

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр инженерного оборудования

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Водоснабжение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему «Повышение эффективности гидравлического режима системы
водоснабжения жилого дома»

Студент

М.В. Трибой

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный руководитель

док.техн.наук, профессор, В.А. Селезнев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти, 2021

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Анализ видов коррозии и методов защиты от нее	9
1.1 Электрохимическая коррозия	13
1.2 Анализ повреждаемости инженерных сетей.....	16
1.3 Внутренняя коррозия.....	17
1.4 Биологическая коррозия.....	25
1.5 Защита металла от внутренней коррозии	29
Глава 2 Экспериментальные исследования.....	31
2.1 Объект исследования и порядок проведения экспериментов	31
2.2 Обработка результатов измерений.....	38
2.2.1 Исключение грубых погрешностей	39
2.2.2 Проверка гипотезы о нормальности распределения результатов.....	41
2.2.3 Нахождение параметров линии регрессии.....	45
2.2.4 Оценка погрешностей коэффициентов линии регрессии	47
2.3 Графические представления результатов экспериментов	49
Глава 3 Разработка методики проведения обследования	62
3.1 Анализ, действующей нормативно-технической документации.....	62
3.2 Методы обследования	64
3.3 Область применения	64
3.4 Метрологические требования к приборам и средствам измерения.....	65
3.5 Натурное обследование	67
3.6 Порядок проведения обследования.....	68
3.7 Оформление результатов обследования	72
3.8 Требования безопасности.....	73
3.9 Верификация результатов исследования.....	74
Рекомендации	76
Общие выводы.....	77
Заключение	79
Список используемых источников.....	80

Введение

Для нормального обеспечения водой жителей города на сегодняшний день необходимо заменить более 40% водопроводных сетей [1]. По данным [23] за последние 7 лет в России произошло около 4 тысяч крупных аварий в системах водоснабжения. Система водоснабжения, в большинстве эксплуатируемых жилых зданий начала формироваться еще в 1960-е годы в период активного развития крупнопанельного домостроения. Она обладает целым рядом достоинств, прогрессивных на тот момент решений. «Срок службы стальных труб - 25 лет, а полимерные тогда почти не применялись. Стальные трубы страдают от химической коррозии в почвах, их пробивают блуждающие токи от электротранспорта, высоковольтных кабелей. Но в последние годы, в связи с экономическими проблемами, темпы замены сетей стремительно снижаются. В холодном водоснабжении в последние годы заменены 1,1 – 1,5% труб; в горячем - около 2%, в канализации - 0,4% каждый год, это в 10 раз меньше, чем необходимо» [1].

«Чтобы уровень износа хотя бы не увеличивался, нужно менять по 4% труб ежегодно. Около 25 % очищенной питьевой воды, по причине высокого износа труб, теряется по пути от станций водоподготовки до конечного потребителя. По данным Росстата, в среднем в регионах подлежит замене более 44% водопроводных сетей, 30% сетей в сфере горячего водоснабжения, 45% - в водоотведении. Специалисты энергоснабжающих и эксплуатирующих организаций считают, что процент изношенных коммунальных сетей, приведенный Росстатом, значительно, по некоторым оценкам, в два раза выше» [22]. «Такой разброс показателей износа разных организаций связан с тем, что нормативно не установлено, как оценивать износ. На текущий момент это, как правило, субъективная оценка состояния сетей инженерам водоканала. И если предприятие-поставщик резко увеличит цифру износа, сразу же возникнут вопросы и к организации, и к администрации города,

района, области: что сделали, почему не предотвратили? Отчасти по этой причине показатель износа трубопроводов и не растет.

Поправки в госпрограмму «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан РФ» предполагают выделение субсидий из региональных бюджетов и на компенсацию процентов по кредитам, полученным для замены труб. Тарифы ЖКХ из-за увеличения затрат инвестора для населения не вырастут. По официальному сообщению Минстроя до 1 июня 2020 года проект программы должен быть вынесен на рассмотрение правительства» [4].

Недофинансирование приводит не только авариям, недопоставкам воды потребителю, но и к трагедиям. По данным СМИ, на просторах России, аварии различной степени тяжести на инженерных сетях происходят каждую неделю.

Достаточно часто конечные потребители жалуются на качество воды, однако пробы, отобранные на водозаборах или очистных сооружениях, в результате анализов подтверждают удовлетворительное качество воды. Возникает вопрос, не подтасовывают ли результаты анализов поставщики. В ряде городов представители муниципалитетов и общественности в сотрудничестве с независимыми лабораториями, проводили собственные исследования качества воды. Результаты оказывались идентичные приведённым выше. «Причина ухудшения качества воды при транспортировке оказалась в том, что бывают случаи, когда ремонтники, выкапывают трубу, а там её в принципе нет. Она уже вся рассыпалась, и продукты коррозии вымыло. А жидкость транспортируется по оставшемуся в земле каналу, уплотнившись вокруг когда-то существовавшей трубы. В канализационные сети через дыры в трубах проникают грунтовые воды, так что системы очистки вынуждены перерабатывать до 30% "лишних" стоков. По оценке водоканала, если отремонтировать все сети, каждый год высвобождалось бы по 100 млрд рублей - это сумма, которая бы не терялась на утечках и авариях. По оценкам ассоциации АВОК, всего на замену труб в

российском жилищно-коммунальном хозяйстве на 2020 год необходимо не менее 30 трлн рублей» [10].

«Другая проблема – замена изношенных труб на некачественные. Это могут быть полимерные трубы, куда добавлен непроверенный пластик из вторсырья. Или трубы, уже бывшие в употреблении. На экономически успешных предприятиях сети стараются менять в нормативный срок, не доводя до аварийной ситуации. А демонтированные трубы после чистки и реставрации зачастую попадают на рынок под видом новых или уценённых. Такие трубы довольно часто покупают подрядные организации, ведущие работы, выигранные по конкурсу. Однако срок их годности при этом не увеличивается – прорвать казалось бы новую трубу может уже через несколько лет» [12].

«По оценкам Роскомнадзора, до 20% труб на рынке сейчас - фальсифицированные. Поэтому на уровне госкомиссии, которую курирует Минпромторг, еще в апреле 2019-го года приняты решения: об обязательной сертификации труб, обязательном входном контроле на объекте (сейчас он рекомендателен), о введении понятия «фальсифицированная промышленная продукция» позволит корректно работать надзорным и правоохранительным органам по статьям КоАП и УК, о введении маркировки труб, наподобие той, которая уже действует в отношении других промышленных изделий» [6].

«Еще одна методика, которая точно необходима, - оценка стоимости затрат жизненного цикла. При проведении закупок нужно оценивать не только первоначальную стоимость материала, как сейчас, но и срок его службы и стоимость эксплуатации. Качественные трубы из современных материалов могут прослужить и 100, и 150 лет, но цена их выше, поэтому при закупках они не могут конкурировать с дешевыми аналогами, которые, возможно, потекут уже через несколько лет» [8].

«Исполнительный директор Ассоциации региональных операторов капремонта многоквартирных домов (АРОКР) Анна Мамонова считает, что необходимо синхронизировать замену труб внутри домов с заменой

внутриквартирных сетей. Если мы заменяем трубы в домах, но не меняем их в районе, на подводке к дому, то качество воды, тепла не может значительно улучшиться» [3].

Основная причина недовольства потребителей скрыта не столько в самом качестве исходной воды, сколько в проблеме её транспортировки от водозабора до крана. Именно в процессе транспортировки происходит ухудшение качества и органолептических показателей, потеря напора, уменьшение расхода и в конечном счёте ухудшение качества жизни.

Исходя из проделанного анализа нормативно-технической документации и описания опыта эксплуатации трубопроводных сетей можно выделить основную проблему: нарушение гидравлического режима работы система холодного водоснабжения по причине коррозионного повреждения и зарастания трубопроводов.

Противоречие: необходимо найти оптимальный, достаточно простой, но эффективный способ нормализовать гидравлический режим системы водоснабжения при ограниченных ресурсах, недостатке финансирования. Для более чёткого понимания пути дальнейшего исследования и конкретизации цели необходимо определить

Объект исследования: система холодного водоснабжения многоквартирного жилого дома.

Предмет исследования: Причины снижения расхода холодной воды у потребителей.

Целью работы является выбор оптимального способа нормализации гидравлического режима системы холодного водоснабжения жилого дома.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Провести сравнительный анализ существующих методов улучшения гидравлического режима систем водоснабжения.
- 2) Провести натурные исследования по определению фактических расходов и давлений по характерным стоякам жилого дома.

3) Провести анализ полученных экспериментальных результатов и определить наиболее эффективный способ нормализовать гидравлический режим.

4) Разработать предложения для нормализации гидравлического режима.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

1) Построена фактическая гидравлическая характеристика по стоякам холодного водоснабжения.

2) Разработана методики обследования водопроводных сетей многоквартирного жилого дома.

3) Обоснованы и разработаны мероприятия, направленные на нормализацию гидравлического режима.

Методы исследований. Для решения поставленных задач проводилось документальное и инструментальное обследование водопроводной сети и насосных установок использовались теоретические и экспериментальные методы расчётов.

Практическая значимость работы состоит в разработке и практическом уточнении методики обследования водопроводных сетей, которую планируется внедрить для дальнейшего использования в управляющих компаниях, ТСЖ и других заинтересованных организациях.

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии в обследовании систем холодного водоснабжения, насосного хозяйства, анализе полученных данных, обосновании темы, цели, задач и методики исследований. Автором предложен ряд организационных, малозатратных и долгосрочных мероприятий применительно к повышению энергоэффективности работы насосов в условиях зарастания труб.

На защиту выносятся: Результаты экспериментов и усовершенствованная методика по определению степени коррозии водопроводной трубы.

Результаты построения экспериментальной гидравлической характеристики стояков эксплуатируемой водопроводной сети. Анализ результатов измерений на соответствие их нормальному закону распределения.

Апробация работы. Диссертация носит методологический характер и проявляет себя в наличии научно обоснованных и апробированных в результате экспериментальной работы методов и средств совершенствования расчёта влияния внутренней коррозии труб на режим водопотребления энергетические характеристики насоса при новых и шероховатых трубах. Автор организовал и принимал участие в проведении экспериментов и разработки технического отчёта.

Основные положения опубликованы в двух работах автора:

1) Оценка работоспособности системы холодного водоснабжения выполненной из металлопластиковых труб. [Электронный ресурс] // Дни науки в ТГУ: материалы студенческой конференции. Тольятти. 2020.

2) Апробация методики поиска участков водопровода с наибольшей степенью зарастания. [Электронный ресурс] // Главный энергетик, №7.2021.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, общих выводов, библиографии из 33 наименования. Общий объем работы 84 стр., включая 29 иллюстраций, 10 таблиц.

Глава 1 Анализ видов коррозии и методов защиты от нее

Главная причина разрушения оболочки трубопровода – это термодинамическая неустойчивость, развивающаяся в процессе эксплуатации, испытывающая влияние внешних условия, особенностей работы, что и, в конечном счёте, влияет на особенности развития коррозионного процесса.

Далее требуется определиться с термином «коррозия», изучить её разновидности и процессы, происходящие в металле.

Коррозия – это физико-химическое явление произвольного разрушения структуры металла при их взаимодействии с внешней средой или жидкостью (газом), находящемся внутри замкнутой ёмкости (трубопровода).

Наиболее часто встречающаяся разновидность трубопроводов – электрохимическая коррозия. Она происходит на контакте металла с раствором электролита. На анодных поверхностных участках металла происходит растворение, на катодных же обратное явление – восстановление. Процесс коррозионных изменений материала стальной трубы в подкисленной деаэрированной воде в анодных точках (кристаллиты Fe) окисляются, в катодных (молекулярный углерод C_2 , карбида железа Fe_3C) – восстанавливаются. Электроны, которые высвобождаются при этом явление перемещаются в слове металла по направлению к катоду и воспринимаются гидроксония при этом выделяется молекулярный водород в газообразной форме, H_2 [32].

