и по формуле Ланжелье (1.4) при исходном равенстве эквивалентных концентраций кальция и гидрокарбонатов (пунктирные линии относительно pH_s) для различных температур.

Концентрация диоксида углерода в воде пропорциональна его парциальному давлению над раствором в соответствии с законом Генри. Точки пересечения обоих видов кривых, соответствующих одинаковой, температуре, укладываются на прямую линию, которая служит границей (линия насыщения), разделяющей два альтернативных состояния воды по индексу Ланжелье. Если щелочность воды, у которой эквивалентные концентрации кальция и щелочности равны между собой, меньше ординаты точки на линии насыщения, отвечающей температуре воды, то вода является агрессивной по отношению к карбонату кальция при полном насыщении её воздухом и наоборот.

Отсюда следует, что, если при температуре $10^\circ C$ ввести по СНиП 2.04.02-85* в мягкую низкощелочную воду известь дозой, обеспечивающей повышение ее щелочности, например до 1,7 мг-экв/л ($pH = 11,8$), а затем обработать диоксидом углерода до $pH = 9$ (порогового значения pH для воды хозяйственно-питьевого назначения), то она будет

находиться в состоянии пересыщения карбонатом кальция (по рис.1.9 её $pH_s = 8,3$).

Однако при оценке её коррозионной активности на непроточных установках с интенсивной турбулизацией водного потока, например на коррозиметре "ОКА" или в открытых циркуляционных контурах, pH воды быстро опускается, достигая величины 8,13, отвечающей парциальному давлению диоксида углерода в воздухе (см. рис.1.9), а вода становится агрессивной, способствующей интенсивной коррозии индикатора. В эксплуатационных условиях дозировка реагентов может осуществляться в напорный трубопровод, транспортирующий воду без разрыва струи, что исключает дополнительное обогащение воды диоксидом углерода воздуха.

Следует отметить, что высокая чувствительность стабилизированной по СНиП 2.04.02-85* мягкой низкощелочной воды к диоксиду углерода, концентрация которого в воздухе составляет всего 1,14 мг/л, объясняется тем, что в диапазоне pH 5-9 буферная интенсивность вод гидрокарбонатного класса достигает минимальных значений.

Если искажающего влияния диоксида углерода воздуха в процессе экспериментальной оценки можно избежать при дозировке повышенных концентраций извести (более 3 мг-экв/л по CaO) или путём изоляции объёма испытуемой воды от углекислого газа воздуха*, например с помощью хлоркальцисвой трубки, то предотвратить падение pH в результате гидролиза железа (второй случай) при коррозионном разрушении индикатора удастся значительно реже.

Зависимость pH воды от содержания в ней двух - и трёхвалентного гидроксида железа для разных температур может быть определена по соответствующим уравнениям гидролиза железа.

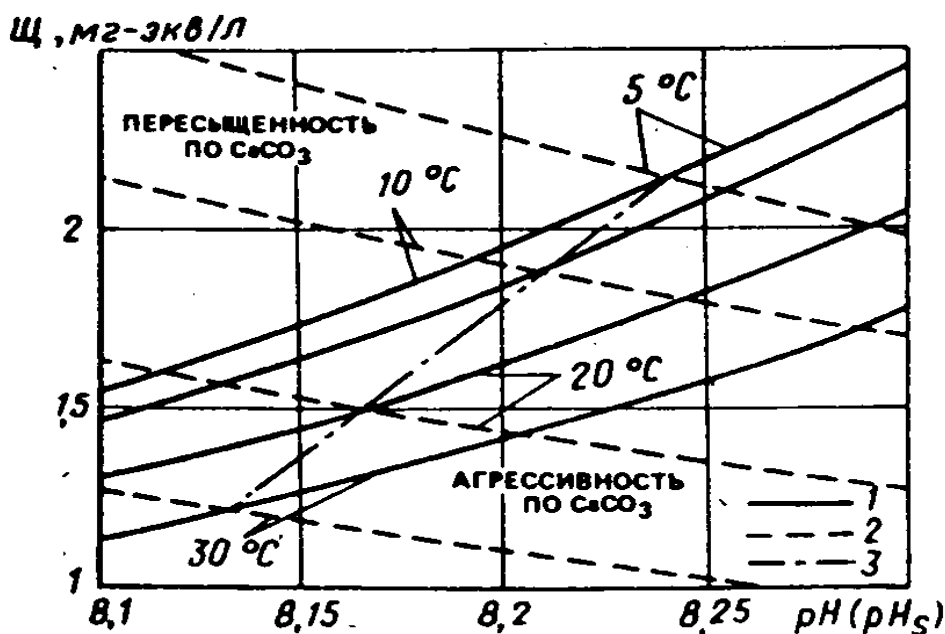


Рис.1.9. Зависимость щёлочности воды от её pH (pH_s) при парциальном давлении углекислого газа 60 Па
1 - по уравнению для первой ступени диссоциации; угольной кислоты;
2 - по формуле Ланжелье (1.4);
3 - линия насыщения воды $CaCO_3$

*Полная герметизация воды от воздуха нарушает условия моделирования коррозионных процессов, которые в действующих водопроводах протекают преимущественно с кислородной деполаризацией.

Константы произведения растворимости гидроксидов железа при температуре 5°C, рассчитанные по уравнению Аррениуса с помощью стандартных энтальпий образования, равны $0,98 \cdot 10^{-15}$ для $\text{PP}_{\text{Fe}(\text{OH})_2}$ и $0,26 \cdot 10^{-38}$ для $\text{PP}_{\text{Fe}(\text{OH})_3}$.

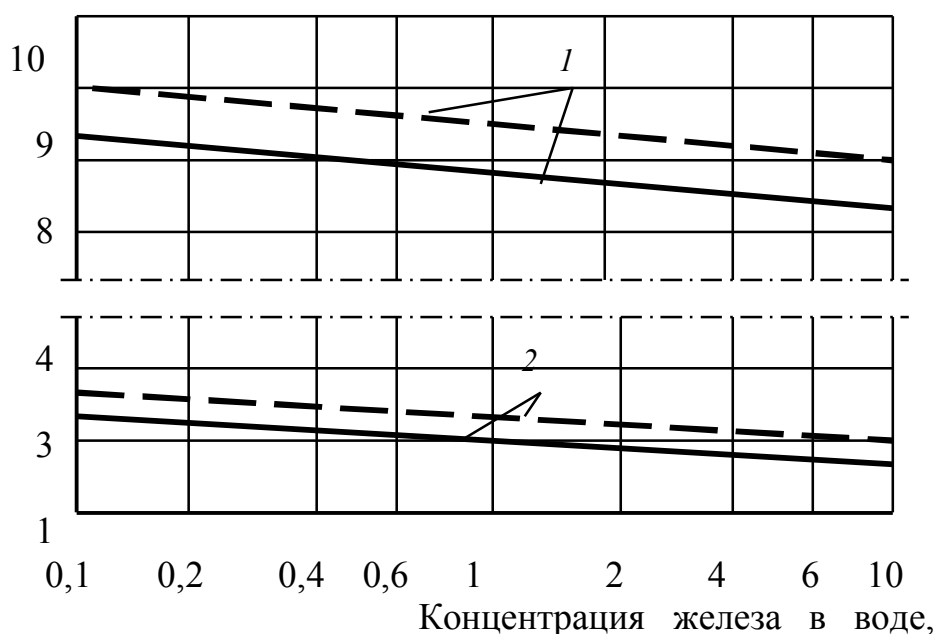
При увеличении в воде содержания сразу образующегося при коррозии стали двухвалентного железа с 1 до 10 мг/л (25°C) рН воды опускается почти на 0,5. С понижением температуры в области рН не выше 9 двухвалентное железо в концентрации до 10 мг/л на рН влияния не оказывает (рис.1.10).

Таким образом, экспериментальная оценка коррозионной активности стабилизированной по СНиП 2.04.02-85* мягкой низкощелочной воды должна производиться только в установках с одноразовым относительно индикаторов потоком воды по закрытой от воздуха схеме.

При длительной экспозиции индикатора в воде может иметь место полный или частичный переход железа из двухвалентного в трехвалентное, что приводит к значительно большему подкислению испытываемой воды.

Так как эксплуатация трубопроводов, транспортирующих мягкие низкощелочные воды, осуществляется главным образом в районах с холодным или жарким климатом, то между пристенным и центральным потоками воды внутри труб большую часть года имеет место существенная температурная дифференциация (3-ий случай).

рН



мг/л

Рис. 1.10. Снижение pH воды при гидролизе продуктов коррозии стали и температурах: 25°C (сплошные линии), 5°C (пунктир)

1 - гидроксид железа II; 2 - гидроксид железа III

Поэтому в таких водах в качестве индикаторов коррозии целесообразно пользоваться образцы-свидетели. Образец-свидетель изготавливается в виде полого тонкостенного цилиндра из материала исследуемого трубопровода. Вдоль его оси делается прорезь, что обеспечивает образцу-свидетелю упругую податливость под действием радиальных усилий и вследствие этого плотное прилегание к внутренней поверхности трубы. В результате образец-свидетель практически полностью воспринимает температурные воздействия на трубу и находится с ней в эквивалентных гидродинамических и электрохимических условиях работы.

1.2.1.3. Определение изменения пропускной способности труб во времени

Кроме аналитического и индикаторного контроля объективной характеристикой состояния внутренней поверхности эксплуатируемого водовода служит *коэффициент гидравлического трения* λ .

Повышение потерь напора воды по длине трубопровода за счёт образования на его внутренней поверхности коррозионных отложений определяется из выражения:

$$\Delta H = H_1 - H_2 = \lambda_1 * (1/d_1) * [v_1^2/(2 * g)] * L - \lambda_2 * (1/d_2) * [v_2^2/(2 * g)] * L,$$

где H_1 и H_2 – потери напора соответственно в прокорродировавшем и новом трубопроводе, м водн. ст.; λ_1 и λ_2 – коэффициент гидравлического трения соответственно в прокорродировавшем и новом трубопроводе; d_1 и d_2 – внутренний диаметр трубы соответственно в прокорродировавшем и новом, мм; v_1 и v_2 – средняя скорость движения воды соответственно в прокорродировавшем и новом трубопроводе, м/с; g – ускорение свободного падения, м²/с; L – протяжённость трубопровода, м.

Если для прокорродировавшего и нового трубопровода принять равными следующие параметры: длина участков, внутренний диаметр, скорость движения (соответственно расход) воды, то формула для снижения потерь напора воды примет вид:

$$\Delta H = \{(1/d) * [v^2/(2 * g)] * (\lambda_1 - \lambda_2) * (1/d_2)\} * L.$$

Выражая λ_1 в виде $\lambda_1 = k_\lambda * \lambda_2$ (где k_λ – коэффициент пропорциональности), увеличение потерь напора ΔH определится как:

$$\Delta H = \{ \lambda_2 * (1/d_2) * [v^2/(2 * g)] * (\kappa_\lambda - 1) \} * L.$$

Выразив в виде $A = \lambda_2 * (1/d_2) * [v^2/(2 * g)] * L$, которая является постоянной для данного трубопровода при фиксированном расходе, получим окончательный вариант формулы для расчёта ΔH :

$$\Delta H = A * (\kappa_\lambda - 1).$$

Следовательно, увеличение потерь напора в прокорродированном трубопроводе происходит по линейной зависимости.

В г. Санкт - Петербург установлено, что гидравлическое сопротивление водопроводных труб, эксплуатируемых в различных условиях, в 2-5 раз выше, чем принимается проектировщиками для новых труб. Меньшие значения относятся к трубам, находящимся в эксплуатации 5-10 лет и работающим с постоянным водообменом, большие - к трубам с более длительными сроками эксплуатации, а также к слабопроточным и тупиковым трубопроводам, стагнация воды в которых приводит к усиленному зарастанию внутреннего сечения продуктами коррозии.

1.3. Внутренние отложения в трубах

В первом приближении отложения внутри труб различаются в зависимости от назначения систем водопользования (коммунальные, промышленные и атмосферные), видов этих систем (водопроводные: распределительные, циркуляционные, холодные, горячие, котловые и охлаждающие, а также водоотводящие: сточные, отработанные и продувочные), и материала труб систем воды.

Ниже анализируются те варианты систем водопользования, в которых формируются наибольшие по размерам коррозионные инкрустации, солевые и биологические обрастания, а также отложения механических примесей.

1.3.1. Коррозионные инкрустации

В распределительных металлических системах на основе железа отложения на внутренней поверхности труб представляют сплошную композицию из биомассы, соединений железа, солей жёсткости и органических соединений, являющихся питательной средой для микроорганизмов. По своим механическим свойствам это мягкие отложения, которые могут эффективно удаляться из труб. Соединения, которые обычно находят в отложениях продуктов коррозии железа, включают: αFeOOH ; Fe_3O_4 ; $\text{Fe}(\text{OH})_3$; $5\text{Fe}_2\text{O}_4 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$; $\text{Fe}_4\text{Fe}_2(\text{OH})_{12}(\text{CO}_3)$; CaCO_3 . Железо вымывается из труб в объём воды в основном в виде железистых форм.

Скорость коррозии чистой поверхности железа, как правило, увеличивается при возрастании концентрации кислорода в воде. Однако наличие слоёв коррозионной плёнки влияет на скорость диффузии кислорода к металлу и, соответственно, на коррозию. Было установлено, что увеличение концентрации растворённого кислорода в воде приводит к уменьшению количества в ней железа при застойном режиме воды в сети. При этом скорость снижения содержания кислорода (или другого окислителя) в режиме течения воды выше, чем при застое. Это доказывает, что увеличение концентрации окислителей в воде и поддержание стабильных гидродинамических режимов уменьшает вымывание железа из корродированных труб. Состав и структура коррозионных плёнок зависят от количества вымываемых в воду соединений железа, а окислители, которые присутствуют в воде, окисляют железо как в плёнках, так и в жидкой фазе.

В *сетях коммунального водопровода* наиболее характерными загрязнениями, осаждающимися на стенках труб, являются уплотненный осадок, окислы марганца и железа (в виде бугристых наростов), комплексные соединения на основе окислов железа и извести, инородные включения (кусочки древесины, мелкий щебень и т.д.). Наличие последних может свидетельствовать прежде всего о низком качестве очистки воды (в частности, удаления железа и марганца), а также попадании посторонних предметов в трубопроводы при их прокладке или ремонте запорно-регулирующей арматуры. В *водоотводящих сетях* осадок может быть представлен как минеральными (шлак, песок), так и органическими веществами.

Как следует из равновесной химии свинца в воде, одной из возможных стратегий для контроля коррозии свинца в водопроводной воде является повышение её рН до диапазона 8-8,5 для того, чтобы снизить растворимость Pb^{2+} .

Управлять коррозией свинца можно за счет использования альтернативных способов обработки воды, например путём подбора дезинфектанта. Исследования, проведенные в Портленде (США, шт.Орегон), показали, что использование хлораминов для дезинфекции привело к уменьшению загрязнения воды продуктами коррозии свинца по сравнению со свободным хлором, хотя рН в обоих случаях в обработанной воде был приблизительно равным. Это может быть связано с понижением потенциала в системе, обработанной связанным хлором. Однако добавление аммиака к хлорированной воде, чтобы образовать хлорамины, обуславливало увеличение в воде концентрации продуктов коррозии свинца. Роль аммиака в возможной комплексации металлических ионов и их влияние на скорость коррозии изучено недостаточно.

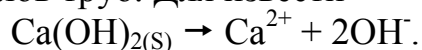
По сравнению со стальными пластмассовые трубы обладают большей химической стойкостью, меньшей шероховатостью и, следовательно, большей пропускной способностью. Они не подвергаются коррозионному разрушению. По потребительским качествам эти трубы значительно

превосходят трубы из стали и чугуна: коэффициент их гидравлической шероховатости в 7 раз ниже, чем у новых стальных труб, в 20 раз ниже, чем у стальных труб с цементно-песчаным покрытием, в 23 раза ниже, чем у новых чугунных. Они не меняют своих гидравлических характеристик в течение всего срока эксплуатации, т.е. затраты электроэнергии на перекачку воды по этим трубам минимальны.

Входящий в состав бетонных, железобетонных и асбестоцементных труб портландцемент корродирует в мягких водах особенно при низких значениях их рН.

По крайней мере два механизма предложены для описания этого явления. Первый основывается на растворении извести и других компонентов при контакте с водой, имеющей низкие рН и щёлочность. Второй - рассматривает химическое, воздействие агрессивных ионов, таких как сульфаты и хлориды.

Коррозия материалов цементных труб в коммунальных водопроводах определяется в основном закономерностями процесса растворения. Следующая реакция растворения рассмотрена для цементной матрицы асбестоцементной трубы, типичная и для других цементсодержащих конструктивных материалов труб. Для извести



В результате взаимодействия бетона с сульфатом при высоком рН и солесодержании образуется этtringит, соль алюмината кальция и сульфата кальция. Вследствие процесса кристаллизации этtringит разрастается и может разрушать бетон.

1.3.2. Солевые отложения

Обычным примером минеральных отложений могут служить осадки, образующиеся в системах охлаждения, и накипи, возникающие в котлах и вспомогательном оборудовании. Иногда отложения образуются также на лопастях турбин. Такие отложения состоят из солей котловой воды и кремниевой кислоты, которые могут быть унесены вместе с каплями пара, высыхающими впоследствии на лопастях турбины. При высоких давлениях эти вещества могут растворяться непосредственно в паре.

Минеральные отложения, образующиеся в системах охлаждения промышленных предприятий, обычно состоят из карбоната кальция, но иногда могут содержать также и сульфат кальция. Осаждению карбоната кальция способствует повышение температуры воды, а также ее испарение с последующим увеличением концентрации растворенных солей кальция; кроме того, этому также может способствовать и нарушение углекислотного равновесия при охлаждении воды в открытых охладителях и градирнях. Количество отложений часто можно уменьшить, ограничивая повышение температуры циркулирующей воды и поддерживая низкую карбонатную жесткость. Наряду с этим применяют дополнительную химическую обработку, например добавление минеральных кислот или

полифосфатов. Другим возможным способом обработки является удаление бикарбонатной жесткости при помощи извести или путем умягчения Na или H-катионированием.

В табл. 1.2 приведены некоторые вещества, входящие в состав котловых отложений.

Таблица 1.2

Составляющие отложений в котлах

Вещество	Минералогическое название	Формула
Карбонат кальция	Кальцит или	CaCO_3
Сульфат кальция	Ангидрит	CaSO_4
Гидроокись магния	Бруцит	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
Основной фосфат	Оксиапатит	$3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 * \text{Ca}(\text{OH})_2$
Гидрооксифосфат	—	$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 * \text{Mg}(\text{OH})_2$
Окислы железа	Гематит и др.	Fe_2O_3 ; $\text{FeO} * \text{OH}$
Силикаты кальция и магния, смешанные силикаты	Серпентин	$3\text{MgO} * 2\text{SiO}_2 * 2\text{H}_2\text{O}$
	Анальцит	$\text{Na}_2\text{O} * \text{Al}_2\text{O}_3 * 4\text{SiO}_2 * \text{H}_2\text{O}$
	Акмит	$\text{Na}_2\text{O} * \text{Fe}_2\text{O}_3 * 4\text{SiO}_2$
	Кссотлит	$5\text{CaO} * 5\text{SiO}_2 * \text{H}_2\text{O}$
	Пектолит	$\text{Na}_2\text{O} * 4\text{CaO} * 6\text{SiO}_2 * \text{H}_2\text{O}$

Некоторые накипи состоят из нескольких слоев, которые могут отличаться друг от друга как химическим составом, так и своей структурой. Часто они образуются в результате последовательного отложения различных веществ или их смесей. Полагают, что эти наслоения являются, как правило, результатом изменения условий работы парового котла, например состава питательной воды, способа обработки воды и скорости парообразования.

Средние значения теплопроводности ряда твёрдых приставших к поверхности металла котловых накипей, а также некоторых других материалов для сравнения, приведены в табл. 1.3.

Из табл. 1.3. видно, что твердые накипи могут существенно ограничивать отвод тепла от поверхностей нагрева и создавать теплоизолирующий слой между металлом поверхности нагрева и водой. Таким образом, появление накипи вызывает локальное повышение температуры металла (из-за неравномерной толщины спонтанно образованной накипи), что в наиболее нагретых частях парового котла приводит в конечном счёте к размягчению, выпучиванию и разрушению поверхности металла с созданием тяжёлых аварийных ситуаций.

Таблица 1.3

**Коэффициенты теплопроводности различных накипей и других
конструкционных материалов**

Материал	Коэффициент теплопроводности в относительных единицах
Анальцит	1,27
Фосфат кальция	3,61
Сульфат »	2,3
Фосфат магния	2,16
Магнетит	2,91
Силикатная накипь	0,087
Котловая сталь	44,78
Кирпич: огнеупорный	1,012
теплоизоляционный	0,101

Солевые отложения на поверхностях нагрева в котлах вызывают перерасход топлива. При толщине накипи 0,48 мм этот перерасход составляет 7%, при толщине 1,5 мм -18% и при 4 мм – 39%.

1.3.3. Биологические обрастания

Они развиваются как в коммунальных, так и производственных трубопроводных системах.

1.3.3.1. Хозяйственно-питьевой водопровод

Как свидетельствует статистика, в последние годы в некоторых странах (США, Канада, Франция, Великобритания и др.) проблема обеспечения биологической стабильности воды резко обострилась. Причиной явились периодические всплески инфекционных заболеваний населения, вызываемые, в частности, появлением в воде нетрадиционных для практики водоподготовки патогенных паразитарных микроорганизмов (в основном простейших), а также токсичных микропримесей органического и неорганического происхождения. Основной причиной инфекций явилось появление в питьевой воде патогенных бактерий, простейших и вирусов. Статистика канадских служб здравоохранения последующих лет указывала на стабильный характер заражения людей через водопроводную воду преимущественно простейшими типа *Giardia* и *Cryptosporidium*, которые в 100 и более раз стойки к дезинфектантам, чем бактерии коли. У больных, инфицированных этими микроорганизмами, появляются симптомы дизентерии, брюшные спазмы, тошнота и повышение температуры. За два года рост числа заражений в Канаде составил 40%. Наибольшее количество случаев заболеваний было зарегистрировано в провинциях Альберта и Британская Колумбия, несмотря на то, что в 90% случаев используемая для питьевых целей вода подвергалась интенсивной обработке хлором.

Сложившаяся ситуация явилась для передовых в техническом отношении стран веским доводом для пересмотра и уточнения допустимых пределов бактериологического загрязнения воды в распределительных сетях и строгого нормирования загрязненности воды микроорганизмами. В частности, в настоящий момент предписывается избирательное определение в воде некоторых популяций бактерий и простейших, которые относятся к категории болезнетворных. Проведение анализов-тестов на наличие подобных микроорганизмов может служить как контролем качества воды, так и косвенным свидетельством санитарно-гигиенической надежности водопроводных сетей и резервуаров-накопителей.

Общими причинами образования внутренних отложений в трубах являются: неполное удаление взвешенных частиц при водообработке; вымывание тонкодисперсных примесей из загрузки фильтров; осаждение оксидов металлов или карбоната кальция; пост-флокуляция; биологическая активность и коррозия.

Рост бактерий, т.е. образование биоплёнки, происходит при наличии в водопроводной воде органического или неорганического субстрата: гуминовых и фульвокислот, полимерных углеводов, протеинов, карбоксильных кислот, соединений азота и фосфора, наличия дезинфектанта, бактерий из объёма воды и зависит от материала труб и гидравлического режима. Факторы, которые промотируют выживание бактерий в хлорированной воде, включают прикрепление их к внутренней поверхности труб, агрегацию бактерий в биоплёнку, отрыв частиц биоплёнки в результате эрозионно - абразивных процессов, инкапсулирование и вид дезинфектанта. Введение хлора, даже в количестве 3 мг/л, имеет ограниченное действие на уже сформировавшуюся биоплёнку и не снижает возможности её образования на чистой поверхности. Попадание в воду фекальных бактерий приводит к их фиксации и развитию на уже образовавшейся биоплёнке.

В общем, развитие биоплёнки основано на балансе роста и отрыва бактерий [32, 33]. Отрыв биоплёнки, с одной стороны, может быть обусловлен длительными эрозионными процессами, с другой стороны, имеет место процесс, который подобен действию намывного фильтра. Определение превалирующей роли того иного механизма играет существенную роль в технологии водоподготовки. Отрыв биоплёнки удаляет те её частицы, которые примерно на порядок больше, чем толщина биоплёнки. В результате эрозионно - абразивных процессов удаляются меньшие кусочки биоплёнки. Тип отрыва биоплёнки, который в значительной мере определяется её морфологией, существенно влияет на качество воды, так как остаточные дозы дезинфектанта будут более эффективно воздействовать на патогенны в малых агрегатах, чем в больших. В то же время эрозия может помочь удалить шероховатости поверхности труб, что приводит к более гладкой биоплёнке, а процесс срыва срыва удалит крупные куски биоплёнки, которые увеличивают

гетерогенность морфологии биоплёнки [7]. Гладкая поверхность биоплёнки будет способствовать снижению локальных и общих сил отрыва, действующих на биоплёнку. Шероховатая поверхность приведёт как к увеличению общей силы отрыва, так и к локализованному увеличению сил отрыва тех частей биоплёнки, которые превышают её среднюю толщину. Поэтому с точки зрения сохранения качества воды в распределительных системах желательно было бы поддерживать режим, способствующий образованию гладкой поверхности биоплёнки. Хотя в устойчивом состоянии общий количественный рост биоплёнки равен общему количеству биоплёнки, которая отрывается. Нарушать данное равновесие можно путём изменения гидродинамических условий. Это приведёт к удалению избытка биомассы из распределительной системы при изменении скорости или направления движения воды, что и используется на практике [9,10, 22]. Таким образом, ростом биоплёнки в распределительной сети в определённой мере можно управлять.

Одним из значимых факторов, влияющих на рост биоплёнки в трубах, является материал труб. Так, кроме изменения цвета, вкуса и мутности воды, продукты коррозии железа могут также индуцировать химическое разложение остаточного хлора в воде в трубах, что повлияет, в конечном счёте, на микробиологические показатели качества воды. Если наружные трубопроводы системы в основном изготовлены из стали и чугуна, то в локальных системах часто используют медь и пластик. Обрастание этих материалов биоплёнками происходит по-разному. В медных трубах оно происходит медленнее, чем в пластиковых, но после 200 сут функционирования микробное число в них начинает увеличиваться. Кроме того, число вирусоподобных частиц ниже в воде, выходящей из медных труб, и в биоплёнке на этих трубах. Различается также структура сообществ микроорганизмов в этих двух типах труб. Содержание циклопропановых жирных кислот выше в медных трубах по сравнению с полиэтиленовыми, что свидетельствует о большом количестве грамотрицательных бактерий в стационарной фазе роста бактерий. Содержание насыщенных жирных кислот, типичных для грамположительных бактерий, меньше также в медных трубах по сравнению с полиэтиленовыми (<3% против 5-6%). Содержание же эукариотических клеток, наоборот, было выше в плёнках на медных трубах. Различия наблюдаются и в зависимости от длины трубы и начала её функционирования. Кроме того, из новых пластиковых труб вымывается некоторое количество фосфора.

1.3.3.2. Технический водопровод

Во многих случаях технические воды являются средой, благоприятствующей развитию органической жизни, и это влечет за собой серьезные последствия, в числе которых отметим следующие.

1. Образование биологических обрастаний на поверхностях

нагрева, которые снижают теплопередачу.

2. Снижение эффективности работы градирни в результате обрастания стен и насадки водорослями и илом, нарушающими равномерное распределение охлаждаемой воды.

3. Поражение плесенью древесины насадки градирен.

4. Образование биологических обрастаний в скорых фильтрах и микроситах для исходной воды, что приводит к снижению их производительности и увеличивает частоту промывки, которая становится менее эффективной.

5. Загрязнение слоя ионообменного материала со всеми вытекающими отсюда последствиями.

6. Коррозия металла и бетона в связи с развитием железобактерий; при этом на внутренней поверхности труб образуются отложения, которые снижают их пропускную способность и увеличивают расход энергии на перекачку воды.

К живым организмам, имеющим важное значение при обработке пресной воды, используемой в промышленности, относятся водоросли, плесень и бактерии. Для роста водорослей необходим углекислый газ, а в большинстве случаев и солнечный свет. Поэтому они развиваются в градирнях, открытых охладителях, фильтрах и резервуарах. Часто обрастание водорослями бывает настолько сильным, что их удаление может вызвать серьезное засорение системы. Плесень может расти как при солнечном свете, так и без него, например в закрытых частях системы охлаждения. Слизеобразующие бактерии находят даже в конденсаторах турбин, эффективность которых при этом снижается. Для систем промышленного водоснабжения важное значение имеют следующие бактерии.

Нитрифицирующие бактерии. Обычно присутствуют одновременно две разновидности этих бактерий: одна окисляет соли аммония в нитриты, вторая окисляет нитриты в нитраты.

Железобактерии. Эти бактерии ассимилируют растворенные соли железа и выделяют его в виде гидроокиси железа, вызывая, таким образом, зарастание водопроводных труб и образование в них бугристых отложений.

Сульфатовосстанавливающие бактерии. Эти бактерии одновременно окисляют органические соединения и восстанавливают сернистые соединения до сероводорода, часто вызывая коррозию наружной, а иногда и внутренней поверхности уложенных в грунт водопроводных труб, а также загрязнение воды.

Сульфобактерии. Эти бактерии превращают элементарную серу, которая может содержаться в природной воде или образоваться при окислении сероводорода в серную кислоту, способную в дальнейшем вызвать коррозию металлических и бетонных канализационных труб, градирен и зданий.

1.3.3.3. Коллекторы водоотведения

Образование дурнопахнущих веществ (одорантов) на сооружениях канализации происходит в результате протекания анаэробных (гнилостных) процессов. Выделение этих веществ в воздушную среду происходит вследствие их улетучивания из жидкой фазы. Согласно закону Генри, связь между мольной долей одоранта в воде C и давлением его пара (фактически концентрацией) в воздухе P описывается уравнением:

$$P = k \cdot C,$$

где k - коэффициент, зависящий от природы одоранта.

Летучесть дурнопахнущих веществ в соответствии с характерными для них значениями коэффициента « k » соотносится следующим образом - метилмеркаптан : сероводород : аммиак : летучие жирные кислоты = 650000 : 54000 : 100 : 1.

Значения ПДК и пороги обнаружения запаха основных одорантов приведены в табл. 1.4.

Таблица

1.4

Значение предельно допустимых концентраций и пороги обнаружения запахов дурнопахнущих веществ

Летучие вещества	ПДК, мкг/л		
	Рабочая зона	Селитебная зона	Порог чувствительности к запаху
Сероводород	8000	8	47
Аммиак	20000	40	32000
Метилмеркаптан	800	0,009	0,4
Диметилсульфид	50000	80	2,5
Уксусная кислота	5000	60	2500
Пропионовая кислота	2000	15	61000
Масляная кислота	10000	10	400

Как видно из табл. 1.4, значения ПДК для рабочей и селитебной зон отличаются друг от друга на несколько порядков (в 1000-100000 раз). В результате этого рассеивание выбросов от некоторых сооружений водоотведения требует больших (сотни метров) санитарно-защитных зон.

Основные методы контроля одорантов [9] и системы очистки воздуха традиционно ориентированы на измерение и удаление сероводорода. Это связано с низким порогом чувствительности человека к H_2S (47 мкг/дм³), легкостью его обнаружения при анализе, а также превалированием сероводорода над другими источниками запаха (уровень содержания всех перечисленных выше источников запаха в сточных водах зачастую на порядок ниже концентрации H_2S). Поэтому решение проблемы контроля

запахов на объектах сети водоотведения напрямую зависит от эффективности удаления или снижения содержания в нем концентрации H_2S .

Источниками выделения одорантов в самотечной канализации (через неплотности в крышках люков и камер, вентиляционные камеры) могут быть участки сети, работающие с большим наполнением, с низкими скоростями течения воды, а также участки, куда поступают промышленные стоки, содержащие белковые загрязнения. Одоранты могут выделяться на участках, перед которыми происходит разгрузка напорных водоводов, перед дюкерными переходами и после них.

В напорной сети водоотведения источниками выделения одорантов являются приемные резервуары канализационных насосных станций (КНС), аварийно-регулирующие резервуары, вантузы на напорных трубопроводах, а также сооружения для изъятия, транспортирования и хранения отбросов, уловленных на установленных там решетках.

В современной мировой практике для количественной характеристики общей скорости выделения загрязняющего вещества в атмосферу источником загрязнения используется понятие скорости эмиссии летучих веществ. Если источник загрязнения поверхностный, то сначала определяют удельную скорость эмиссии, т. е. скорость выделения загрязняющего вещества единицей площади за единицу времени. Скорость эмиссии от всей поверхности рассчитывается как произведение удельной величины на площадь поверхности.

1.4. Анализ результатов наблюдений за состоянием действующих трубопроводных систем

Для получения объективной информации о качестве питьевой воды в распределительной водопроводной сети, определяется количество адресных мест и точек отбора проб воды в распределительной водопроводной сети. Критериями для выбора адресных мест и точек отбора проб являются:

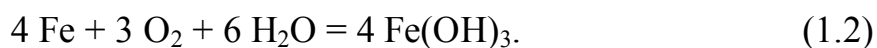
- данные о техническом состоянии распределительной водопроводной сети (аварийность участков, гидравлические характеристики);
- анализ статистических данных по качеству питьевой воды в контрольных точках на сети;
- равномерность распределения адресных точек по территории административных районов и в зонах «влияния» водопроводных станций;
- местоположение основных водоводов;
- возможность оборудования точек отбора и свободного доступа для отбора проб воды.

Например, в г. Санкт-Петербург количество контрольных точек, контроль качества питьевой воды в которых производится ежедневно, до 2001 г. составляло всего 26, к 2007 г. – 45, а с 2007 уже - 74.

Для иллюстрации масштабов загрязнения воды продуктами коррозии железом и темпов коррозионного разрушения конструкционных металлов здесь приведены результаты натуральных наблюдений за внутренней коррозией действующих трубопроводов, транспортирующих агрессивную воду на ряде коммунальных и промышленных объектах: посёлок Проведения (Чукотка), г.г. Актау [республика Казахстан (РК)], Глазов (Удмурдия), Москва, Нижний Новгород и водовод Астрахань – Мангышлак (РФ-РК).

Прирост продуктов коррозии в транспортируемой по стальным трубопроводам воде подчиняется стехиометрии электрохимической реакции коррозии железа в воде с кислородной деполяризацией, что позволяет контролировать точность баланса открываемых аналитическим путём концентрации железа в воде в различных точках трубопровода.