Особенности работы стальных трубопроводов, механические напряжения, переменное воздействие жидкость (газа), перемешивание и кавитация, абразивное воздействие и пр сильно влияют на активность развитие коррозии. В действительности наблюдается совместное действие перечисленных и других аспектов при работе трубопровода. Рисунок 1 показывает графическое представление особенности протекания процесса коррозии, а также механизм химической реакции в агрессивных средах [17].



Рисунок 1 – Условия протекания коррозии

Учитывая особенности образования разрушений, коррозионный процесс можно разделить на две основные группы: сплошную и локальную. Сплошная появляется на поверхности металла повсюду, разрушение протекает до какой-либо постоянной глубины в течение некоторого времени. Коррозия отличается весьма разной интенсивностью проникновения на обособленных участках (рис. 2, 3).



Рисунок 2 – Подповерхностная коррозия



Рисунок 3 – Сквозная коррозия трубопровода

Последствия коррозии идут, главным образом, по электрохимическому пути, гораздо реже только химическим путём. Всё зависит от химического состава воды и прочих условий.

Органолептический анализ даёт возможность быстро и надёжно выяснить степень повреждения. Это позволяет сравнить контрольные образцы изделия находящиеся под действием агрессивной среды (таблица 1). Активно применяется метод индикатора который на основании изменения окраски химического индикатора даёт представление об интенсивности коррозии. В последнее время применяется металлографическая микроскопия, что даёт важную информацию по разрушениям и количественным показателям продуктов коррозии. Этот метод основан на фиксации физико-химических, также механических особенностей образцов и протекающих в трубе воды, Другая светоотражательная способность, различное удельное сопротивление, прочность при механических воздействиях. Оценка скорости образования коррозии материала трубопровода в жилищно-коммунальном хозяйстве, как правило применяют глубинн-массовый знаменатель коррозии [33, 34].

Таблица 1 – «Скорость образования коррозии и агрессивность водопроводной воды»

Скорость коррозии, мм/год	Агрессивность сетевой воды
0 – 0,03	Низкая
0,031 – 0,085	Допустимая
0,0851 – 0,2	Высокая
Выше 0,2	Аварийная» [4].

Массовый знаменатель K_m показывает изменение веса фрагмента за некоторое время с определённой поверхности (г/(м²·ч)):

$$K_m = \frac{m - m_1}{St},$$

где m – масса металла в образце до начала испытаний, г;

m_1 – масса металла в образце по окончанию воздействия, г;

S – площадь поверхности, м²;

t – условное время испытания, ч.

Знаменатель глубины (Π) отражает степень разъедания за условное время (мм/год) по десятибалльной шкале показывает на какую глубину произошло разъедание в единицу времени (таблица 2). Массовый же показатель обуславливает 5-балльную шкалу. Чаше, для практических нужд используют 10-балльную шкалу стойкости. Эти показатели необходимо учитывать когда производится оценка скорости равномерной коррозии [2].

Таблица 2 – «Оценка интенсивности внутренней коррозии»

Группа	Скорость коррозии Π , мм/год	Активность процесса коррозии
1	$\Pi \leq 0,04$	Слабая
2	$0,04 \leq \Pi \leq 0,05$	Средняя
3	$0,05 \leq \Pi \leq 0,20$	Сильная
4	$0,2 < \Pi$	Аварийная» [4].

Проявление коррозии принадлежащая к группе 1 – безопасное.

Группа 2 анализируется для разработки мер по их ликвидации причин.

Коррозионная интенсивность третьей и четвёртой групп не допускает использование трубопроводов до кардинального уменьшения источника, и может быть запрещена в соответствии с [6].

Существующий метод чистки [14] индикатор от поверхностных отложений далеко не всегда их полноценно очищает. Эта процедура хорошо показывает себя при наличии рыхлых отложений. Не достаточно полное очищение коррозионных отложений, а ровно и накипи приводит к ошибкам в расчете скорости коррозии [1]. Обеспечение достаточно равной интенсивности процесса может потребоваться не один месяц. При этом стоит заметить, что внутренняя коррозия водопровода всегда имеет именно электрохимическую природу.

1.1 Электрохимическая коррозия

Далее необходимо определиться с понятием электрохимическая коррозия. Это явление физико-химического характера ведущего к нарушению

и последующему разрушению структуры материала. Она основывается на электрохимическом взаимодействии с электролитом, часто разрушения идут сильнее на аноде, которым выступает поверхность трубы, и напротив на катоде идёт восстановление металла. Структура металла является проводником для электрического тока. Выделения в анодной реакции электронов, которые направляются к катоду где и идёт восстановление. При этом упомянутый тип коррозии формирует много гальванических пар. Для того чтобы определить как интенсивно будет протекать коррозия, разработать и применить эффективные способы защиты требуется информация о протекающих процессах на поверхности металлов, погруженных в электролитические растворы [3].

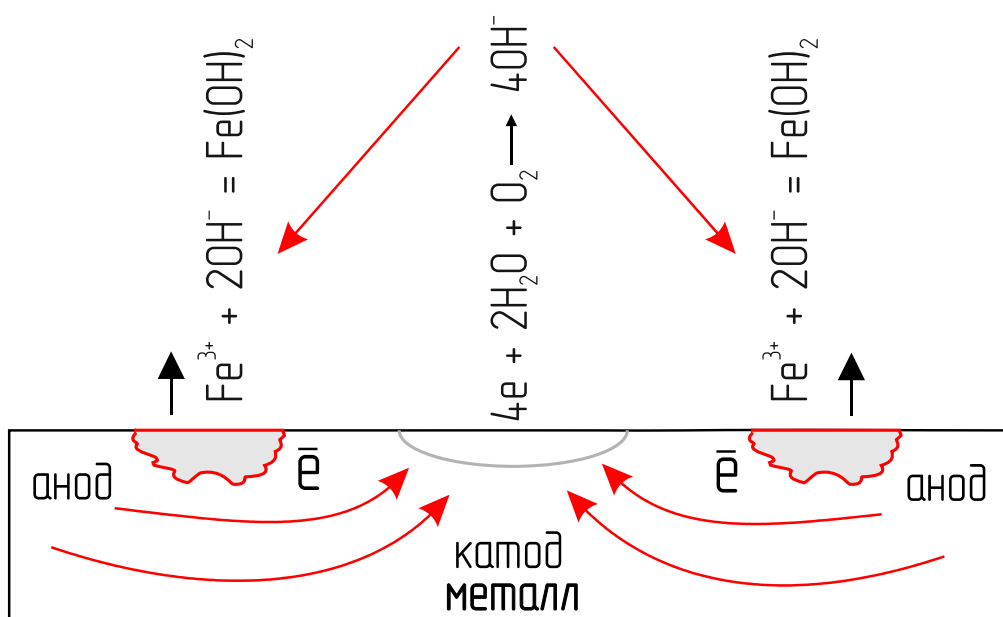


Рисунок 4 – Схема процесса электрохимической коррозии

Погружая фрагмент металла в раствор, состоящий из соли с тем же металлическим компонентом, получается перетекание ионов от фазы металла к раствору (анодный процесс). Возможно и обратное явление (катодный процесс), в этом случае может получиться E_a – анодный потенциал I_a – анодный ток. При протекании в металле катодной реакции восстанавливается из

ионов, и формируется E_k – потенциал и I_k – ток на катоде. Имея в распоряжении лишь один окислительно-восстановительный процесс можно получить обратимый электродный E_o – потенциал и I_o – ток, Степень активности описанной реакции можно представить величиной плотности тока i с индексами "к" / "а". Величину потенциала гальванопары ион-металл, которая образовалась описывает формула Нернста:

$$E = E^o + \frac{RT}{nF} \ln a, \quad (1.2)$$

где E_o – стандартный электродный потенциал;

R – универсальная газовая постоянная;

F – постоянное число Фарадея;

n – количество, участвующих в реакции электронов;

a – активность ионов в электролите.

При протекании электродных реакций некоторые определенное их количество может протекать за промежутки времени которые образуются устойчивые электродные потенциалы которые вычисляются экспериментально.

Разрабатывая мероприятия по защите следует учитывать важность нулевого потенциала, который формируется на поверхности металла $E_{из}$. Описываемое состояние ионной адсорбции характеризует данное явление определением участков с разными зарядами на поверхности трубы. Молекулы, которые участвуют в процессе, в том числе и органические, могут выпадать на металл имея потенциал стремящейся к $E_{из}$. Выделение органических молекул может происходить только при большом значении сдвига электродного потенциала в отрицательном или положительном направлении от определенной величины заряда. Проведенный обзор работ различных исследователей может дать адекватную оценку связи значение потенциал нулевого заряда и произвольной коррозионной активности для электролитов

протекающих трубопровода. «Численное значение потенциала нулевого заряда на поверхности трубопровода в электролитическом растворе приведён в таблице 3.

Таблица 3 – Потенциал нулевого заряда поверхности металлов

Металл	Ag	Zn	Cr	Sn	Fe	Ni	Cu
$-E_{нз}, В$	0,70	0,60	0,45	0,43	0,35	0,25	0,09».

Уменьшение интенсивности коррозионного процесса приводит к увеличению адсорбции на металл, что требуется учитывать, разрабатывая ингибиторную защиту. Оправданное применение этого типа защитных мероприятий позволяет иметь возможность организации замера уровня стационарного потенциала на поверхности трубопровода [22].

1.2 Анализ повреждаемости инженерных сетей

От 43 до 48% случаев происшествий и аварий на сетях городского коммунального хозяйства могут быть обусловлены совокупным действием наружной и внутренней коррозии. При этом наружная коррозия, как показывает практика, более активно на чем внутренняя, что может ссылку для выявления причины дефектов, связанных именно с наружными воздействиями. Что касается дефектов, от внутренней коррозией, то, зачастую он проявляют себя как крохотные сквозные отверстия, и становятся заметными при достижении дна коррозионной каверны внешней поверхности слоя металла трубы или же по сварочному шву. Объём воды, протёкший через подобное отверстие имеет незначительные объёмы по этой причине их не просто заметить и устранить. Находящаяся в трубопроводе под избыточным давлением вода, сочающаяся из отверстия, активно влияет на разрушение гидроизоляции. В таких условиях создаются благодатные предпосылки для развития повреждений уже и на наружной поверхности трубы. Далее процесс разрушения идёт лавинообразно и навстречу друг другу происходит

катастрофическое истончение стенки. Для предотвращения описанной ситуации полезна поправка Данных полученных в результате осмотра. Далее пользуясь этой информацией судят от какой именно тип коррозии мог явиться первой причиной формирования такого количества аварий. «Сортамент электросварных водопроводных труб от 50 до 200 мм имеет разбег в толщине стенки от 3,5 до 4,5 мм. Незначительная разница в толщине стенки труб практически не влияет на скорость развития коррозии, что не позволяет объяснить наблюдаемые зависимости уменьшения количество повреждений на на трубах разного диаметра. Однако же, внутренняя коррозия, помимо перечисленных выше аспектов, сильно зависит от гидродинамических параметров движущегося потока. Активность коррозионных повреждений определённых участков водопроводных сетей достигает величины свыше 1 мм/год и приводит к выходу из строя некоторых, весьма протяжённых участков уже через 5-7 лет использования» [10].

1.3 Внутренняя коррозия

Следующим видом коррозии, которые необходимо рассмотреть это электрохимическая внутренняя коррозия – явление физико-химического плана, которая способствует произвольному разрушению кристаллической структуры материала трубы. Она базируется на воздействие электрохимического плана на металла в растворе электролита.

Вода, которая транспортируется системой водоснабжения имеет определённые химические свойства, они приобретаются в процессе обработки воды на источнике водоснабжение при обработке хлором или другими активными веществами. В дополнение к этому в воде присутствует растворенный кислород, а также различные соли. Все эти вещества придают дополнительную химическую активность транспортируемой по трубам воды. Агрессивность воды может снижаться при увеличении рН и жесткости, и

увеличивается при росте температуры и количестве, растворенного O_2 и CO_2 [17, 19].