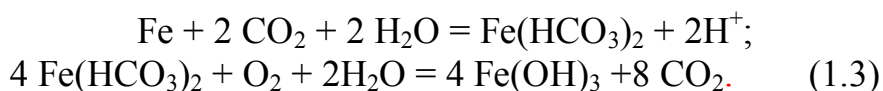
При отсутствии в воде диоксида углерода протекает следующая реакция взаимодействия кислорода с корродирующей поверхностью конструкционных сталей:



Коррозионный коэффициент кислорода K_{O_2} , представляющий собой отношение массы железа, переведенного в продукт коррозии, к расходу прореагировавшего кислорода по реакции электрохимической коррозии, составляет:

$$K_{\text{O}_2} = 4 \text{ Fe} : (3 * \text{O}_2) = (4 * 56) : (3 * 32) = 2,33.$$

Диоксид углерода играет роль катализатора кислородной коррозии. При его наличии в воде каждая молекула прореагировавшего кислорода переводит в продукты коррозии четыре молекулы железа:



Для этого процесса коррозионный коэффициент кислорода составляет:

$$K_{\text{O}_2} = 4 C_{\text{Fe}} : C_{\text{O}_2} = 4 * 56 : 32 = 7. \quad (1.4)$$

Таким образом, присутствие в воде свободного диоксида углерода в три раза повышает интенсивность кислородной коррозии металла.

В действительности концентрация железа в воде на выходе из стального трубопровода будет несколько отличаться от полученной по формуле (1.4), вследствие влияния побочных процессов (оседание продуктов коррозии на стенки трубопровода или растворение ранее

отложившихся и т.д.). В примере 1.1 приведены результаты наблюдений за изменением качества воды при перекачке её по стальным трубопроводам.

Пример 1.1. Объектом наблюдений был выбран стальной водовод диаметром 250 мм, протяженностью 8 км. Вторым объектом наблюдений явились два новых стальных водовода диаметром 800 мм длиной 12 км. Оба водовода смонтированы методом эстакадной прокладки на побережье Каспийского моря в РК. В ходе наблюдений ежемесячно отбирались и анализировались пробы воды в начале и в конце указанных выше стальных трубопроводов. Полученные анализом данные по загрязнению воды железом сопоставлены с расчетными значениями, подсчитанными по формуле (1.4). Результаты наблюдений и их обработки приведены в табл.1.5.

В связи с тем, что перекачивающие насосы работают нерегулярно, отбирать строго корреспондирующие пробы в начале и конце трубопроводов не удавалось. Поэтому в табл. 1.5 имеют место некоторые неувязки в содержании углекислоты, в значениях рН и др. Но эти неувязки не меняют общей картины.

Как видно из табл. 1.5, при движении по старому стальному трубопроводу дистиллят заметно обогащается железом. В июне, при содержании в дистилляте кислорода порядка $0,28 \text{ г/м}^3$, концентрация железа возросла до $1,81 \text{ г/м}^3$, что в 6 раз превышает предельно допустимую концентрацию его в воде для бытовых нужд.

Сопоставление данных анализов с расчетными значениями показывает, что концентрация железа в дистилляте на выходе из старого дистиллятопровода близка к расчетной, что свидетельствует о наступлении равновесия между процессами коррозии металла и перехода продуктов коррозии в воду. Что касается трубопровода диаметром 800 мм, то расчетные концентрации железа в нем превышают данные наблюдений в среднем на 45%.

Следовательно, значительная часть продуктов коррозии отлагается на стенках труб, что, вероятно, характерно для начального периода их эксплуатации.

Восстановление агрессивной углекислоты (реакция 1.3) приводит к тому, что на выходе из трубопроводов коррозионные свойства дистиллята сохраняются. Поэтому применение каких-либо защитных покрытий внутренней поверхности стальных водоводов не предотвратит коррозию оборудования и водопроводной сети. В этих условиях для дистиллята, идущего на бытовые нужды, выгоднее предварительная стабилизационная обработка. Удаление кислорода будет бесцельно; воду все равно придется аэрировать для придания ей хорошего вкуса.

Наблюдается также заметная корреляция между количеством абонентов водопровода, с одной стороны, и средним возрастом трубопроводов и количеством аварийных разрушений на них, с другой стороны: в более крупных централизованных системах водопровода срок службы труб дольше. Это объясняется, во-первых, большими

инвестициями, выделяемыми муниципалитетами крупных городов на обслуживание труб и обработку водопроводной воды, а во-вторых, повышенными прочностными характеристиками труб большого диаметра, имеющих значительную толщину стенки.

Таблица 1.5

Результаты годичного цикла натуральных наблюдений за изменением качества воды при транспортировании по стальным водоводам

Показатель	Старый водовод диаметром 250 мм и длиной 8 км							Новый дистиллятопровод диаметром 800 мм и длиной 12 км				
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
T ⁰ C	<u>44</u> 18	<u>45</u> 15	<u>45</u> 14	<u>45</u> 19	<u>44</u> 24	<u>45</u> 28	<u>60</u> 23	<u>38</u> 26	<u>34</u> 24	<u>36</u> 19	<u>43</u> 16	<u>44</u> 19
pH	<u>7,0</u> 7,2	<u>7,1</u> 6,9	<u>7,7</u> 7,2	<u>7,5</u> 7,7	<u>7,5</u> 6,9	<u>7,2</u> 6,8	<u>7,5</u> 7,1	<u>7,9</u> 8,2	<u>6,1</u> 7,0	<u>7,9</u> 6,0	<u>7,5</u> 6,2	<u>7,5</u> 7,0
P, г/м ³	<u>3</u> 5	<u>2,4</u> 15,5	<u>5,3</u> 7,4	<u>8,7</u> 9,9	<u>8,5</u> 11	<u>11</u> 13,2	<u>4,9</u> 7,5	<u>13,6</u> 18,3	<u>2,4</u> 10,6	<u>1,4</u> 8,6	<u>2,2</u> 11,5	<u>2,8</u> 6
Щ мг-экв/л	<u>0,09</u> 0,12	<u>0,023</u> 0,062	<u>0,008</u> 0,02	<u>0,033</u> 0,039	<u>0,027</u> 0,033	<u>0,03</u> 0,04	<u>0,03</u> 0,039	<u>0,0570</u> ,08	<u>0,132</u> 0,036	<u>0,013</u> 0,117	<u>0,02</u> 0,195	<u>0,15</u> 0,08
C _{O₂} , г/м ³	<u>0,12</u> 0,05	<u>0,1</u> 0,06	<u>0,11</u> 0,06	<u>0,22</u> 0,03	<u>0,15</u> 0,02	<u>0,28</u> следы	<u>0,2</u> следы	<u>0,1</u> следы	<u>0,11</u> 0,05	<u>0,1</u> 0,06	<u>0,13</u> 0,05	<u>0,15</u> 0,2
Агрессивная C _{CO₂} , г/м ³	<u>1,2</u> 0,9	<u>0,4</u> 2,3	<u>1,07</u> 0,97	<u>2,5</u> 3,6	<u>1,5</u> 0,9	<u>0,83</u> 1,7	<u>0,15</u> 0,23	<u>0,4</u> 0	<u>1,83</u> 0,9	<u>0,3</u> 1,77	<u>0,45</u> 2,6	<u>0,4</u> 0,9
C _{Fe_{общ}} , г/м ³ : -по данным наблюдений	<u>0,1</u> 0,6	<u>0,7</u> 0,32	<u>0,12</u> 0,42	<u>0,14</u> 1,36	<u>0,1</u> 0,2	<u>0,09</u> 1,81	<u>0,06</u> 1,2	<u>0,11</u> 0,66	<u>0,08</u> 0,35	<u>0,21</u> 0,32	<u>0,14</u> 0,5	<u>0,1</u> 0,7
- в конце водовода по формуле (1.4)	0,59	0,35	0,47	1,47	1,01	2,05	1,46	0,81	0,5	0,49	0,7	1,01
Отклонение в %	-1,7	+9,4	+11,9	+8,1	+23,2	+13,3	+20,6	+22,7	+42,9	+53,2	+40	+44,3

Примечание. В числителе указываются показатели качества воды в начале водовода, в знаменателе – в конце его

В водоводах электрохимическая коррозия железа протекает с кислородной деполяризацией. Однако процесс разрушения металла в пресной воде резко интенсифицируется в присутствии CO_2 .

Индикаторными измерениями в течение одногодичного периода наблюдений показано, что низкая температура и электропроводность нестабильной воды в условиях эксплуатации стальных труб практически не оказывают ингибирующего эффекта на протекание коррозии железа.

Пример 1.2. Исследования проводились на стальном трубопроводе протяжённость 18,5 км, транспортирующем воду озера Истихед (Чукотка). Озёрная вода имеет солесодержание 150 мг/л и среднегодовую температуру около 10°C . Скорость коррозии стали установлена в пределах от 0,12 до 0,28 мм/год в зависимости от мест установки индикаторов по трассе трубопровода, смонтированного в теплоизоляционном кожухе выше земли.

Пример 1.3. В опреснённой дистилляцией воде г.Актау (РК) с общим солесодержанием 25 мг/л и температурой немногим выше 20°C скорость коррозии углеродистой стали марки Ст.3 составила 0,12 мм/год.

Протяжённость трубопровода, смонтированного также методом эстакадной прокладки на побережье Каспийского моря в г.Актау – 12 км.

Следует отметить, что в обоих исследованиях характер коррозионных разрушений на поверхности образцов имел язвенную природу, что даёт основание считать полученные скорости коррозии не только высокими, но и эксплуатационно опасными.

Пример 1.4 связан с переброской волжской воды в аридный район восточного побережья Каспийского моря по водоводу «Астрахань-Мангышлак». Водовод "Астрахань-Мангышлак" проектной производительностью 260 тыс. м³/сутки выполнен из труб диаметром 1220-1020 и 720 мм (сталь 17 Г1С) без внутреннего цементно-песчаного покрытия, стабилизационная обработка воды не производится, в качестве антикоррозионной защиты его внутренней поверхности с 1997 г. применяется полифосфатный ингибитор KW 2353 фирмы "Baker Petrolite".

Водозабор осуществлен из пр. Кигач р. Волга ковшом-отстойником производительностью 6 м³/с, 4 водоприемниками с рыбозащитными кассетами, насосной станцией 1 подъема, вместимостью суточного регулирования (во время нереста и ската молоди рыб) и двумя водоводами 1 подъема.

При двух действующих насосных станциях фактический расход транспортируемой воды равен 56 тыс.м³/сут. с колебаниями расходов от 36 до 89 тыс.м³/сут. При реализации максимального напора воды на ГНС (5 МПа) подача потока в водовод ограничена расходом 100 тыс.м³/сут.

Качество речной воды характеризуется следующими основными показателями: взвешенные вещества 300-10000 мг/дм³; цветность 0-1 град.; Щ = 1,7-2,6 мг-экв/л; Ж = 3,8-10,8 мг-экв/л; рН 7,8-8,2; Р=230-1800 мг/л; перманганатная окисляемость 0,5-2,1 мг O_2 /дм³; содержание: Са = 2,5-5,9

мг-экв/л; сульфатов 116-466 мг/л; хлоридов 74-430 мг/л; железа 1,6-15 мг/л.

Как видно из этих показателей, речная вода отличается высокой мутностью и повышенным удержанием хлоридов и сульфатов. В летний период мутность воды колеблется в пределах 500-10000 мг/дм³, в весенне-осенний - до 2000 мг/дм³, а в зимний составляет 300-700 мг/дм³. Дисперсность и гидравлическая крупность взвеси в речной воде изменяются по сезонам года. Наибольшая гидравлическая крупность частиц наблюдается в летний период. В осенне-весенний и особенно в зимний периоды года осаждаемость взвеси ниже, что затрудняет обработку речной воды. Предусмотренные проектом на существующем комплексе головные очистные сооружения не построены: микрофильтры, ступень механических кварцевых фильтров с вводом коагулянта.

Качество воды, транспортируемой по водоводу в различных его пунктах, по макрокомпонентному составу практически мало изменяется. Микрокомпонентный состав транспортируемой воды (тяжелые металлы, неметаллы) с токсическим признаком вредности подвергаются незначительным сезонным колебаниям, соизмеримым с погрешностью методов определения.

Концентрация растворенного в воде кислорода убывает по водоводу, причем в летний и осенний периоды (исходная 9-11 мг/л) она практически срывается уже на 448 км и далее транспортирование воды осуществляется в анаэробных условиях. В зимний сезон при более высоком уровне исходных концентраций кислорода в воде (≥ 14 мг/л) и пониженных температурах растворенный кислород сохраняется практически до конца водовода - 973 км. В весенний паводок кислород в воде по трассе водовода снижается более интенсивно, сохраняясь до 652 км. В транспортируемой воде выявлены низкие биогенная активность и коррозионная агрессивность микрофлоры.

Из результатов многолетних обследований следует, что водовод эксплуатируется без аварий, протечек. Механические свойства исследованных вырезок металла удовлетворяют требованиям ГОСТ 19281-89 для стали 17Г1С. На основной части внутренней поверхности водовода скорость коррозии соответствует допуску СанПиН 41.02-2003 (РД 153-3420-599-99).

Лимитирующим периодом года, определяющим технологию предочистки исходной воды для подачи ее в водовод, является весенне-летне-осенняя межень.

Причём, водозаборные сооружения не являются барьером для полной защиты ГОС от мелких форм планктона, что связано с нестабильным режимом первичного хлорирования. Применяемые дозы хлора для первичного хлорирования (2.0 мг/л) и вторичного (1.5 мг/л) оказываются недостаточными для обеспечения в воде на выходе с ГОС концентрации остаточного свободного хлора 0.5 мг/л. Для обеспечения надежных

условий транспортирования воды по водоводу необходима глубокая очистка речной воды от взвешенных веществ и коллоидов цветности применением коагулирования и флокулирования перед фильтрованием.

Сейчас идет корректировка технико-экономического обоснования на реконструкцию и расширение водовода «Астрахань-Мангышлак» до проектной мощности. Речь идет о водоснабжении дополнительно города Форт-Шевченко, поселков Баутино, Аташ, Шетпе и др. населенных пунктов на участке строящейся железнодорожной линии «Узень – граница Туркменистана».

Рекомендуемая технология обработки речной воды на ГОС: вторичное хлорирование → микрофильтрация → коагулирование (флокуирование) → фильтрование на скорых фильтрах → стабилизационная обработка.

Транспортируемая по водоводу вода в пунктах водоразбора должна подвергаться обработке. Для хозяйственно-питьевых целей схема водоподготовки включает в себя: первичное хлорирование, коагулирование с флокулированием, контактное фильтрование через осветлительно-сорбционные фильтры с загрузкой из кварцевого песка, вторичное обеззараживание воды, ее фторирование и стабилизацию для приведения потенциала осаждения карбоната кальция до значений 4-10 мг/л.

Пример 1.5. Определенный научный и практический интерес представляет опыт нижегородских специалистов, проводивших оценку изменения качественных параметров питьевой воды в несанированных трубопроводах при ее транспортировке от резервуаров чистой воды водопроводной станции до городских распределительных сетей.

В период экспериментов оценка качественных показателей питьевой воды проводилась по следующим приоритетным загрязнителям: хлор форму, трихлорэтилену, формальдегиду, связанному хлору, железу алюминию, мутности, цветности и нескольким микробным показателям. Результаты экспериментов, в частности, показали, что в воде по мере удаления от водопроводной станции увеличивается количество соединений железа, образующихся за счет влияния электрохимической коррозии. Так, интенсивность коррозионных процессов стальных водопроводных труб увеличивалась с 3,15 г/(м²*сут) в резервуаре чистой воды до 5,72 г/(м²*сут) на наиболее удаленных участках сети. При этом общая токсичность воды, определяемая по специальной методике помощью клеточного тест-объекта, возрастала на 10-15% на каждый километр удаления от станции.

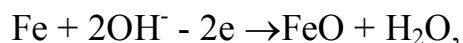
Пример 1.6. Вода от очистных станций водоснабжения до потребителя в центре г.Москвы движется в трубах несколько часов, проходя десятки километров, что, естественно, влияет на ее качество. По мере удаления от источника несколько (на 0,2 - 0,3 мг/л) повышается мутность, увеличивается содержание железа (на 0,02 - 0,03 мг/л), снижается количество остаточного хлора (на станции 1,0 мг/л, у

потребителя - до 0,2 мг/л). Незначительные изменения качества воды имеют место в городских резервуарах по тем же показателям.

Пример 1.7. Декарбонизация мягкой низкощелочной воды в охлаждающей системе оборотного водоснабжения ТЭЦ в г.Глазов. Как известно, удаление CO_2 из агрессивной воды способствует её стабилизации, но ощутимое снижение коррозионной активности стабилизированной таким образом воды наступает только при низкой её жёсткости и наличии бикарбонатной щёлочности. Этот факт экспериментально подтверждён в циркуляционном контуре, подпитываемым умягчённой водой, где уменьшение содержания неорганического углерода осуществлялось за счёт отдувки CO_2 на вентиляторной градирни, то есть градирня в этом случае играет роль декарбонизатора. Умягчённая вода имеет рН 7,63, Щ = 7,7 мг-экв/л, Ж = 0,05 мг-экв/л, содержание сульфатов 1,76 мг-экв/л, хлоридов 3,2 мг-экв/л, натрия и калия 9,87 мг-экв/л.

При снижении содержания в оборотной воде CO_2 одновременно с перераспределением содержания составляющих общей Щ оборотной воды имеет место рост её вследствие концентрирования растворённых солей. Зависимость построена по результатам совместного решения уравнений I и II –ой ступени диссоциации угольной кислоты, уравнений диссоциации воды и её щёлочности без учёта ионной силы воды и образования ионных пар.

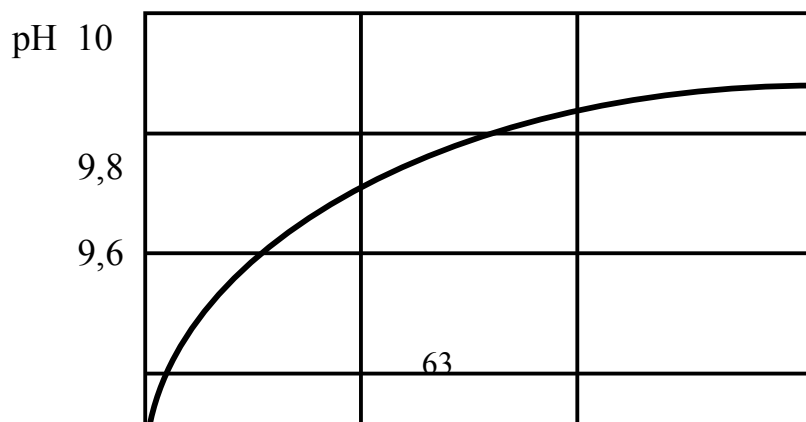
Из рис. 1.11 видно, что с повышением Щ умягчённой воды её рН приближается к 10. При достаточно высокой концентрации ионов гидроксида в воде возможно образование на поверхности стали пассивирующего оксида за счёт кислорода гидроксида без внешней анодной поляризации по реакции:



где e – электрон.

Ионы водорода из гидроксида соединяются с другим гидроксидом, образуя воду.

О динамике изменения рН оборотной воды и коэффициента упаривания в начальный период работы системы свидетельствуют данные табл. 1.6.



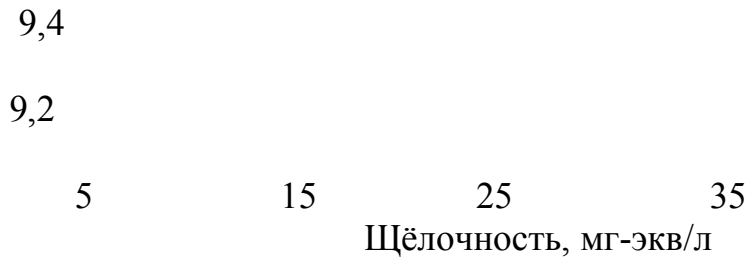


Рис. 1.11. Характер зависимости рН умягчённой воды от её Щ

Из анализа этих данных видно, что рН оборотной воды возрастает от величины, равной рН подпиточной воды, до значений, близких к 9 уже в первые 3 ч работы системы и в дальнейшем после вывода системы на расчётный режим практически не меняется.

Таблица 1.6

Динамика изменения рН оборотной воды и коэффициента упаривания в начальный период работы системы

Наименование параметров	Значения параметров					
	0	3	10	23	28	33
Продолжительность работы системы, ч						
K_y	1	1,14	1,56	2	2,75	3,19
рН оборотной воды	7,63	8,93	8,95	9,04	9,1	9,18

По данным обработки индикаторов, основывающейся на гипотезе о равномерном характере коррозионных разрушений поверхности металла, скорость коррозии стали в оборотной воде составила 0,34 г/(м² * ч) спустя 4 ч; 0,04 г/(м² * ч) – после 96 ч и 0,02 г/(м² * ч) – после 264 ч. Таким образом, скорость коррозии углеродистой стали в оборотной воде в начальный период работы системы оборотного водоснабжения имеет затухающий характер и уже через 11 сут практически не превышает эксплуатационно опасных размеров.

1.5. Аварийность современных систем подачи и распределения воды

Все негативные моменты, связанные с функционированием трубопроводных систем, можно [15] разделить на 2 группы:

- структурные недостатки и
- функциональные.

Ниже дан анализ дефектов, входящих в каждую из этих групп.

Структурные недостатки происходят в результате нарушения герметичности стыков, высокого давления в ночные часы, разрушениями ниже уровня грунтовых вод, разрушением труб в почвах с высокой кислотностью и др.

Статистические данные по эксплуатации водопроводных сетей и водоводов показывают, что наибольший процент повреждений приходится на стыки. В стальных трубах значительное количество повреждений обуславливается электрохимической коррозией металла.

Последствия таких аварий являются достаточно серьёзными. В условиях крупных населённых пунктов быстро обнаружить аварию бывает достаточно сложно, так как вода, вытекающая в месте повреждений, может распространяться под асфальтовым покрытием на большие расстояния, прежде чем выйдет на поверхность земли. При этом повышается статический уровень грунтовых вод с последующими затоплением подвалов домов и снижением их устойчивости, проникновением в туннели и каналы других технических служб города и, наконец, с неоправданными потерями очищенной водопроводной воды.

Даже в благоприятных случаях, когда места утечек водопроводной воды удаётся обнаружить достаточно быстро, при отключении повреждённого участка для ремонта в сети происходит перераспределение потоков воды, подаются давления и нарушается нормальное снабжение водой потребителей.

Поэтому, наряду с профилактикой аварий, актуальной является проблема установления закономерностей развития аварий водопроводных трубопроводов. Это, в числе прочего, позволит разработать обоснованную систему плановых сроков замены действующих систем трубопроводов до достижения ими периода работы с высокой аварийностью.

Поскольку аварийность водопроводных труб носит в большинстве случаев стохастический характер, то методология данного анализа основывается в основном на элементах математической статистики.

Повреждение, приводящее к необходимости отключения трубопровода (или его участка) для проведения ремонта или замены, называют *отказом*. В качестве количественной меры для оценки надёжности трубопроводов принята *интенсивность отказов* трубопровода W , $1/(\text{км}\cdot\text{год})$, т.е. частота отказов 1 км трубопровода в течение года. Значения интенсивности отказов трубопроводов получают путем статистической обработки данных по отказам действующих трубопроводных систем.

Зная числовое значение интенсивности отказов W , можно определить другие показатели надёжности трубопроводов длиной L км:

средняя наработка на отказ (T), ч

$$T = 1/(L * W);$$

вероятность отказа в течение времени t

$$Q(t) = 1 - \exp(-L * W * t);$$

вероятность безотказной работы в течение времени t

$$P(t) = \exp(-L * W * t).$$

В табл.1.7 приведены некоторые статистические данные по “выживаемости” трубопроводов, эксплуатирующихся в настоящее время в

системах коммунального водоснабжения США и различающихся размерами обслуживаемых населённых пунктов.

Как видно из данных табл.1.7, во всех обследуемых населённых пунктах независимо от их размеров более половины труб находятся в эксплуатации более 20 лет, а максимальный возраст некоторых труб водопроводной сети уже превышает 100 лет. Наблюдается также заметная корреляция между количеством абонентов водопровода, с одной стороны, и средним возрастом трубопроводов и количеством аварийных разрушений на них, с другой стороны: в более крупных централизованных системах водопровода срок службы труб дольше. Это объясняется, во-первых, большими инвестициями, выделяемыми муниципалитетами крупными городами на обслуживание труб и обработку водопроводной воды, а во-вторых, повышенными прочностными характеристиками труб большого диаметра, имеющих значительную толщину стенки.

В подтверждении второго аргумента в табл. 1.8 показано среднее число перерывов в подаче воды (аварий) за год эксплуатации, которое можно ожидать на водоводе в одну линию в зависимости от расстояния L , на которое транспортируется вода при условии, что водовод выполнен из чугунных труб.

Таблица 1.7

Возраст и количество разрушений (аварий с раскопкой)
водопроводных труб в коммунальном водоснабжении в США

Численность обслуживаемого населения, чел	Доля трубопроводов со сроком службы более 20 лет, %	Пределы изменения возраста труб, годы			Количество разрушений труб, ед./год
		минимальный	максимальный	средний	
<500	60,25	10	35	21	1,33
501-3300	58,86	2	112	50	7,51
3301-10000	58,97	11	134	62	13,27
10001-50000	60,65	20	130	71	41,29
50001-500000	42,53	12	120	67	97,12
>500000	69,57	20	140	91	466

Более подробно зависимость отказов трубопроводов водопровода от диаметра труб из чугуна и стали исследована на примере Московского водопровода (см. рис.1.12).

Таблица 1.8

Показатели аварийности водоводов

Диаметр водовода D, мм	Среднее число $n_{ав}$ за год эксплуатации при длине водовода L, км			
	1	2	10	15
200	1	5	9	14
400	1	3	6	10
600	-	2	5	7
800	-	2	4	6

При составлении таблицы принято, что интенсивность отказов W в зависимости от диаметра водовода D составляет

D, мм	200	400	600	800
W , ед./год* км)	0,92	0,65	0,46	0,37

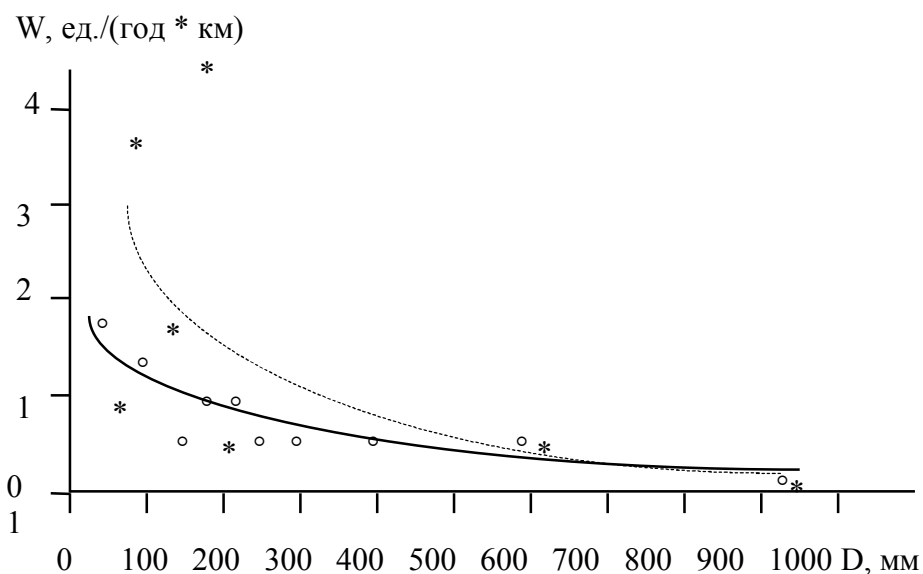


Рис.1.12. Зависимость интенсивности отказов трубопроводов W Московского водопровода от диаметра труб D из:
 — - чугуна (*) ————- стали (°).

Как видно из рис.1.12, эксплуатационные данные удовлетворительно аппроксимируются степенной функцией вида

$$W = A * D^{-b}, \quad (1.5)$$

где W -интенсивность отказов трубопроводов, ед./(\text{год} * \text{км});

D - диаметр труб, мм;

A и b - коэффициенты формулы, зависящие от материала труб. Для чугунных труб $A = 157,64$ и $b = 1,15$, а для стальных $A = 81,51$ и $b = 0,984$.

Для Московского водопровода средневзвешенное значение величины интенсивности отказов трубопроводов составляет $W = 0,51$ ед./(\text{год} * \text{км}), что выше аналогичных показателей большинства городов Европы. Одной из основных причин такого превышения является наметившийся в последние годы переход европейских стран на водопроводные трубы из коррозионностойких конструкционных материалов, аварийность на которых значительно меньше, чем на трубах из чёрных металлов. На рис. 1.13 показана эта тенденция на примере коммунального водоснабжения Голландии.

Как видно из рис.1.13, за последние 40 лет в коммунальном водоснабжении Голландии чугунные вытесняются более коррозионностойкими асбестоцементными и пластмассовыми трубами.

Длина
трубопровода, 10^3 км

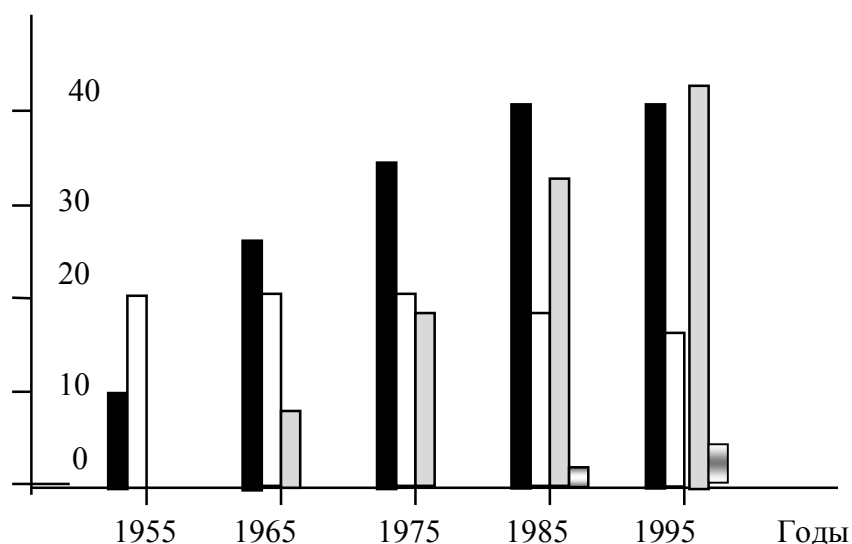


Рис.1.13. Изменение структуры используемых конструкционных материалов для труб диаметром свыше 50 см в водопроводах Голландии

- асбестоцемент,
 - чугун,
 - поливинилхлорид,
 - полиэтилен.

В сейсмических районах земли интенсивность отказов водопроводов резко возрастает. Для чугунных труб, уложенных в этих районах, коэффициенты в формуле (1.5) найдены равными: $A = 0,5$ и $b = 1$, что даёт расчётную величину W , превышающую на порядок интенсивность отказов тех же труб в нормальных условиях эксплуатации.

Обобщённый вид эмпирических функций интенсивности отказов трубопроводов водопроводной сети г. Москвы по срокам их эксплуатации показан на рис. 1.14. На рис.1.14 можно установить наличие зон стабильности интенсивности отказов в первые 10-17 лет эксплуатации труб, когда значения её не превышают 0,3 (чугунные трубы) и 0,61 ед./(год * км) (стальные трубы). Затем аварийность труб резко возрастает. Как видно из табл.1.6, в США резкий скачок количества аварий наблюдается при среднем возрасте труб около 70 лет. В числе причин долголетия американских водопроводных труб - обязательное нанесение внутренней изоляции в них, применение ингибиторов коррозии чёрных металлов (в 1500 населённых пунктах США практикуется противокоррозионная обработка питьевой воды полифосфатами натрия), тщательный контроль за режимом хлорирования воды и др.

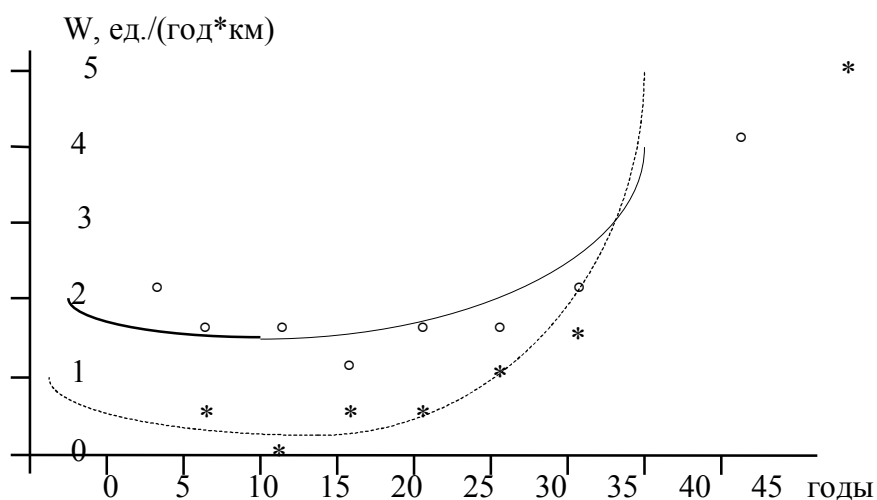


Рис.1.14. Изменение интенсивности отказов W (аварий с раскопкой) трубопроводов Московского водопровода по срокам их службы T . Обозначения точек и кривых те же, что на рис.1.12

В Канаде, количество аварий на трубопроводах систем коммунального водоснабжения с годами возрастает по экспоненциальному закону, описываемому следующей формулой:

$$N(t)_i = N(t_0)_i * e^{\alpha_i (t - t_0)} \quad (1.6)$$

где $N(t)_i$ - количество аварий труб с раскопкой в год в группе i в год t ; $N(t_0)_i$ - $N(t)_i$ в базовый год t_0 ; α_i - коэффициент интенсивности аварийных отказов труб в группе i , ед./год.

В формуле (1.6) коэффициент α_i определяется по результатам корреляционно - регрессионного анализа выборочной совокупности числа фактических отказов в сформированной по характерным признакам гомогенной группе трубопроводов за выбранный промежуток времени наблюдений. Важнейшими признаками гомогенности являются: конструкционный материал трубопроводов, их диаметр, среднее эксплуатационное давление перекачиваемой воды и тип грунта. При применении формулы (1.6) для прогноза числа отказов промежутков времени наблюдений, используемый для расчёта α_i , должен составлять не менее 70% от $(t - t_0)$.

В ряде случаев показатели надёжности водопроводного оборудования определяются расчётным путём, который предусматривает выделение элементов оборудования, лимитирующих безотказность его работы. Для выделенных элементов составляют логическую схему соединения, отражающую их роль в обеспечении надёжности работы оборудования. Так, при оценке надёжности запорно-регулирующей арматуры в качестве элементов логической схемы выделяют клапанно-запорное устройство, скользящее уплотнение, корпус, прокладки, резьбовые соединения, возвратные пружины, винтовые пары и сальниковый узел. Для выделенных элементов определяют вид распределения наработки на отказ, показатели надёжности (интенсивность отказов), коэффициент вариации.

Определённая расчётным путём интенсивность отказов составила в г. Москва для задвижек с электроприводом $0,6 * 10^{-4}$ ед./(час*км) и для обратных клапанов $0,08 * 10^{-4}$ ед./(час*км).

Из рис. 1.15 можно установить характер преобладающих аварий на водопроводных сетях г. Санкт-Петербург. Это - свищи, переломы и спаи.

При предварительной оценке инвестиций для ликвидации ущерба, причиняемого авариями труб, можно пользоваться значениями удельных капитальных затрат на строительство водопроводов в северных штатах США (табл.1.9), где глубина промерзания грунта более 0,9 м. Из табл. 1.9 видно, что удельные капитальные затраты на сооружение водопроводных

сетей возрастают со 187,73 до 378,54 долл. США/погонный м при увеличении диаметров труб от 150 до 400 мм. Для водоводов эти затраты увеличиваются со 199,15 до 451,8 долл. США/м при возрастании диаметров труб от 200 до 600 мм. Причём, стоимость строительства сетей дороже водоводов при одинаковом диаметре труб.

Таблица 1.9. Удельные капитальные затраты на строительство водопроводов в США

Удельные капитальные затраты в долл. США/м для труб диаметром в мм:								
150	200	250	300	350	400	450	500	600
в водопроводных сетях								
187,73	202,46	242,16	299,77	339,17	378,54	-	-	-
в водоводах								
-	199,15	216,24	233,33	296,49	359,61	401,71	443,83	451,8

Экономическая эффективность проведения планово-восстановительных ремонтов сети трубопроводов и отдельных ее участков может быть определена следующим образом:

$$\mathcal{E} = [\sum Z_{a.p} - \sum Z_{п-в.p.}] * L + \Delta q_{п} * C_{T} + \Delta Q * C_{T} + \Delta W * C_{\mathcal{E}},$$

где \mathcal{E} - экономическая эффективность проведения планово-восстановительных ремонтов; $Z_{a.p}$ и $Z_{п-в.p.}$ — удельные затраты соответственно на аварийный и планово-восстановительный ремонт на 1 км участка сети; L - длина участка восстанавливаемой сети; $\Delta q_{п}$ - снижение объема потерь и скрытых утечек воды на данном участке, полученное в результате проведения планово-восстановительного ремонта; C_{T} — отпускная цена на водопроводную воду; ΔQ и ΔW - соответственно повышение производительности и снижение затрат электроэнергии на транспортировку воды после ремонта участка сети; $C_{\mathcal{E}}$ - стоимость электроэнергии.

Функциональные недостатки связаны с отложениями в трубах, повышением мутности воды, коррозией труб, нехваткой давления насосного оборудования, большими колебаниями воды в регулирующих резервуарах и др.

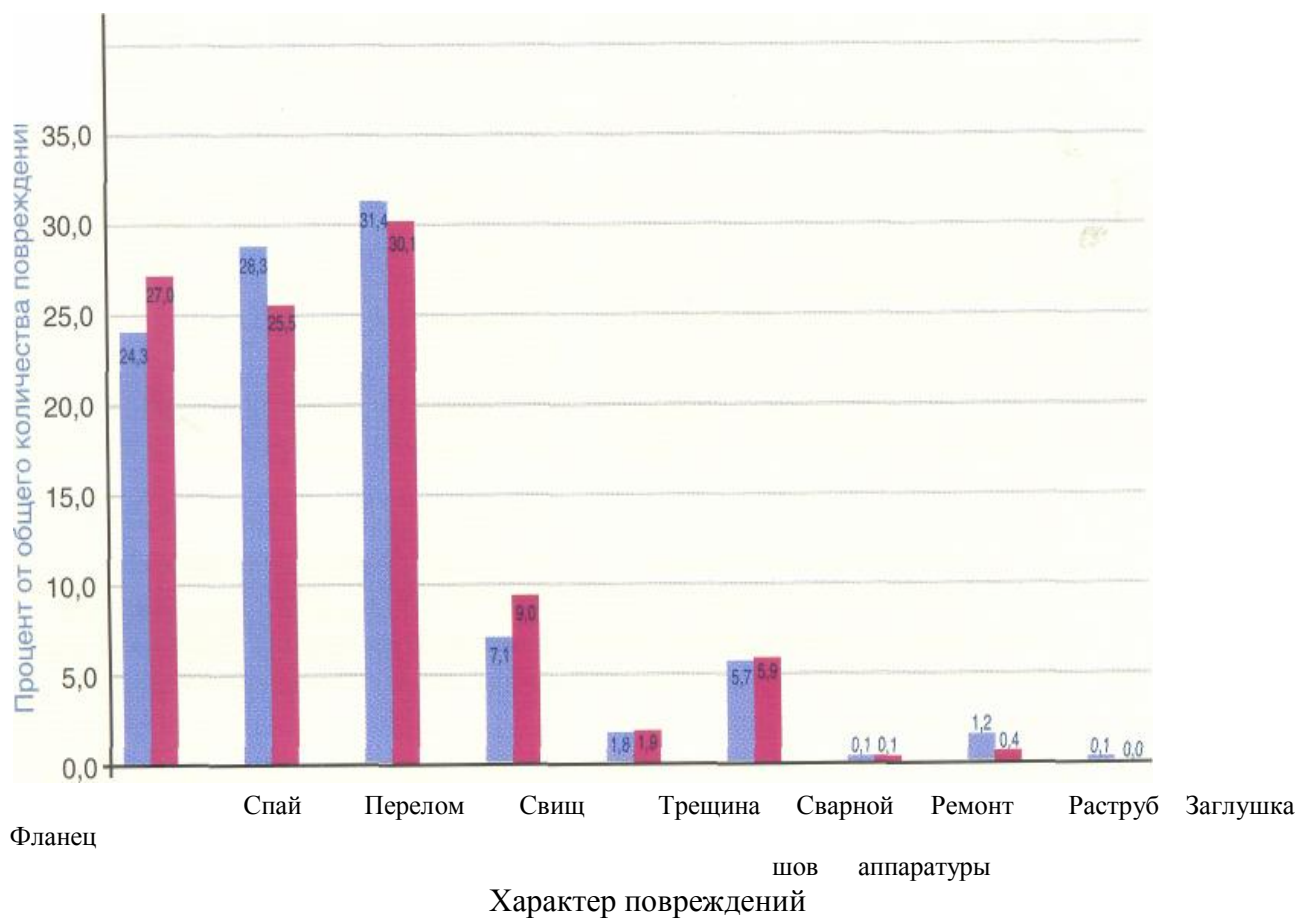


Рис.1.15. Характер повреждений водопроводных сетей г.Санкт-Петербург в 2005-2006 гг. В каждой паре столбцов нечётный -2005 г., чётный-2006 г.

Выводы по главе 1

1. Одним из преобладающих факторов негативной работы напорных трубопроводных сетей являются многочисленные дефекты: коррозия, свищи, нарушения в стыках, переломы, а в безнапорных – засоры, как следствие полученных повреждений, старение материала труб, изначальные заводские дефекты труб или их стыков, низкая культура пользования системой водоотведения и другие обстоятельства.

2. В настоящее время прогноз количества аварий водопроводных труб производится с наибольшей достоверностью. Однако для его эффективного применения требуется наличие длительных и систематических наблюдений за эксплуатацией выбранных для изучения труб в ретроспективе.

3. Расчётный метод является базовым в РФ при анализе надёжности водопроводных труб и оборудования.

4. Целесообразно провести дополнительные натурные исследования с целью определения зависимости величины интенсивности аварийных отказов водопроводных труб из-за внутренних коррозионных повреждений

от значений индекса насыщения и потенциала осаждения карбоната кальция.

5. Для строительства городских трубопроводных систем водоснабжения и напорной канализации на протяжении многих десятилетий наиболее широко использовались стальные трубы. В настоящий момент конкуренцию им составляют трубы из высокопрочного чугуна с шаровым графитом (ВЧШГ) и трубы из полимерных материалов.

Глава 2. Организационно-технические мероприятия по повышению срока службы трубопроводных систем

В этой главе рассмотрены основные инженерные решения по профилактике [14] аварийного разрушения водопроводно-канализационных внешних и внутренних коммуникаций, реализуемые на стадиях проектирования и эксплуатации соответствующих систем

2.1. Оптимизация гидравлических режимов потокораспределения воды в городских коммуникациях

Одна из главных проблем эксплуатации городских водопроводных сетей - кратковременное ухудшение качества воды в сети при изменении направлений потоков, вызванных отключениями участков трубопроводов во время ремонтных работ. Для ее решения производятся гидравлические расчеты, направленные на определение участков с изменяющимся направлением движения воды. На их основе определяются мероприятия по

снижению влияния ремонтных работ на гидравлические режимы работы водопроводных сетей и проводится оповещение населения о возможном ухудшении качества воды. Это позволяет в несколько раз снизить количество жалоб на плохое качество воды от жителей города. Результаты гидравлических расчетов могут использоваться также при составлении программ промывки сетей с низкими скоростями потока и для отработки действий персонала при аварийных отключениях [24].

Не менее актуальной является задача предотвращения ухудшения качества воды в процессе транспортировки ее по трубам. Наилучший путь решения задачи - выборочная санация труб. Основой для разработки новой стратегии санации сети можно считать одновременное моделирование потокораспределения и качества воды. Эта стратегия представляет собой процесс оптимизации по критерию минимума затрат на санацию сетей при снижении сопротивления санируемых участков трубопроводов и сокращении вторичного загрязнения воды продуктами коррозии. Организация вычислительного процесса оптимизации на базе комплексных гидравлических расчетов с определением прироста содержания трехвалентного железа как функции продолжительности пребывания воды в трубопроводных коммуникациях позволяет разрабатывать эффективные программы их санации и реконструкции. Например, построенная на базе нового подхода программа санации сетей одного из районов г. Санкт-Петербурга, по сравнению с ранее разработанной программой без применения гидравлического моделирования, позволяет достичь снижения прогнозируемого содержания растворенного железа при одновременном сокращении протяженности санируемых труб на 44 %.

Благодаря гидравлической модели эксплуатационный персонал ВКХ получает возможность прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций, вызывающих серьезные изменения режимов работы взаимодействующих насосных станций, вплоть до отключения части из них. Например, перед плановыми учениями выполняются расчеты по обеспечению водоснабжения потребителей при полной или частичной остановке какой-либо насосной станции. На основании расчетов определяется эффективность запланированных мероприятий, выдаются рекомендации по режимам работающих станций, рассчитываются ожидаемые напоры в зоне влияния отключенной станции. Следует еще раз подчеркнуть, что моделирование является практически единственным инструментом для решения подобных задач.

Обеспечение устойчивого развития городского хозяйства требует опережающего строительства инженерных коммуникаций. При разработке программ развития системы водоснабжения и расчетах повышенной сложности определяется возможность изменения схемы водоснабжения отдельных городских территорий.

При выдаче технических условий на присоединение крупных новых потребителей к водопроводным сетям выполняется анализ влияния новой нагрузки на напоры в сети. Нередко, особенно в центре города, ввод

новых нагрузок без предварительной реконструкции водопроводных сетей способен привести к нарушению водоснабжения существующих абонентов. В подобных случаях объём требуемых мероприятий по реконструкции сетей должен уточняться в ходе гидравлических расчётов.

Среди новых задач, которые должны решаться на основании моделирования, наиболее актуальной является внедрение систем моделей водопроводных сетей в реальном времени. Такие модели предусматривают обмен между информацией о напорах и расходах воды, получаемой из систем телеметрии, и результатами непрерывно выполняемых полностью автоматизированных гидравлических расчетов, анализ причин отклонения расчетных и фактических данных. Такие системы могут использоваться, в частности, для прогнозирования аварийных ситуаций и мест возникновения крупных утечек воды.

2.2. Предотвращение аварийных утечек воды из труб

Высокая степень износа водопроводных сетей и оборудования обуславливает большое количество аварий на сети, а также значительные объемы утечек водопроводной воды.

Утечки воды из водопроводной сети складываются:

- из видимых утечек через водоразборные колонки, уплотнения сетевой арматуры;
- из потерь воды при авариях и ремонте трубопроводов, арматуры и сооружений;
- из скрытых утечек воды из водопроводной сети и емкостных сооружений.

К потерям воды за счет естественной убыли относят:

- потери от просачивания воды в трубопроводах и резервуарах, размещенных на водопроводной сети, при их исправном техническом состоянии;
- потери на брызгоунос (ветровой и капельный унос) и испарение воды при эксплуатации фонтанов, установленных на водопроводной сети (в случае, если фонтанные системы находятся на балансе организации ВКХ).

Имеется четыре группы основных методов предотвращения потерь воды: технические, финансовые, законодательные и воспитательные. Они взаимосвязаны и порядок их перечисления не означает степень их значимости.

Технические методы

В сетях внешнего водопровода основными потерями являются утечки, которые могут достигать, по различным данным, 30% (рис. 2.1). Однако при сравнительно новой сети, правильной её эксплуатации с проведением мероприятий по ликвидации утечек их величина не должна превышать 7-

8% производительности водопровода при минимуме, равном 5%, который считается редко достижимым по экономическим соображениям.

Из рис. 2.1 видно, что полученные в результате исследований систем водоснабжения ряда городов РФ результаты (27-16,3 %), не сильно отличаются от данных зарубежных городов, где сети находятся в значительно лучшем состоянии. Так, например, в ряде городов Швеции утечки воды из водопроводной сети составляют 20-21 % от ее подачи, в Дании - 18 %, в Финляндии - 15-21 %. Объясняется это тем, что технически не всегда возможно и экономически целесообразно снижение объема неучтенных расходов и потерь воды ниже 15 %.

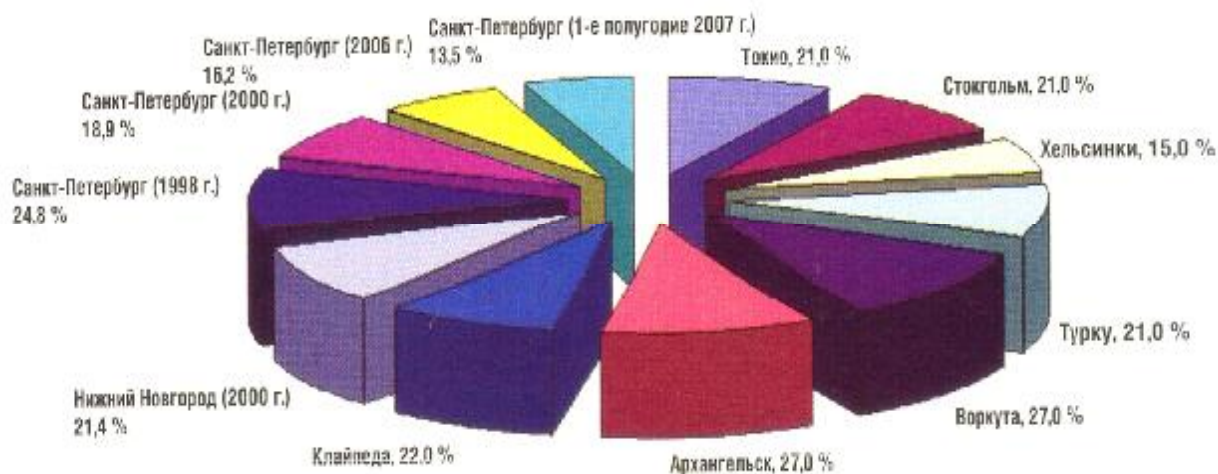


Рис. 2.1. Величины неучтенных расходов и потерь воды в водопроводной сети в ряде городов (% от общего водопотребления города)

Интенсивность аварий на сетях, так же как и объем утечек, зависит от степени изношенности водопроводной сети. Как показывает анализ эксплуатационных данных, объем потерь воды из городских водопроводных сетей прямо связан с числом аварий на них. В качестве примера на рис. 2.2 показано изменение объема потерь воды, а также количества аварий на водопроводной распределительной сети Санкт-Петербурга за период 1995-2006 гг. Поток отказов водопроводной распределительной сети Санкт-Петербурга за последние годы сократился с 0,5 до 0,37 1/км в год, средняя величина этого показателя по России составляет 0,7, а в Европе - 0,12-0,14 1/км в год.

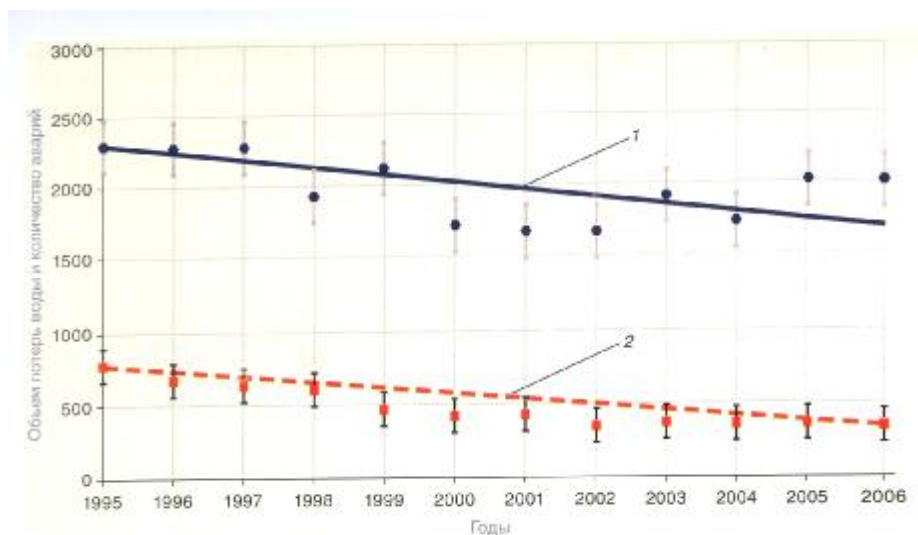


Рис.2.2. Изменение объёма потерь воды, а также частота аварий на водопроводной распределительной сети Санкт-Петербурга

1-количество аварий в год;

2-потери воды, м³/сут

Ниже рассмотрены следующие технические системы и мероприятия для предотвращения или раннего обнаружения аварийных утечек водопроводной воды: противоударные (регуляторы внутреннего давления и диафрагмы в сети, а также детектор аварийных протечек воды), и мероприятия по повышению механической прочности трубопроводов (обогревающая лента и промывка распределительных трубопроводных сетей).

Важным фактором, влияющим на потери как в сетях водопровода из-за гидравлических ударов, является давление [5, 6, 27, 28]. Чем выше давление, тем больше число неустранимых и неизбежных потерь. Например, при давлении 0,7 МПа потерь воды может быть примерно на 40% больше, чем при давлении 0,35 МПа. Государственные стандарты на рабочее давление в системе водоснабжения предусматривают различные его величины (м водн. ст.): Великобритания - 30 (верхнее), Франция - 30 (минимальное), Ирландия - 30,6 (верхнее), Италия - 61,2 (верхнее), Нидерланды - 20 (верхнее).

Для выполнения нормативных требований в части допустимых давлений воды у "диктующего" санитарно-технического прибора схемы водоснабжения в жилых домах с отметкой пола чердака не более 45 м водн. ст. в РФ рекомендуется принимать:

-однозонные с установкой квартирных регуляторов давления (КРД) на ответвлениях от стояков холодной и горячей воды. Для зданий большей этажности устройство зонного водоснабжения обязательно во всех случаях, в т.ч. и при установке КРД:

-диафрагмы перед водоразборной арматурой;

-частотное регулирование работы повысительных насосов.

Регуляторы давления - прямого действия являются автоматически действующей арматурой, обеспечивающей поддержание постоянного давления на участке системы до и после регулятора путём изменения расхода жидкости. Действие регулятора основано на использовании энергии жидкости, транспортируемой по трубопроводу. При необходимости понижения давления во внутренней водопроводной системе невысокого здания применяется регулятор давления прямого действия «после себя».

На рис. 2.3 приведена схема поперечного разреза редуктор КФРД 10-2.0. Как видно из этого рисунка, редуктор КФРД состоит из двух основных частей:

- кран-фильтра (КФ) и
- регулятора давления (РД).

Регулятор должен применяться в тех случаях, когда давление в городском водопроводе, выраженное в м водн. ст., превышает высоту водопроводной системы здания на 20 м и более. При установке регулятора следует иметь в виду, что он может применяться исключительно на хозяйственно-бытовых системах водоснабжения. На противопожарных системах регуляторы давления устанавливать не допускается. Установка регуляторов давления «после себя» рекомендуется на водопроводных вводах зданий детских садов и школ, расположенных внутри района, застроенного многоэтажными зданиями, а также в других подобных случаях. В случае необходимости для улучшения гидравлического режима в системе следует устанавливать регуляторы давления на вводах в группу квартир или квартиру. Установку регулятора давления на вводе в квартиру следует предусматривать после запорной арматуры на вводе.

Кран-фильтр (КФ) состоит из корпуса (1) с установленными в нем: шаровым краном (2) с ручкой (3), сеткой фильтра (4), закрытой пробкой (5). Регулятор давления (РД) состоит из основания (6), крышки (7), мембраны (8), пружины (9), штока (10) с запорным клапаном (12) и аварийным клапаном (11).

Редуктор КФРД работает следующим образом. В нормальном положении (без давления) он находится в открытом состоянии. При подаче на вход КФРД воды под давлением она через открытый шаровый кран (2), сетку фильтра (4), открытый клапан (12) поступает в выходную полость, сообщенную с полостью под мембраной (8). Давление под мембраной повышается и шток клапана (10) перемещается в сторону закрытия клапана. Изменение проходного сечения клапана обеспечивает поддержание выходного давления в заданных пределах.

Давление на выходе можно регулировать от 1 до 6,5 кгс/см²: при необходимости настройки следует снять протектор-колпачок и повернуть установочный винт по часовой стрелке для увеличения давления или против часовой стрелки для уменьшения давления.

Регулятор может быть оборудован манометрами, показывающими действительные значения входного и выходного давлений, согласно

которым, требуемое значение разности давлений может быть отрегулировано внутри диапазона растяжения используемой пружины. Стандартной версией является версия без манометров и регулятор должен быть отрегулирован согласно значениям давления или возможным значениям величины потока, измеренного непосредственно на данном устройстве. В случае, когда требуемое значение разности давлений находится в пределах диапазонов растяжения пружин разных диапазонов, удобнее выбрать диапазон с более низкими значениями растяжений, чтобы гарантировать чувствительность регулятора к изменению давлений.

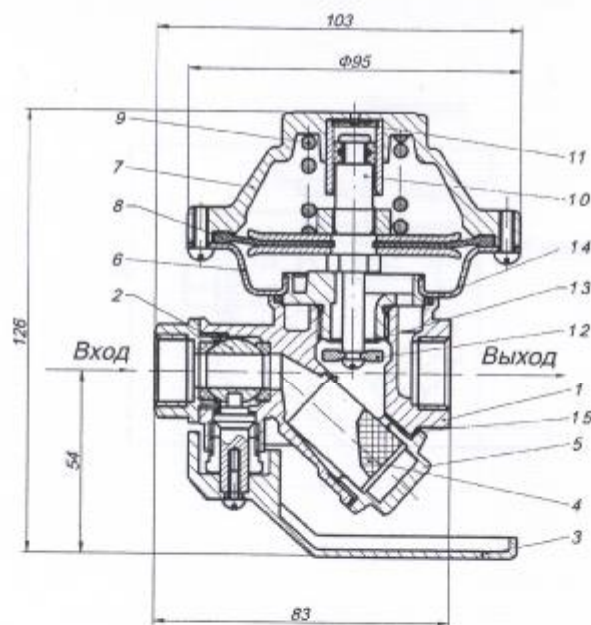


Рис.2.3. Вертикальный разрез регулятора перепада давления КФДР 10-2.0.

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| 1 - корпус | 6 - основание |
| 2 - шаровой кран | 7 - крышка |
| 3 - ручка | 8 - мембрана |
| 4 - сетка фильтра | 9 - пружина |
| 5 - пробка | 10 - шток |
| 15 - кольцо | 11 - аварийный клапан |
| уплотнительное | 12 - запорный клапан |
| | 13 - седло |
| | 14 - кольцо |
| | уплотнительное |

При отсутствии регуляторов давления допускается устанавливать *диафрагмы* перед водоразборной арматурой. Расчет диафрагм следует производить согласно СНиП 2.04.01-85 "Внутренний водопровод и канализация здания". Диафрагмы следует предусматривать из полимерных материалов, латуни, нержавеющей стали (устанавливать диафрагму в

подводках к арматуре газовых водонагревателей не разрешается). В случае ухудшения подачи воды в арматуре, перед которой установлена диафрагма, ее прочищают.

Рациональным способом регулирования давления в сети внутреннего водоснабжения является *частотное регулирование работы повысительных насосов*. Применением сложных систем управления повысительными насосами определяется необходимостью создания единой повысительной установки для систем холодного и горячего водоснабжения. Она должна рассчитываться на подачу суммарного секундного расхода воды при давлении, учитывающем потери в водонагревателях горячего водоснабжения, которые не должны превышать 1 атм в обеих ступенях подогрева. При этом максимальное давление в системе горячего водоснабжения не должно превышать 4,2 м водн. ст., а в холодном водопроводе в этом случае допускается 4,8 м водн. ст.

Снижение механической прочности трубопроводов может произойти как из-за нарушения его герметичности или стыковых соединений, коррозии материала труб и т.п. Причинами появления аварийного состояния водоводов и сетей являются: возникновение гидравлических ударов при внезапном гашении электроэнергии или по другим причинам; вибрация стыков (особенно в зыбких грунтах), например, при движении тяжеловесного транспорта, приводящая к нарушению стыковых соединений; повышение напоров в сетях с целью поддержания расчетных расходов воды при загрязнении труб отложениями; электрохимическая и почвенная коррозия; блуждающие токи; недоброкачественное выполнение монтажных работ; постороннее воздействие на трубопроводы (например, при земляных работах.) Установлено, что число повреждений увеличивается с октября до февраля. Это объясняется тем, что при замерзании грунта, насыщенного осенней влагой, происходит его неравномерное сжатие. В дальнейшем (ноябрь - февраль) грунт промерзает по глубине. При наличии склонных к выпучиванию влажных грунтов происходят значительные деформации, влияющие на состояние труб и стыковых соединений.

При нарушении цементной и асбестоцементной заделок раструбов старая заделка должна быть обязательно вырублена и заменена новой. При ликвидации аварий заделку стыков допускается производить свинцом, резиновыми кольцами или резиновым шнуром с устройством асбестоцементного замка путем послойно чередующейся зачеканки прядей льна и асбестоцемента. Свежие заделанные раструбные стыки, сразу поставленные под воздействие гидравлического давления, должны

находиться под наблюдением в течение 2-3 суток; давление при этом не должно превышать 0,3 МПа.

При повреждении раструбов чугунных труб либо устанавливают специальные накладные муфты, либо вырубает дефектный раструб и гладкие конусы труб закрепляют подвижной муфтой.

Заделка трещин и раковин на внутренней поверхности бетонных, стальных и чугунных трубопроводов может осуществляться бетонным раствором. Раствор, приготовленный из сульфатостойкого портландцемента, наносится на стенки труб с помощью растворонасосов с распылительной головкой, смонтированных на тележках, имеющих сзади вращающиеся лопасти для разравнивания набрасываемого на стенки труб раствора. При диаметре трубопровода менее 610 мм растворонасосы передвигают по нему с помощью электролебедки; в трубах большого диаметра применяются самодвижущиеся механизмы.

Существующие системы горячего водоснабжения (традиционные) проектируются с системой циркуляции для поддержания расчётной температуры (50-60⁰С) у потребителя в самой удалённой точке. Недостатком этой системы является значительная металлоёмкость (прокладка циркуляционных трубопроводов). Кроме того, при зонном водоснабжении возникает необходимость прокладки перемычек в средних этажах здания, что ухудшает интерьер и снижает потребительскую стоимость квартиры. Увеличенная протяжённость трубопроводов повышает аварийность в системе из-за высокой коррозионной активности горячей воды.

Для снижения указанных недостатков предлагается новая схема горячего водоснабжения зданий с *обогревающей лентой саморегулировки*. В этом случае централизованный водопровод горячей воды имеет схему аналогичную водопроводу холодной воды с тупиковыми подающими магистралями и разводками. Для нагрева воды, как и в традиционной системе, дополнительно предусматривается водонагреватель, а для предотвращения слива воды из-за остывания в трубопроводах и поддержания температурного режима горячего водоснабжения применяется метод обогрева трубопроводов с помощью обогревающих электрических лент саморегулировки. Прокладывается обогревающая лента от шкафа управления, расположенного в ЦТП, по квартальным сетям до дома, по магистралям в подвале дома, затем по квартирным стоякам до присоединения квартирной подводки на последнем этаже. Если водоснабжение дома производится по зонной схеме, то для первой зоны лента прокладывается аналогично описанному выше, а для последующих зон после прокладки по магистралям в подвале дома протягивают ленту по подающему стояку на последний этаж обслуживаемой зоны (если зона последняя, то по подающему стояку на чердак); по разводящим трубопроводам до квартирных стояков; по квартирным стоякам вниз до присоединения квартирных подводок на первом этаже обслуживаемой зоны.

Эластичная и плоская обогревающая лента сделана на основе полупроводниковых полимеров и выдавлена между двумя параллельными медными проводами. Этот полимер представляет собой пластиковый материал, смешанный с частичками углерода, которые реагируют на изменение температуры таким образом:

-если лента получает тепло, исходящее из системы трубопровода, пластиковый материал расширяется, частички углерода расходятся друг от друга и мешают прохождению тока между двумя проводниками;

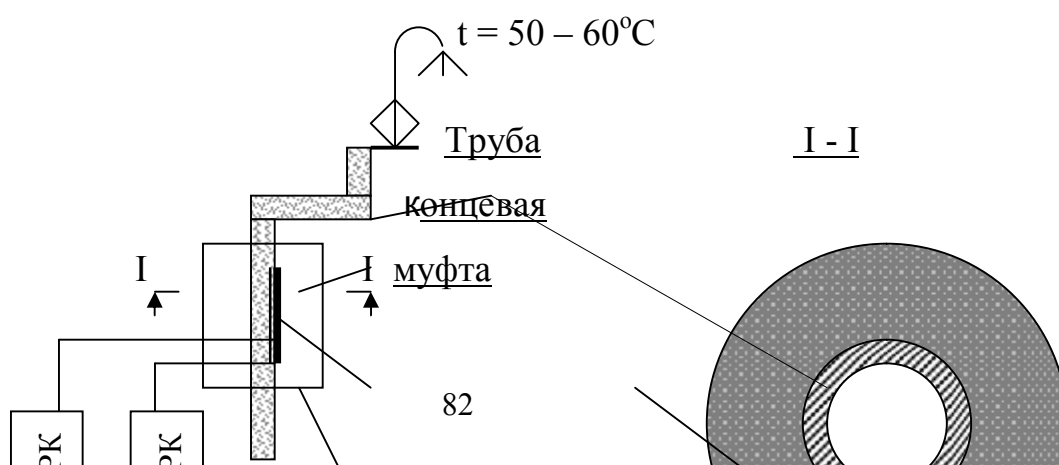
-если лента воспринимает холод, то пластиковый материал сжимается и частички углерода сближаются, выстраивая таким образом «мостики», позволяющие проходить току.

Испускаемое лентой тепло пропорционально количеству тока, проходящего перпендикулярно двум проводникам. Получается, что одна и та же лента реагирует по-разному в зависимости от места её расположения. В холодном месте обогрев происходит быстрее, чем в защищённом от холода месте в зависимости от количества тепла (производимого электричеством) или его потребителей.

Принцип работы такой системы заключается в том, что температура горячей воды на санитарные нужды регулируется в системе распределения воды и поддерживается везде в диапазоне $50-55^{\circ}\text{C}$, то есть обеспечивается возможность моментального получения горячей воды заданной температуры во всех точках потребления. Это является основной характеристикой саморегуляции и отличает этот тип ленты от тех, которые называются «лентами постоянной мощности» и обеспечивают по всей своей протяжённости выход одного и того же количества тепла.

Таким образом, обогревающая лента саморегулировки сберегает электроэнергию и никогда не перегорает, даже при самопересечении (то есть) лента энергоэффективна, надёжна и пожаробезопасна). Преимущества этой системы состоит в том, что она позволяет избежать прокладки труб для возврата воды (циркуляции), а следовательно и установки циркуляционных насосов. Общая стоимость установки снижается от 5 до 10% относительно традиционной системы.

Обогревающая лента саморегулировки монтируется навивкой на трубопровод или параллельно ему (в зависимости от теплопотерь трубопровода), труба вместе с обогревающей лентой сверху покрывается теплоизоляцией (рис. 2.4).



Обогревающая
лента

Теплоизоляция

Распределитель-
ные коробки

Датчик температуры
окружающего воздуха

Электропитание

Щит управления

Рис. 2.4. Схема монтажа обогревающей ленты саморегулировки

В соответствии с многочисленными сравнительными расчётами затраты на системы классического типа и с использованием электрической ленты подразделяются таким образом:

-в классической системе 70% затрат приходится на рабочую силу и 30% - на оборудование;

-при электрической ленте 30% - на рабочую силу и 70% на оборудование.

Разница в затратах по установке составляет порядка 5-10% в пользу электрической ленты в зависимости от размера и конфигурации системы горячего водоснабжения. Расположение ленты саморегулировки вдоль трубопровода без системы спирали сокращает вдвое время установки и снижает трудоёмкость работ по её прокладке, т.к. действительно трудно развернуть ленту в системе труб, проходящих по стене или располагающихся рядом с другой системой труб, что бывает весьма часто.

Различные испытания, накопленный опыт эксплуатации реально существующих объектов, использующих обогревающие ленты саморегулировки, а также технико-экономический расчёт показали, что в условиях повышения тарифов на тепловую энергию данная схема является работоспособной благодаря экономии энергозатрат до 60-70% на мероприятиях по поддержанию необходимой температуры воды. Кроме того резко снижаются расходы на ремонт системы.

Эта экономия имеет три принципиальных источника:

-нет тепловых потерь, которые возникали в результате обратного возвращения воды, поскольку последнее устраняется;

-с другой стороны, в классическом типе системы необходимо держать температуру воды на 5-10°С выше расчётной температуры потребления, чтобы не было сливов воды в наиболее отдалённых точках; в предлагаемой системе в результате согласования режимов водопотребления и подогрева

воды расходы тепла на поддержание избыточной температуры исключаются;

-устранение циркуляционных насосов даёт экономию в потреблении электроэнергии.

Экономия энергозатрат в стоимостном выражении составила от 15 до 20 % при условии, что энергоносителями для производства электроэнергии были газ или любое другое топливо (с учётом разницы их стоимости).

Следует ещё отметить, что саморегулирование производится автоматически и таким образом устраняется необходимость содержания оборудования, которое выполняет регулирующие функции.

В связи со старением жилищного фонда и износом его инженерного оборудования реальную опасность представляют аварийные протечки воды вследствие поломки арматуры и разрушения труб.

При их возникновении большое значение имеет своевременное их обнаружение и ликвидация. Для этой цели российской компанией «Специальные системы и технологии» разработана *автоматическая система «Нептун»* (рис.2.5).

Она состоит из следующих элементов: блок управления электропитанием (220 В), к которому подключаются датчики протечек, исполнительные устройства (электромагнитные клапаны на горячую и холодную воду) и, при желании, внешние средства оповещения (например, сирена или устройство автодозвона,

входящие в интегрированную систему управления домом); датчики, представляющие собой пластины с разнесёнными контактами; электромагнитный клапан (или клапаны), врезаемые в водопровод после ручных вентилей на стояках и фильтров.