Химическая обработка ставит своей главной задачей преобразование потенциально агрессивную водной среды в слабокальцирующую. Жесткость от 1,5 до 5 мг-экв/л, обеспечивает формирование на внутренней поверхности трубы отложений карбонатов кальция, способных образовать защитную плёнку на металле трубы. Если добавлять некоторое количество специальных протекторов, то процесс коррозии можно значительно уменьшить, при этом если коррозия и развивается, то равномерно вместо глубокой локальной. Хозяйственно-питьевые водопроводные сети используют воду с добавкой кальция $[Ca(OH)_2]$, соды (NaOH), карбоната натрия (Na_2CO_3). Весьма полезным методом защиты поверхности металла может являться введение полифосфата [7]. Функция этих соединений – тонкое управление уровнем жесткости воды, дабы избежать осаждения известковых отложений [53]. Применение в качестве ингибитора полифосфатов, внутри стальных оцинкованных труб образуется тонкая защитная пленка, которая содержит соединения цинка, железа. Реагенты, которые были упомянуты выше, на водопроводных сетях хозяйственно-питьевого назначения позволительно применять с учётом требований нормативно документации, которые диктуются санитарно-эпидемиологическими регламентами, ГОСТ [9].

Системы водоснабжения характеризует довольно высокая аварийность, которая сопровождается крупными утечками низкой экономичностью. Перечисленные факторы суть следствие недальновидной экономической и технической политики правительства. Это приводит к систематическому падению надёжности, разгерметизации, весьма увеличивая непроизводительные капиталовложения, ведут к росту затраты финансирования связанных с ремонтом и ликвидацией последствий аварий, катастроф, затопления территорий жилой и промышленной застройки. Стоимость финансовых потерь и убытков в городском хозяйстве на 2018 год составила 350 тыс. руб. на 1 км водопроводных сетей [23].

Ссылаясь на выше перечисленные литературные источники, можно рассмотреть наиболее перспективные способы снизить негативное влияние коррозионных явлений на трубопроводы водоснабжения. Для устранения выделенной проблемы требуется внедрение инновационных гидроизоляционных материалов и технологий, направить передовые силы на максимально возможное уменьшение внутренней коррозии [2].

Внутренняя кислородная коррозия:

Молекулярный кислород, который растворен в питьевой воде суть причина коррозии стали. «Известно, что незащищённая поверхность железа активно реагирует с растворенным кислородом, и интенсивность тем выше, чем больше скорость его доставки к очагу начавшейся реакции. Некоторые другие аспекты опосредуют действие кислорода на изменение свойств слоев, содержащих продукты химической реакции, образующихся на поверхности железа» [2]. Однако, в определённых условиях могут формироваться слои, которые не могут способствовать прониканию кислорода. Данное явление позволяет сохранять длительное время полезные свойства стальных трубопроводов (рис. 5).

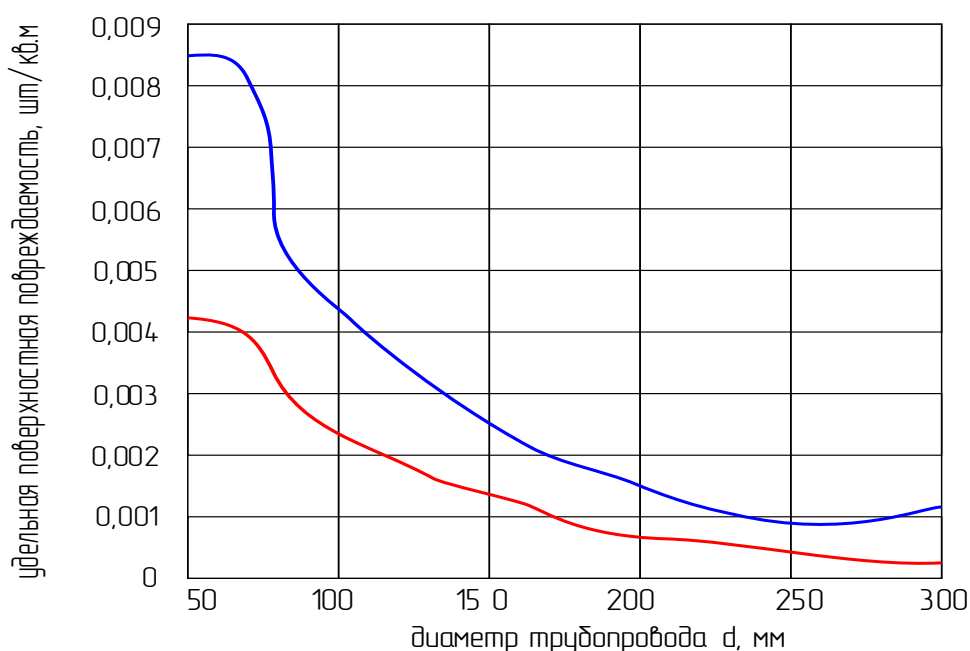


Рисунок 5 – Зависимость удельная поверхностная повреждаемость от диаметра трубопровода

Система водоснабжения есть многокилометровый замкнутый стальной контур с протекающим в нём слабым электролитом (водой), который к тому же содержит растворённый кислород. Двигаясь от водозабора, кислород постоянно тратится на окислительные процессы с железом труб. Следовательно, концентрация постоянно падает при отдалении от водозабора или станции водоподготовки. Наиболее отдаленные фрагменты системы водоснабжения спасает образование поверхностных защитных пленок [11].

«На многих участках водопроводной сети, кроме внутридомовых систем, движение воды турбулентное. Перенос масса воды, наблюдаемый в турбулентном потоке в трубопроводах круглого сечения описывается артериальным уравнением:

$$Nu=0,023 Re^{0,8} Sc^{0,33}$$

где Nu – число Нуссельта,

Re – число Рейнольдса,

Sc – число Шмидта.

Критериальные числа определяются как:

$$Nu = N d / (D (c_b - c_o)); Re = V d / \nu; Sc = \nu / D ,$$

где N – удельный поток массы на поверхность трубы,

d – диаметр трубы, мм

D – кислородный коэффициент диффузии;

c_b, c_o – концентрация O_2 в ядре потока и на поверхности трубы;

ν – кинематический коэффициент вязкости.

Основываясь на формулах имеется возможность расчёта значения массы O_2 на поверхность N для усреднённых условий» [8].

Рисунок 6 даёт представление о влияние удельного потока массы O_2 . График показывает, что при увеличении скорости потока жидкости и уменьшении диаметра трубопровода удельного потока массы O_2 возрастает. Основываясь на вышесказанному можно сделать вывод, что существуют основные предпосылки для образования внутренней коррозии. Этот вывод

изначально делался на основании результатов, которые отражены на рисунке 5. Развивая мысль можно предположить, что имеется возможность удаление количественного расхождения при точном учете скорости движения воды в трубах, а также величины диаметра, заложенные при проектировании сетей, а равно и наличие известковых отложений. В водопроводных сетях вероятный диапазон N находится в пределах от 0,004 до 0,02 см/с. Имея данные лабораторных исследований о концентрации O_2 интенсивность коррозии может меняться в 5 раз по длине (рисунок 7).

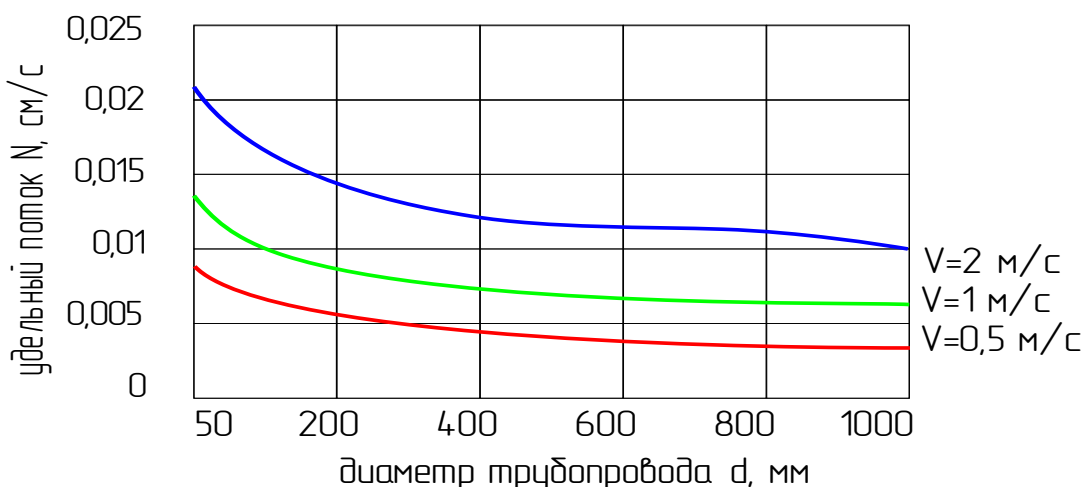


Рисунок 6 – Зависимость удельного потока массы кислорода от диаметра трубопровода

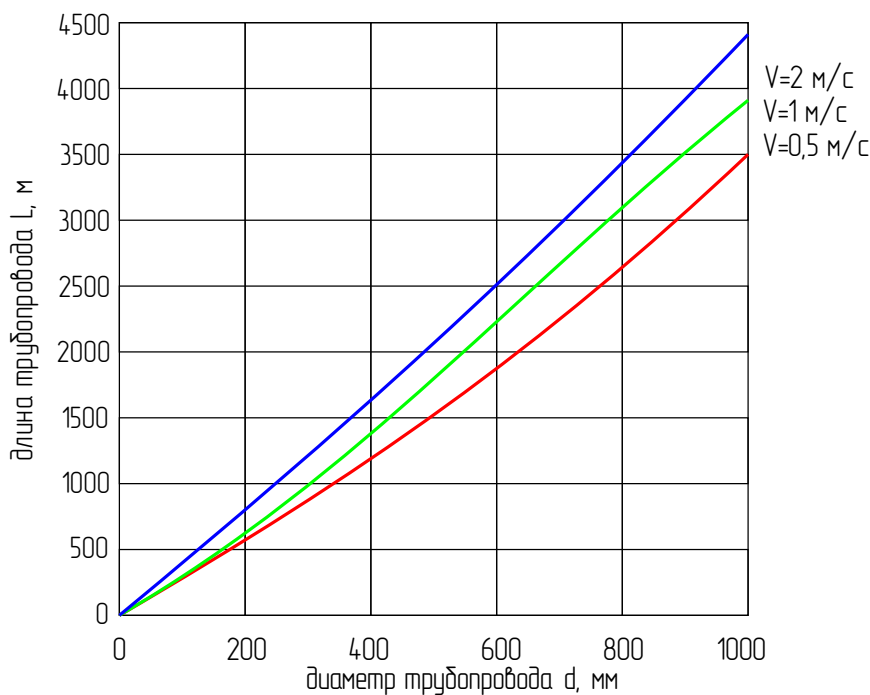


Рисунок 7 – Падение концентрации O_2 в зависимости от диаметра

Факторы, влияющие на развитие внутренней коррозии:

Температура и pH воды.