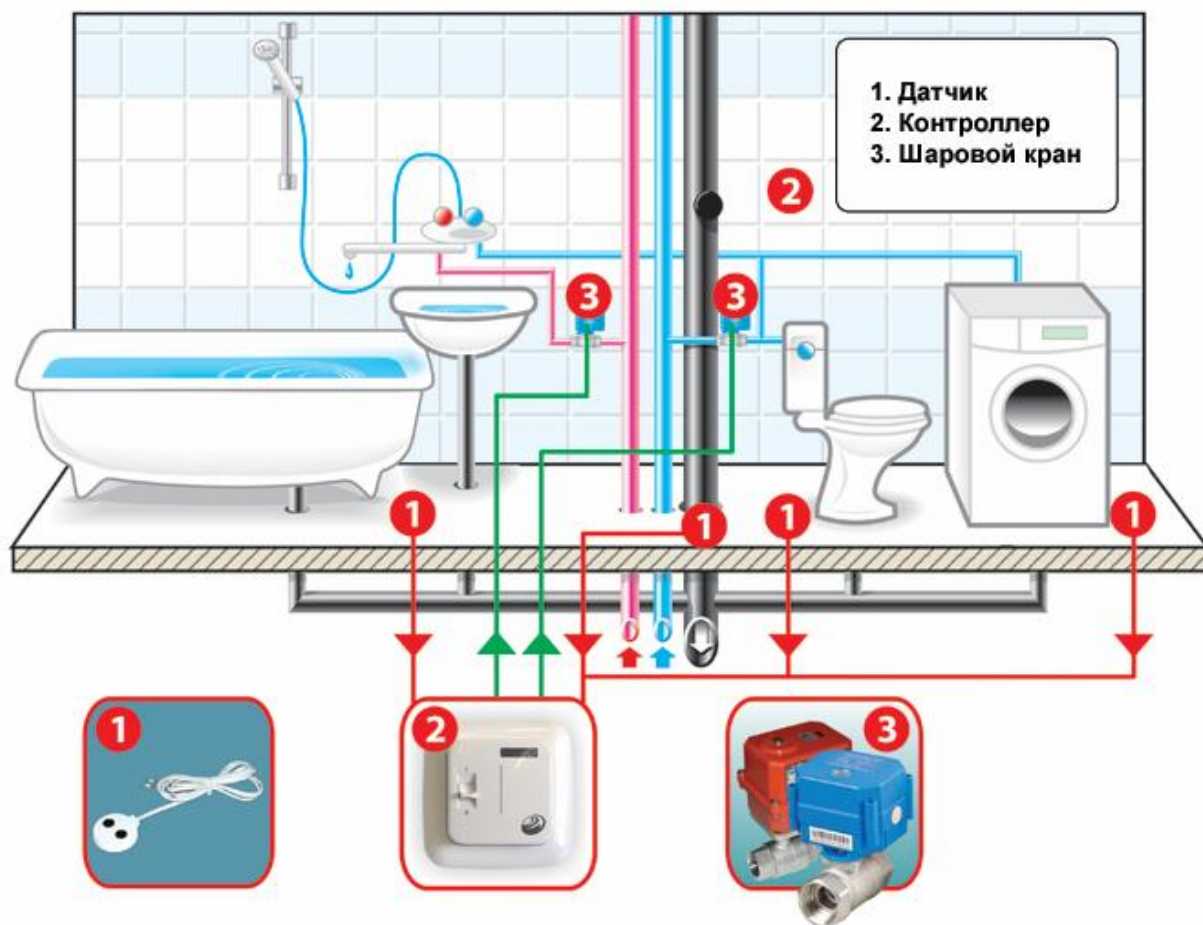


Рис. 2.5. Общий вид установки «Нептун»

Система работает следующим образом: пока все сухо устройство находится в режиме ожидания (горит зеленый светодиод на блоке управления), электромагнитные клапаны открыты и тока не потребляют. При попадании воды на контактные пластины датчиков, сигнал передается на блок управления. Загорается красный светодиод, срабатывают встроенные средства оповещения - сирена или зуммер - и электромагнитные клапаны, перекрывающие воду не позже, чем через полсекунды после того, как поступил сигнал с любого из датчиков. Одновременно тревожный сигнал может поступать во внешнюю информационную среду, в частности, систему охраны дома.

После устранения аварийной ситуации и высыхания датчиков устройство перезапускается путем выключения с повторным включением кнопки на блоке управления; загоревшийся при этом зеленый светодиод свидетельствует о том, что система вновь работает.

Если на момент протечки (скажем, лопнула труба или сорвало кран) дома никого нет, клапаны сработают и будут находиться в закрытом положении до тех пор, пока вы не вернетесь, потребляя при этом всего 4 Вт мощности.

Установка системы «Нептун» сложностей не представляет. Как всегда, лучше все предусмотреть еще на стадии проекта, когда составляется план установки и подключения различного инженерного оборудования. На схеме размечают местоположение датчиков, блока управления и соединяющих их проводов. Идеальный вариант - когда датчики монтируются в пол заподлицо, контактами вверх, а сигнальные провода, имеющие надежную многослойную изоляцию, замуровывают в полу. Походящее для датчиков место - например, под стиральной машиной или ванной, при этом они оказываются защищенными от случайного попадания брызг, а вся система - от ложных срабатываний из-за неаккуратного мытья посуды или излишне темпераментного поведения в ванной либо под душем. Если же идея установить «Нептун» пришла после того, как строительство или ремонт закончены, датчики просто кладутся на пол и слегка прихватываются по краям силиконом - для фиксации на месте. Провода при этом уже не спрячешь, но под ванной они вряд ли кому помешают. Датчики в этом случае, в отличие от предыдущего, устанавливаются контактами вниз, а выступы обеспечивают небольшой зазор между ними и поверхностью пола, необходимый для вентиляции и предотвращения образования конденсата, который может привести к ложным срабатываниям.

Профилактика системы «Нептун» подразумевает чистку мягкой тканью контактных площадок датчиков раз в три месяца. Полезно при этом лишний раз убедиться в работоспособности системы, замкнув контактные площадки мокрой губкой или тряпкой, благо на «перезагрузку» системы уходит не более минуты. Для этого достаточно включить и выключить питание, после чего, увидев зеленый огонек светодиода, забыть о ней, а заодно и об опасности потопа, до следующей профилактики.

Необходимым профилактическим мероприятием является периодическая промывка распределительных трубопроводных сетей для удаления отложений, что приводит к улучшению качества воды. За рубежом предложена технология самоочищающейся распределительной системы. Предлагается поддерживать постоянную скорость течения воды на уровне 0,4 м/с, которая является достаточной, чтобы ежедневно удалять осадок из труб. И хотя на практике имеет место понижение скорости течения воды, флуктуация скоростей приводит в результате к самоочищающему эффекту. Подобные подходы применимы и при пульсационной промывке труб. При этом рекомендуемая скорость движения воды составляет 1,5 м/с.

Прочистка трубопроводов имеет как самостоятельное значение (восстановление пропускной способности, предотвращение вторичного загрязнения), так и является обязательным этапом в технологическом процессе восстановления внутренней поверхности труб. В МГУП «Мосводоканал» применяются следующие способы очистки трубопроводов от отложений: механический (скребковый),

гидромеханический, гидродинамический, гидропневматический и гидравлический. Рекомендуемые способы очистки трубопроводов Московского водопровода приведены в табл.2.1.

Таблица 2.1

Рекомендуемые способы очистки трубопроводов Московского водопровода

Способ прочистки	Отложения		Мягкие отложения		Твёрдые наросты	
	Д _в <300	Д _в >300	Д _в <300	Д _в >300	Д _в <300	Д _в >300
Гидромеханический (поролонный поршень)	+	+	+	+	-	+
Гидродинамический (струя воды под давлением не менее 150 атм.)	++	++	++	++	++	++
Гидропневматический	++	+	0	0	0	-
Механический (скребковый)	++	+	+	+	+	+
Гидравлический	++	++	-	-	-	-

0 - *незначительный результат;*

++ - *рекомендуется*

+ - *приемлемо*

-- *неэффективно*

Практика показывает, что очистка труб этими методами уменьшает суточные колебания качества воды. Однако в отношении загрязнения воды железом эта технология даёт краткосрочный положительный эффект. С другой стороны, удаление мягких отложений, которые содержат большое количество питательных веществ, уменьшает микробный рост в трубах в летний период года, когда существует комфортный для такого роста температурный режим. В отмытых указанным способом отложениях не обнаруживаются вирусы типа NLV'Norwalk-like или колиформные бактерии, однако гетероформные бактерии присутствуют в больших количествах. Непосредственно после очистки труб содержание соединений фосфора, потребляемых биологически, в воде из водоразборной арматуры уменьшалось ниже уровня, достигаемого на станции подготовки воды. Это свидетельствует о том, что соединения фосфора накапливаются в мягких отложениях труб. Такое накопление, даже в небольших количествах, может сильно увеличивать микробный рост.

После очистки труб новые отложения, возникающие на их внутренней поверхности, развиваются достаточно быстро и примерно через год становятся такими же, как старые, которые накапливались в течение

многих лет. Обычно новые мягкие отложения аккумулируются в определённых местах водопровода (при низких скоростях течения ночью, - в резервуарах и тупиковых участках сети).

Контроль за состоянием внутренней поверхности трубопроводов осуществляется с помощью их телеинспекции, которая выполняется с помощью специальных камер-роботов с высоким разрешением и цветным изображением. Технология проведения телеобследования следующая [11]. Оператор управляет видеосъёмкой из студии, размещённой в микроавтобусе, находящемся у стартового колодца. В процессе обследования есть возможность остановки движения камер-робота, приближения изображения и разворота объектива на 360°. В результате на монитор выводится детальное изображение внутренней поверхности трубопровода.

Финансовые методы. На сокращение потерь воды влияет её стоимость. По данным ряда исследований регрессионных зависимостей между стоимостью воды и объемом водопотребления коэффициент эластичности составляет от 0,2 до 0,32, т. е. при увеличении стоимости воды на 100% объем ее потребления снижается на 20 -32%.

Законодательные методы контроля водопотребления, применяемые в различных странах, подразделяются на две категории: контроль за установкой и содержанием арматуры и санитарно-технических приборов с помощью специальных правил и ограничение использования воды в период засухи и в аварийных случаях. В домах частных потребителей соблюдение указанных правил контролируется инспектированием, особенно в случаях слишком высоких количеств потребляемой воды.

Многие страны, старающиеся удовлетворить спрос на воду, все же вводят ограничения на период засухи, заморозков и сильного загрязнения. Такие ограничения вводились, например, в Великобритании, Ирландии и Японии в период засухи, имевшей место в этих странах в 70-х годах.

В предотвращении потерь воды важное место занимают *воспитательные методы*, для чего используют специальные средства массовой пропаганды. В Японии, например, где 65% воды расходуется в домашнем хозяйстве, благодаря принятым мерам воспитательного характера (специальные брошюры, ежемесячные журналы, плакаты, фильмы, экскурсии на водопроводные станции, телевидение и радио, обучение в школах) в период засухи потребление воды не только не увеличилось, но даже понизилось.

В Австрии, имеющей большие запасы подземной воды высокого качества, было признано необходимым привлечь внимание школьников, как будущих потребителей воды, к ее экономии. Школьники в возрасте 14 - 15 лет приняли участие в конкурсе сочинений о проблемах водоснабжения. Для этого среди них заранее была распространена информация с таблицами, графиками, цифровыми данными о водоснабжении страны. Церемония награждения победителей конкурса передавалась по телевидению.

2.3. Вентиляция систем водоотведения

Для борьбы с газовой коррозией коллекторов необходимо организовать контроль за газовым состоянием коллекторов водоотводящей сети [21]. Для получения достоверных результатов количество замеров в каждой точке должно быть не менее 30. Если полученная средне-арифметическая величина концентрации газа в исследуемой точке (колодце) всей серии замеров будет равна или больше его ПДК, то данная точка считается коррозионно-опасной.

По результатам обработки данных составляют карту загазованности обследованной водоотводящей сети.

Образование сероводорода в коллекторах водоотведения можно в известной степени предотвратить посредством их укладки с максимально допустимым уклоном.

Одним из приемов, препятствующих окислению сероводорода в серную кислоту, является орошение свода трубопровода сточной водой при работе коллектора полным сечением в течение непродолжительного времени. Примеры таких устройств показаны на рис. 2.6.

Для искусственной вентиляции следует предусматривать устройство дегазационных камер с вытяжными шахтами в местах подключения напорных трубопроводов к самотечным, в местах перехода самотечного режима в напорно-самотечный и в нижних камерах дюкеров. Устройство вытяжных устройств обязательно в верхних камерах дюкеров, перед насосными станциями, в местах резкого изменения скоростей и в перепадных колодцах.

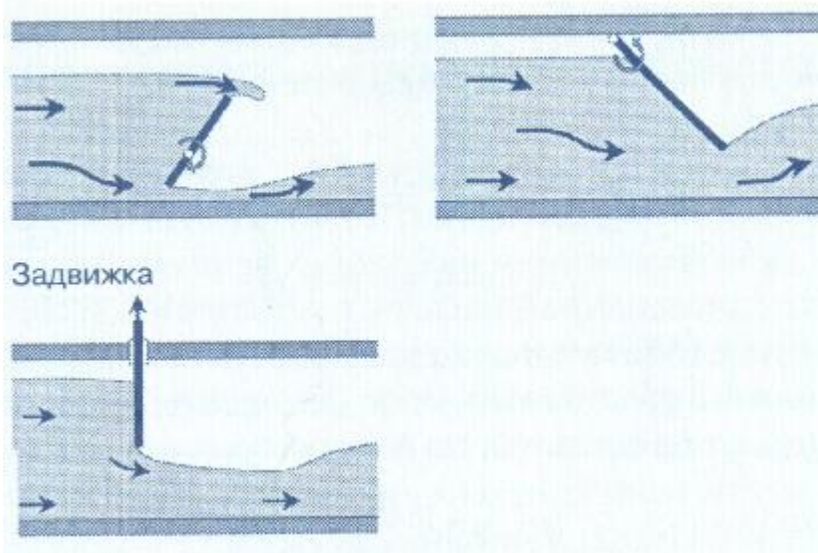


Рис. 2.6. Устройства для периодического автоматического смывания кислот с поверхности свода трубопровода

В критических местах коллекторов водоотведения большой протяжённости следует поддерживать [3,4] аэробные условия с помощью

ввода технического кислорода, воздуха или перекиси водорода, как это показано на рис.2.7.

Контроль анаэробного роста микроорганизмов в этих коллекторах осуществляется дезинфекцией, окислением с последующим осаждением или корректировкой рН. Кроме того, режим движения сточных вод в коллекторе должен проектироваться с минимальной турбулизацией потока, а сам коллектор следует оборудовать клапанами сброса газов [25, 26, 29].

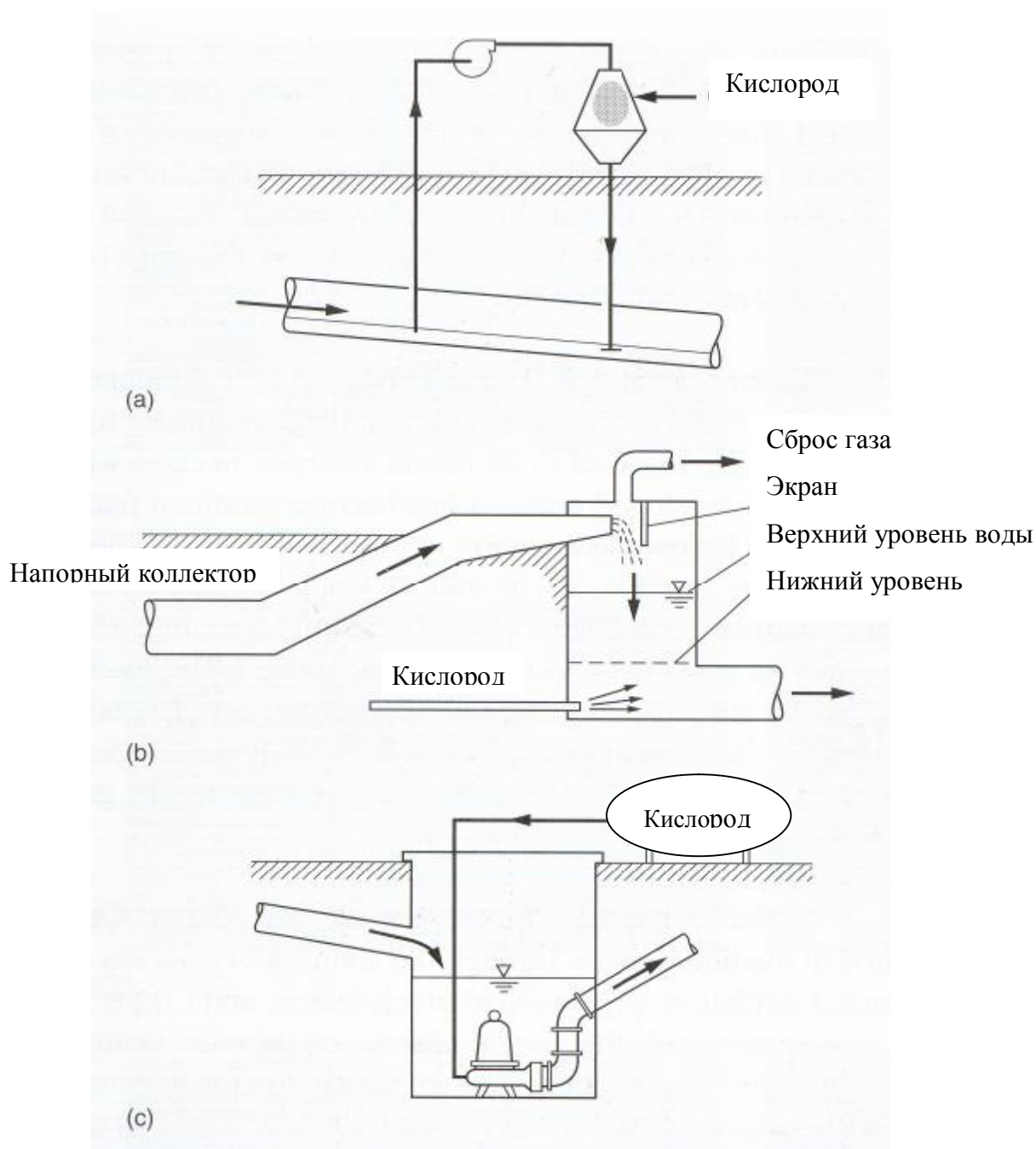


Рис.2.7. Типичные схемы ввода окислителей для борьбы с дурнопахнущими газами сточных вод в коллекторах водоотведения:

а) байпасное обогащение кислородом в самотечном коллекторе; б) ввод кислорода в перепадной колодец; с) то же в напорный коллектор водоотведения.

В ряде случаев выбросы из вытяжек на камерах каналов водоотведения приводят к появлению неприятных запахов в рекреационных или жилых зонах и порождает проблему обонятельного дискомфорта - так называемый «запах канализации». Таким образом, локализация и дезодорация воздушных выбросов от объектов городской сети водоотведения становится серьезной социальной проблемой. Очевидно, что использование на вентиляционных камерах каналов таких сложных методов очистки воздушных выбросов, как биофильтрация, дожигание, каталитическое окисление или озонирование, технически нецелесообразно, а зачастую и невозможно. Наиболее адекватным решением для поставленной задачи является адсорбционная очистка на активированных углях. Для эффективной дезодорации воздушных выбросов, содержащих дурнопахнущие вещества, требуется решить две основные проблемы: подбор эффективного адсорбента (марки активированного угля) и адекватное аппаратное решение (конструкция адсорбера).

Для решения этих проблем ООО «Инвестиционные технологии» разработало конструкцию установки очистки выбросов естественной вытяжной вентиляции. На рис. 2.8 а приведена общая схема очистки газозо-воздушного выброса из камеры канализационного канала в кассетном фильтре. Разработанная конструкция фильтра легла в основу серии фильтров адсорбционных вытяжных низкого давления (ФАВН).

Для камеры на канале у станции метро «Выхино» был изготовлен и в сентябре 2006 года установлен опытно-промышленный образец фильтра ФАВН-2.6 (см. рис. 2.8 б), характеризующийся следующими данными:

количество фильтрующих элементов (кассет), шт.	4;
рабочая площадь фильтрующих элементов, м ²	3,6;
масса активированного угля, кг.....	200;
габариты, мм:	1700*1700;
высота с трубой вытяжки, мм.....	5000;
масса, кг.....	1000.

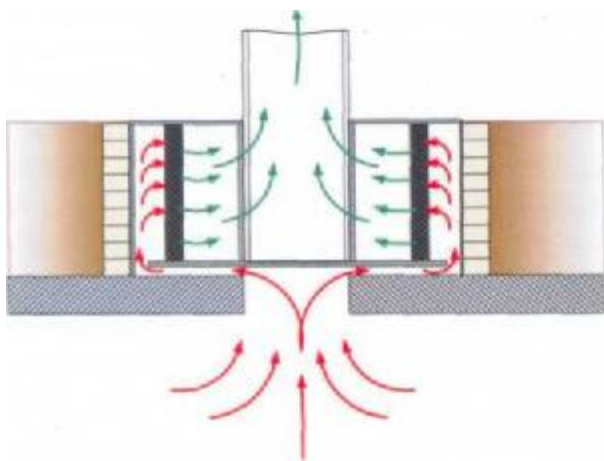


Рис. 2.8 а. Схема очистки газо - воздушного выброса из камеры канала водоотведения в кассетном фильтре



Рис. 2.8 б. Кассетный фильтр на камере Восточного канала возле метро Выхино (после реконструкции)

Фильтр устанавливается либо непосредственно на камеру канала, либо на существующий железобетонный пьедестал стояка естественной вытяжной вентиляции. Газо-воздушный выброс (ГВВ) из камеры поступает внутрь корпуса фильтра и распределяется горизонтально вдоль несущей плиты фильтра в направлении от центра вентиляционного отверстия к вертикальным стенкам фильтра (см. рис.2.8 а). ГВВ поднимается вверх вдоль стенок фильтра и направляется горизонтально сквозь слой активированного угля, засыпанного в кассеты. ГВВ, прошедший очистку на активированном угле, собирается в центральной камере фильтра, откуда через щелевые отверстия поступает в вытяжную трубу и выбрасывается в атмосферу.

В ходе эксплуатации фильтра на камере К-11 Восточного канала осуществляется регулярный мониторинг его работы, в первую очередь, эффективность адсорбции дурнопахнущих веществ на активированном угле. Концентрация сероводорода на входе в фильтр составляет в среднем $8-10 \text{ мг/м}^3$ (максимально зафиксированная концентрация - 20 мг/м^3). Концентрация сероводорода на выходе из фильтра составляет в среднем $0,7-0,9 \text{ мг/м}^3$. Таким образом, эффективность очистки по сероводороду составляет не менее 90%.

Неоднократные анализы атмосферного воздуха, проведенные специалистами Филиала Федерального государственного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве», расположенного в Юго-Восточном административном округе столицы, показали, что на расстоянии 25 м от места установки фильтра концентрация аммиака находится в пределах ПДК, сероводород и дигидросульфид не обнаруживаются.

Анализ газо-воздушных выбросов камеры канализационного канала, проведенный с помощью метода газовой хроматографии с масс-спектрометрией, показал, что выбросы до очистки представляют собой сложную смесь летучих органических соединений, в которую, кроме вышепоименованных соединений, входят такие продукты метаболизма

микроорганизмов сточных вод, как сквален, парафины, высокомолекулярные жирные кислоты с четным количеством атомов углерода. Присутствие другой части летучих органических соединений обусловлено антропогенными факторами.

Замена активированного угля за 1,5 года эксплуатации производилось дважды (весной и летом). Она может осуществляться как вместе со сменными кассетами, так и непосредственно на месте (с помощью мощного промышленного насоса).

2.4. Регламентирование ремонтных работ на водоотводящих коллекторах

Программа работ по техническому обслуживанию водоотводящих коллекторов успешно выполняется только при проведении работ в соответствии с действующим регламентом [23, 25, 26].

Водоотводящие коллекторы засоряются главным образом песком, жиросодержащими материалами, камнями и корнями деревьев. Последние причиняют особенно много хлопот. Обычные способы прочистки сетей водоотведения включают в себя промывку водой, прочистку механическими инструментами скребкового типа, промывку струями воды под высоким давлением и добавление химических реагентов. Периодическая промывка помогает поддерживать линии в чистом состоянии и часто проводится совместно с их обследованием. Для получения достаточно высокой промывной скорости в канализационный коллектор через смотровой колодец вводят пожарный шланг. Наилучшие результаты такой способ дает при прочистке линий в жилых районах, где нет достаточного количества домовых ответвлений. Промывка имеет свои ограничения, так как она просто перемещает мусор из одной секции сети в другую.

Обычно при поступлении сигнала о засорении водоотводящей сети проводится обследование смотровых колодцев для определения места засорения. За немногими исключениями, наилучшие результаты дает прочистка линии из первого сухого смотрового колодца, расположенного ниже по направлению течения сточных вод. Преимущества такого способа заключаются в том, что он позволяет работать в чистом смотровом колодце и что при очистке трубопровода используется промывочный эффект потока сточной воды. Однако если есть основания подозревать, что засорение вызвано корнями деревьев, прочистку лучше производить из смотрового колодца, расположенного выше места засорения, так как корни в трубопроводе располагаются в направлении движения потока сточной воды. Тем самым исключается необходимость удаления всех мелких корней.

В США для сдерживания прорастания корней деревьев в трубопроводы успешно применяют сульфат меди. Определенные дозы последнего периодически вводят через смотровые колодцы или находящиеся в жилых

домах туалеты. Требуемая дозировка определяется методом на основании практического опыта. Кроме того, следует не сажать вдоль коллекторов водоотведения такие породы деревьев как вяз, тополь, ива и клён. Другая профилактическая мера сводится к применению специальных материалов и способов производства работ при устройстве стыковых соединений (если коллектор прокладывается там, где есть риск прорастания корней).

Для обследования состояния коллекторов также в США применяют несколько способов. Использование дыма, нагнетаемого под низким давлением в обследуемый участок, позволяет обнаружить отверстия в трубопроводе, незакрытые домовые ответвления снесенных зданий, места соединения фекальной

системой водоотведения с ливневой и устроенные без разрешения дренажные подключения. Нагнетание дыма в водоотводящий коллектор – хороший способ для обнаружения отверстий, в которые могут проникать грызуны. Для обнаружения точек инфильтрации или утечки используют красители или другие индикаторы. Если в крупных коллекторах возможен визуальный осмотр, то для труб малого диаметра требуется фотографирование или осмотр с помощью телероботов.

Как показывает анализ статистических данных, более 25% водоотводящих самотечных сетей в России отслужили свой нормативный срок или находятся в аварийном состоянии. Ежегодно этот показатель возрастает на 1,5%. В этих условиях обеспечение приемлемой надежности работы сетей возможно лишь при достижении максимальной адресности профилактических прочисток, ремонта аварийных участков и реконструкции трубопроводов с недостаточной пропускной способностью.

Подход к определению первоочередного объекта реабилитации трубопроводов водоотводящей сети базируется на выделении базового или основного фактора, которым служит его надежность, а также метод оценки определенного количества косвенных дестабилизирующих факторов, влияющих на показатели надежности участков трубопроводов в реальных условиях эксплуатации. При разработке стратегии повышения надежности водоотводящих сетей целесообразно в качестве основного фактора оценки их состояния принять аварийность.

Аварийность самотечных коллекторов, а также качественное и количественное описание должно производиться только после выявления влияния на него всех косвенных факторов, показателей и обстоятельств, оцениваемых, в свою очередь, по балльной системе на основе распределения по рангам значимости с использованием фактических данных по эксплуатации трубопроводов и математического аппарата теории графов.

Оценка косвенных факторов и их ранжирование по значимости к приоритетному фактору (аварийности) должно производиться с учетом двух основных условий: минимального ущерба (материального, экологического, социального) в случае аварийной ситуации, например отказа участка

водоотводящей сети и увеличения срока безаварийной эксплуатации участков сети.

При разработке надежности городских водоотводящих сетей к косвенным факторам влияния на риск возникновения отказа следует отнести следующие 11 факторов (представлены по тексту в произвольной форме без учета ранжирования: год укладки водоотводящего трубопровода - № 2; диаметр трубопровода (толщина стенок) - №3; нарушения в стыках трубопроводов - № 4; дефекты внутренней поверхности - № 5; засоры, препятствия - № 6; нарушение герметичности - № 7; деформация трубы - № 8; глубина заложения труб - № 9; состояние грунтов вокруг трубопровода - № 10; наличие (отсутствие) подземных вод - № 11; интенсивность транспортных потоков - № 12. Влияние 11 косвенных факторов (№ 2-№ 12) на базовый, т.е. аварийность водоотводящей сети (№ 1), и определение их приоритетности по балльной системе производится с помощью математического моделирования.

Анализ данных показал, что из 2000 засоров, имевших место за 2 года в одном из районов г.Москвы, 91% приходится на трубопроводы диаметром 250 мм и менее. Причем, 63% засоров происходит на керамических трубах диаметре 125 и 150 мм. Установлена также зависимость количества повреждений трубопроводов от глубины их заложения, не установлена зависимость от года прокладки трубопроводов.

В результате динамического ранжирования были выявлены участки сети, «лидирующие» по количеству засоров на них. По этим участкам сети был произведен технический осмотр и выполнена адресная прочистка, в ходе которой выяснилась необходимость ремонта отдельных участков. Решение о выполнении ремонта принималось на основе теледиагностики этих участков. После проведенных прочисток частота возникновения засоров снижалась обычно в 1,5-2 раза.

Для проведения теледиагностики водоотводящих сетей используются отечественные осмотровые робототехнические комплексы с колесной, самоходной цветной поворотной камерой и постом управления, расположенным на автомобиле.

В перспективе, при распространении разработанных информационных технологий на все эксплуатационные районы для московской сети водоотведения возможно сокращение затрат на эксплуатацию сетей за счет переориентации работ от аварийного режима прочисток и ремонтов к профилактике и обеспечению за счет этого требуемой надежности функционирования водоотводящих систем.

Существенное повышение надежности работы сетей возможно также за счет постепенного целенаправленного изменения структуры диаметров труб. Таким образом, используя имеющиеся бестраншейные технологии, возможно, при соответствующем технико-экономическом обосновании обеспечения самоочищающей скорости, планомерно заменять участки с малыми диаметрами на большие, что, в частности, диктуется устойчивой

тенденцией к повышению этажности зданий в Москве и увеличению плотности застройки.

Одновременно надежность функционирования водоотводящих систем крупных городов и мегаполисов существенно зависит от сохранности железобетонных коллекторов и очистных сооружений станций аэрации. Используемый во многих странах дистанционный контроль за состоянием водоотводящих коллекторов с помощью телекамер не позволяет вести наблюдения за скрытыми процессами коррозии внутри железобетона, приводящими к разрушению конструкций [15].

В МГП «Мосводоканала» разработан и запатентован прибор дистанционного контроля за скоростью коррозии железобетонных конструкций в коллекторах. С помощью прибора ведется мониторинг процесса коррозии по семи датчикам, установленным в подводящем коллекторе Ново-Люберецкой станции аэрации, что позволяет своевременно проводить ремонтно-восстановительные работы и поддерживать работоспособность сооружения.

2.5. Внутренние защитные покрытия

Обладая специфическими свойствами, соответствующими, с одной стороны, принятой технологии изготовления, а с другой – методу нанесения на внутреннюю поверхность изношенных трубопроводов, защитные покрытия предназначены играть роль эффективного средства для обеспечения физической целостности трубопроводной системы и надёжного барьера между транспортируемой водой и окружающей средой, но также способствовать восстановлению прочностных и гидравлических характеристик трубопроводных сетей в целях продления их срока службы и снижения расходов на транспортировку воды.

На сегодняшний день зарубежная и отечественная практика насчитывает свыше двадцати основных методов бестраншейного восстановления трубопроводов, однако из многообразия методов наибольшее распространение получили следующие:

- нанесение цементно-песчаных покрытий (ЦПП) на внутреннюю поверхность восстанавливаемого трубопровода;

- протаскивание нового трубопровода в повреждённый старый (с его предварительным разрушением или без разрушения) с помощью специальных устройств, например пневмопробойников;

- протаскивание гибкой (предварительно сжатой или сложенной U-образной формы) полимерной трубы внутрь старого трубопровода;

- использование гибких элементов из листового материала с зубчатой скрепляющей структурой;

- использование гибкого комбинированного рукава (чулка), позволяющего формировать новую композитную трубу внутри старой;

- использование рулонной навивки (бесконечной профильной ленты на внутреннюю поверхность старого трубопровода);

-нанесение точечных (местных) покрытий.

В хозяйственно-питьевом водопроводе разрешены к использованию только ЦПП. Остальные методы восстановления трубопроводов применяются в системах отведения сточных и атмосферных вод, а также в закрытых схемах горячего водоснабжения.

2.5.1. Цементно-песчаные покрытия в водопроводных трубах

Защитные свойства цементного покрытия по отношению к металлу известны уже более 150 лет. В США, начиная с 1931 г., облицовка чугунных и стальных труб цементным раствором становится общепринятой практикой.

Натурные исследования долговечности и качества защитных покрытий на водопроводных сетях начали проводиться на Московском водопроводе начиная с 1968 года, когда был введен в эксплуатацию реконструированный участок 3-го Краснопресненского водовода второго подъема длиной около 100 м и диаметром 1220 мм, восстановленный путем нанесения цементно-песчаных покрытий. В течение последующих 30 лет эксплуатации водовода на санированном участке с периодичностью 10 лет проводились эксперименты, цель которых состояла в оценке эффективности и долговечности покрытия, а также перспективности его выбора для условий Москвы.

Установлено, что защитные покрытия остаются стабильными и могут прослужить много лет. Это обстоятельство прежде всего подтверждает правильность сделанного более 30 лет назад выбора в пользу набрызговых защитных покрытий для ремонта стальных трубопроводов.

Проводимый в 1998 г. сравнительный анализ и визуальный осмотр (с помощью фото- и телеустановок), расположенных в непосредственной близости санированного и несанированного участков 3-го Краснопресненского водовода показал существенное различие в их физическом состоянии. В частности, на незащищенном покрытием внутренней поверхности водовода равномерно по всему сечению наблюдались сплошные, значительной механической прочности закрытые бугристые обрастания (наросты) в виде неровных пятен рыжего цвета с темно-коричневыми вкраплениями ржавчины площадью 1-500 см². Отложения (со средней высотой выступов-бугорков 10-22 мм) были покрыты серой или серо-желтой слизью (налетом) толщиной порядка 1-2 мм, распределенной равномерно по всей внутренней поверхности трубы и легко удаляемой ветошью, но не смываемой потоком движущейся воды.

Отбор проб бугристых отложений и последующий их химический анализ позволил установить, что 70,2% содержимого отложений составляют оксиды железа, причем на долю оксида железа приходится 45,6%, а двухвалентного железа - 24,6%, что свидетельствует об активном процессе коррозии стенок трубопровода.

На защищенной покрытием внутренней поверхности водовода наблюдалась иная картина: внешний вид покрытия представлял собой гладкую серую поверхность практически без обрастаний, нарушений ЦПП и заметных следов его выщелачивания. Замеры толщины покрытия в зоне его удаления в период экспериментов как в 1988, так и в 1998 году не показали изменения толщины защитной облицовки (7-9 мм). Коррозии стенок трубопровода в зоне кольцевых усадочных трещин (с раскрытием до 0,3 мм) не наблюдалось. Явления набухания и отслоения покрытия наблюдались лишь вблизи сварных швов.

Микробиологические и микроскопические анализы проб слизи, отобранной с поверхности санированного и несанированного трубопроводов, также показали некоторое расхождение. В частности, на несанированном участке в пробе слизи с вскрытых бугристых обрастаний присутствовали хлопья коагулянта, незначительное количество нитчатых форм железобактерий *Leptothrix* и одноклеточных *Gallionella*, которые способны развиваться в слабоминерализованной воде. Данные микроорганизмы производят окисление закисного железа в окисное, выделяя гидроксид железа в виде бугристых (охристых) хлопьев ржавчины, которые постепенно уплотняются, образуя рыхлую пористую структуру.

В свою очередь, в пробах на облицованном участке обнаруживались лишь единичные одноклеточные *Gallionella*, которые при отсутствии явных очагов коррозии на стенке трубы и облицовке могут быть следствием миграции с несанированных участков на санированные с закреплением на защитных покрытиях.

Анализируя опыт Московского водопровода по эффективности защиты трубопроводов, нельзя не отметить аналогичные разработки других организаций.

МУП «Водоканал» г. Анапа 1983 г. были проведены работы по защите цементно-песчаным покрытием участка стального водовода диаметром 1220 мм и протяженностью 14 км. Натурные исследования, в частности, показали, что толщина нанесенного ЦПП за период эксплуатации не изменилась по сравнению с первоначальной, а качество воды остается стабильным.

Нанесение ЦПП на внутренне стенки трубопроводов с целью восстановления их работоспособности может выполняться методом центрифугирования или центробежного набрызга с использованием разглаживающих устройств. Внутренняя поверхность трубопровода перед санацией должна быть очищена. Допускается на поверхности стальных труб слой плотной ржавчины толщиной не более 0,05 мм (измеряется магнитным толщиномером). Наличие воды в трубопроводе не допускается.

Эллиптичность труб не должна превышать 0,5% от диаметра, а поражение коррозией - не свыше 10% от диаметра трубы. Минимальная толщина слоя ЦПП в зависимости от диаметра трубопровода представлена ниже. Допуск по толщине слоя: + 2 мм. Над сварными швами толщина

слоя может уменьшаться до 3 мм. На концах труб допускается уменьшение толщины изоляции до 50%, от торцов участка не более 50 мм.

Минимальная толщина слоя ЦПП в зависимости от диаметра трубопровода

Диаметр трубы, мм	Минимальная толщина слоя ЦПП, мм
102	4
219	5
325	6
426	7
820	9
920	10

Нанесение ЦПП в трудно доступных местах должно производиться вручную на месте или в стационарных условиях с последующей перекладкой труб. Перед нанесением на трубопровод смесь ЦПП должна иметь температуру +(10-25)°С.

К достоинствам метода нанесения ЦПП следует отнести относительную простоту технического исполнения и низкую стоимость ремонтных работ, которая составляет около 30% стоимости нового строительства. Тонкая и гладкая поверхность облицовки после её затирки обеспечивает снижение гидравлического сопротивления и потерь напора в трубопроводах при незначительном уменьшении его внутреннего диаметра. После нанесения раствора ЦПП трубопровод может быть пущен в эксплуатацию через 3-5 суток. Транспортируемая по защищённому трубопроводу питьевая вода постепенно преобразует гидроокись кальция, присутствующую в свеженанесённой облицовке, в гидрокарбонат кальция согласно реакции



Вместе с тем, ЦПП покрытие так же, как кальцитная пленка, нестойко в агрессивной воде. Однако большая толщина и наличие инертной составляющей - (кварца) обеспечивают ЦПП большую долговечность по сравнению с кальцитными пленками, хотя их выщелачивание в процессе эксплуатации приводит в ряде случаев, в первую очередь в мягких водах, к резкому повышению гидратной щелочности воды.

Так, в Саудовской Аравии осуществляется ввод диоксида углерода в водовод с целью нейтрализации щелочности воды, увеличивающейся из-за растворения внутренних ЦПП. Этот водовод проложен в две нитки из стальных труб диаметром 1524 мм каждая. Протяженность водовода 466 км, а пропускная способность 830¹ тыс. м³/сут. В качестве внутренней изоляции используется ЦПП толщиной 14 -19 мм.

2.5.2. Санирование водостоков

Санирование может потребоваться исходя из гидравлических и строительных условий, а также с целью защиты окружающей среды. Далее речь о нем и будет идти с учетом этих трех аспектов.

2.5.2.1. Строительное санирование

Поскольку характер, масштаб и причины разрушений, а также специфические для трубопроводов граничные условия в системах водоотведения очень отличаются друг от друга, то очень большое значение имеет правильный выбор строительного способа санирования, используемого в каждом конкретном случае применения. Эти способы можно [18] разделить на следующие три основные группы (рис.2.9) :

- * ремонт (приведение в исправное состояние);
- * восстановление (санирование);
- * обновление.

Способы восстановления внешней нагрузочной способности реализуются как во входных шахтах, так и в каналах. При этих способах, наряду с прочим, требуется создание строительных котлованов.

Ремонтные способы восстановления нагрузочной способности изнутри проводятся в проходимых каналах и сооружениях механизированными методами или вручную и (или) с использованием соответствующих вспомогательных средств или приборов, а в непроходимых каналах - при помощи управляемых дистанционно роботов и манипуляторов.

Имеющиеся на рынке системы роботов в состоянии герметизировать конкретные места разрушения определенного типа, например трещины и негерметичные трубные соединения, посредством шпаклевки трещин или посредством инъекции, а также разрезать отложения и существенные препятствия потокам воды.

Способы строительного санирования

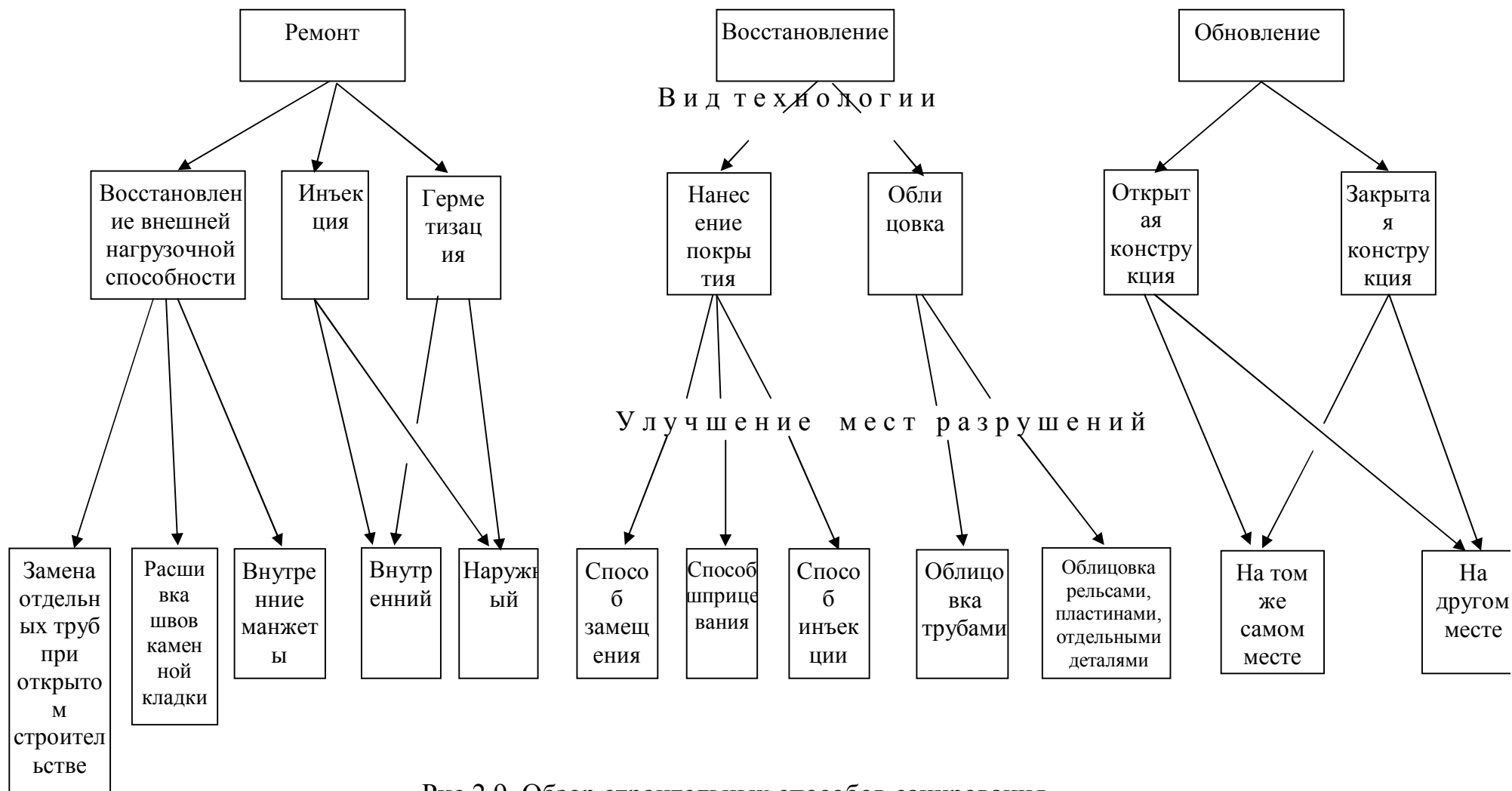


Рис.2.9. Обзор строительных способов санирования

Ремонт

Внутренние манжеты в непроходимых каналах. В непроходимых каналах трубопроводов надежность статической нагрузочной способности при ограниченных определенных местом разрушениях может достигаться посредством установки внутренних манжет. Эти способы [8] могут быть разделены на две группы:

-установка манжет из ткани, затвердевающей в определенных местах при пропитке смолистым реактивом;

-способ установки в трубопроводе внутренних манжет из поливинилхлорида или стали.

Такая установка манжет производится на предварительно очищенные стенки трубопровода, причем во всех случаях с дистанционным управлением и наблюдением посредством телевизионной камеры.

В основу этих разработок положена идея ремонта, независимо от степени разрушения, не всего коллектора, а только его разрушенной части, что позволяет существенно снизить расходы на ремонт.

Важную роль при ремонте каналов играют внутренние манжеты в форме тканевых манжет (рис.2.10) толщиной около 2 - 10 мм, пропитанные в определенных местах затвердевающим смолистым реактивом.

При этом надувной трубный пакер (по принципу полого цилиндра с расширяющейся резиновой манжетой) натягивается на пропитанную смолой манжету и устанавливается на разрушенное место при наблюдении посредством телевизионной камеры. После расширения пакера манжета прилегает в соответствии с внутренними контуром трубопровода и там затвердевает. В определенных случаях этот процесс обеспечивается подачей горячего воздуха. После удаления пакера канал может снова использоваться по назначению.

Основной сферой применения являются каналы с круговым поперечным сечением, у которых более не обеспечивается статическая нагрузочная способность. Кроме этого, в соответствии с данными производителя одновременно могут быть уплотнены негерметичные места.

Способ инъекции. Это - ремонтный способ. Под инъекцией понимают введение инъекционного материала, который накачивают под давлением в полые пространства грунтового основания или сооружения с целью его укрепления и (или) герметизации. Полое пространство - это широкое понятие, которое относится к естественным и искусственным полым структурам всех типов:

- расселины, щели, трещины, поры и пещеристые структуры в скальных породах и в твердых глинистых грунтах;
- поры в рыхлых горных породах;
- в щели, трещины, швы и поры в сооружениях;
- контактные швы между сооружением и фундаментом.

В области негерметичностей или предполагаемых полых пространств через стенки каналов и сооружений бурят отверстия для вставки либо инъекционных насадок, либо инъекционных патрубков, через которые производится введение инъекционного средства.

В случае осуществления, например, способа "Sanipor" отпадает необходимость в бурении отверстий для инъекции. При этом трещины или, соответственно, негерметичности используются для отвода инъекционного средства в граничащий грунт с целью герметизации и (или) укрепления. При реализации этого способа применяют 2 реагирующих друг с другом раствора "А" и "В" на основе жидкого стекла. На первой фазе этой операции в герметизируемую область вводится раствор "А", и после периода его действия, равного приблизительно 30 минутам, вновь производится его откачивание. На втором этапе вводится раствор "В", который реагирует с оставшимся в полых пространствах раствором "А" с образованием твердого геля (рис. 2.11).

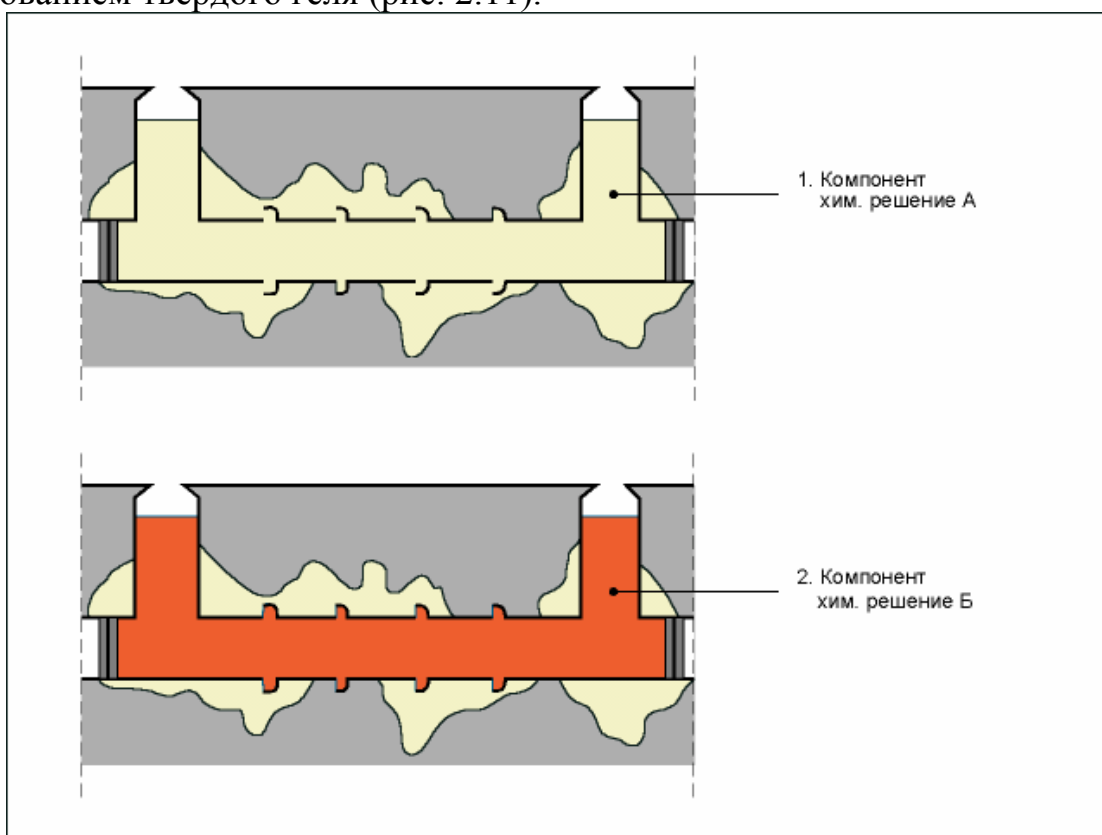


Рис.2.11. Рабочий процесс при применении способа "Sanipor" (ФРГ):
а - 1-ый компонент - химический раствор "А"; б - 2-ой компонент - химический раствор "В".

Восстановление
способом нанесения покрытий

Термин "нанесение покрытий" является обобщающим понятием для одного или нескольких взаимосвязанных слоев, созданных из покрывающих материалов на каком-либо основании (см. рис.2.12).

Гидрофобизация. Защитная обработка материалов, имеющих капиллярные поры, при которой поры системы не закупориваются внутри и не образуется пленка, называется импрегнированием. Если импрегнирование предотвращает или затрудняет смачивание поверхностей строительных материалов водой и ликвидирует капиллярную всасывающую способность относительно воды, то это - гидрофобизирующее импрегнирование или, сокращенно, гидрофобизация. Она должна внедряться в рамках защитных и ремонтных работ на бетонных сооружениях, чтобы улучшить долговременную сцепляемость наносимых слоев с основанием. Как самостоятельное мероприятие способы гидрофобизации, напротив, являются спорными и поэтому в таком варианте их применять не следует.

Заполнение (пропитка). Пропитка создает единую поверхностную пленку, которая защищает основание от внешних воздействий по типу окраски. Толщина пленки на плоских поверхностях колеблется от 0,1 приблизительно до 0,3 мм; в глубинах неровностей она больше, а на вершинах неровностей (наполнительные гранулы, кромки) эта толщина стремится к нулю. Благодаря проникновению в близкие к поверхности пористые структуры, пленка прилипает к основанию, одновременно укрепляя его практически при глубоком грунтовании.

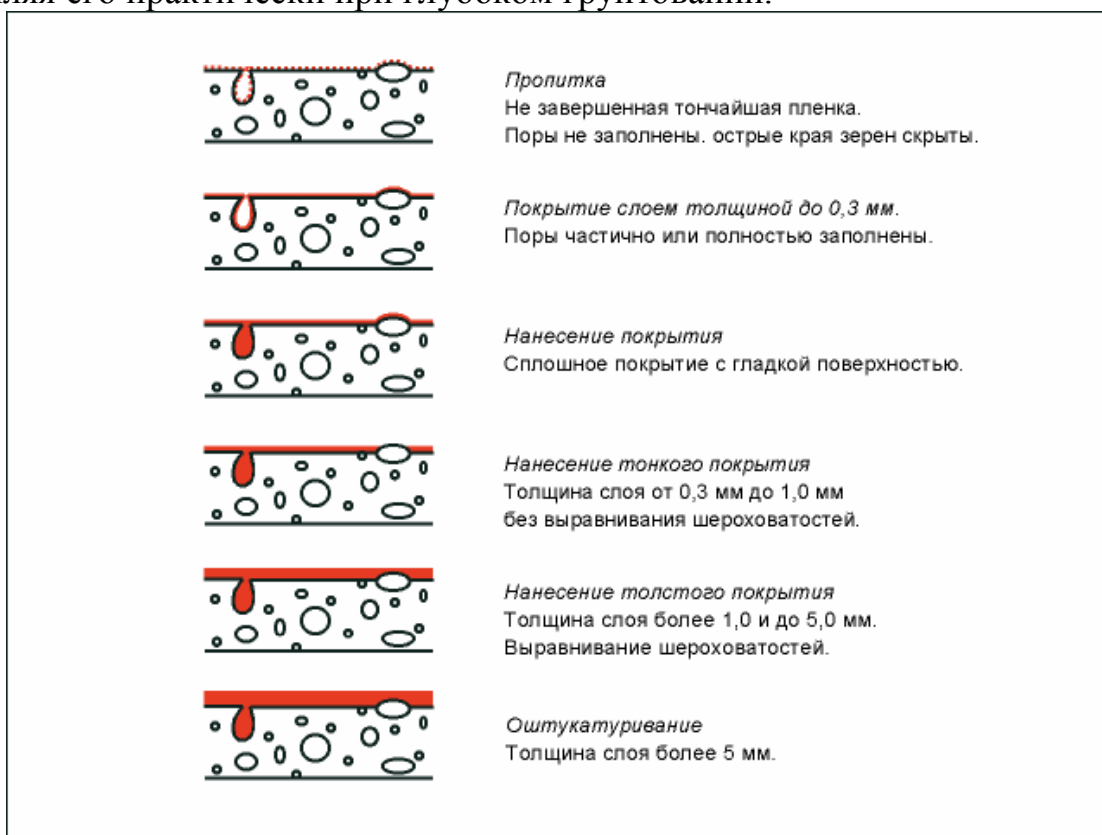


Рис. 2.12. Обработка бетонной поверхности

Без шпаклевания в качестве первой рабочей операции нельзя заполнить небольшие локальные дефекты на бетонной поверхности (раковины). Заполнение предотвращает в широких пределах проникновение жидкости, действуя аналогично гидрофобизирующему импрегнированию, правда, при затирании пор, то есть с потерей способности к пропусканию пара.

В г. Санкт-Петербург для защиты железобетонной рубашки (в случае необходимости) от воздействия газовой коррозии на ее поверхность наносится специальный защитный состав (минеральная силикатизированная смесь) толщиной 8 мм, изготовленный в Германии и опробованный (в течение 10 лет) на эксплуатируемых там канализационных коллекторах. Этот состав водонепроницаем, устойчив к температуре, обладает хорошей адгезией к бетону, имеет высокую механическую прочность и устойчив к агрессивным средам, таким как кислоты, растворители и т. д.; может наноситься как ручным, так и механическим способом. Все это позволяет существенно повысить эксплуатационную надежность коллекторов и надолго (до 50 лет) отдалить необходимость проведения капитального ремонта.

Пленкообразующее покрытие (окраска с грунтовкой). Такое покрытие может состоять из одного или нескольких слоев. Тип и количество отдельных защитных слоев определяется требованиями необходимой степени защиты в зависимости от интенсивности и характера воздействий.

Покрытие раствором (тонкое покрытие с грунтовкой). Ориентировочное значение наименьшей толщины слоя при покрытии раствором составляет 5 мм, причем при синтетическом модифицированном растворе 10 мм и 20 мм - при растворе, содержащем цемент. Кроме того, эта толщина должна быть, по меньшей мере, в три раза больше, чем наибольший диаметр гранул наполнителя.

Для решения задач по санированию систем водоотведения рассматриваются исключительно покрытия из раствора, так как тонкие и толстые покрывающие слои в данном случае оказались непригодными.

Требуемая толщина слоя зависит от поставленных целей, а также от характера разрушения, материала, используемого для нанесения слоя, и способа его нанесения. Слои толщиной менее 5 мм не оправдали себя в системах сточных вод, независимо от материала покрытия. Если покрытие предназначено исключительно для антикоррозионной защиты, то достаточно использовать относительно тонкие слои; если оно применяется для восстановления или увеличения нагрузочных характеристик канализационного канала, то толщина слоя определяется статическими нагрузками. При применении покрытия в качестве антикоррозионного

средства защиты, а также при его участии в поддержании несущей способности при внешней нагрузке в форме соединительных конструкций, сцепление между покрытием и соответствующим материалом трубы должно быть долговременным также при существующих и ожидаемых эксплуатационных условиях. Данное требование обуславливает, в зависимости от выбранного материала покрытия, наряду с соблюдением соответствующих условий обработки и применения, также и чрезвычайно тщательную обработку поверхностей.

2.5.2.3.Обновление

Под обновлением понимают сооружение новых трубопроводов на прежних или на других трассах, причем новые сооружения принимают на себя функции предшествующих трубопроводов.

При обновлении дефектных трубопроводов в тех же самых местах при производстве работ закрытым способом производится замена под землей, то есть без сооружения открытого котлована.

При этом, в основном, применяются следующие технологии :

- * сооружение штолен и туннелей при помощи горнопроходческих машин с креплением забивной крепью;

- * щитовая проходка;

- * трубная проходка:

- проходка проходимых труб;

- проходка непроходимых труб (разрушение старого трубопровода методом проходки при одновременном сооружении на его месте нового трубопровода выработкой);

- * продавливание.

Технологии продавливания базируются на известных технологиях вытеснения грунта.

Основная идея заключается в том, чтобы через дефектный трубопровод протолкнуть вытесняющее тело, которое разрушает стенку трубы и продавливает соседний грунт. Непосредственно за вытесняющим телом встраивается новый трубопровод номинального или большего диаметра. В результате не требуется никакой выемки грунта. Эти работы могут производиться, начиная от входной шахты, или из специально сооруженного стартового котлована (рис. 2.13).

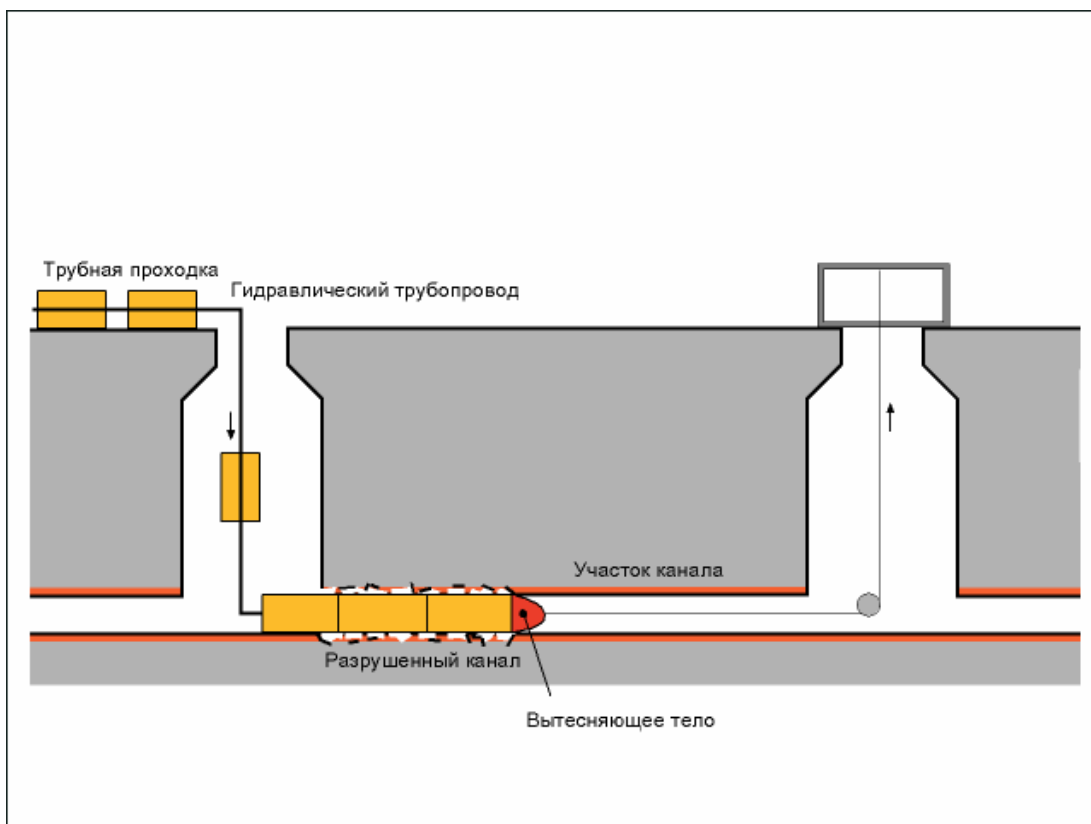


Рис.2.13. Система продавливания "KM-Berstlining" [фирма "Kanal-Muelergruppe» (ФРГ)]

Выводы

1. По мере старения трубопроводов проблема их санации приобретает всё большее значение.

2. В современном водном хозяйстве накоплен значительный опыт санирования и ремонта труб, пригодный для различных условий их эксплуатации.

3. Основным источником образования сильнопахнущих веществ в сетях водоотведения являются биологические превращения органических веществ, содержащих азот и серу и протекающие в анаэробных условиях, и сброс промышленных сточных вод, содержащих пахнущие вещества или соединения, которые могут вступать во взаимодействие в растворёнными в сточных водах ингредиентами с образованием пахнущих веществ.

4. Централизованно отводимые с крытых очистных сооружений водоотведения дурнопахнущие газы могут очищаться: химической обработкой в скрубберах; абсорбцией на активированном угле; биологическим окислением; термическим воздействием.

ГЛАВА 3. СНИЖЕНИЕ РАЗРУШАЮЩИХ СВОЙСТВ ВОДЫ И СОХРАНЕНИЕ ЕЁ ДОБРОКАЧЕСТВЕННОСТИ В КОММУНИКАЦИЯХ

Наибольшее место здесь уделено коррозии из-за решающего вклада её в разрушение водопроводов. Анализ отечественной и зарубежной практики обеспечения антикоррозионной защиты водохозяйственных сооружений позволил сгруппировать существующие методы борьбы с коррозией по четырем основным направлениям:

- 1 Улучшение противокоррозионных свойств материала.
2. Защита покрытиями.
3. Электрохимическая защита.
4. Антикоррозионная обработка воды.

Улучшение противокоррозионных свойств материала, подверженного коррозионному воздействию

Данная группа методов реализуется на стадии формирования технических условий на конструирование изделия водохозяйственного строительства, а также на стадии производства материала (стали или сплава), применяемого при его изготовлении. Улучшение противокоррозионных свойств материала изделия в этом случае достигается посредством введением в его состав соответствующих легирующих добавок.

Серьёзным недостатком данной группы методов является их высокая себестоимость, а также невозможность применения для оборудования, находящегося в эксплуатации.

Защита покрытиями

Защитные покрытия, изолирующие металлические трубы от непосредственного контакта с транспортируемой водой, являются наиболее радикальным и надежным средством борьбы с внутренней коррозией. Назначение защитного покрытия, с одной стороны, состоит в создании барьерного слоя, препятствующего прониканию агрессивной среды к поверхности материала; с другой - в ограничении или предотвращении образования новой фазы (продуктов коррозии) на поверхности раздела «материал - покрытие». В связи с этим, защитные покрытия должны обладать высокой химической устойчивостью, слабой проницаемостью для жидкостей и газов, хорошей адгезией к металлу или неметаллическому материалу, высокой стабильностью структуры и относительно высокой механической прочностью и долговечностью.

Защитные покрытия подразделяются на металлические (горячее цинкование, электролитические покрытия, эмалирование) и неметаллические. Неметаллические, в свою очередь, - на органические и неорганические покрытия. К органическим относятся лаковые, битумные, пластмассовые, эпоксидные, резиновые и т. п. покрытия, к неорганическим - оксидные, бетонные, цементно-песчаные, фосфатные, силикатные и т. п.

В мировой практике антикоррозионной защиты стальных труб наиболее широкое распространение (более 80% случаев) получили цементно-песчаные покрытия, что связано с их доступностью, низкой стоимостью и высокими защитными свойствами, обеспечивающими длительную (50 лет) безаварийную работу водопровода. Однако уровень материально-технического обеспечения в настоящее время не позволяет ориентироваться на массовое применение этого способа. Кроме того, нанесение различного вида покрытий зачастую возможно лишь в заводских условиях, что неприемлемо для защиты трубопроводов, находящихся в эксплуатации.

Таким образом, несмотря на высокую надежность, методы борьбы с коррозией, основанные на нанесении защитных покрытий, не свободны от ряда существенных недостатков:

- потребность в больших эксплуатационных затратах;
- необходимость тщательной очистки поверхности материала конструкций и оборудования перед нанесением покрытия;
- сложность нанесения покрытия (для надежной защиты от коррозии требуется создавать 4-6-слойное покрытие общей толщиной 150-200 мкм);
- возможность нарушения эластичности и отслоение покрытия в процессе эксплуатации;
- сложность восстановления покрытия после его частичного разрушения.

Комплексная электрохимическая защита (КЭХЗ)

В сложившейся ситуации особого рассмотрения и изучения требуют альтернативные методы борьбы с коррозией, к числу которых (КЭХЗ), которая является новым направлением защиты от коррозии не только внутренних, но и наружных поверхностей неизолированных или плохо изолированных трубопроводов, резервуаров, скважин и других сооружений и оборудования. КЭХЗ получила развитие сравнительно недавно и на настоящее время является наиболее перспективным видом защиты существующих подземных металлических сооружений и оборудования [19].

КЭХЗ, реализованная с применением железокремниевых анодов, производится автоматической станцией типа УКЗТ-5.0 АТ для катодной поляризации, блока диодно-резисторного типа БДР-4, анодного, катодного и питающего кабелей. В процессе ЭХЗ происходит деполяризация кислорода с образованием в приэлектродном слое ионов OH^- , которые взаимодействуют с гидрокарбонат-ионами, разлагая их частично до карбонатов.

Вследствие этих процессов у поверхности металла реализуется пересыщение воды по карбонату кальция (превышение произведения

растворимости CaCO_3), и он отлагается на трубе, создавая защитную пленку, или осаждается на поверхности сформировавшихся во времени отложений, цементируя их.

В процессе испытаний установлена возможность увеличения протяженности защищенной поверхности до 5000 м. В результате КЭХЗ на внутренней поверхности водовода сформирована защитная пленка поликристаллической структуры, отличающаяся повышенной защитной функцией.

Антикоррозионная обработка воды

Важность рассматриваемой проблемы явилась причиной разработки и внедрения в водное хозяйство специальных методов водообработки для предохранения трубопроводных коммуникаций от разрушения, а транспортируемой воды от вторичного загрязнения. В водопроводе это - технологии обескислороживания, углекислотной и биологической стабилизации и ингибирования воды перед подачей её в водоводы, а в водоотведении – перекрытие очистных сооружений кровлей, централизованный отвод с них и последующая очистка дурнопахнущих агрессивных газов, т.е. имеются существенные различия в стартовой обработке водопроводных и сточных вод.

3.1. Обескислороживание водопроводной воды

В естественных условиях применяется при перекачке воды по стальным трубопроводам, в которых процессы пленкообразования в значительной мере обусловлены катодными и анодными реакциями, протекающими при электрохимической коррозии стали (рис. 3.1). При отсутствии в мягких низкощелочных водах гидрокарбонатов и катионов жесткости гидроксильные группы, образующиеся при восстановлении молекул кислорода (катодная реакция), реагируют главным образом с ионами железа. В этом случае, если катодные и анодные участки расположены на поверхности стали достаточно близко, то на них формируются рыхлые, проницаемые для кислорода отложения гидроксида железа. При значительном удалении катодных и анодных участков друг от друга осадок гидроксида железа образуется в потоке воды, т.е. в обоих случаях защиты металла от коррозионного разрушения не происходит.

Процесс осложняется также многими побочными реакциями, не приведенными на схеме рис. 3.1. В состав ржавчины входят, например, γ - FeOON - лепидокрокит, α - FeOON - гетит, β - FeOON - акагетит, Fe_3O_4 - магнетит, α - Fe_2O_3 - гематит, γ - Fe_2O_3 - маггетит и FeO - вюстит. При низкой буферной емкости рН в слоях воды, прилегающих к стенкам труб, повышен, и сидерит не может образовываться, хотя требуемая для его образования свободная энергия - наименьшая среди солей, формирующих

защитные отложения на поверхности труб по схеме рис. 3.1. Несколько меньшая термодинамическая вероятность образования осадка у карбоната кальция.

В процессе формирования кальцитной пленки имеет место равенство

$$-(\text{OH}^-) * D_{\text{OH}^-}^{0,5} = (\text{Ca}^{2+}) * D_{\text{Ca}^{2+}}^{0,5} = (\text{HNC}_3^-) * D_{\text{HNC}_3^-}^{0,5}, \quad (3.1)$$

где OH^- , Ca^{2+} и HNC_3^- - концентрации соответствующих ионов в воде, г-ион/дм³;

D_{OH^-} , $D_{\text{Ca}^{2+}}$ и $D_{\text{HNC}_3^-}$ - коэффициенты диффузии этих ионов, равные соответственно $5,23 * 10^{-5}$; $7,9 * 10^{-6}$ и $1,16 * 10^{-5}$ см²/с.