«На рисунке 8 выделяются 3 зоны:

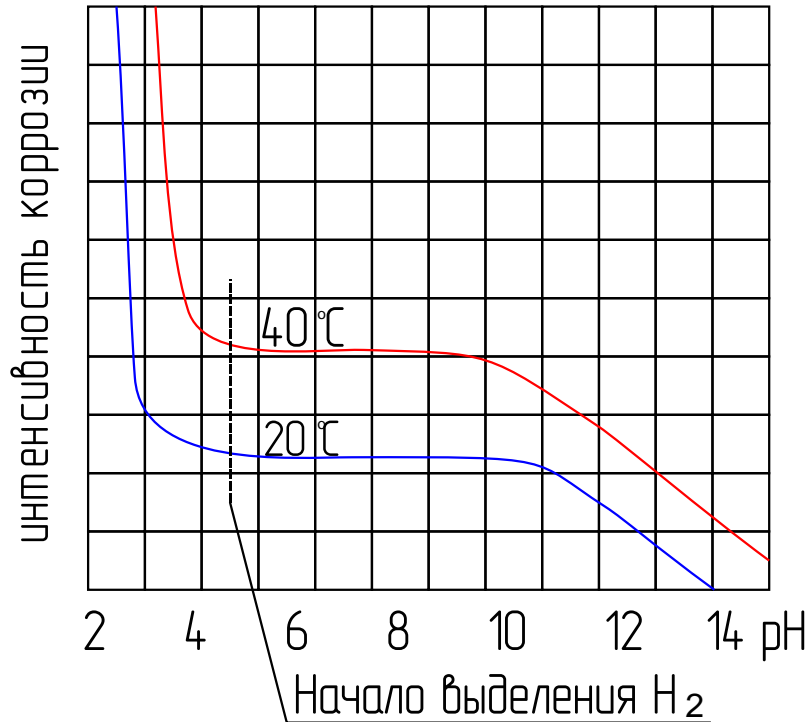


Рисунок 8 – Зависимость интенсивности коррозии от pH и температуры воды

- 1) $\text{pH} < 4,3$ Скорость коррозии очень быстро растет с уменьшением pH. (сильнокислая среда).
- 2) $4,3 < \text{pH} < 9-10$ Скорость коррозии мало зависит от pH.
- 3) $9-10 < \text{pH} < 13$ Скорость коррозии падает с увеличением pH и коррозия почти останавливается при $\text{pH} = 13$. (сильнощелочная среда).

Рисунок отражает следующее, в зоне 1 на катоде – реакция разряда ионов водорода H^+ и экстрагирование H_2 ; в зоне 2 и 3 зоне – реакция выделения ионов гидроксила OH^- .

Последовательный рост температуры стимулирует анодные и катодные реакции, ускоряя поток ионов, а затем скорость коррозии.

На аноде: (окисление) $\text{Fe} - 2\text{e} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ на анодных участках атомы железа переходят в раствор в виде гидратированных катионов Fe^{2+} , протекает анодное

растворение металла коррозия распространяется вглубь, оставшиеся электроны идут к катоду.

На катоде: (восстановление) $2 \text{H}^+ + 2 \text{e} \rightarrow 2 \text{H}_{\text{адс}}$.

При $\text{pH} < 4,3$ происходит разряд всегда присутствующих в воде ионов водорода и образование атомов водорода с последующим образованием молекулярного водорода: $\text{H} + \text{H} \rightarrow \text{H}_2$.

При $\text{pH} > 4,3$ преобладает взаимодействие электронов с растворенным в воде кислородом: $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e} \rightarrow 4 \text{OH}^-$ [25].

Структурная форма потока

Соразмерные скорости изменения агрегатных состояний газа и жидкости в двухфазных смесях, учитывают совокупность некоторых физических свойств, таких как: плотность, вязкость, поверхностное натяжение и т.д. а также геометрические и пространственные показатели, формируют структуру двухфазных потоков. Современная гидравлика имеет в своём распоряжении математические описания 7 основных структур: пузырьковая, пробковая, расслоенная, волновая, снарядная, кольцевая и дисперсная (рисунок 9).

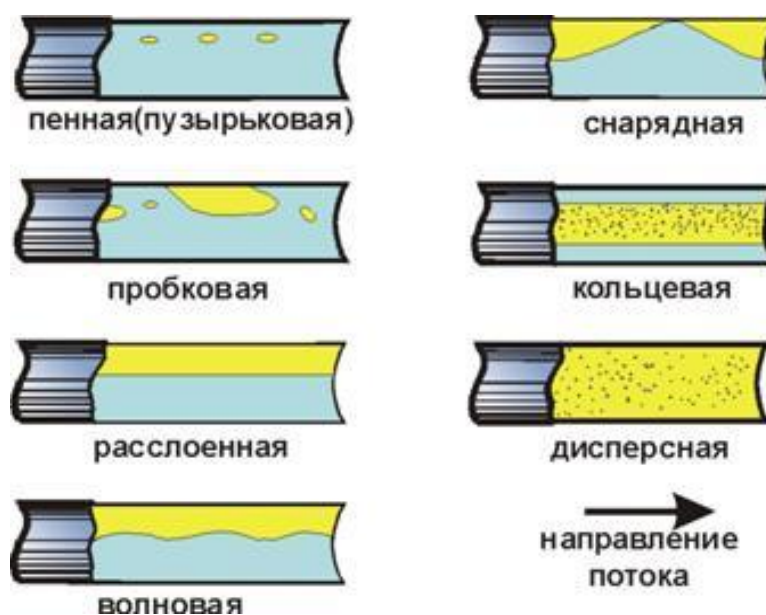
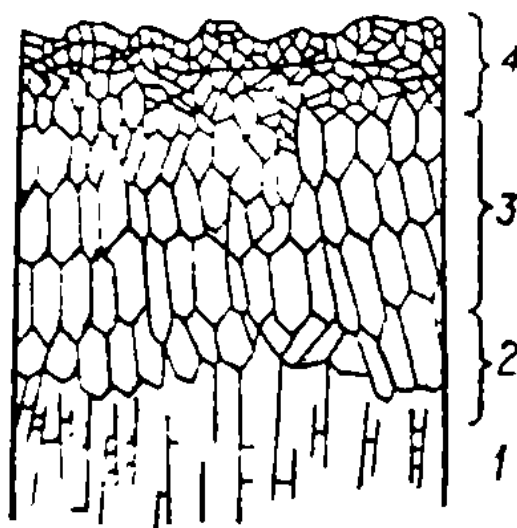


Рисунок 9 – Структуры газожидкостных смесей в горизонтальном трубопроводе

«Каждая, из показанных структур двухфазных смесей своеобразно влияет на характер коррозионного процесса. Кольцевая (дисперсно-кольцевая) структура газожидкостных смесей несколько понижает интенсивность коррозии металла; снарядная (пробково-диспергированная) может формировать область эрозионного повреждения по нижней поверхности образующей трубы на восходящих участках трассы, а расслоенная (плавная расслоенная) - развитию общей и питтинговой коррозии в зоне нижней образующей трубы и в, застойных зонах жидкости (особенно при выделении соленой воды в отдельную фазу)». [3].

Абразивная активность твёрдых частиц

На изначальной стадии коррозии развиваться целостная тонкая поверхностная химически инертная пленка оксида металла. Она неплохо защищает нижележащий слой металл от негативного воздействия коррозии, но, даже на этих плёнках могут возникать точки коррозии. Причина появления – образование плёнки с разной толщины или с разрывами. При движении жидкости по трубе захватываются твёрдые частицы. Это могут быть песок, металлическая стружка, окалина. Активность такого абразива твёрдых достаточно высока. В последнее время стала применяться технология механической прочистки долго эксплуатируемых труб, особенно больших диаметров. Перечисленные факторы приводят к получению довольно тонкого, толщиной в несколько десятков микрон мелкокristаллического или даже аморфного слоя Бейлби. При этом общая толщина слоя, подвергшегося изменениям достигает значительно больших размеров. Зависит от множества факторов: состав сплава, скорость движения жидкости, её химический состав, давление, состав и характер движения абразивных частиц и др. На рисунке 10 представлена организация кристаллической решётки возле поверхности, подвергающейся абразивному давлению.



1 – неизменная зона в глубине металла; 2 – переходная зона; 3 – зона ориентированных кристаллов; 4 – зона беспорядочно ориентированных кристаллитов

Рисунок 10 – Изменения, вызванные абразивами вблизи поверхности металла

По данным коммунальных служб, наиболее часто встречающиеся причины, возникновения и бурного развития коррозии рост гидравлического сопротивления и микротрещины трубопроводов, образование застойных зон (в том числе и двухфазных газожидкостных смесей) в трубах после гидравлических испытаний, низкий малых гидравлический напор сети.

Описанные выше аспекты развивают фактор риска коррозионного разрушения трубопроводов. При ошибках проектирования, а в последнее время более актуально значительное уменьшение водопотребления, особенно промышленными предприятиями возникает проблема завышения диаметры трубопроводов, что ведёт к понижению гидравлического напора и уменьшению скорости движения воды. А это также факторы, способствующие развитию коррозионных разрушений.

1.4 Биологическая коррозия

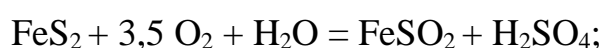
Далее следует рассмотреть ещё один вид негативного воздействия на трубопроводы, а именно на биологическую коррозию.

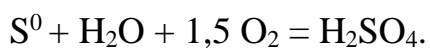
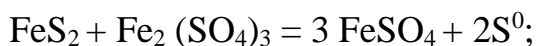
«Активной жизнедеятельностью различных микроорганизмов обусловлено до 75% образования коррозионных повреждений трубопроводов. Микробиологическая коррозия может проявлять себя весьма разнообразно: воздействуя на металл непосредственно продуктами метаболизма микроорганизмов, такими как CO₂, H₂S, NH₃, органические и неорганические кислоты; воздействуя образованием органических веществ, проявляющихся как депполяризаторы, катализаторы коррозионных реакций; в условиях, когда химические реакции являются составной частью метаболического цикла микроорганизма» [17, 21].

«Аэробная коррозия протекает в присутствии большого количества растворенного или свободного в воде кислорода, воздуха. Этот вид коррозии очень опасен для бетонных, стальные водопроводных труб, насосов и прочего оборудование и арматуры систем холодного водоснабжения, каменные, бетонные сооружения и стальные конструкции подземных сооружений, где образуются кислые воды. Инициаторами аэробной коррозии чаще всего бывают тионовые, нитрифицирующие и железобактерии. Результат жизнедеятельности есть, агрессивные кислые среды (серной и азотной кислот), которые выделяются в процессе их метаболизма. Железобактерии участвуют в коррозионном процессе, где происходит связывание с образованием дифференцированно аэрируемых ячеек» [17, 21].

«Тионовые бактерии *Thiobacillus thiooxidans*, *Thiobacillus thioparus* и пр. Представляют из себя типичных хемолитотрофов, развивающихся в простых минеральных средах. Источником азота для них служат соли аммония и нитраты. Растут тионовые бактерии при различных значениях pH. Есть промеж них термофилы (*Thiospirillum pistiense*) с оптимумом роста 50°C и выше» [17, 21].

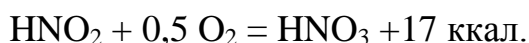
«В процессе бактериального окисления пирита протекают химические реакции, в результате которых происходит активное снижение pH среды за счет образования серной кислоты:





Роль тионовых бактерий, как факторов коррозии металла, сводится не только к образованию серной кислоты. *Thiobacillus ferrooxidans* окисляет сернокислое железо, которое является чрезвычайно агрессивным по отношению к металлу, т.к. выступает как активный окислитель.

Нитрифицирующие бактерии споспешествуют возникновению кислых агрессивных сред. Процесс нитрификации связан с образованием азотной кислоты за счет окисления аммиака. Окисление его происходит в две фазы:



Возбудителями первой фазы нитрификации являются представители *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis* и др., возбудителями второй – *Nitrobacter vinogradskii*.

Железобактерии в процессе аэробной коррозии, в отличие от тионовых и нитрифицирующих бактерий, приводят к образованию дифференцированно аэрируемых ячеек на поверхности корродируемого субстрата» [17, 21].

Противодействие микробиологической коррозии:

Проведённые исследования подтвердили, что микроорганизмы активно участвуют в формировании благоприятных условий для образования и поддержания внутренней коррозии. В трубопроводах, заражённых микроорганизмами коррозия идёт значительно активнее, интенсивность её разрастается в 1,5 – 4 раза. Имеют место быть симбиотические системы. При наличии O_2 , бактерии существуют под внутреннем слоем отложений или под пленками, созданными бактериями другого вида (рисунок 11).

Рассмотрим механизм протекания микробиологической коррозии. При протекании химической реакции образуется гальваническая пара: на аноде окисление Fe, на катоде восстановление водорода. Разница потенциалов в такой гальванопаре достигает 0,4 В, это приводит к резкому ускорению

коррозии. На металлической поверхности образуются и развиваются глубокие каверны. Этот процесс ведёт к преждевременному уменьшению прочности трубы. Очень активно и быстро под воздействием бактерий идёт коррозия чугуна, а островки частиц углерода, которые сохранились могут рассыпаться от незначительного механического воздействия.