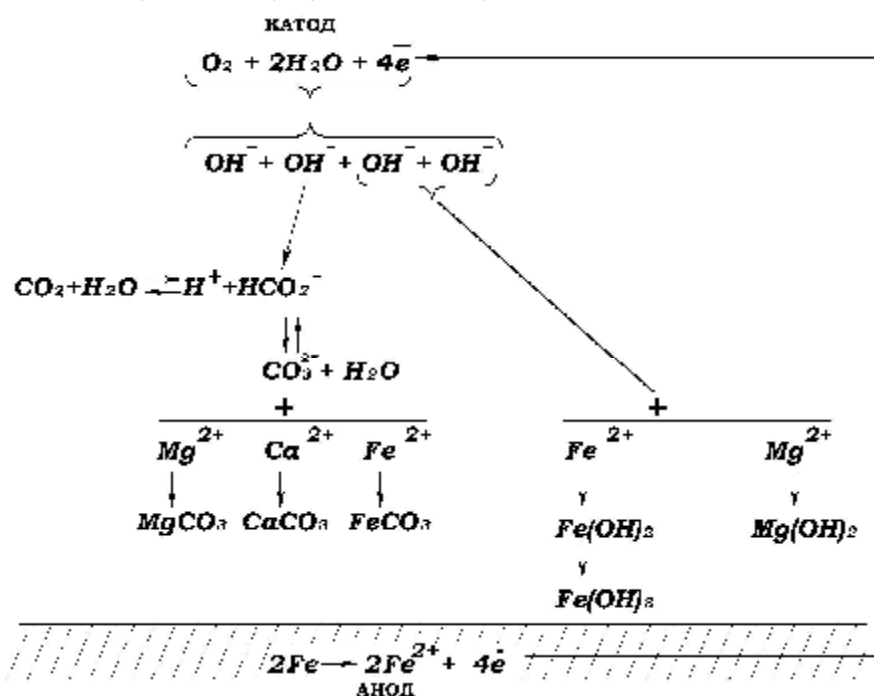


Рис. 3.1. Схема химических и электрохимических реакций, протекающих при коррозии стали в пресной воде и способствующих образованию на поверхности

стали солевых отложений (\bar{e} - электрон)

Для водопроводной воды, содержащей 0,3 - 0,5 мг-экв/л Ca^{2+} и 0,15 - 0,25 мг-экв/л гидрокарбонатов, по формуле (3.1) с учетом непосредственно вытекающего из схемы рис. 3.1 соотношении $(\text{OH}^-) = (\text{O}_2)$, где O_2 , моль, требуется 0,6 - 0,75 мг/л O_2 , то есть снижение концентрации кислорода в воде с равновесной (7-8 мг/л) до этого уровня будет способствовать упрочнению кальцитных пленок за счет уменьшения образования гидроксидов железа.

Глубокое обескислороживание мягких вод может достигаться вакуумной и термической дегазацией, фильтрованием через электроионообменники и химическим связыванием кислорода.

Сущность работы вакуумного дегазатора заключается в следующем. Дегазируемая вода подается в верхнюю часть дегазатора и с помощью того

или иного устройства разбрызгивается по всей площади поперечного сечения аппарата. Внутри последнего расположена насадка (кольца Рашига или деревянная насадка), по которой дегазируемая вода стекает вниз в виде пленки. От корпуса дегазатора отходит труба к устройству, создающему вакуум внутри аппарата. Для этой цели могут быть использованы вакуум-насосы, водоструйные или пароструйные эжекторы. Вакуум в дегазаторе должен соответствовать точке кипения дегазируемой воды или быть близким к ней.

Как известно, растворимость газов в кипящей жидкости близка к нулю, поэтому чем ближе создаваемый вакуум к точке кипения воды, тем выше возможный эффект дегазации. Для того чтобы вода при наличии вакуума в дегазаторе беспрепятственно стекала в резервуар, дегазатор располагают на такой высоте над приёмным резервуаром, при котором давление столба воды в отводящем трубопроводе превышает величину вакуума в дегазаторе. При дегазации холодной воды, когда нужно обеспечить почти полный вакуум в дегазаторе, высоту его расположения над приемным резервуаром (с учетом гидравлических сопротивлений) следует принимать равной 11 -12 м водн. ст. Для снижения этой высоты возможно отсасывать воду из дегазатора насосом.

При помощи вакуумной дегазации воды, без ее предварительного подогрева, можно добиться обескислороживания воды до остаточного содержания, равного 0,1-0,3 мг/л. Расчетная плотность орошения насадки в процессе вакуумной дегазации принимается равной $50 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

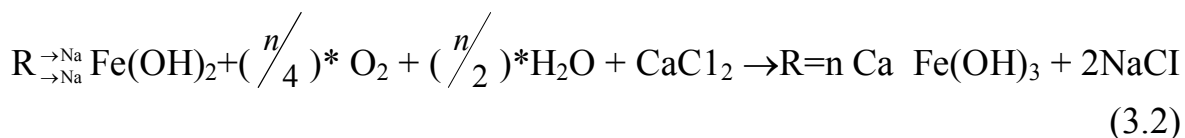
Однако при снижении содержания кислорода (менее 3 - 4 мг/дм³) возникает опасность появления в водопроводной воде запахов и привкусов, возрастания окисляемости и микробного показателя. Вследствие высокой стоимости вакуумная дегазация в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения не находит применения, а используется преимущественно при обработке воды перед закачкой ее в нефтяные пласты.

При термическом обескислороживании удаление растворенных газов осуществляется главным образом вследствие снижения их растворимости в нагретой воде. Основной областью термического обескислороживания является горячее водоснабжение.

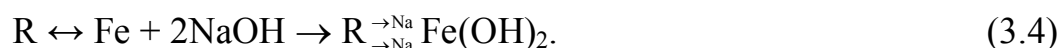
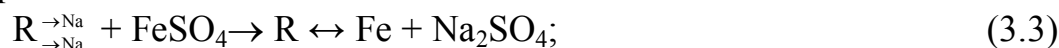
Чаще всего этот процесс осуществляется в вакуумном деаэраторе, который включается после водоподогревателя, где температура повышается до 60-65°C. В деаэрационной колонке поддерживается такой вакуум, чтобы поступающая вода имела некоторый перегрев (5-10°C) по отношению к температуре насыщения, соответствующей давлению в деаэраторе, Вода вскипает, становится по газам пересыщенным раствором, из которого энергично выделяются газовые пузырьки. При этом из воды в паровую фазу поступает 90-95% кислорода. Выделение оставшегося растворенного кислорода происходит путем диффузии и протекает

медленно. Деаэрированная вода из колонки попадает в бак деаэратора и далее центробежным насосом подается в систему водоснабжения. Для отсоса выделяющихся газов и поддержания в деаэраторе вакуума используется водоструйный эжектор. Он включен в самостоятельный контур, состоящий из бака эжектора и центробежного насоса. В качестве рабочей жидкости в водоструйном эжекторе используется водопроводная вода.

Обескислороживание воды можно осуществить с помощью электроноинообменников - редокс-ионитов, обладающих свойством поглощать растворенный в воде кислород в результате доокисления сорбированного на них восстановителя. Наиболее применим для обработки воды железозакисный электроноинообменник в натриевой форме $R_{\rightarrow Na}^{\rightarrow Na} Fe(OH)_2$. Восстановителем у этого электроноинообменника служат сорбированные на катиониты КУ-2-8, КУ-23 или их импортные аналоги молекулы $Fe(OH)_2$. Характер процессов, происходящих на зернах железозакисного электроноинообменника, можно показать уравнением



В эксплуатационных условиях железозакисный электроноинообменник может быть получен путем последовательной обработки КУ-2-8 или КУ-23 сначала 8-10%-ным раствором $FeSO_4$, а затем 4%-ным раствором $NaOH$:



Восстановительная ёмкость электроноинообменника, которой можно достигнуть при его получении, зависит от структуры катионита. Восстановительная емкость электроноинообменника на базе гелевых катионов КУ-2-8 составляет около 28 кг O_2/m^3 , на базе микропористых катионитов КУ-23 - 32 кг O_2/m^3 .

Для эксплуатации электроноинообменника используют стандартные Н-катионитные или Na-катионитные фильтры. При насыщении зерен катионита восстановителем происходит увеличение их плотности и хрупкости. Во избежание больших потерь электроноинообменника от истирания при взрыхлении не следует делать высоту загрузки более 0,9-1,0 м. Скорость фильтрования рекомендуется поддерживать в пределах 20-30 м/ч. В период между регенерациями необходимо еженедельно производить взрыхление фильтрующего слоя в течение 3 мин со скоростью 5-6 м/ч.

Регенерация электроионообменника осуществляется в два основных этапа. На первом этапе окисленные группы $\text{Fe}(\text{OH})_3$ должны быть смыты с катионита раствором серной или соляной кислоты. При смыве образуются кислые стоки, содержащие $[\text{H}_2\text{SO}_4(\text{HCl}), \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и $\text{FeSO}_4(\text{FeCl}_3, \text{FeCl}_2)]$. Эти стоки можно нейтрализовать $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в баке-нейтрализаторе или использовать, например, в качестве коагулянта в осветлителях. На втором этапе на очищенный катионит намываются восстановительные группы $\text{Fe}(\text{OH})_2$; образующиеся при этом стоки нейтральны и содержат в основном Na_2SO_4 .

В водоподготовительных установках электростанций электроионообменники-фильтры устанавливают после вакуумных деаэраторов.

Среди химических методов обескислороживания в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения применяют сульфитирование.

3.2. Реагентная и фильтрационная стабилизация водопроводной воды

3.2.1. Реагентная стабилизация воды

В этом параграфе рассмотрены три технологии реагентной стабилизационной обработки воды, основанные на (1) коррекции углекислотно-кальциевого равновесия в воде, (2) ингибиторной обработке воды и (3) биологической её стабилизации.

3.2.1.1. Коррекция углекислотно-кальциевого равновесия

Под этой обработкой понимают направленное изменение различных форм существования соединений неорганического углерода в воде для контроля кинетики двух технологически важных процессов водопользования: электрохимической коррозии металла и выпадения карбонатных отложений (инкрустации) на границе контакта двух сред - воды и конструкционных материалов труб (оборудования). Положительный результат стабилизационной обработки выражается в снижении интенсивности этих процессов до эксплуатационно безопасного уровня, т.е. вода должна стать «стабильной» [20].

С особой остротой процессы коррозии и инкрустации проявляют себя в водах с нарушенной солевой структурой, генезис состава которых протекает в условиях, отличных от условий формирования примесей в поверхностных водах водосборов, расположенных на известняковых горных породах. Это - циркуляционные воды систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий, умягчённые, опреснённые, подземные и мягкие воды, атмосферные осадки и т.п.

В табл.3.1 [1, 2] приведены основные показатели различных методов реагентной стабилизации водопроводной воды. Рассмотрим несколько подробнее два наиболее востребованных метода коррекции углекислотно-кальциевого равновесия в воде: предотвращение внутренней коррозии конструкционных материалов путём нанесения внутренних карбонатных покрытий и борьба с выпадением карбонатных отложений (инкрустаций) на внутренних поверхностях металлических труб путём обработки воды циркуляционных систем водоснабжения минеральной кислотой.

Предотвращение внутренней коррозии конструкционных материалов путём нанесения внутренних карбонатных покрытий

По технологии, разработанной в Израиле, внутренние карбонатные покрытия наносятся на последовательно расположенных участках чугунных труб длиной от 500 до 1000 м путем циркуляции через каждый из них сильно пересыщенного углекислым кальцием водного раствора, обескислороженного сульфитом натрия. Скорость движения циркуляционного раствора внутри труб должна быть не менее 1,5 - 1,7 м/с. При меньшей скорости образуются рыхлые отложения метастабильного арагонита. Рециркуляция длится несколько десятков часов. Рециркулирующий раствор имеет рН в пределах 9,5-10.

При взаимодействии с кислородом сульфит натрия окисляется до экологически и токсикологически значительно менее вредных сульфатов.

Для обеспечения равномерности при нанесении кальцитного покрытия целесообразно снизить скорость его образования путем добавления в рециркулирующий раствор комплексобразующих веществ. В результате ввода сульфита натрия происходит образование ионных пар, содержащих сульфаты. Поэтому уже одно сульфитирование регенерационного раствора, содержащего магниевую жесткость, в 30 - 40 раз снижает скорость выделения из раствора углекислого кальция. Дополнительно присадка полифосфатов дозой в пределах от 1 до 20 мг/л снижает эту скорость еще в 10 раз. Другим способом равномерного нанесения кальцитного покрытия является подкисление раствора после каждого цикла его циркуляции до $\text{pH} = 7$ и дополнительный ввод хлористого кальция, кальцинированной или каустической соды, сульфита натрия до $\text{pH} = 9,5$.

В связи с нестойкостью кальцитного покрытия в нестабильной воде толщина его должна быть 0,5 мкм, что позволяет сохранить целостность покрытия при случайных кратковременных перерывах в стабилизационной обработке.

Защитные свойства карбонатных покрытий в значительной степени зависят от их химического состава. Так, например, в хороших защитных

плёнках количество карбоната кальция может составлять около 5%, а при большем его содержании формируются неровные шероховатые покрытия.

Более высокое содержание карбоната кальция в плёнке отрицательно влияет на её защитные свойства. Если в качестве продукта коррозии железа сначала образуется сидерит, а затем кристаллизуется кальцит, то получают хорошие защитные слои с высоким содержанием двухвалентного железа (не менее 25%). Процентное содержание двухвалентного железа в карбонатном слое является показателем качества последнего.

Согласно СНиП 2.04.02-84, для создания защитных кальцитных плёнок вода должна быть несколько пересыщена карбонатом кальция. Степень пересыщения определяется технологическим и химическим анализом воды, а также результатами наблюдений за поведением индикаторов коррозии.

Ниже показан прирост щёлочности агрессивной воды при добавлении в неё щелочных реагентов дозой 1 мг/л:

Реагент	Прирост щёлочности, мг-экв/л
Гашёная известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$	0,027
Кальцинированная сода (Na_2CO_3)	0,019
Каустическая сода (NaOH)	0,0246

Для сохранения в процессе эксплуатации водопровода сформированной карбонатной плёнки транспортирование по трубам агрессивных вод должно быть исключено. Даже поддержание перекачиваемых вод в состоянии стабильности (индекс Ланжелье равен 0) не гарантирует сохранность плёнки.

Таблица 3.1

Основные методы реагентной стабилизации водопроводной воды

Метод	Характер воздействия на воду	Эффективность	Комментарии и проблемы
Предотвращение коррозии конструкционных материалов			
Известь + бикарбонат натрия	Повышение рН, увеличение жёсткости	Эффективна в мягких водах с низким рН. Отличные ингибиторы для медных, свинцовых и асбестоцементных труб.	Возможно, наилучшая из реагентных технологий.
Известь	Повышение рН, увеличение щёлочности	Обеспечивают хорошую противокоррозионную защиту стальных чёрных и оцинкованных труб	При пересыщении способна образовывать кальциевые инкрустации
Каустическая сода	Повышение рН	Эффективна в жёстких щелочных водах. Обеспечивают противокоррозионную защиту свинцовых труб в мягких низкощелочных водах	Может вызвать язвенную коррозию стальных труб при рН воды в диапазоне 7,5 - 9
Каустическая сода + гидрокарбонат натрия	Повышение рН, корректировка щёлочности	Эффективна в жёстких водах с низким рН. Обеспечивают противокоррозионную защиту свинцовых труб в мягких водах при рН 8,3	Высокие концентрации щёлочности и жёсткости при низком рН воды более желательны, чем высокий рН при низких жёсткости и щёлочности
Фосфатный ингибитор (натрийцинкфосфат и цинкортофосфат)	Образование защитных плёнок на внутренней поверхности труб	Хороший ингибитор для асбестоцементных труб. Добавка извести увеличивает эффективность действия ингибитора в медных, стальных, свинцовых и асбестоцементных трубах	Интенсифицирует рост водорослей и микроорганизмов в трубах.
Силикатный ингибитор	Образование защитных плёнок на внутренней поверхности труб	Эффективен в мягких водах при рН ниже 8,4	Необходима предварительные опытно-производственные проверки
Борьба с карбонатными отложениями (инкрустацией)			
Минеральная кислота	Снижение рН, корректировка	Эффективна в жёстких щелочных водах. Разрушает ранее образованные карбонатные	При передозировке вызывает коррозию

Диоксид углерода	Снижение корректировка щёлочности	pH,	Предотвращает образование новых карбонатных отложений	При передозировке интенсифицирует закарбоничивание труб
------------------	---	-----	--	--

Особого внимания заслуживает проблема стабилизации мягких низкощелочных вод. Эти воды распространены на площади, составляющей более половины территории РФ (весь Крайний Север, значительная часть Дальнего Востока и Сибири). Уже сейчас требуется осуществлять стабилизацию водопроводной воды, например, в восточной части БАМа, в таких крупных городах Севера, как Мурманск, Норильск, Дудинка, Апатиты и др.

Холодные мягкие воды Севера стабилизируют главным образом реагентными методами. Причем для маломутных цветных вод Кольского полуострова при одновременном обеззараживании и коагуляции сернокислым алюминием возможна стабилизация одним подщелачивающим реагентом. При этом доза извести для приведения очищенной воды в состояние насыщения карбонатом кальция составляет около 5 мг/л по СаО. По данным гравиметрических измерений, скорость коррозии углеродистой стали в воде Мурманского водопровода снижается в 2 раза уже в первую неделю после ее обработки известью.

Эффективность стабилизации мягкой воды одним подщелачивающим реагентом была установлена также в системе водоснабжения одного из районов Портленда (США). Обработку 34,2 м³/ч водопроводной воды первоначально производили содой дозой 5,9 мг/л, а затем известью дозой 8,6 мг/л. Продолжительность обработки каждым реагентом составляла около 1 мес. По данным гравиметрических измерений, скорость коррозии стали в результате известкования снизилась в 6 раз. При обработке содой цветность воды оказывалась выше, чем при известковании.

При подщелачивании известью возникает необходимость в тонком помоле и гашении комовой извести, к чему отечественные станции коммунального водопровода готовы не в полной мере главным образом из-за несовершенства серийно выпускаемого известегасильного оборудования. В большинстве случаев этим объясняется отказ от стабилизационной обработки, предусмотренной проектом, и даже при наличии уже законченного строительством известкового отделения.

Определенные затруднения возникают при дозировании извести в виде раствора, когда суточная потребность ее превышает 250 кг. В этом случае распространенные в нашей стране сатураторы двойного насыщения оказываются чрезмерно громоздкими из-за ограничения величины скорости восходящего движения насыщенного известкового раствора в верхнем сечении сатуратора. Однако в Финляндии в настоящее время успешно эксплуатируются трехкамерные сатураторы, оборудованные механическими или гидравлическими смесителями, что позволяет вдвое повысить скорость восходящего потока по сравнению с рекомендуемой в отечественной практике. В связи с этим представляется целесообразным шире практиковать применение в реагентных узлах крупных водоочистных станций вертикальных отстойников для приготовления

осветленного известкового раствора, так как они допускают более высокую по сравнению с двухкамерными сатураторами скорость подъема жидкости.

Борьба с выпадением карбонатных отложений на внутренних поверхностях металлических труб путём обработки воды циркуляционных систем водоснабжения минеральной кислотой

При использовании для снятия пересыщения CaCO_3 сильных кислот, не создающих буфера в воде, её pH подвержен резким изменениям, что в эксплуатационных условиях может легко приводить к переводу стабильности воды из инкрустабельного состояния в агрессивное. Поэтому целесообразно режим подкисления выбирать таким образом, чтобы обеспечить в оборотной воде после обработки состояние небольшого пересыщения карбонатом кальция. Рассмотрим это положение подробнее.

При эксплуатации охлаждающих систем оборотного водоснабжения происходят изменения внешних условий, которые не контролируются, но действуют на безнакипный режим работы системы. Это температура и влажность наружного воздуха, воздействующие на температуру охлаждающей воды, а, следовательно, и на процесс выпадения карбоната кальция в системе. Качество подпиточной воды также подвергается изменениям, определяющим процесс накипеобразования.

Безопасной систему оборотного водоснабжения может сделать регулированием pH и коэффициента упаривания циркуляционной воды (K_y) в зависимости от меняющихся внешних условий. С помощью технического контроля и контрольно-измерительных приборов осуществляется тонкая настройка системы применительно к требуемым pH и K_y .

В охлаждающих системах водоснабжения допускаются различные уровни пересыщения воды карбонатом кальция. Так, по Ризнеру

$$R=2pH_s - pH, \quad (3.5)$$

где pH-измеренное значение pH воды,

R должен находиться в пределах от 6 до 7, а по Ланжелье (1.1) I - в пределах от 0 до 1.

На рис.3.2 в координатах pH - pH_s отложены прямые, отвечающие уравнениям (1.1) и (3.5) при различных значениях R и I.

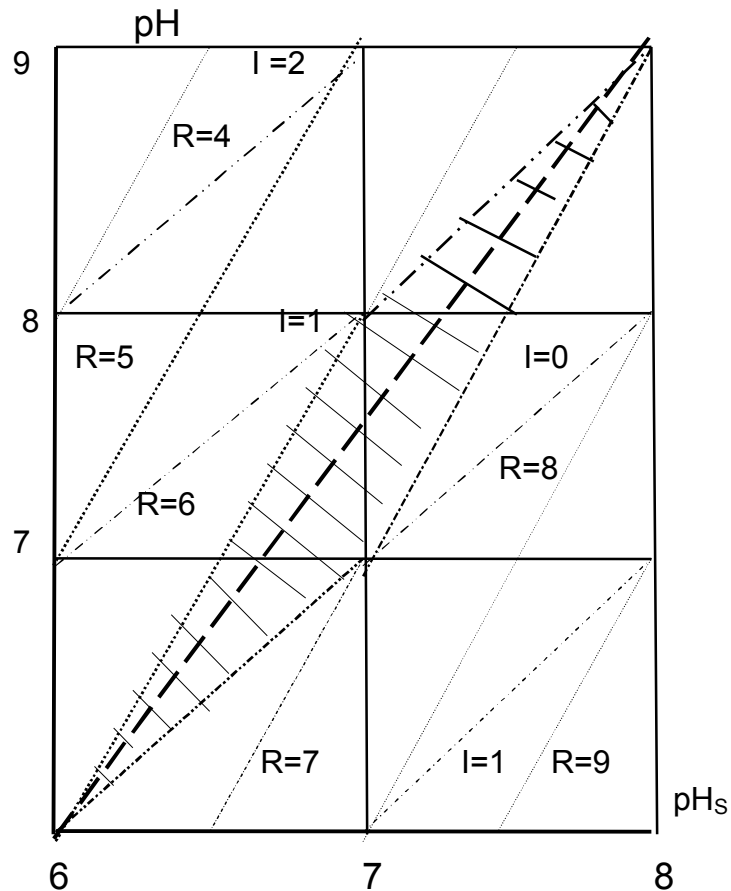


Рис.3.2. Зависимость pH и pH_s при различных значениях:

- - R (индекс Ризнера) и
 - - - - - I (индекс Ланжелье).
 - · - · - pH_s = (2/3) pH + 2
- (3.6)

Из рис. 3.2 видно, что рекомендуемые области значений R и I значительно перекрывают друг друга, что обозначено заштрихованным параллелограммом. Большая диагональ параллелограмма, описываемая формулой (3.6), может быть принята в качестве базовой для определения оптимальной степени пересыщения оборотной воды карбонатом кальция.

Поскольку при отдувке диоксида углерода на градирнях и подкислении, pH воды в оборотной системе подвержен изменению, целесообразно поддерживать его значение на уровне, при котором концентрация карбонатов в воде была бы минимальной. Исходя из закона действия масс, имеем следующее соотношение:

$$[C_{CO_2}] / [C_{CO_3^{2-}}] = \gamma_{CO_3^{2-}} * \gamma_H * [C_{H^+}]^2 / K_1 * K_2, \quad (3.7)$$

где C_{CO_2} , $C_{CO_3^{2-}}$ и C_{H^+} - соответственно в г-моль/л и г-ион/л.

Равенство молярных концентраций диоксида углерода и карбонатных ионов имеет место в диапазоне изменения pH от 8,2 до 8,6 в зависимости от температуры и солевого содержания воды. Опыт эксплуатации показывает,

что для обеспечения безнакипного режима работы величина соотношения в левой части формулы (3.7) должна приниматься больше 1,0 в зависимости от концентрации диоксида углерода в оборотной воде.

При охлаждении на вентиляторных градирнях происходит значительное удаление диоксида углерода из воды. По опытным данным, отношение

$$[C_{CO_2}] / [C_{CO_3^{2-}}] = 1,85.$$

На практике рассматриваемое отношение можно принимать аналогичным его значениям, достигнутым на однотипных предприятиях при эксплуатации оборотных систем в безнакипном режиме, а при наладочных работах определять экспериментальным путём.

При соотношении $[C_{CO_2}] / [C_{CO_3^{2-}}] = 1,85$ из формулы (3.7) следует

$$pH = [(pK_1 + pK_2 + \lg \gamma_{CO_3^{2-}}) / 2] - 0,134 \quad (3.8)$$

Решая (3.8) с известным уравнением первой степени диссоциации угольной кислоты, получим расчётную формулу для определения содержания бикарбонатов в оборотной воде

$$\lg C_{HCO_3^-} = \lg C_{CO_2} + \frac{pK_1 - pK_2 + \lg \gamma_{CO_3^{2-}}}{2} - \lg \gamma_{HCO_3^-} - 1,778, \quad (3.9)$$

где $C_{HCO_3^-}$ - концентрация бикарбонатов в оборотной воде, мг-экв/л;
 C_{CO_2} - концентрация диоксида углерода в охлаждённой оборотной воде, мг/л.

Подставляя (3.8) в (3.6), получим

$$pH_s = [(pK_1 + pK_2 + \lg \gamma_{CO_3^{2-}}) / 3] + 1,911. \quad (3.10)$$

Для нахождения дозы кислоты в пересчёте на расход подпиточной воды требуется знать K_y . Его значение устанавливается из формулы (1.4) после некоторых преобразований. В левой части формулы (1.4) вместо pH_s подставим правую часть формулы (3.10). Значения термодинамических констант в формуле (1.4) определяются для температуры оборотной воды после охлаждения её на градирне, а величину щёлочности - по формуле (3.9). Концентрацию кальция в формуле (1.4) выразим через концентрацию кальция в подпиточной воде $C_{Ca^{2+}_{под}}$, мг-экв/л:

$$C_{Ca^{2+}} = K_y * C_{Ca^{2+}_{под}}. \quad (3.11)$$

При содержании в воде сульфатов более 300 мг/л величину $C_{Ca^{2+}_{под}}$ следует определять с учётом образования ионной пары $CaSO_4^0$.

Член формулы (1.4), учитывающий солесодержание воды, выражается через солесодержание подпиточной воды по формуле:

$$p(\gamma_{CO_3^{2-}}^{5/6}) = 0,11 * \lg P, \quad (3.12)$$

где P - солесодержание оборотной воды, мг/л, связанное с солесодержанием подпиточной воды $P_{под}$, мг/л;

$$P = K_y * P_{под} \quad (3.13)$$

После указанных подстановок и решения относительно K_y формула (1.4) примет вид:

$$\lg K_y = 1,1 (J - \lg C_{Ca^{2+}_{под}} - \lg C_{CO_2} + 0,1 * P_{под} + 6,167), \quad (3.14)$$

где $J = 1,1 * (pK_1 + pK_2) / 6 - pPP_{CaCO_3}$.

Ниже приведены значения коэффициента J для различных температур воды:

$T, ^\circ C$	J	$T, ^\circ C$	J
20	-5,489	40	-5,765
30	-5,637	50	-5,882
35	-5,692	60	-5,998

По формуле (3.14) при известных содержании в подпиточной воде щёлочности и кальция, а также общего её солесодержания и температуры можно рассчитать K_y , который установится в циркуляционной воде при выводе системы оборотного водоснабжения в работу в режиме пересыщения карбонатом кальция, отвечающем отношению $C_{CO_2} / [C_{CO_3^{2-}}] = 1,85$. Одновременно устанавливается макросостав циркуляционной воды при найденном K_y и требуемая доза кислоты. Проиллюстрируем сказанное примером.

Пример 3.1. Требуется определить K_y для охлаждающей оборотной системы с вентиляторными градирнями, не допуская образования карбонатной накипи при помощи кислотной обработки воды. Температура оборотной воды в резервуаре градирни $35^\circ C$. Подпиточная вода имеет солесодержание $P_{под} = 226$ мг/л, рН 7,26, температуру $20^\circ C$, $C_{щ_{под}} = 2,28$ мг-экв/л, $C_{Ca^{2+}_{под}} = 1,4$ мг-экв/л и $C_{SO_4^{2-}} = 46$ мг/л. $C_{CO_2} = 1,2$ мг/л. Подставляя $C_{Ca^{2+}_{под}}$ соответствующую температуре $35^\circ C$ величину J в формулу (3.14), при $C_{CO_2} = 1,2$ мг/л получим $K_y = 5$. Для этого K_y по формуле (3.13) $P = 1130$ мг/л.

Тогда $\lg \gamma_{\text{CO}_3^{2-}} = -0,316$, $\lg \gamma_{\text{HCO}_3^-} = -0,079$; pH_s по формуле (3.10) равен 7,34; pH по формуле (3.8) - 8,02 и $C_{\text{HCO}_3^-}$ по формуле (3.9) - 1,67 мг-экв/л.

Доза технической серной кислоты с 80%-ным содержанием активной части в расчёте на добавочную воду определится следующим образом

$$D_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{80\%} (C_{\text{шпод}} -) = (2,28 - \frac{1,67}{5} = 119 \text{ мг/л.}$$

Произведение активных концентраций ионов кальция и сульфатов в оборотной воде при этой дозе кислоты составит $0,5 \cdot 10^{-5}$ (г-ион)²/л² т.е. опасности выпадения сульфатных отложений нет (см. СНиП 2.04.02-85*). Сульфат кальция не выпадает в виде отложений в системе, если произведение активных концентраций ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} в оборотной воде меньше произведения растворимости сульфата кальция:

$$\gamma^2 * C_{\text{Ca}^{2+}_{\text{под}}} * C_{\text{SO}_4^{2-}} * K_y^2 < PP_{\text{CaSO}_4} = 2,4 \cdot 10^{-5} (\text{г-ион})^2/\text{л}^2 \quad (3.15)$$

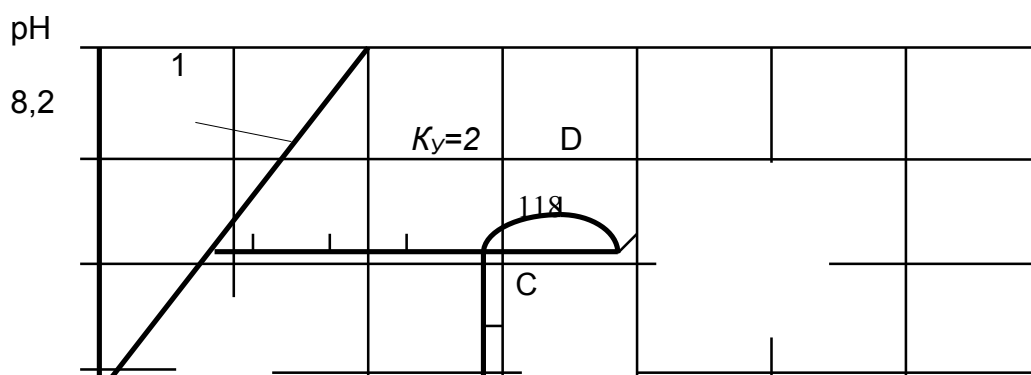
где γ - коэффициент активности двухвалентных ионов в подпиточной воде; $C_{\text{Ca}^{2+}_{\text{под}}}$ и $C_{\text{SO}_4^{2-}}$ - в г-ион/л.

Изменение в оборотной воде pH и pH_s на различных этапах её подкисления показано на графике рис.3.3.

Этот рисунок составлен для оборотной системы с вентиляторными градирнями для условий примера 3.1. Температура оборотной воды в резервуаре градирни 35°C. Расчётная доза серной кислоты - 119 мг/л в пересчёте на подпиточную воду.

Точка А характеризует момент заполнения системы подпиточной водой без дозирования серной кислоты и продувки. При работе теплообменного аппарата оборотная вода нагревается до температуры 35°C, что обуславливает почти горизонтальный сдвиг зависимости pH - pH_s влево к точке В. По мере нагрева воды в теплообменном аппарате и отдува диоксида углерода на градирне pH растёт при $\text{pH}_s = \text{const}$.

Если бы из воды был удалён диоксид углерода до концентраций, отвечающих его парциальному содержанию в атмосфере воздуха при начальном значении щёлочности воды, вертикальная линия на рис. 3.3 поднялась бы до значений $\text{pH} > 9$, т.е. в область карбонатной щёлочности. Поэтому как только она приближается к $\text{pH} = 8$ (точка С), начинают осуществлять подкисление максимальной, технически возможной дозой кислоты.



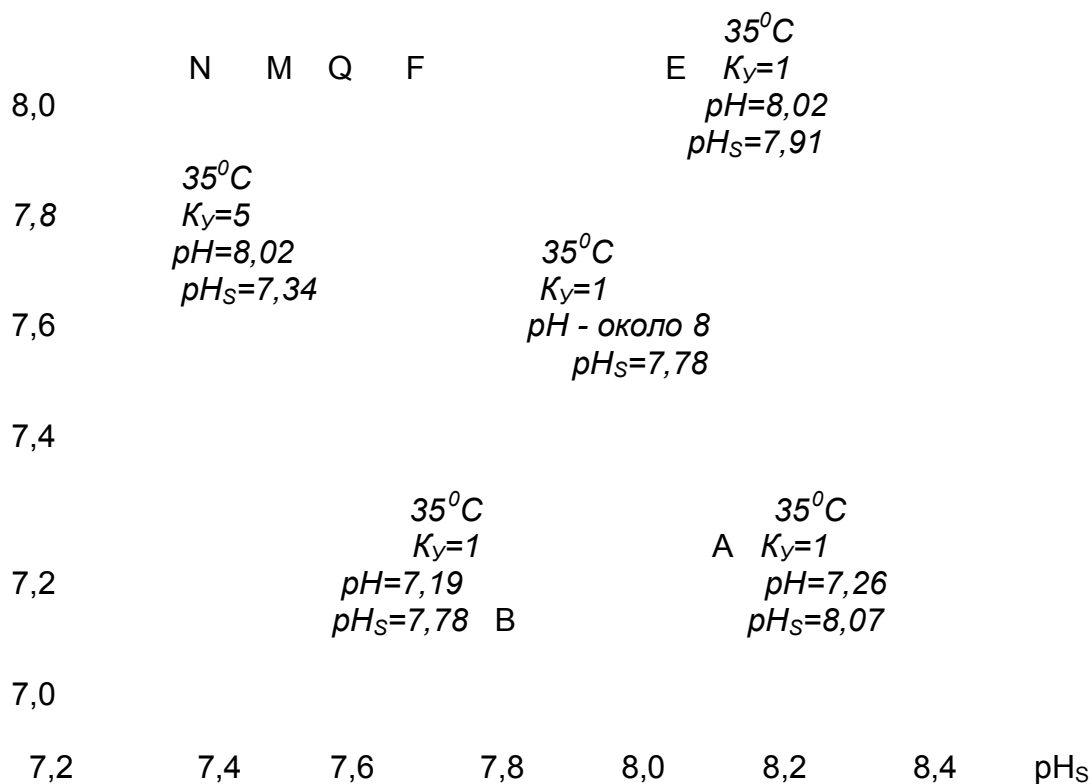


Рис.3.3. Зависимость pH от pH_s на различных этапах кислотной обработки воды в системе оборотного водоснабжения

А - после заполнения системы подпиточной водой; В - после включения конденсаторов; С - начало дозирования кислоты; D - точка перегиба кривой; Е - начало концентрирования оборотной воды и переход на автоматическое дозирование кислоты; F,Q и М - II, III и IV-ый циклы концентрирования воды; N - переход на работу с продувкой; 1 – прямая, отвечающая зависимости (3.6)

Увеличивать производительность дозаторов кислоты можно в ограниченных пределах, и кривая на рис. 3.3 имеет точку перегиба Д, расположенную выше точки Е, соответствующей расчётному уровню поддержания pH в оборотной воде 8,02. При достижении оборотной водой этого значения pH осуществляется переход на автоматический ввод серной кислоты расчётной дозой 119 мг/л, что обеспечивает неизменность концентраций бикарбонатов и pH в оборотной воде при концентрировании в ней консервативных примесей. Из-за повышения в воде содержания кальция её pH_s снижается. Точки F,Q,M и N определяют состояние воды при K_y , равном соответственно 2,3,4 и 5. Замедление темпов снижения pH_s от Е до N отражает возрастающее влияние солесодержания воды на величину pH_s . В точке N, одновременно расположенной на прямой, описываемой формулой (3.6), pH_s оборотной воды достигает расчётного значения 7,34, после чего начинает производиться продувка системы оборотного водоснабжения, величина которой при неизменном K_y будет определяться размерами капельного уноса воды из градирен и потерями её на испарение.

3.2.1.2. Ингибиторная обработка воды

В табл. 3.1 содержится информация об эффективности действия двух допущенных для применения в хозяйственно-питьевом водопроводе РФ ингибиторов, не содержащих в своём составе атом углерода, но механизм действия которых схож с воздействием стабилизационной обработкой воды. Это полифосфаты и силикаты.

Полифосфаты включают различные компоненты, такие как кристаллические формы пиррофосфата ($P_2O_7^{4-}$), метафосфат (HPO_3) и триполифосфат ($P_3O_{10}^{5-}$), солевые и стекловидные формы полифосфатных смесей. Молекулярная структура этих компонентов неустойчива из-за возможности превращения одной формы в другую. Наиболее употребительным среди безводных соединений фосфата натрия является так называемый гексаметафосфат натрия ($NaPO_3$)₆. Полифосфаты стали применять для предотвращения образования отложений карбоната кальция путём формирования стекловидных покрытий на существующих кальцитных поверхностях, тем самым изолируя ядра кристаллов карбоната кальция. Затем было замечено, что полифосфаты могут действовать как ингибиторы коррозии.

Определённые дискуссии возникают вокруг использования полифосфатов в качестве коррозионных ингибиторов. Ранее было установлено, что полифосфаты могут быть, эффективны в комбинации и изолированно от ионов железа (II) в виде стабильных растворенных комплексов; это предохраняет ионы железа от дальнейшего окисления до железа (III) и образования нерастворимых комплексов ржавчины. Поэтому полифосфаты могут быть с успехом использованы для предотвращения появления "красной воды" в водопроводах и уменьшения жалоб потребителей на коррозионные повреждения. Полифосфаты дозой 2-4 мг/дм³ P_2O_5 подходят для этой цели.

Полифосфаты, однако, не могут уменьшить продуцирование оксидов железа (III), и поэтому они менее, эффективны, когда ионы железа (II) уже окислены. Условия, при которых полифосфаты действительно ингибируют коррозию металла в питьевых водах, по-видимому, ограничены. Механизм защиты, кажется, заключается в отложении полифосфатных плёнок, состоящих из метафосфата, оксида железа и других компонентов, на катодных участках. Скорость катодных отложений сильно зависит от pH, достигая максимума при pH 5 и заметно снижаясь с повышением pH. Отложения заряженных коллоидных частиц возможно также и на анодных участках; такие частицы могут быть образованы при взаимодействии полифосфатов с ионами железа, цинка и кальция.

Полифосфаты не эффективны для ингибирования коррозии в непроточных водах; их ингибирующий эффект возрастает с увеличением

скорости движения воды. Очевидно, турбулизация требуется, чтобы сохранять полифосфатную плёнку на поверхности труб. В результате роль фосфата как коррозионного ингибитора, вероятно, будет выше при прочих равных условиях, когда вода проточна, низкий рН и выше доза реагента (в случаях, типичных для многих систем оборотного водоснабжения промышленных предприятий). Полифосфаты могут быть не эффективны в застойных участках сети или сервисных линиях водопровода.

Также они эффективны только в определённых типах вод. В ряде природных вод полифосфаты могут ускорять скорость коррозии, когда добавлены в малых дозах. Рекомендуется проводить обстоятельные исследования в практических условиях эксплуатации для определения подходящей дозы полифосфатов, если они выбраны для обработки воды в системе водоснабжения.

В последние годы, в практике антикоррозионной защиты, все шире используются фосфорорганические кислоты. Ингибирующие свойства аминокислот, относящихся к классу комплексонов, в водных средах привлекают внимание многих исследователей. Эти вещества, взаимодействуя с металлами, образуют полиядерные сверхпрочные соединения полициклического типа. Комплексоны относятся к числу пленкообразующих ингибиторов и являются органическими, хелатообразующими, полидентантными реагентами, сочетающимися в своей структуре как кислотные, так и основные группы.

Промышленная доступность таких соединений, относительно малая токсичность и вместе с тем их высокая реакционная способность обусловили повышенный интерес к ним, как к перспективным ингибиторам коррозии металлов. Было установлено, что многие из них могут не только конкурировать с уже известными ингибиторами, но, и превосходят их во многих случаях, например в жестких водах при повышенной температуре или наличии жестких экологических требований.

В США выпускается ингибитор нового поколения полифосфатного типа – Сиквест. В настоящее время ингибитор Сиквест нашел широкое применение на водопроводах в США, Англии и др. странах. В РФ имеется опыт его применения на Ижевском и Череповецком Водоканалах.

В РФ получен сертификат на применение Сиквеста для питьевого водоснабжения. Оптимальный режим ингибирования:

-доза 18-20 мг/л на стадии растворения внутренних коррозионных отложений трубопроводов с периодическими сбросами воды;

-доза 0.15-0.3 мг/л в течение постоянного применения для поддержания защитной пленки.

Эффект защиты поверхности металла до 90%. Стоимость ингибитора на рынке России 8\$ за кг.

Механизм защитного действия комплексонов заключается не только в адсорбции на поверхности металла, но и в образовании прочных комплексных соединений с ионами корродирующего металла и ионами, присутствующими в водной среде.

Силикат натрия был исследован как альтернативный коррозионный ингибитор. Впервые он был применен в 20-х годах прошлого века для уменьшения коррозии свинцовых труб. Как и у полифосфатов, молекулярная структура силикатов неопределённая, ориентировочно она выражается формулой вида $\text{Na}_2\text{O} \cdot n \cdot \text{SiO}_2$, где n - переменное отношение; силикаты с $n = 3,3$ рекомендуются для щелочных вод. В этих водах доза силикатов колеблется с 8 до 12 мг/л в пересчёте на SiO_2 .

Механизм действия силикатов как ингибитора коррозии, по-видимому, заключается в образовании коллоидных частиц, содержащих кремний или полисиликатные ионы. Коллоидные частицы легко образуют плёнку на поверхности металла; отрицательно заряженные мицеллы кремния могут быть притянуты к анодным участкам. Ионы металла могут быть связаны плёнкой; ионы железа реагируют с силикатами с образованием железосиликатных покрытий, в то время как цинк-силикаты могут образовываться на оцинкованных поверхностях труб. Смесь продуктов коррозии металла с кремневым гелем в плёнке, по-видимому, увеличивает защитный эффект, благоприятно воздействуя на природу плёнки. Диффузия кислорода к катодным участкам ингибируется этой плёнкой.

Степень эффективности силикатов как ингибитора коррозии зависит от характеристики воды. Обширные исследования, проведенные водохозяйственной компанией штата Иллинойс, показывают, что при дозировании силикатов необходим контроль pH: более высокие дозы требуются при pH ниже 8,5. Концентрация кальция, магния, хлоридов и других компонентов влияет на оптимальную дозу силикатов. Присутствие кальция может содействовать ингибированию с помощью плёнокообразования, в то время как высокое содержание магния вызывает его отложение и снижение эффективности действия силикатов. В штате Иллинойс пришли к заключению, что силикаты наилучшее средство ингибирования коррозии оцинкованной стали и металлов на основе меди в системах коммунального горячего водоснабжения, особенно в циркуляционных системах, используемых в административных зданиях. Ясно, что для каждой воды требуется проведение детальных исследований для определения эффективности силикатов и их оптимальной дозы. При слишком низкой дозе силикатов, возможна интенсификация коррозионного процесса в некоторых водах, в то время как их передозирование может вызвать появление привкуса в воде и обесцвечивание пищи.

3.2.1.3. Биологическая стабилизация воды

Технология обеззараживания питьевой воды сталкивается с 2 конфликтными проблемами: с одной стороны, необходимостью создания сильного дезинфицирующего эффекта, а с другой – снижением до минимума или исключения побочного действия вторичных продуктов дезинфекции на здоровье человека [16, 17]. Поэтому в отличие от традиционной классической подготовки поверхностных вод, включающей предподготовку – коагуляцию – флокуляцию – отстаивание – фильтрацию, в настоящее время всё шире начинают использовать новые приёмы, более эффективно осуществляющие биологическую стабилизацию воды: сочетание озонирования с АУ; расположение на заключительных стадиях многобарьерной очистки из мембранных установок или медленных фильтров и др.

Рассмотрим сначала возможности биологической стабилизации воды путём её обеззараживания. Прежде всего обеззараживание является конечной ступенью защиты питьевой воды от внешнего загрязнения и вторичного роста микроорганизмов в сети водопровода. Последовательность процессов очистки фактически можно рассматривать как подготовку воды к эффективному и надёжному обеззараживанию. В соответствии с концепцией ВОЗ наблюдающаяся в настоящее время тенденция в технологиях водоподготовки заключается в оптимизации использования при очистке воды химических реагентов и разработке физических или биологических методов очистки с целью снижения доз этих реагентов, а следовательно, уменьшения образования побочных продуктов обеззараживания.

Хлорирование. Опыт обеззараживания воды Москва-реки ClO_2 вместо Cl_2 свидетельствует, что концентрация образующихся тригалометанов значительно ниже ранее наблюдавшихся. Однако при этом образуются в качестве побочных продуктов хлорирования хлорит-ионы в количестве, превышающем ПДК в несколько раз. Для удаления таких продуктов необходимо включение в технологию дополнительной стадии сорбции на АУ. В конечном итоге, себестоимость обработки воды возрастает в 3-4 раза. Однако, относить такое возрастание себестоимости только за счёт замены дезинфектанта неправильно, потому что введение стадии очистки воды на АУ решает более широкий круг проблем, связанных с качеством воды. Естественно, что существенное улучшение качества обходится производителю намного дороже.

Обеззараживание полимерными биоцидными препаратами. Значительный практический интерес представляет возможность применения для обеззараживания полимерных биоцидных препаратов, разработанных Институтом эколого-технологических проблем (ИЭТП). Полимерные биоцидные препараты являются экологически безопасными,

обладают широким спектром действия и длительным периодом последействия. Дезинфектанты рекомендованы для очистки и обеззараживания питьевой воды, обеззараживания воды плавательных бассейнов, дезинфекции белья, предметов ухода за больными и др.

Полимерные биоциды семейства ПГМГ не содержат хлора, не образуют в воде токсичных соединений, не придают воде запаха и привкуса, не вызывают аллергии, не накапливаются в организме, обеспечивают пролонгированное биоцидное последействие. Не вызывая коррозии, предотвращают биообрастание оборудования и трубопроводов систем охлаждения и обратного водоснабжения. Дезинфектант инактивирует как аэробные, так и анаэробные микроорганизмы.

Для приготовления рабочих растворов ПГМГ (0.1-4.0%) и их дозирования в воду может быть использовано стандартное оборудование.

УФ-облучение. Путём оценки с помощью сканирующего электронного микроскопа состояния биоплёнки в трубопроводах при обычных условиях транспортирования питьевой воды установлено отсутствие различий между бактериальной морфологией биоплёнки в системах с УФ-облучением и без него. Хотя было показано, что УФ-облучение увеличивает ассимилирующую способность биоплёнки по отношению к возрастающему количеству биогенных веществ. Однако облучение не оказывает существенного воздействия на состав биоплёнки в отличие от его влияния на микроорганизмы в объёме воды: на специфические штаммы микроорганизмов биоплёнки УФ-облучение не влияет. Данное явление объясняется экранированием биоплёнки осаждающимися частицами или их агрегатами, что вносит существенный вклад в выживание бактерий, подвергающихся УФ-облучению. Это обуславливает возможность выживания патогенных микроорганизмов в водопроводах. Таким образом, УФ-облучение не может быть рекомендовано для дезинфекции распределительных водных систем. Существенно снижает плотность биоплёнки обработка её раствором свободного хлора дозой 1-3 мг/л. Однако наилучший результат достигается при шоковой обработке. При еженедельной дозе свободного хлора 10 мг/л наблюдается наибольшее снижение плотности биоплёнки.

Прежде всего следует отметить практически повсеместное в странах Европы и Америки применение сочетания *озонирования с АУ*. Обращает на себя внимание всё более возрастающее использование биологических методов при подготовке воды, а также первичного озонирования вместо хлорирования, изменение места ввода в технологию реагентов, содержащих хлор, отсутствие в ряде случаев заключительного хлорирования воды. Получили распространение комплексные мембранные технологии подготовки воды с последующим её кондиционированием.

В современных технологических схемах на заключительных стадиях многобарьерной очистки предпочитают располагать *медленные фильтры*.

Это позволяет на порядки снизить нагрузку по органическим загрязняющим веществам на биоплёнку внутри труб и обеспечить его более эффективную работу вследствие сведения до минимума количества промывок фильтра (обычно от двух промывок в год). При правильной загрузке медленное фильтрование через песок обеспечивает наибольшее улучшение качества воды по сравнению с любым отдельно взятым способе очистки воды. Безусловно, использование медленных фильтров возможно только тогда, когда это позволяют производственные площади. Так, в г. Цюрих (Швейцария) в хвосте схемы осветления озёрной воды после обработки озоном и активированным углем установлены 14 медленных песчаных фильтров площадью 1,12 м² каждый. Производительность станции 250 м³/сут. Каждый фильтр содержит 4 слоя с увеличивающейся крупностью зёрен по направлению фильтрования: слой тонкодисперсного песка (50-85 см), слой крупнозернистого песка (5 см), слой тонкого гравия (5 см) слой гравия (5 см). Режим работы фильтровального зала предусматривается при температуре воды 4-8⁰С. Основной проблемой при эксплуатации медленных фильтров является их заиливание. В рассматриваемой технологии были апробированы в течение нескольких лет 2 режима регенерации: при средней скорости фильтрования 0,5 и 4-7 м/ч. В первом случае все фильтры работали более 9 лет с периодической быстрой очисткой раз в 2-3 года. Во втором случае период работы немного меньше – 8 лет; однако, фильтр ни разу не чистили. Этот фильтр был лишь незначительно больше заилён, чем в первом случае. В течение эксплуатации гидравлическая проницаемость загрузки уменьшалась постепенно на 0,5 м/ч, указывая на увеличение заиливания системы. Поэтому фильтры промывали и очищали путём замены первых 5 см слоя песка. Очистка увеличивала гидравлическую проницаемость на 1-2 м/ч в течение 3 лет. Однако, данный метод не восстанавливал полностью первоначальную инфильтрационную способность. Заиливание медленных фильтров обусловлено, главным образом, микробиологической активностью загрузки: по меньшей мере 10% порового пространства верхнего слоя загрузки занято биомассой. Различные режимы эксплуатации фильтров, описанные выше, обуславливают изменения и в количестве биомассы, особенно внеклеточных полисахаридов и протеинов. Более того, различие наблюдалось и в разнообразии микробиологических популяций. Несмотря на продолжающийся интерес к использованию медленных фильтров, проблема их заиливания требует дальнейшего исследования. В связи с этим представляет интерес успешный опыта их использования на водопроводе г. Лондона.

Мембранные технологии конкурируют [13] по эффективности и экономичности с другими методами подготовки воды благодаря их способности удалять широкий спектр органических и неорганических

загрязняющих веществ и патогенные микроорганизмы. Однако широкое применение мембран и экономические показатели процесса существенно зависят от возможности предотвращения осадкообразования на мембранах. При подготовке воды из природных поверхностных источников мембраны загрязняются главным образом природными органическими соединениями, полисахаридами, протеинами, которые вызывают существенное снижение объёмного потока. В связи с этим использованию мембран в технологии водоподготовки предшествуют коагуляция/флокуляция, озонирование, адсорбция на АУ и другие методы предподготовки воды. Прежде всего, следует отметить, что методы предподготовки воды зависят от типа используемых мембранных процессов. Рассмотрим сначала специфику использования микрофильтрации и ультрафильтрации, применение которых быстро растёт. Последнее обусловлено в основном способностью микро- и ультрафильтрационных систем эффективно удалять мутность и большую часть патогенных микроорганизмов, присутствующих в природной воде. Однако, способность этих мембран удалять растворённые органические соединения и прекурсоры образования галоидорганических веществ ограничена. Молекулярная масса удаляемых загрязняющих веществ для таких мембран ограничена рядом от 10000 до 1000000 Да. С другой стороны, молекулярные массы для многих гумусовых водных веществ обычно < 1000 . Такие фракции не могут быть удалены из воды ультра- и микрофильтрации до такой степени, чтобы предотвратить в дальнейшем образование галоидорганических веществ. При очистке воды нанофильтрацией бактерии и вирусы удаляются практически полностью, концентрация органических загрязнений снижается на 90-95%, а железо и иарганец уменьшаются соответственно на 95 и 30-40%. Такая особо чистая вода требует дальнейшего кондиционирования по минеральным компонентам.

На рис.3.4 представлена схема озонсорбционной очистки с использованием в качестве выносного фильтра ультрафильтрационной мембраны.

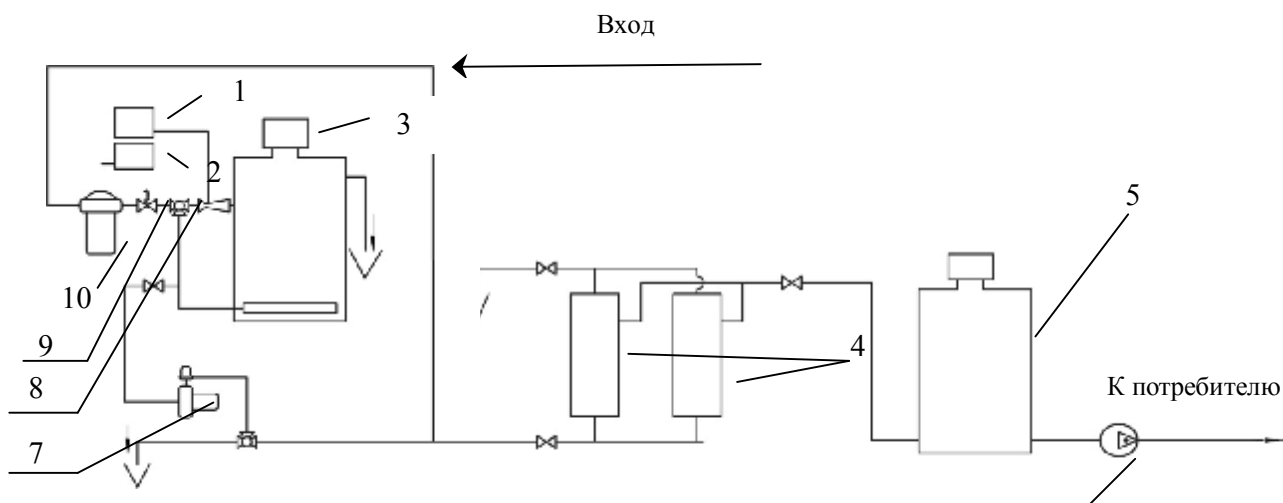


Рис.3.4. Схема озонсорбционной очистки с использованием в качестве выносного фильтра ультрафильтрационной мембраны

1 - генератор озона (озонатор); 2 - блок управления; 3 – деструктор озона; 4 - ультрафильтрационная мембрана; 5 - резервуар чистой воды; 6 и 7 – насосная установка; 8 - эжектор, 9 - клапан с электроприводом, 10 – механический фильтр.

Работа установки производится в автоматическом режиме. Регенерация встроенного фильтра, в зависимости от требований, может быть выполнена как в ручном, так и автоматическом режиме.

Управление работой установки (электромагнитного клапана, озонатора, насосной станции) обеспечивается автоматически по сигналу от блока датчиков уровня.

Продукты окисления задерживаются засыпкой активированного угля, размещенного в контактном резервуаре. Активированный уголь используется для каталитического доокисления растворенных хлорорганических и органических соединений и некоторых продуктов озонлиза на поверхности угля. Как показывает практика, уголь в таком процессе не расходуется и не утрачивает своей каталитической активности, так как при подаче большого количества избыточного озона работает не как адсорбент, а как катализатор. Этот метод подходит для доочистки хлорированной водопроводной воды.

Основным преимуществом такого технического решения является безреагентность (не требуется использование реагентов в процессе работы, т.к. озон является наиболее сильным окислителем и генерируется из воздуха) и универсальность способа очистки.

В г. Москва в дополнение к классической схеме осветления воды начали применять высокоэффективные технологии приготовления воды нового качества. Это, прежде всего, озонсорбция – обработка воды озоном с дополнительным фильтрованием через слой гранулированного активированного угля. Благодаря озонсорбции вода лучше очищается от химических загрязнений, устраняются неприятные запахи и привкусы, происходит частичная дезинфекция воды. В настоящее время подготовка воды с применением озонсорбционной технологии осуществляется на 2-х блоках Рублевской станции водоподготовки суммарной производительностью 640 тыс. куб. м/сут и Юго-Западной водопроводной станции (ЮЗВС) производительностью 250 тыс. куб. м/сут.

Кроме того на ЮЗВС г.Москвы впервые в России внедрена мембранная ультрафильтрация, благодаря которой завершение процесса водоподготовки осуществляется на молекулярном уровне (рис.3.5). Вода под давлением пропускается через микропористые полимерные мембраны с размером пор 0,01 микрон.

Это обеспечивает удаление вирусов, бактерий, крупных молекул органических веществ. К 2015 году планируется ввести новый

озонсорбционный блок на Северной станции водоподготовки производительностью 620 тыс. куб. м/сут.

Выбор технологии подготовки питьевой воды и экономическое обоснование соответствующего проекта зависят от большого числа факторов, включающих оценку соответствующих водных ресурсов источника водоснабжения и др.

Поэтому представляет несомненный интерес предлагаемые в настоящее время компьютерные программы экономической и финансовой оценок проектов питьевого водоснабжения (EVAPRO).

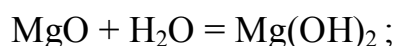
3.2.2.Фильтрационная стабилизация воды

При фильтрационной стабилизации воды условия для формирования кальцитных плёнок на внутренней поверхности трубопроводов надёжнее всего могут быть достигнуты в двух случаях: при использовании в качестве загрузки (1) магномассы, являющейся продуктом полуобжига доломита состава $MgOCaCO_3$, для пресных вод любого физико-химического состава с содержанием сульфатов менее 150 мг/л и (2) дроблёного мрамора при следовых концентрациях щёлочности и диоксида углерода в исходной воде с температурой, значительно отличающейся от 0°.

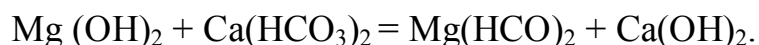
Магномассовые фильтры

Одним из примеров, где магномассовые фильтры эксплуатируются в настоящее время, является водоочистная станция г.Лугано (Швейцария). Там с помощью этих фильтров стабилизируют подземную воду, имеющую $pH = 6,6$ и временную жёсткость 1 мг-экв/л. При этом протекают следующие основные процессы:

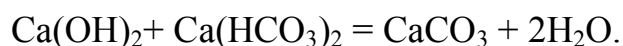
гидролиз MgO-компонента магномассы



образование гидроксида кальция



и, если имеются благоприятные условия, умягчение воды



Таким образом, фильтрат магномассового фильтра пересыщен карбонатом кальция, а воды после промывки и взрыхления фильтров подлежат нейтрализации.

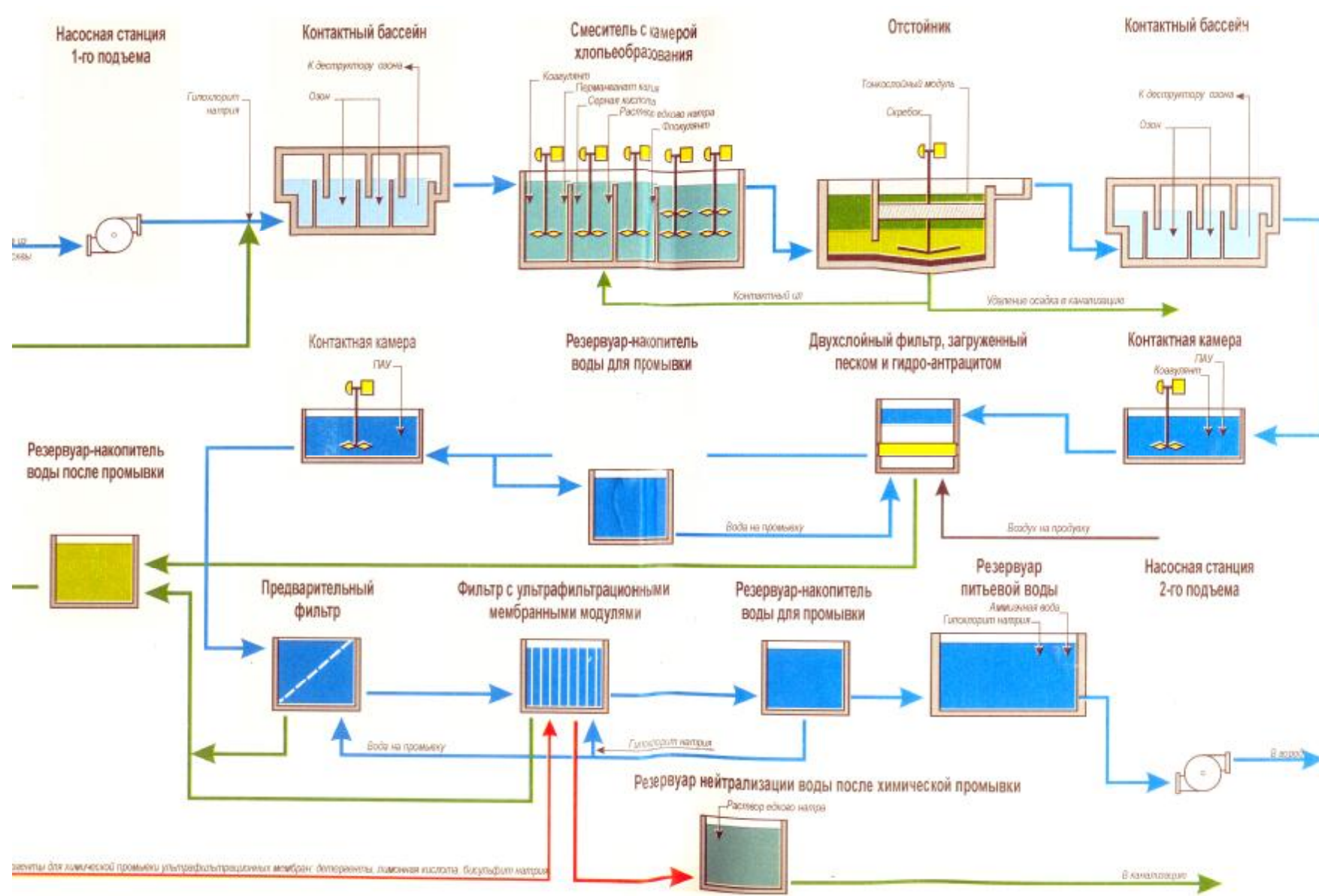
Мраморные фильтры

При растворении мрамора в мягкой низкощелочной воде образуется гидроксильная группа OH^- и рН воды резко возрастает. При наличии CO_2 часть гидроксильных групп нейтрализуется, и концентрация гидрокарбонатов на несколько математических порядков превосходит концентрацию ионов OH^- . Наоборот, в щелочной среде гидрокарбонаты диссоциируют с образованием карбонатов в соответствии с уравнением II-й ступени диссоциации угольной кислоты. Наличие пересыщения термически деаэрированной дистиллированной воды карбонатом кальция установлено экспериментально в ОАО НИИ ВОДГЕО и в случае ее фильтрационной стабилизации на мраморном фильтре.

Наиболее успешно стабилизируются мягкие воды, получаемые при опреснении соленых вод. Эти воды имеют повышенную температуру, что позволяет эффективно использовать для их стабилизации наряду с реагентным и фильтрационные методы. Последние, однако, требуют оснащения очистных станций дробильно-сортировочным отделением и гидроэлеваторным оборудованием для транспорта загрузки.

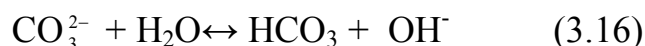
В производственных условиях эффективность фильтрационной стабилизации на мраморной загрузке подтверждена многолетней эксплуатацией фильтровальной установки производительностью 24 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ в системе снабжения опресненной водой г. Актау (РК).

Поступающий на мраморные фильтры дистиллят имеет щёлочность 0,1 мг-экв/ дм^3 , рН около 7, среднюю температуру 25°C , содержание CO_2 в пределах 1 - 3 мг/ дм^3 . Значение рН в фильтрате поднимается до 9,38 за время контакта дистиллята с загрузкой (учетом ее пористости) в течение 2-3 мин. Грязеемкость загрузки (диаметром зёрен 1-3 мм) при скорости фильтрования 35 м/ч составляет 350 г/ м^3 .



результаты для химической промывки ультрафильтрационных мембран: диметиленовый, лимонная кислота, бисульфит натрия

В отсутствии диоксида углерода в мягкой воде или при его следовых концентрациях отрицательное влияние на процесс растворения мрамора оказывает исходная щелочность. При ее повышении равновесие в реакции



сдвигается в левую сторону, а величина рН снижается. Например, при увеличении щелочности с 0,1 до 0,5 мг-экв/дм³ при прочих равных условиях величина рН_s снижается на 0,7 единиц. Следовательно, гидратация СаСО₃ будет осуществляться вблизи углекислотного равновесия, где скорость процесса стабилизации резко замедляется. Замедлению процесса способствует и связанное с возрастанием щелочности увеличение буферной емкости воды. Поэтому на практике в этих условиях даже не удается достигнуть состояния равновесия. Неэффективно также повышение давления в системе СаСО₃ - СО₂ - Н₂О: с увеличением давления на 1 МПа растворимость СаСО₃ повышается всего на 7,5%.

С целью повышения производительности мраморных фильтров предложено подавать на них воду с температурой 50 -70°С. При этом существенно интенсифицируется массоперенос в загрузке, за счет чего создаются условия для увеличения гидравлической нагрузки на фильтр. В то же время в области значений, близких к 0°С, скорость реакции (3.16) резко замедляется и условия для пересыщения воды карбонатом кальция при фильтровании через дробленый мрамор не создаются. В кинетических опытах на мягкой низкощелочной воде Мурманского водопровода и температурах 5 и 20°С выявлено принципиальное различие в характере растворения фильтрующей загрузки из мрамора (1-3 мм). Даже за 10-минутный контакт рН фильтрата мраморного фильтра при температуре 5°С не достигает максимального расчётного значения, а при 20°С за время контакта, близком к 1 мин, рН = 9,22.

3.3. Транспортный контроль загрязнения сточных вод

Повышение долговечности водоотводящих коллекторов, помимо использования коррозионно-стойких конструкционных материалов и вентиляции сети, может быть обеспечено контролированием качества очищенных сточных вод, прежде всего по показателям: окислительная способность их газовой фазы и содержание взвешенных веществ.

3.3.1. Снижение загазованности систем водоотведения

В ходе реализации главной задачи очистных сооружений – очистки сточных вод для защиты водных объектов, образуются жидкие отходы – осадки, а также газовые выбросы, способные негативно влиять на природную среду. На очистных сооружениях дурнопахнущие вещества выделяются от точечных и поверхностных источников, наиболее важными

из которых являются: каналы исходной воды и приемные камеры, решетки механической очистки, системы транспортирования и накопления отходов с решеток, песковые площадки, песколовки и первичные отстойники, неудовлетворительно работающие аэробные стабилизаторы (при недостатке аэрации), сооружения анаэробного сбраживания осадков - дозирующие и выгрузочные камеры метантенков, уплотнители и резервуары осадка первичных отстойников и сброженного осадка, аппаратов механического сгущения и обезвоживания осадков, площадки складирования обезвоженного осадка и компостирования сырых осадков, а также сброс биогаза в атмосферу в результате его неполной утилизации [3, 4].

В соответствии с Генеральной схемой развития канализации на период до 2020 г. одной из главных задач реконструкции московских очистных сооружений является борьба с газовыми выбросами с целью сокращения санитарно-защитных зон сооружений при соблюдении санитарно-гигиенических требований. При разработке проектов реконструкции сооружений механической и биологической очистки воды предусматривается перекрытие всех сооружений, являющихся источником неприятных запахов (исключая вторичные отстойники и фильтры доочистки), с биологической очисткой выбросов [29]. Также подлежат очистке локальные выбросы, содержащие вещества с неприятными запахами.

В настоящее время для очистки газовых выбросов используется широкий спектр химических, физико-механических, физико-химических и биологических методов, частично заменяющих и взаимно дополняющих друг друга.

Имея много общего с мероприятиями по защите коллекторов, технологии борьбы с агрессивными газами - основными источниками разрушения труб в очистных сооружениях водоотведения имеют свою специфику.

Эффективно применение железосодержащих коагулянтов и повышение pH сточной воды, что снижает выделение H_2S и губительным образом действует на микробиальную слизь. Кроме того, полезна обработка вода ароматическими маслами на основе ванилина, цитрусов, сосновой древесины или цветочной массы. Сбор газов для их последующей очистки целесообразно осуществлять путём создание над очистными сооружениями водоотведения кровли.

Опыт применения различных перекрытий очистных сооружений позволяет подразделить их на мягкие (подвесные или надувные) и жесткие (сборно-разборные либо жесткие неразборные).

Подвесные мягкие перекрытия выполняются из гибкого пластика либо пропитанной ткани. Они могут быть закреплены на металлоконструкциях. Натяжные перекрытия из гибкого пластика свариваются на месте тепловой сваркой из отдельных полотнищ.