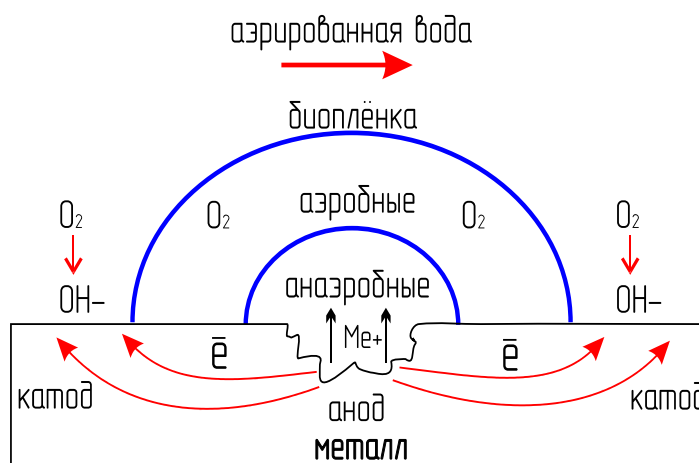


Рисунок 11 – Колонии бактерий, создающие на поверхности металла кислородные ячейки коррозии

«Эффективными способами противодействия микроорганизмам могут служить: обработка O_3 , бактерицидными средствами, ультрафиолетовая обработка и γ -лучи, пассивация металла трубы.

Процесс пассивации базируется на эффекте электронного обеднения внутренней поверхности трубы. Защитное устройство формирует электромагнитное поле, которое притягивает электроны к наружной поверхности трубы, а обедненный электронами металл в химическую реакцию не может вступить» [17, 21].

«Ультрафиолетовое и γ -излучение убивает бактерии и вызывает эффект флокуляции с образованием взвешенных флоков небольшого размера. Развитая поверхность флоков адсорбирует на себя споры бактерий и микроскопических водорослей, затрудняя их размножение, и также адсорбирует на себя и органические вещества – лишая бактерии пищи». [8]

Рассмотрим теперь какие же наиболее эффективны методы можно применить для борьбы с колониями микроорганизмов, разрушающих трубопроводы водоснабжения. Таковыми является: пассивирования металла, механическая очистка стенок трубы от отложений, биологическое уничтожения вредоносных бактерий, блокировка некоторых жизненно важных проявлений микроорганизмов.

1.5 Защита металла от внутренней коррозии

Теперь проведем анализ различных способов защиты металла от внутренней коррозии самым простым и довольно эффективным может оказаться 2 главных способа защиты: это такие способы как как электрохимическая защита. Второй это защитное покрытие. Первый способ, который мы начали рассматривать основан на ликвидации или устранение источника кислорода в воде. Источником кислорода может явиться водозаборные сооружения системы водоочистки. Устранение попадания воздуха и других растворенных газов в воду может потребовать больших денежных вложений, для того чтобы такую систему за проектировать, а существующую переоснастить. Другим путем для уменьшения степени повреждения металла может быть внедрение более жестких требований по количеству растворенных газов, в частности кислорода, а также сильное повышение уровня контроля при проведении различных ремонтных мероприятий и как итог, это внедрение комплексной антикоррозионной защиты [29, 30].

Добавление в воду смеси фосфоновых кислот ($R-PO(OH)_2$) и солей цинка, что может оказать сильное влияние на формирование карбонатных отложений [11], однако применение этих реагентов не устраняет важности введения прочих антикоррозионных мер. «По некоторым данным типовая система водоподготовки производительностью 5000 т будет тратить в год более 7,5 тонн ингибитора стоимостью 3-4 млн. рублей» [11].

«В нынешних условиях необходимо изучить песчаную проблему более подробно в частности для возможностей применения. Эксперименты, которые проводили различные поставщики водных ресурсов смогли доказать, что в концентрации ингибитора в воде 25 – 45 мкг/кг эксплуатационный ресурс увеличивается до 10 раз. При нормируемых и умеренно высоких содержаниях кислорода в сетевой воде (до 100 – 200 мкг/кг)» [11]. Отпадает необходимость проведения дополнительных очистных мероприятий на протяжении определенного периода эксплуатации. Имея какие-то определённые концентрации кислорода, которые могут повлиять на изменение гидравлического сопротивления можно сделать вывод о стабилизации развитие коррозионных разрушений на определённом уровне далее которого эти разрушения останавливаются эксплуатация трубопровода может продолжаться достаточно длительное время без серьёзных повреждений которые впоследствии могут привести к аварии [31].

Одним из экстенсивных решений было применение толстостенной трубы. Однако это не может дать надлежащую защиту от язвенной коррозии. Но при использовании такой трубы на много удлиняется срок службы трубопроводов в случае развития равномерной коррозии.

Выводы по главе 1:

Установлены основные причины и механизмы возникновения коррозии. Определены наиболее значимые виды коррозии, влияющие на увеличение шероховатости и уменьшение внутреннего диаметра стальных труб. Электрокоррозия, кислородная и биокоррозия наиболее вероятные причины возникновения повышенного гидравлического сопротивления. Определены факторы, ухудшающие гидравлическую характеристику водопроводной сети: увеличение шероховатости, скорости движения воды, уменьшение внутреннего диаметра. Исходя из рассмотренных теоретических сведений и приведённого практического опыта определены предпосылки для проведения экспериментальной проверки этого влияния на примере 16-этажного жилого дома.

Глава 2 Экспериментальные исследования

2.1 Объект исследования и порядок проведения экспериментов

Проведя анализ возможных причин уменьшения пропускной способности стальных трубопроводов и теоретически изучив особенности течения жидкости в трубах разной степени повреждения коррозией, необходимо экспериментально проверить выводы, сделанные в 1 главе.

Цель натурных испытаний: определение фактических гидравлических характеристик по стоякам № 1 – 14 жилого дома.

Согласно ГОСТ Р 53778-2010 п.5.1.3 При обследовании технического состояния зданий и сооружений, в зависимости от задач, поставленных в техническом задании на обследование.

Т.к. обозначенная проблема присуща многоквартирным домам постройки до 1980 года, необходимо выбрать наиболее характерный объект исследования. Выбор осуществлён совместно со специалистами ООО «Департамент ЖКХ г. Тольятти» на основе изучения жалоб жильцов и первостепенной необходимости проведения ремонтных работ. Место расположения объекта: Самарская область, г. Тольятти, Автозаводской район, ул. Дзержинского, 69.

Обследование технического состояния системы водоснабжения проводилось в 3 этапа:

- 1) подготовка к проведению обследования;
- 2) предварительное (визуальное) обследование;
- 3) инструментальное обследование.

Подготовительные работы проводят с целью: ознакомления с объектом обследования, его объемно-планировочным и конструктивным решением, материалами инженерными изысканий; сбора и анализа проектно-технической документации; составления программы работ с учетом согласованного технического задания.

1) В ходе проведения подготовительных работ были рассмотрены следующие предоставленные в распоряжение материалы:

- план подвала (рисунок 12);
- план типового этажа (рисунок 13);
- схема аксонометрическая трубопроводов ХПВ и ГВС (рисунок 14);
- эксплуатационные документа, акты фиксации аварий, жалобы жильцов, и пр.