В последнее десятилетие большое распространение получают жесткие сборно-разборные перекрытия из стеклопластиковых элементов коробчатой формы (см. рис. 3.6). Такие элементы могут иметь как прямоугольную (для аэротенков и фильтров), так и радиально-секторную форму (для радиальных отстойников и уплотнителей). На больших пролетах перекрытия опираются на металлические фермы. Другим вариантом жестких перекрытий являются сотовые конструкции из алюминия.



Рис.3.6. Жёсткие сборно-разборные перекрытия из стеклопластиковых элементов для различных типов сооружений.

Жесткое неразборное перекрытие может быть выполнено из бетона, и на нем можно разместить даже лужайку. Перекрытия типа ангаров применяются только для сооружений небольшой производительности.

Во избежание накопления взрывоопасных газов, а также выделения дурнопахнущих веществ через неплотности, из-под всех перекрытых сооружений организуется отбор воздуха для его очистки. Расход воздуха должен обеспечивать концентрацию загрязнений в выбросах, оптимальную для проведения последующей очистки. При этом необходимо принимать меры по защите поверхностей перекрытых сооружений и размещенного в них оборудования от коррозии.

Централизованно отводимые с крытых очистных сооружений водоотведения дурнопахнущие газы могут очищаться: химической обработкой в скрубберах; абсорбцией на активированном угле; биологическим окислением; термическим воздействием.

В *скрубберах* применяют водные растворы сильных окислителей: гипохлорит натрия, марганцовокислый калий и перекись водорода. Ввиду сильной токсичности газообразный хлор в скрубберах не используется. На рис.3.7 приведена схема поперечно-точного скруббера, могущего использоваться для этих целей.

Ниже приведены химические реакции, упрощённо характеризующие процесс очистки воздуха от сероводорода в скруббере при использовании растворов указанных выше окислителей.

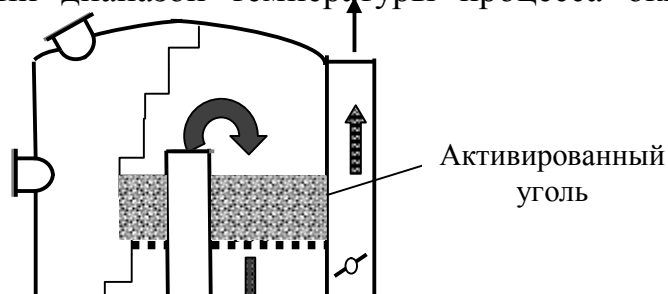
активированный уголь, хотя и обладает более высокой способностью к поглощению сероводорода (с последующей реакцией окисления, в основном до элементарной серы), имеет пониженную способность к поглощению органических загрязнений, а также подвержен экзотермическим реакциям, которые могут привести к возгоранию. После истощения непропитанный активированный уголь идет в отходы, а импрегнированный уголь может быть восстановлен еще на один-два цикла повторной пропиткой.

Другим важным аспектом эффективности адсорбционной очистки является конструкция адсорбера. Традиционно используется фильтрация воздушного потока через неподвижный слой активированного угля. Ранее, как правило, применялись адсорберы насыпного типа, в которых воздушный поток движется через слой активированного угля параллельно центральной оси адсорбера (в большинстве случаев вертикально). Значительно большая производительность обеспечивается адсорберами повышенной проницаемости, в которых воздушный поток движется через слой активированного угля перпендикулярно центральной оси адсорбера (в большинстве случаев горизонтально). При примерно одинаковых габаритах и внутреннем объеме загруженного активированного угля расход газовой смеси, которая может быть подвергнута очистке на адсорбере повышенной проницаемости в результате гораздо меньших потерь давления в нем, до 12 раз выше, чем в насыпном аппарате.

Использование современной эффективной адсорбционной технологии имеет следующие преимущества перед другими методами очистки: обеспечивает возможность устранения из воздушных выбросов практически всех веществ, создающих запахи; не требует больших капитальных затрат; не вызывает образования в очищенном воздухе новых химических веществ; активированный уголь сам по себе является биологически и экологически инертным веществом и не оказывает негативного влияния на персонал предприятия и окружающую среду.

Биологическое окисление дурнопахнущих газов осуществляется на открытых и закрытых биофильтрах, на смоченной поверхности загрузки которых с участием бактерий, актиномицетов и др. грибов одновременно протекают процессы сорбции и биотрансформации газов. На рис. 3.9 показаны схемы применяемых для этих целей биофильтров.

В качестве загрузки биофильтров используют гранулы перлита, куски торфа, а также деревянную, керамическую и пластмассовую крошку с пористостью 40-80 % и высотой слоя 1,8 м. Биогенные вещества в загрузке создают с помощью добавок органического компоста. На рис.3.9 показан фрагмент открытого биофильтра, детализирующий подачу воздуха в слой загрузки. Оптимальный диапазон температуры процесса окисления в биофильтре 25-35°C.



Размеры биофильтров (рис. 3.10) назначают исходя из времени пребывания загрязнённого воздуха в них в пределах от 15 до 60 сек и нагрузке по воздуху $120 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$ при концентрации удаляемого H_2S до 20 мг/дм^3 . Количество подаваемой для смачивания загрузки воды должно быть не меньше половины её массы.

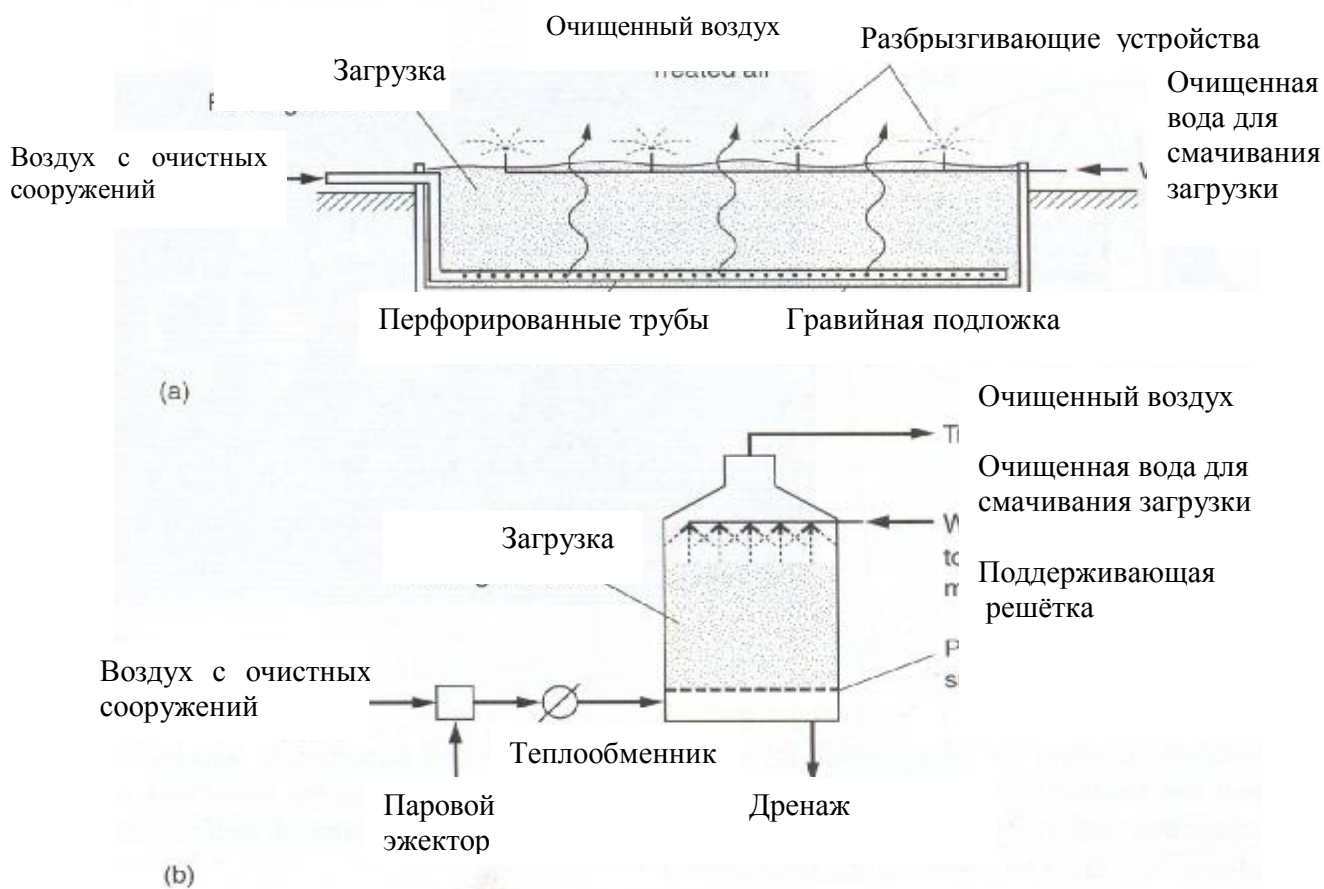
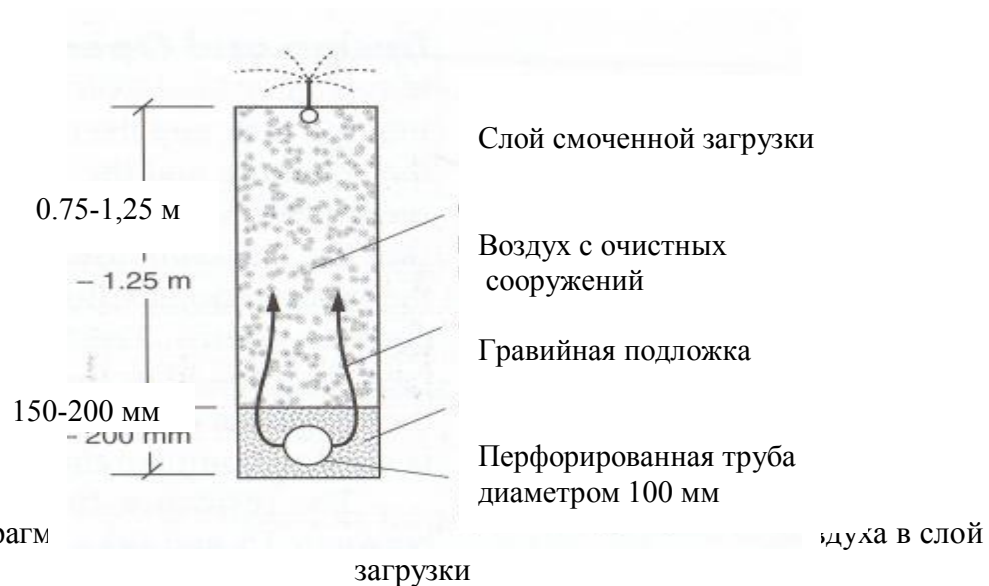
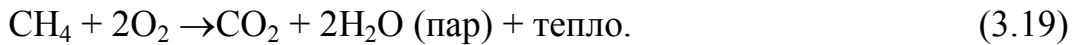


Рис.3.9. Схемы биофильтров для очистки воздуха, содержащего дурнопахнущие газы, с крытых очистных сооружений водоотведения
а) открытые, б) закрытые

В случае сжигания других газов, например H_2S , необходимая температура сжигания создаётся с помощью органического топлива.

Различают три основных способа *термического воздействия* на дурнопахнущие газы с крытых очистных сооружений водоотведения: термическое и каталитическое окисление, а также окисление с регенеративным нагревом.

Реакция окисления метана иллюстрирует основной принцип очистки газов всеми тремя способами:



Для крупных очистных сооружений использование биофильтров требует значительных площадей, так как время пребывания газов составляет 30-40 сек. Их эксплуатация осложняется в условиях сурового климата. Серьезную проблему также представляют грызуны, которые могут размножаться в загрузке. В МГУП «Мосводоканал» для очистки газоздушных выбросов успешно испытан биофильтр с оршаемым слоем.

Установки, созданные на основе этой разработки, эксплуатируются как в нашей стране, так и за рубежом - в Англии, Корее (см. рис. 3.11).



Рис. 3.11. Биофильтр с орошаемым слоем на станции очистки сточных вод «Kayang» (г. Сеул, Южная Корея)

При времени контакта 4-7 сек они обеспечивают высокую эффективность очистки: по сероводороду и меркаптанам - более 99%, по аммиаку - более 95%. В таком биофильтре загрязненный воздух, пропущенный вначале через дисковый увлажнитель, проходит нисходящим потоком через несколько слоев волокнистой полимерной загрузки, на которой иммобилизован микробиологический консорциум, и далее через каплеулавливающее устройство выбрасывается в атмосферу.

Таким образом, в настоящее время для очистки газовых выбросов используется широкий спектр химических, физико-механических, физико-химических и биологических методов, частично заменяющих и взаимно дополняющих друг друга. МГУП «Мосводоканал» с целью выбора оптимального решения осуществляет практическую адаптацию и освоение в пилотных и опытно-промышленных условиях несколько наиболее экономичных и эффективных технологий. В качестве отработанных методов очистки выбросов могут быть рекомендованы: для небольших и средних расходов - адсорбция на активированных углях; для больших расходов, а также концентрированных выбросов – биологическая очистка в орошаемых биофильтрах с синтетической загрузкой.

3.3.2. Финишная сепарация взвешенной иловой фракции микрофльтрацией

Эта технология включает в себя аэробный или анаэробный биореактор со встроенным или отдельно размещённым микрофильтром, номинальный размер пор мембран в котором находится в пределах от 0,1 до 0,4 мкм (см. рис. 3.12).

Использование биохимического окисления и микрофльтрации в едином процессе очистки сточных вод позволяет (1) повысить пропускную способность очистных сооружений; (2) сократить суммарный объём осадков, образующихся в процессе биохимической очистки сточных вод в этих сооружениях, и продлить время контакта активного ила с загрязнениями; (3) снизить потребность в кислороде одновременно для нитрификации и денитрификации при продлённом времени контакта как указано в п.(2); (4) улучшить качество очистки сточных вод по таким показателям как содержание взвешенных веществ, биохимическая потребность кислорода, солесодержание и коли-титр и (5) уменьшить габаритные размеры очистных сооружений. По сути микрофильтр берёт на себя часть функций вторичного отстойника. Причём, в комбинированном биореакторе суммарная концентрация взвешенных

веществ в очищаемых сточных водах и возвратном иле выше: (25 вместо 15 г/л). Наоборот, суммарная концентрация летучих веществ ниже: 8 против 10 г/л.

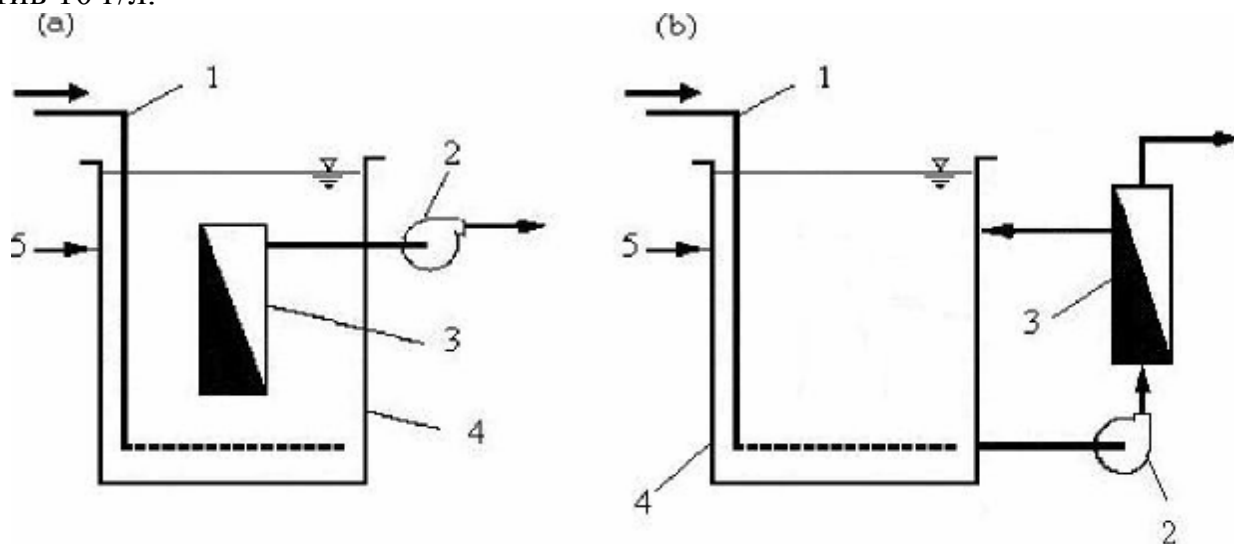


Рис.3.12. Схема мембранного биореактора
(а) интегрированного с погружным мембранным модулем;
(б) с внешним модулем

1-подача воздуха; 2 - насосный агрегат для перекачки пермеата на дезинфекцию; 3 – мембранный модуль; 4 - корпус; 5 – подача сточной воды на биологическую очистку

Схема типового биореактора с погружными, вертикально ориентированными мембранными модулями приведена на рис.3.13.

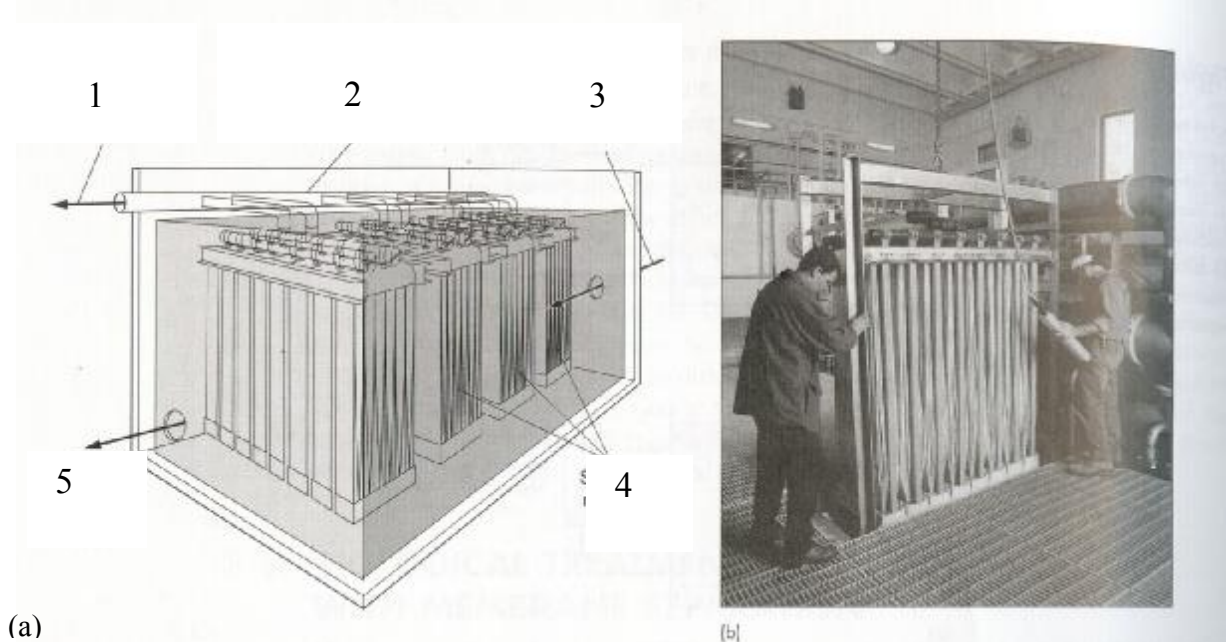


Рис.3.13. Комбинированные биореакторы с погружным мембранным модулем. Схема (а) и монтаж (б) мембранного модуля в аэротенке
1 – пермеат; 2 - разветлённый коллектор; 3 - сточная вода на биологическую очистку; 4 – погружные мембранные модули; 5 - сброс отходов

Мембранный модуль состоит из корпуса, собственно трубчатых мембранных микрофильтров, их дренажей, патрубков подачи исходной

воды и отвода пермеата. Модуль имеют следующие размеры в м: высота 2,44; ширина 0,91 и длина 2,13.

Дополнительно модуль комплектуется пермеатными насосными агрегатами, реагентным хозяйством с резервуарами для хранения химикатов и насосами – дозаторами, а также автоматикой.

Внутри модуля поддерживается вакуум глубиной 50 кПа. В ходе фильтроцикла в модуле из сточной воды сепарируются загрязнения и остаются внутри аэротенка. Как видно из рис.3.11 модули могут свободно удаляться через открытый верх аэрационного бассейна для периодической (1-2 раза в полгода) очистки химическими реагентами.

Механическая очистка рабочей поверхности мембран от остаточных отложений систематически осуществляется пузырьками сжатого воздуха, для чего модуль оборудуется трубчатой системой с диффузорами для распределения воздуха в пульсирующем режиме. Одновременно кислород воздуха обеспечивает аэробный режим работы мембранного модуля.

Однако, застрявшие в порах мембран загрязнения таким образом не удаляются. Поэтому дополнительно предусмотрена периодическая регенерация структуры мембран, которая предусматривает проведение после каждых 15-30 мин непрерывной фильтрации противоточную промывку мембран хлорированным (дозой 5 мг/дм³ Cl₂) пермеатом в течение 30 – 45 сек. При этом суммарно промывочное время не превышает 45 мин в сутки.

Дополнительно обе промывочные операции (слабо и сильно хлорированным пермеатом) осуществляются в пульсирующем режиме.

Кроме того, три раза в неделю проводится противоточная промывка мембран крепким (100 мг/дм³) раствором гипохлорита натрия или лимонной кислотой в течение 45 мин, а затем 15 мин промывается пермеатом. Дополнительно промываются все трубопроводы модуля от соединений хлора; после чего устанавливается вакуумный режим. Общее время простоя модуля составляет 75 мин за 1 промывочную операцию.

Опыт эксплуатации комбинированных биореакторов показывает, что и при механической очистке мембран сжатым воздухом, противоточной промывке их пермеатом и растворами дезинфицирующих реагентов полностью избавиться от остаточных загрязнений в структуре мембран не удаётся. Поэтому приходится повышать глубину вакуума в модуле. Критическим параметром вакуума определена величина, равная 60 кПа. При её достижении модуль извлекается и погружается на сутки в отдельно стоящую ванну, заполненную раствором гипохлорита натрия крепостью 1500-2000 мг/дм³.

В табл. 3.2 приведены показатели, характеризующие технические данные работы комбинированного биореактора.

Таблица 3.2

**Технические данные работы комбинированного биореактора
в производственных условиях**

Показатель	Единица измерения	Интервал изменения
<i>Исходные данные</i>		
Нагрузка по ХПК	кг / (м ³ * сут.)	1,2 – 3,2
Суммарная концентрация взвешенной иловой фракции в очищаемых сточных водах и возвратном иле	мг / л	5000 - 20000
Суммарная концентрация летучих веществ в очищаемых сточных водах и возвратном иле	мг / л	4000-16000
Время пребывания взвешенной иловой фракции в биореакторе	сутки	5-20
Отношение питательных энергетических источников питания к суммарной концентрации летучих веществ в очищаемых сточных вод и возвратном иле	г ХПК / (г*сут.)	0,1-0,4
Время пребывания сточной воды в биореакторе	ч	4-6
Удельный (на м ² площади мембран) расход сточной воды через биореактор	л / (м ² *сут)	600 -1100
Поддерживаемый в реакторе вакуум	кПа	4-35
Содержание кислорода в сточной воде	мг / л	0,5-1
<i>Состав пермеата</i>		
БПК	мг / л	< 5
ХПК	мг О/ л	< 30
Содержание общего азота	мг / л	< 10
Мутность	мг / л	<0,58

Перед сбросом в приёмник сточных вод пермеат подлежит обеззараживанию.

Выводы по главе 3

1. Следует отметить перспективность новой концепции использования медленных фильтров [31] на конечной стадии многоступенчатой технологической схемы подготовки воды, применение в качестве дезинфектанта - полимерного биоцидного препарата ПГМГ, ингибитора коррозии нового поколения полифосфатного типа Сиквест и комплексной электрохимической защиты труб и оборудования. И, наконец, отличительной особенностью современных технологических схем является их многоступенчатость и многостадийность, что обеспечивает получение воды высокого качества.

2. С учетом огромной протяженности уже эксплуатирующихся трубопроводов, а также дефицитности коррозионно-стойких материалов и покрытий одним из наиболее реальных путей уменьшения коррозии в системах водоснабжения является антикоррозионная обработка воды.

3. Наиболее сложным этапом эксплуатации комбинированного биореактора является его техническое обслуживание и, в частности, регенерация мембранного модуля. В ходе её выполнения предусматривается трёхступенчатая обработка микрофльтрационных

мембран. Она включает в себя периодические: (1) механическую очистку мембран восходящим потоком воздуха; (2) противоточное фильтрование через мембраны слабо и крепко хлорированным пермиатом и (3) извлечение модуля и длительную выдержку его в отдельно стоящей ванне с крепким раствором гипохлорита натрия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В водоснабжении и водоотведении населенных пунктов и агропромышленных предприятий предотвращение вторичного загрязнения воды имеет не менее важное значение, чем установление и обеспечение требуемых расходов и давлений в водоразборных сетях и водоотводящих коллекторах. От доброкачественности воды во многом зависит здоровье людей, санитарное благополучие водных объектов и возможность выпуска продукции, отвечающей техническим условиям на ее изготовление.

Коммуникационные сооружения систем водоснабжения и водоотведения представляют собой сложные инженерные объекты, долгосрочная эксплуатация которых сопряжена со значительными материальными затратами на их ремонт и реконструкцию.

Одним из превалирующих факторов негативной работы напорных трубопроводных сетей являются многочисленные дефекты: коррозия, свищи, нарушения в стыках, переломы, а в безнапорных – засоры, как следствие полученных повреждений, старение материала труб, изначальные заводские дефекты труб или их стыков, низкая культура пользования системой водоотведения и другие обстоятельства.

В современных условиях, когда площади для развития внутри границ крупных городов исчерпываются и размещение подземных инженерных коммуникаций часто осуществляется при минимально допустимых расстояниях между ними и жилыми зданиями, проблема запахов от объектов водоотведения, прежде всего очистных сооружений и КНС, приобретает градостроительное значение.

При изучении дисциплины «Инженерные системы водоснабжения и водоотведения» по данному учебнику студент приобретает знания об отечественных и зарубежных методиках оценки эксплуатационной и санитарной надёжности современных систем подачи, распределения и отведения воды.

Он знакомится с техническими мероприятиями по повышению срока службы трубопроводных систем, в частности с опытом санирования и ремонта труб, пригодным для различных условий их эксплуатации.

Полученные знания позволяют студенту по эксплуатационным данным принимать правильные заключения в области защиты водных коммуникаций от деградации и способах реконструкции действующих очистных сооружений с целью углекислотной и биологической

стабилизации воды, а также о необходимости использования дополнительных технологий водообработки.

Использование полученных знаний будущими специалистами позволит им активно способствовать решению одной из сложнейших задач мирового водного хозяйства – от профилактики до полного предотвращения повреждений коммуникаций и вторичного загрязнения воды.

ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Алексеев Л.С. Совершенствование методов стабилизационной водообработки для регламентирования качества и расхода воды в агропромышленном комплексе. Автореф. дис...д - ра техн. наук: 05.23.04. - М. 2006. – 50 с.
2. А.с.№ 1409595 СССР МКИ³ С 02 F 5/02. Способ стабилизации опреснённой дистилляцией солёной воды [Текст] / Алексеев Л.С. (СССР).- №4069621/29-26; заявл. 21.05.86; опубл.15.07.88, Бюл. №26. -2 с.
3. Васильев В.М. Канализационные коллекторы г.Новосибирска / В.М. Васильев, Ю.Н. Пахил, Л.П. Трубникова, О.В. Иванов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. - №3. С.34-36.
4. Гальперин Е.М. О надежности функционирования канализационной сети / Е.М. Гальперин, А.Б. Гостев, А.К. Стрелков, А.Г. Плеханов // Вода и экология. Проблемы и решения. -2007. -№ 2.
5. Гладкова Е.В. Влияние различных факторов на скорость распространения волны гидравлического удара в газожидкостном напорном потоке. Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.23.16/ Е.В.Гладкова. – М.: 1996. - 22 с.
6. Гончарук В.В., Современные проблемы технологии подготовки питьевой воды / В.В.Гончарук, Н.А.Клименко, Л.А.Савчина, Т.Л.Врубель, И.П.Козятник//Химия и технология воды. – 2006. – Т.28. - №1. – С.3-95.
7. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод.-НИИКВОВ. - М., 2005. – 571 с.
8. Емелин В. И. Производительность комплекса оборудования для бестраншейного ремонта трубопроводов способом протягивания комбинированного рукава / В. И. Емелин, А. А. Азеев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010.-№6.
9. Жмаков Г.Н. Эксплуатация оборудования и систем водоснабжения и водоотведения.- М.: ИНФРА-М, 2007. – 237 с.
10. Зуева С.В. Экозащитные технологии систем водоотведения предприятий пищевой промышленности / С.В. Зуева, С.С.Зарцына– Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2011.-332 с.
11. Коган Г.В. Использование георадара при обследовании водопроводных и канализационных систем / Г.В. Коган, Е.В.Степанов, Д.Б.Скачсило // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. - №3. С.34-36.
12. Козлов М. Н. Сравнительные испытания коррозионностойких крепёжных изделий для водопроводной сети / М. Н. Козлов, О.А.Меньщикова, Д.И. Доможаков, В.М.Горицкий, Д.П.Хромов.- МГУП. Сборник статей и публикаций Московского водоканала. - М.: Мосводоканал, 2008. - 464 с.

13. Козлов М. Н. Перспективы внедрения мембранной технологии на московских очистных сооружениях / М. Н. Козлов, Ю. А. Николаев, С. В. Храменков, В. Харькина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. - №10 (Часть I).
14. Косыгин А.Б. Методика оценки технического состояния и остаточного ресурса трубопроводной и канализационной сетей г.Москвы / А.Б. Косыгин, И.В.Фомина, В.М. Горицкий, Д.П.Хромов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. - №3. С.31-36.
15. Орлов В.А. Системный анализ состояния и тактика реновации водопроводных и водоотводящих сетей: дис...докт. техн. наук: 05.23.04/ В.А. Орлов. – М., 2009. - 34 с.
16. Руководство по контролю качества питьевой воды: Рекомендации. – Женева: ВОЗ, 1994. - т.1. – 255 с.
17. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 328 с.
18. Саломеев В.П. Реконструкция инженерных систем и сооружений водоотведения : Монография.-М.: Издательство строительных вузов, 2009.- 192 с.
- 19.Синько В.Ф.Десятилетний опыт комплексной электрохимической защиты от коррозии водовода «Астрахань-Мангышлак» / В.Ф.Синько, Т.Ф.Синько, В.В.Синько//Практика противокоррозионной защиты. -2011. - №1(59). С. 34-43.
20. Сомов М.А., Журба М.Г. Водоснабжение: Учебник для вузов в 2-х томах. - М.: Издательство АСВ, 2008, 557 с.
21. Стегленко А. В. Борьба с дурнопахнущими выбросами от сооружений канализации // А. В. Стегленко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010.-№7.
22. Фонтеней Ф. Выделение металлов в водопроводную воду / Ф. Фонтеней // Вода magazin. – 2010. №6 (34). С.54-59.
23. Хантаев И.С. Интенсификация эксплуатации и восстановления безнапорных водоотводящих сетей в условиях больших городов: дис. . . канд.техн. наук: 05.23.04/И.С.Хантаев.-М., 2009.-17 с.
24. Храменков С.В. Регламент эксплуатации водопроводной сети г.Москвы/ С.В.Храменков, О.Г.Примин. - М.: Миклош, 2007.-224 с.
25. Храменков С.В. Регламент эксплуатации канализационных насосных станций / С.В.Храменков, О.Г.Примин - М.: Миклош, 2007.-216 с.
26. Храменков С.В. Регламент эксплуатации напорных канализационных трубопроводов и сооружений на них / С.В.Храменков, О.Г.Примин - М.: Миклош, 2007.-144 с.
27. Храменков С.В. Реконструкция трубопроводных систем / С.В.Храменков, О.Г.Примин, В.А.Орлов - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008.-216 с.
28. Хренов К. Е. Опыт внедрения инновационной техники для предотвращения гидравлических ударов / К. Е. Хренов, М. В.Богомолов,

М. Н.Козлов, Е. В.Шушкевич, С. В.Храменков, О. А.Меньщикова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010.-№10 (Часть I).

29. Хренов К. Е. Утилизация биогаза и создание автономных источников энергоснабжения на очистных сооружениях / К. Е. Хренов, С. В.Храменков, А. Н.Пахомов, С. А.Стрельцов, М. Г.Хамидов, Н. А.Белов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010.-№10 (Часть I).

30. Шибяев С. Современные технологии защиты бетона в сооружениях питьевого водоснабжения/ С.Шибяев// Водоснабжение и санитарная техника. – 2010.-№5.

31. Graham N.I., Collins R.D. Advances in slow sand alternative biological filtrations – Chichester: John Wiley and sons, 1996. – 190 p.

32. Graun G.F., Hanchman F.S., Robinson D.E. Microbial pathogens and disinfection by products in drinking water: health effects and management of risks. – Washington: Int. life sci. institute, 2001. – p. 205-207.

33. Zohra B., Driss O., Godfrey W//Journal of Hydroinformatics. – 2004. - 6, №2. – P. 109.

Условные обозначения

A	- коэффициент в формуле для интенсивности отказов трубопроводов;
AУ	- активированный уголь;
БООУ	- биологически окисляемый органический углерод;
ВКХ	- водопроводно-канализационное хозяйство;
ВОЗ	- Всемирная организация здравоохранения;
ГВВ	-газо-воздушный выброс;
Д	- время экспозиции, сут;
K_1, K_2	- константы соответственно первой и второй ступеней диссоциации угольной кислоты;
КНС	-канализационная насосная станция;
K_y	-коэффициент упаривания циркуляционной воды;
Н	-начальная толщина купона, мм; потери напора, м водн. ст.;
ПДК	- предельно допустимая концентрация;
ПОС	- природное органическое соединение;
ПР	-произведение растворимости;
Р	- солесодержание воды; скорость коррозии, мм в год;
pH_s	- рН насыщения воды карбонатом кальция;
РОУ	- растворённый органический углерод;
СОКК	- способностью осаждать карбонат кальция;
УФ	- ультрафиолетовое излучение;
Щ	- щёлочность, мг-экв/дм ³ ;
ЦПП	- цементно-песчаное покрытие;
ЦТП	- центральный тепловой пункт;
ЮЗВС	- Юго-Западная водопроводная станция г.Москвы
b	- коэффициент в формуле для интенсивности отказов трубопроводов;
d, D	- плотность металла, кг/м ³ ; внутренний диаметр трубы, мм;
G	- свободная энергия движущей силы реакции осаждения;
I	- индекс Ланжелье;
J	- вспомогательный коэффициент в формуле (3.14)
L	- протяжённость трубопровода, м;
N (t) _i	- количество аварий труб с раскопкой;
R	- универсальная газовая постоянная; индекс Ризнера;
T, t	- температура; период эксплуатации труб, годы;
v	- скорость движения воды, м/с;
W	- масса купона, мг; интенсивность отказов трубопроводов, ед./((год*км);
α_i	- коэффициент интенсивности аварийных отказов труб в группе i, ед./год;

- β - буферная интенсивность;
- λ - коэффициент гидравлического трения в трубопроводе;
- γ - активность.