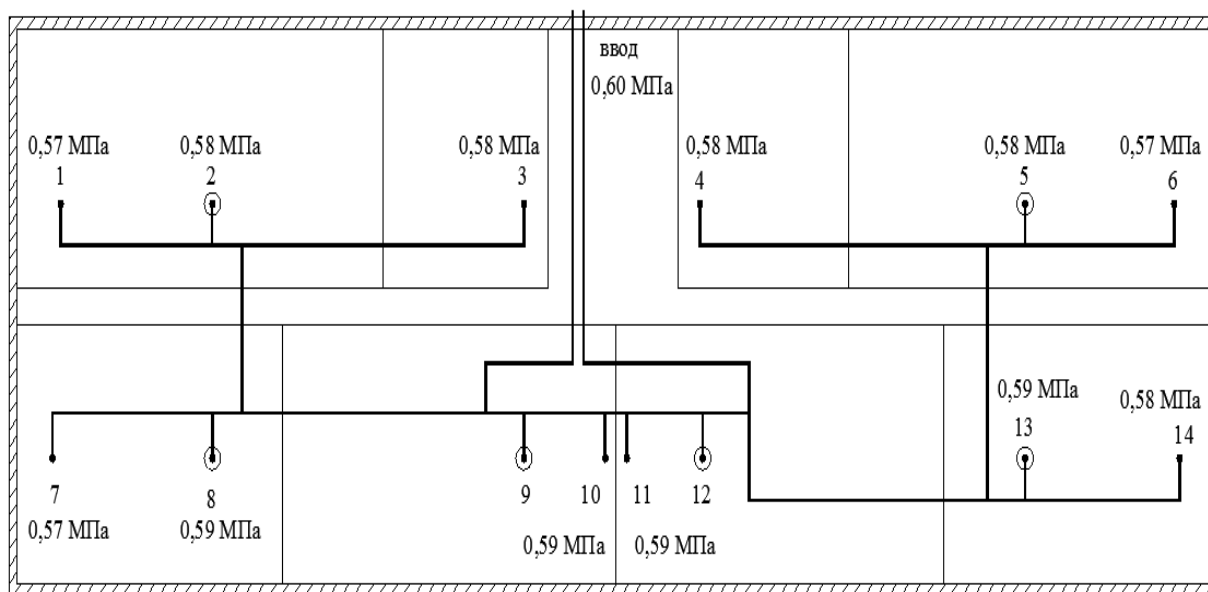


Рисунок 12 – Схема размещения стояков

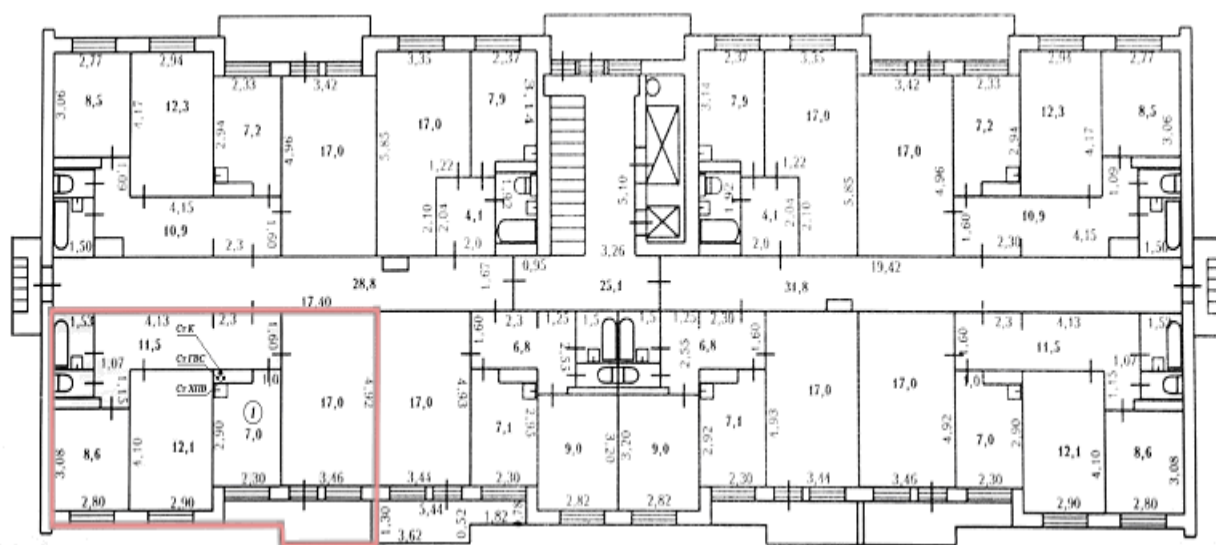


Рисунок 13 – План типового этажа

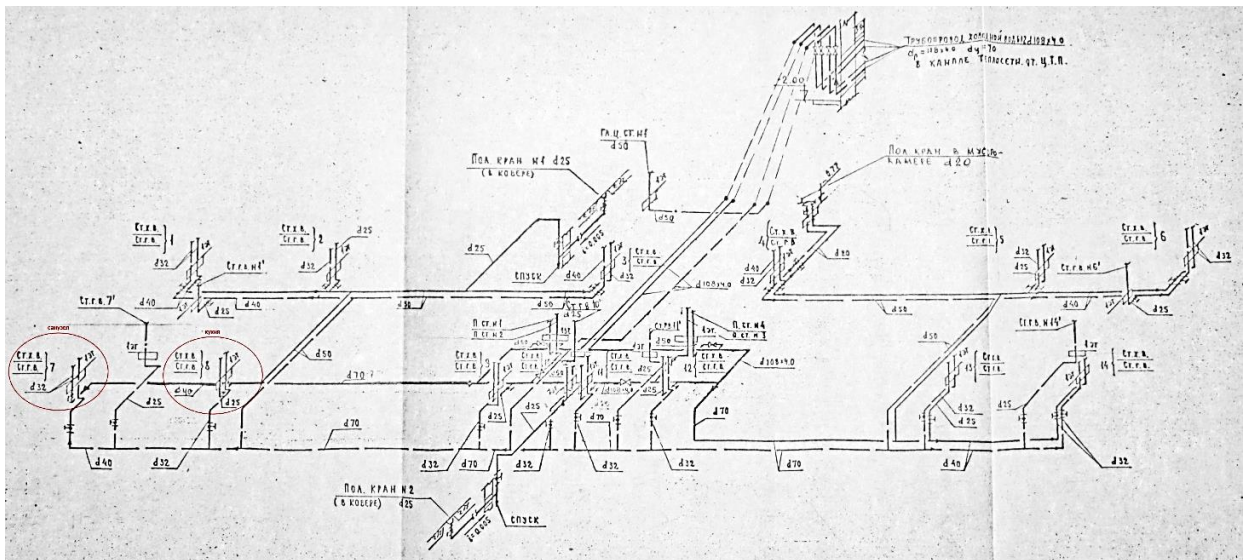


Рисунок 14 – Схема аксонометрическая трубопроводов ХПВ и ГВС

2) «Предварительное (визуальное) обследование проводится с целью получить общие сведения о техническом состоянии инженерного оборудования, строительных конструкций, электрических сетей и средств связи (при необходимости). По внешним признакам определить необходимость и порядок проведения детального (инструментального) обследования. В зависимости от типа обследования, технического состояния, выявленных дефектов и повреждений по внешним признакам уточняется программы работ с необходимыми измерениями и их фото фиксацией» [10].

Система холодного водоснабжения жилого 16-и этажного, 124-квартирного дома, постройки 1975 года выполнена из стальных водогазопроводных труб ГОСТ 10704-91. Магистральный трубопровод длиной 34 м (по проектным данным) и диаметром 100 мм полностью заменён. Подключение к стоякам выполнено в соответствии с требованиями СП 73.13330.2016 (СНиП 3.05.01-85) «Внутренние санитарно-технические системы». Водоснабжение осуществляется по сетям ООО «АВТОГРАД-ВОДОКАНАЛ», повысительная насосная станция «Грундфосс» и водомерный узел находятся в помещении ЦТП.

При визуальном обследовании осмотрены следующие элементы системы холодного водоснабжения:

- 1) Ввод трубопровода холодного водоснабжения в жилой дом.
- 2) Магистральный трубопровод, проложенный в подвале.
- 3) Стояки, внутренняя разводка, водоразборные приборы.
- 4) Образцы срезанных труб. Демонтированные магистраль (Рисунки 15, 16, 17) и стояк №10 (сравнение состояний демонтированного стояка и новой трубы рис. 18); внутреннее и наружное состояние демонтированного стояка №10 (рис. 19, 20).



Рисунок 15 – Внутреннее состояние демонтированной магистрали



Рисунок 16 – Наружное состояние демонтированной магистрали



Рисунок 17 – Внутреннее состояние демонтированного стояка



Рисунок 18 – Наружное состояние демонтированного стояка (сравнение с новой трубой)



Рисунок 19 – Внутреннее состояние демонтированного стояка



Рисунок 20 – Наружное состояние демонтированного стояка

Предварительное обследование позволяет сделать вывод, что состояние трубопроводов холодного водоснабжения не имеют катастрофических видимых повреждений и дефектов, в целом можно охарактеризовать как работоспособное и не угрожающее жизни и здоровью людей.

Работоспособное техническое состояние в соответствии с ГОСТ Р 53778-2010 п.3.11: категория технического состояния, при которой некоторые из числа оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта или норм, но имеющиеся нарушения требований в конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению работоспособности, и необходимая несущая способность конструкций с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений обеспечивается. Отдельные участки стояков и внутренней разводки заменены силами жильцов.

3) Инструментальное обследование:

Измерения физических величин: давления, расхода, времени, объёма, линейных размеров, выполнялись по соответствующим методикам измерений. С использованием средств измерений, имеющих свидетельства о поверке и допущенными к использованию.

Для исключения предположения, что на вводе в жилой дом ул. Дзержинского, 69 давление не соответствует нормативному проведены замеры непосредственно на вводе и на концевых участках магистрального трубопровода на штуцере стояка.

Давление на вводе 0,59-0,6 МПа (рисунок 21), давление на концевых участках (Стояки № 1, 3, 4, 6, 7, 14) магистрального трубопровода 0,57-0,58 МПа (рисунок 22). Использованы манометры ООО «Департамент ЖКХ» с диапазоном измерений 0-1,6 МПа, класс точности 1,5.



Рисунок 21 – Давление на вводе



Рисунок 22 – Давление на концевом участке магистрали

Проведены замеры давления на верхних этажах (с девятого по шестнадцатый) манометрами с диапазоном измерений 0-0,4 МПа, класс точности 1; на нижних (с первого по восьмой) – 0-1,0 МПа класс точности 1,5. Замеры проводились на стояках на кухне и санузлах, манометр подключался к вводному крану или смесителю после вводной запорной арматуры. Определялось давление именно у потребителя с учётом местных сопротивлений и потерь по длине. Выборка проводилась по каждому стояку на разных этажах, где возможно измерение. Одновременно с этим проводились наблюдения за расходом воды. Провести контрольные замеры расхода накладными ультразвуковыми расходомерами не представляется возможным по причине значительного загрязнения внутренней поверхности трубопроводов, что приводит к рассеиванию сигнала. Использование

установленных квартирных расходомеров позволяет использовать их ограниченно для построения фактических гидравлических характеристик по причине метрологических особенностей (класс точности 2,5; невозможность получить мгновенные расходы). Расход измерялся объёмным методом (с использованием мерной колбы, объёмом 1 л) за определённое время, отсчитываемое по электронному секундомеру. В случае отсутствия экспериментальных данных, т.к. не во все квартиры был получен доступ в таблица внесены результаты интерполяции по данным, полученным на других стояках. Всего проведено замеров в 60 % квартир. Замеры проводились в течении недели в августе 2020 года. Результаты измерения давления приведены в таблице 4, расходов в таблице 5.

Таблица 4 – Результаты измерения давления, Мпа

Этаж	Ст 1	Ст 2	Ст3	Ст 4	Ст 5	Ст 6	Ст 7	Ст 8	Ст 9	Ст 10	Ст 11	Ст 12	Оя 13	Ст 14
0	0,57	0,58	0,58	0,58	0,58	0,57	0,57	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,57
1	0,54	0,528	0,565	0,563	0,575	0,561	0,569	0,555	0,537	0,560	0,570	0,553	0,557	0,567
2	0,51	0,496	0,537	0,515	0,550	0,492	0,509	0,507	0,503	0,538	0,539	0,505	0,505	0,531
3	0,467	0,465	0,508	0,483	0,519	0,473	0,479	0,472	0,480	0,502	0,504	0,479	0,480	0,505
4	0,443	0,454	0,479	0,455	0,488	0,434	0,446	0,446	0,446	0,480	0,478	0,442	0,442	0,480
5	0,412	0,409	0,446	0,428	0,454	0,401	0,411	0,417	0,414	0,440	0,442	0,414	0,415	0,450
6	0,38	0,374	0,415	0,391	0,421	0,377	0,388	0,383	0,380	0,419	0,410	0,388	0,388	0,414
7	0,36	0,329	0,390	0,363	0,390	0,333	0,357	0,358	0,351	0,382	0,381	0,352	0,358	0,383
8	0,34	0,310	0,356	0,334	0,361	0,304	0,313	0,323	0,328	0,353	0,359	0,323	0,329	0,352
9	0,32	0,257	0,330	0,310	0,330	0,275	0,284	0,297	0,295	0,326	0,328	0,296	0,294	0,326
10	0,29	0,237	0,298	0,275	0,303	0,241	0,251	0,264	0,269	0,299	0,296	0,268	0,266	0,290
11	0,26	0,202	0,266	0,246	0,279	0,229	0,222	0,235	0,237	0,263	0,268	0,239	0,233	0,270
12	0,23	0,179	0,239	0,212	0,241	0,188	0,194	0,210	0,210	0,233	0,233	0,209	0,203	0,234
13	0,2	0,160	0,210	0,186	0,215	0,163	0,165	0,171	0,174	0,208	0,200	0,174	0,173	0,202
14	0Д7	0,124	0,176	0,159	0,183	0,128	0,136	0,140	0,140	0,180	0,176	0,140	0,142	0,179
15	0,15	0,062	0,148	0,121	0,154	0,087	0,107	0,117	0,112	0,150	0,141	0,116	0,119	0,148
16	0,13	0,024	0,120	0,092	0,128	0,071	0,084	0,090	0,082	0,111	0,111	0,085	0,085	0,111

Таблица 5 – Результаты измерения расход, л/с

Этаж	Ст 1	Ст 2	Ст 3	Ст 4	Ст 5	Ст 6	Ст 7	Ст 8	Ст 9	Ст 10	Ст 11	Ст 12	Ст 13	Ст 14
1	0,326	0,287	0,316	0,319	0,299	0,326	0,326	0,290	0,287	0,319	0,323	0,290	0,290	0,319
2	0,321	0,282	0,311	0,311	0,295	0,318	0,315	0,289	0,289	0,315	0,315	0,282	0,286	0,318
3	0,312	0,278	0,303	0,303	0,293	0,312	0,306	0,281	0,275	0,306	0,306	0,275	0,281	0,303
4	0,303	0,270	0,303	0,300	0,281	0,297	0,294	0,273	0,270	0,297	0,303	0,273	0,267	0,297
5	0,292	0,254	0,292	0,289	0,271	0,283	0,286	0,257	0,263	0,292	0,292	0,257	0,263	0,286
6	0,281	0,245	0,273	0,278	0,266	0,281	0,281	0,247	0,250	0,275	0,278	0,253	0,247	0,273
7	0,271	0,241	0,271	0,266	0,251	0,266	0,271	0,238	0,241	0,263	0,263	0,238	0,241	0,263
8	0,263	0,234	0,263	0,263	0,244	0,263	0,263	0,237	0,237	0,255	0,263	0,237	0,231	0,263
9	0,254	0,221	0,251	0,246	0,238	0,249	0,246	0,229	0,226	0,251	0,254	0,229	0,229	0,254
10	0,241	0,212	0,234	0,236	0,226	0,236	0,234	0,212	0,217	0,234	0,241	0,212	0,214	0,241
И	0,233	0,203	0,231	0,231	0,216	0,226	0,231	0,210	0,205	0,226	0,233	0,210	0,205	0,231
12	0,226	0,197	0,221	0,226	0,212	0,219	0,221	0,199	0,203	0,224	0,219	0,201	0,201	0,224
13	0,21	0,187	0,208	0,210	0,197	0,210	0,204	0,185	0,189	0,204	0,204	0,185	0,185	0,204
14	0,195	0,174	0,193	0,193	0,181	0,189	0,191	0,172	0,176	0,191	0,189	0,176	0,174	0,195
15	0,17	0,150	0,165	0,168	0,158	0,167	0,167	0,153	0,151	0,170	0,167	0,153	0,151	0,167
16	0,14	0,122	0,137	0,139	0,130	0,140	0,136	0,126	0,126	0,136	0,137	0,126	0,125	0,140
16	0,13	0,024	0,120	0,092	0,128	0,071	0,084	0,090	0,082	0,111	0,111	0,085	0,085	0,111

2.2 Обработка результатов измерений

«Обработка результатов измерений необходима для дальнейшего построения эмпирических зависимостей, повышению эффективности использования статистических методов и качественного анализа полученных результатов. Расчёт ведётся по ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений.

Содержание предварительной обработки состоит в отсеивании грубых погрешностей и оценке достоверности результатов измерений. Далее проводится проверка соответствия результатов измерения нормальному закону и определение параметров этого распределения. Если гипотеза о том, что результат не противоречит нормальному распределению, окажется верной, то определяется, какому закону распределения подчиняются данные, и по возможности, опытное распределение приводится к нормальному виду» [6, 17].

2.2.1 Исключение грубых погрешностей

Для проверки выбираются результаты измерения давления по стояку №2, т.к. по нему обнаружен наибольший разброс полученных значений. Для удобства расчётов обозначения измеренных физических величин (давления, расхода) заменены на обозначения, принятые в теории обработки результатов и математической статистике. В таблице 6 обозначение давления P , МПа заменено на X .

Для исключения грубых погрешностей используют критерий Граббса. Статистический критерий Граббса исключения грубых погрешностей основан на предположении о том, что группа результатов измерений принадлежит нормальному распределению. Для этого вычисляют критерии Граббса G_1 и G_2 , предполагая, что наибольший x_{max} или x_{min} результат измерений вызван грубыми погрешностями:

$$G_1 = \frac{|X_{max} - \bar{X}|}{S}$$
$$G_2 = \frac{|\bar{X} - X_{min}|}{S}$$

Сравнивают G_1 и G_2 с теоретическим значением G_t критерия Граббса при выбранном уровне значимости q . В соответствии с таблицей критических значений критерия Граббса. Если $G_1 > G_t$, то x_{max} исключают как маловероятное значение. Если $G_2 > G_t$, то x_{min} исключают как маловероятное значение. Далее вновь вычисляют среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонения ряда результатов измерений и процедуру проверки наличия грубых погрешностей повторяют. Если $G_1 \leq G_t$, и $G_2 \leq G_t$ то x_{max} и x_{min} не считают промахом и его сохраняют в ряду результатов измерений.

Таблица 6 – Результаты измерений и предварительная обработка

n	X	X-X _{cp}	X-X _{cp}	(X-X _{cp}) ²
1	2	3	4	5
1	0,556	0,2294	0,22944	0,0526
2	0,515	0,1884	0,18844	0,0355
3	0,483	0,1564	0,15644	0,0244
4	0,470	0,1434	0,14344	0,0205
5	0,425	0,0984	0,09844	0,0096
6	0,418	0,0914	0,09144	0,0083
7	0,353	0,0264	0,02644	0,0007
8	0,348	0,0214	0,02144	0,0005
9	0,308	-0,0186	0,01856	0,0003
10	0,281	-0,0456	0,04556	0,0021
11	0,260	-0,0666	0,06656	0,0044
12	0,207	-0,1196	0,11956	0,0143
13	0,206	-0,1206	0,12056	0,0145
14	0,176	-0,1506	0,15056	0,0226
15	0,126	-0,2006	0,20056	0,0402
16	0,093	-0,2336	0,23356	0,0545
Сумма	5,225		1,91100	0,3055

Максимальное значение выборки $x_{max} = 0,556$

Минимальное значение выборки $x_{min} = 0,093$

Среднее значение из $n=16$ измерений $X_{cp} = 0,327$

Среднее квадратическое отклонение S группы, содержащей n результатов измерений, вычисляют по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{0,3055}{16 - 1}} = 0,138$$

$$G_1 = \frac{|0,556 - 0,327|}{0,143} = 1,61$$

$$G_2 = \frac{|0,327 - 0,093|}{0,143} = 1,64.$$

Из таблицы критических значений критерия Граббса для $n=16$ при выбранном уровне значимости $q=5\%$ $G_t = 2,585$, условие $G_1 \leq G_t$, и $G_2 \leq G_t$ выполнено грубых погрешностей при замерах нет.

Вывод. Грубых погрешностей при замерах нет. Результаты прочих замеров более равномерны и проводить проверку на грубые погрешности нецелесообразно.

2.2.2 Проверка гипотезы о нормальности распределения результатов

Доверительные границы ε (без учета знака) случайной погрешности оценки измеряемой величины вычисляют по формуле:

$$\varepsilon = t \cdot S_x$$

где t – коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности P и числа результатов измерений n ;

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$$
$$\varepsilon = 2,119 \frac{0,143}{\sqrt{16}} = 0.07.$$

Не исключёнными систематическими погрешностями по сравнению со случайными можно пренебречь и принять, что граница погрешности результата равна $\Delta = \varepsilon$.

Проверка гипотезы о нормальности распределения результатов измерений при числе результатов измерений $15 < n \leq 50$. При числе результатов измерений менее 50 нормальность их распределения проверяют с помощью составного критерия. При нормальном распределении наблюдений истинное значение измеряемой величины A с доверительной вероятностью P находится внутри интервала:

$$x - t \cdot S_x < A < x + t \cdot S_x.$$

Критерий 1:

Вычисляется отношение \bar{d}

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{nS^*}$$

где S^* - смещенное среднее квадратическое отклонение, вычисляемое по формуле:

$$S^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Результаты измерений в ряду считаются распределенными нормально, если

$$d_{1-q/2} < \bar{d} \leq d_{q/2}$$

где $d_{1-q/2}$, $d_{q/2}$ - квантили распределения, получаемые из таблицы по n , $q/2$ и $1-q/2$. причём q_1 - заранее выбранный уровень значимости (1%, 5%, 99% или 95%).

Принимается $n=16$ и $q_1=5\%$, $d_{1-q/2} = 0,7236$ и $d_{q/2} = 0,8884$

$$S^* = \sqrt{\frac{0,3055}{16}} = 0,138$$

$$\bar{d} = \frac{1,911}{16 \cdot 0,138} = 0,865$$

$$0,7236 < 0,865 \leq 0,8884$$

Условие критерия 1 выполнено.

Критерий 2:

Считается, что результаты измерений принадлежат нормальному распределению, если не более m разностей $(X_i - X_{cp})$ превысили значение $Z_{P/2}S$, где S - среднее квадратическое отклонение, вычисляемое по формуле;

$Z_{P/2}$ - верхний квантиль распределения нормированной функции Лапласа, отвечающий вероятности $P/2$.

Значения вероятности определяют из таблицы по выбранному уровню значимости q_2 , %, и числу результатов измерений n . При $n=16$ и $m=1$ значения $P=0,98$, а значения $Z_{P/2}=2,33$. При несоблюдении хотя бы одного из критериев считается, что распределение результатов измерений группы не соответствует нормальному.

$$Z_{P/2}S = 2,33 \cdot 0,138 = 0,322,$$

Ни одно из значений таблицы 6 не превысило значение $(X_i - X_{cp})$ – условие критерия 2 выполнено. В таблице 7 приведены результаты проверки на нормальное распределение, на рисунке 23 – Нормальная кривая распределения случайных величин (давления по стояку №2).

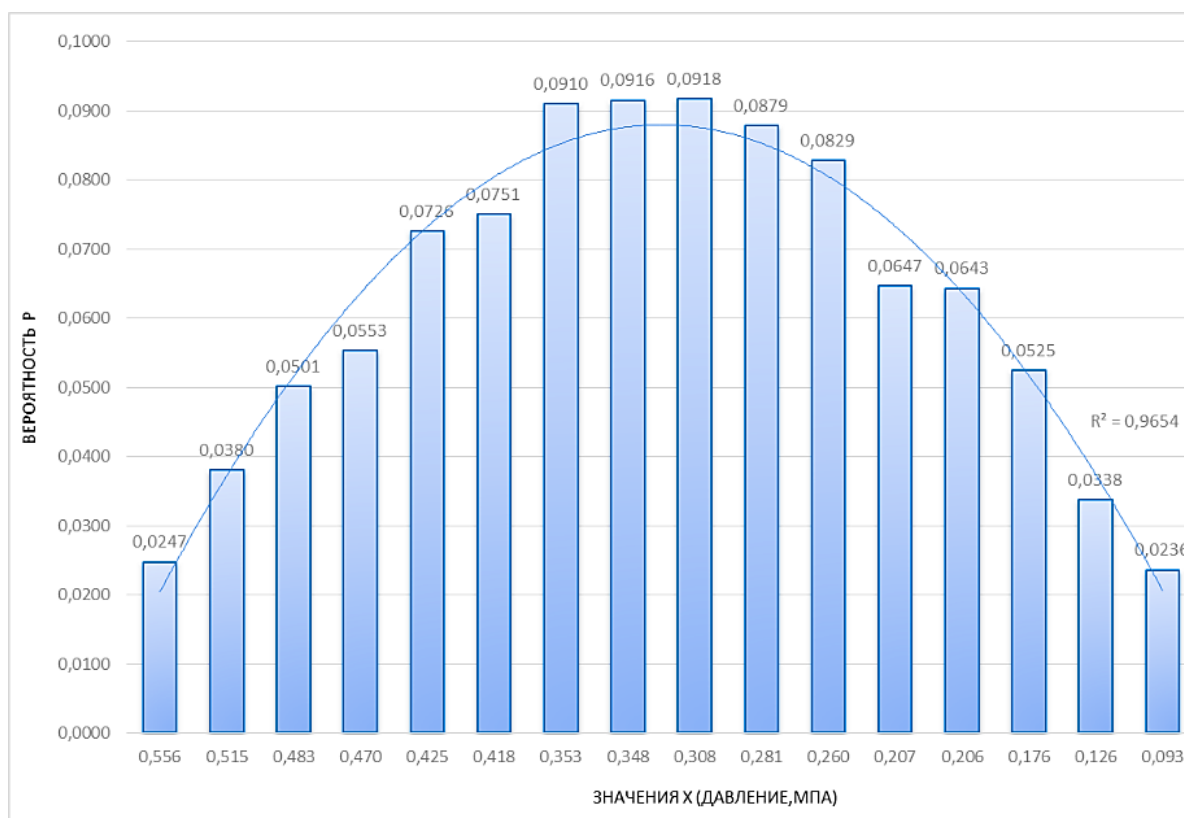


Рисунок 23 – Нормальная кривая распределения случайных величин

Вывод. Результаты измерений не содержат грубых погрешностей, имеют нормальное распределение с уровнем значимости $q=5\%$, и могут в дальнейшем использоваться для расчётов.

Таблица 7 – Проверка на нормальное распределение

x_i	n_i	x_{i_min}	x_{i_max}	$F(x < x_{i_min})$	$F(x < x_{i_max})$	p_i	$n \cdot p_i$	$n_i - n \cdot p_i$	$(n_i - n \cdot p_i)^2 / n \cdot p_i$	P
0,556	1	0,51	0,61	0,903	0,978	0,07548	0,396	0,60	0,922	0,0247
0,515	1	0,47	0,57	0,842	0,958	0,11600	0,608	0,39	0,252	0,0380
0,483	1	0,43	0,53	0,779	0,932	0,15298	0,802	0,20	0,049	0,0501
0,470	1	0,42	0,52	0,751	0,919	0,16868	0,885	0,12	0,015	0,0553
0,425	1	0,38	0,48	0,637	0,859	0,22160	1,162	-0,16	0,023	0,0726
0,418	1	0,37	0,47	0,618	0,847	0,22911	1,202	-0,20	0,034	0,0751
0,353	1	0,30	0,40	0,432	0,710	0,27761	1,456	-0,46	0,143	0,0910
0,348	1	0,30	0,40	0,418	0,697	0,27928	1,465	-0,46	0,147	0,0916
0,308	1	0,26	0,36	0,310	0,590	0,28009	1,469	-0,47	0,150	0,0918
0,281	1	0,23	0,33	0,245	0,513	0,26820	1,407	-0,41	0,118	0,0879
0,260	1	0,21	0,31	0,199	0,452	0,25283	1,326	-0,33	0,080	0,0829
0,207	1	0,16	0,26	0,110	0,307	0,19744	1,036	-0,04	0,001	0,0647
0,206	1	0,16	0,26	0,109	0,305	0,19626	1,029	-0,03	0,001	0,0643
0,176	1	0,13	0,23	0,073	0,233	0,16005	0,839	0,16	0,031	0,0525
0,126	1	0,08	0,18	0,035	0,138	0,10306	0,541	0,46	0,391	0,0338
0,093	1	0,04	0,14	0,020	0,092	0,07195	0,377	0,62	1,027	0,0236
0,33	СРЗНАЧ						проверка на нормальное распределение			
0,14	СТАНДОТКЛОНП			сумма		3,05061		$\chi^2_{набл.}$	3,383	1,00
				$n^* = \frac{n}{\sum p_i}$		5,24		$\chi^2_{крит.}$	18,493	
								$\chi^2_{набл.} \leq \chi^2_{крит.}$		

2.2.3 Нахождение параметров линии регрессии

«Ввиду недостаточности данных о влиянии роста шероховатости при длительной эксплуатации трубопроводов на потери давления, задачей проводимых экспериментальных исследований является определение значения гидравлической характеристики S в зависимости от фактической шероховатости стальной трубы $d_y=25\text{мм}$ ГОСТ 10704-91. Для построения гидравлической характеристики S необходимо иметь данные о потерях напора при определённом расходе» [17].

Из теории гидродинамики [3] известно, что гидравлическая характеристика трубопроводной сети близка к экспоненциальной. Для дальнейшей работы с полученными экспериментальными зависимостями (рисунки 24, 25) необходимо определить наиболее близкие параметры линии регрессии.

Имеется набор экспериментальных данных в виде точек с координатами $[x_i, y_i]$, где x_i – значение задаваемого параметра в точке i , расход воды л/с; y_i – значение измеренной величины в точке i давление МПа; i – номер одного измерения от 1 до n ;

Все измеренные величины y_i случайные и подчиняются нормальному закону распределения.

В случае экспоненциальной зависимости y от x , теоретическую зависимость имеет вид: $y=a \cdot e^{kx}$.

Экспериментальные значения y_i в большинстве случаев, точно не попадают на теоретическую линию из-за погрешностей измерения ε_i . Поэтому зависимость, представляется системой уравнений:

$$y_i = a \cdot e^{kx} + \varepsilon_i$$

где ε_i – неизвестная ошибка измерения y в i -ом эксперименте.

Эта зависимость представляет собой регрессию, т.е. зависимостью двух величин друг от друга со статистической значимостью. Для восстановления теоретической зависимости требуется найти коэффициенты a и b по экспериментальным точкам $[y_i, x_i]$ методом наименьших квадратов (МНК), т.е. частным случаем принципа максимального правдоподобия.

Принципом метода наименьших квадратов является минимизация суммы относительно параметров a и b , а сумма квадратов ошибок будет равна:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$$

Минимум достигается, когда частные производные от суммы по коэффициентам a и b равны нулю:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial a} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2}{\partial a} = 0$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial b} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2}{\partial b} = 0$$

Раскрыв производные, получается система из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\sum_{i=1}^n (2a + 2bx_i - 2y_i) = \sum_{i=1}^n (a + bx_i - y_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n (2bx_i^2 + 2ax_i - 2x_i y_i) = \sum_{i=1}^n (bx_i^2 + ax_i - x_i y_i) = 0$$

Решая, полученную систему, находят формулы для коэффициентов a и b :

$$a = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Решения имеются, когда $n > 1$ детерминант

$$D = n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \neq 0$$

т.е. когда точки $x_i \neq const$.

2.2.4 Оценка погрешностей коэффициентов линии регрессии

Для более точной оценки погрешности вычисления получено $n=16$ экспериментальных точек.

Погрешность случайной величины V определяется законом накопления ошибок:

$$S_V^2 = \sum_{i=1}^p \left(\frac{\partial f}{\partial z_i} \right)^2 S_z^2$$

где p – число параметров z с погрешностью S_z , которые влияют на погрешность S_V ;

f – функция зависимости V от z .

$$S_a^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial a}{\partial y_i} \right)^2 S_y^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial a}{\partial x_i} \right)^2 S_x^2 = S_y^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial a}{\partial y_i} \right)^2$$

$$S_b^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial b}{\partial y_i} \right)^2 S_y^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial b}{\partial x_i} \right)^2 S_x^2 = S_y^2 \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial b}{\partial y_i} \right)^2$$

$S_y^2 = S_{y_i}^2$ – погрешность (дисперсия, квадрат стандартного отклонения) в измерении y в предположении, что погрешность однородна для всех значений y .

Подставляя в полученные выражения формулы для расчета a и b :

$$S_a^2 = S_y^2 \frac{\sum(\sum x_i^2 - x_i \sum x_i)^2}{D^2} = S_y^2 \frac{\sum x_i^2}{D}$$

$$S_b^2 = S_y^2 \frac{\sum(nx_i - \sum x_i)^2}{D^2} = S_y^2 \frac{n}{D}$$

«Закон накопления ошибок для погрешности коэффициентов a и b .

В большинстве реальных экспериментов значение S_y не измеряется. Для этого нужно проводить несколько параллельных измерений (опытов) в одной или нескольких точках плана, что увеличивает время (и возможно стоимость) эксперимента. Поэтому обычно полагают, что отклонение y от линии регрессии можно считать случайным. Оценку дисперсии y в этом случае, считают по формуле» [6].

$$S_x^2 = \frac{\sum x_i^2}{n} - x_{cp}^2$$

$$S_y^2 = \frac{\sum y_i^2}{n} - y_{cp}^2$$

$$S_x = \sqrt{S_x^2}$$

$$S_y = \sqrt{S_y^2}$$

$$R^2 = \left(\frac{xy_{cp} - x_{cp} \cdot y_{cp}}{S_x S_y} \right)^2$$

Графический метод применяется для наглядного изображения формы связи между изучаемыми показателями. В прямоугольной системе координат строится график, по оси ординат откладываются индивидуальные значения результативного признака Y (давление, МПа), а по оси абсцисс - индивидуальные значения факторного признака X (расход, л/с).

Совокупность точек результативного и факторного признаков формирует поле корреляции, на основании которого, для генеральной

совокупности выдвигается гипотеза о том, что связь между всеми возможными значениями X и Y носит закономерный характер. Линии регрессии построены для гидравлической характеристики каждого стояка с разной оценкой величины достоверности степени аппроксимации R^2 от 0,97 до 0,99 и представлены на рисунке 24.

Вывод: Так как достоверность степени аппроксимации R^2 составляет более 0,9, то можно для дальнейшего анализа использовать более удобные аппроксимированные гидравлические характеристики.

2.3 Графические представления результатов экспериментов

Для получения наглядного представления о распределении давления по этажам и оценки степени зарастания трубопроводов построены графики, представленные на рисунках 24-37.

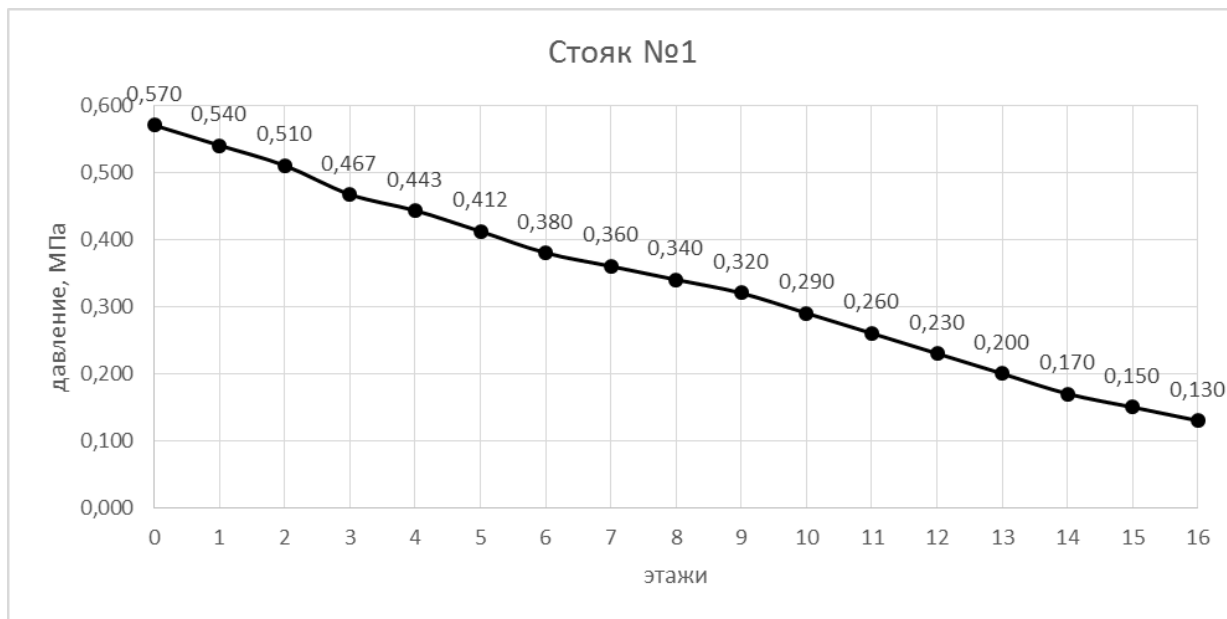


Рисунок 24 – Распределение давления по этажам (Стояк 1)

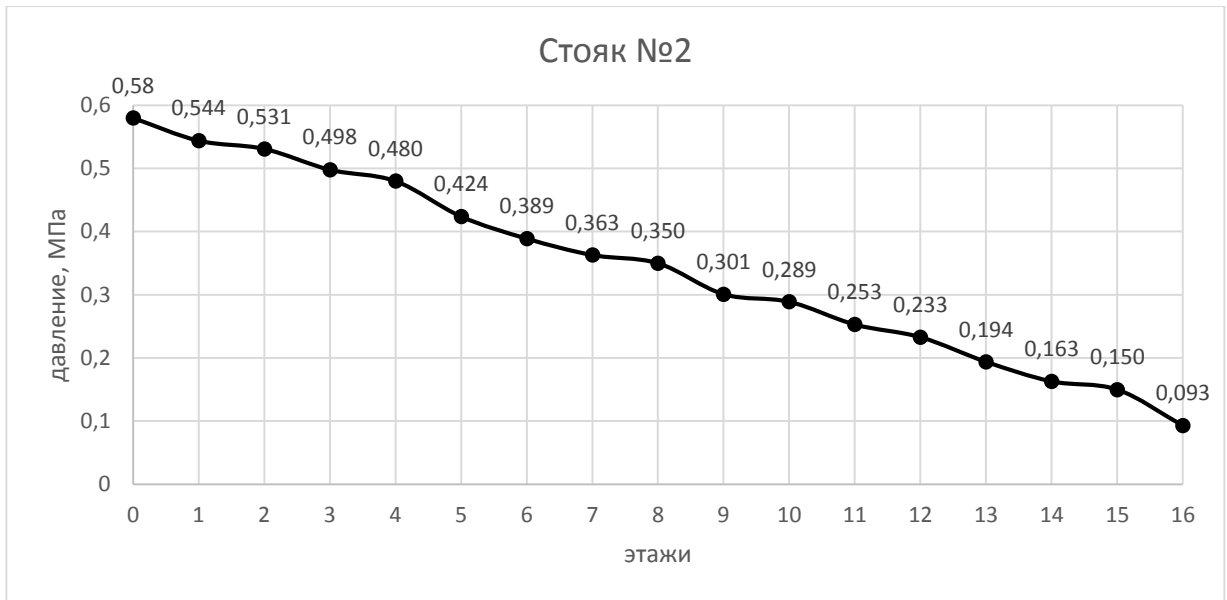


Рисунок 25 – Распределение давления по этажам (Стояк 2)

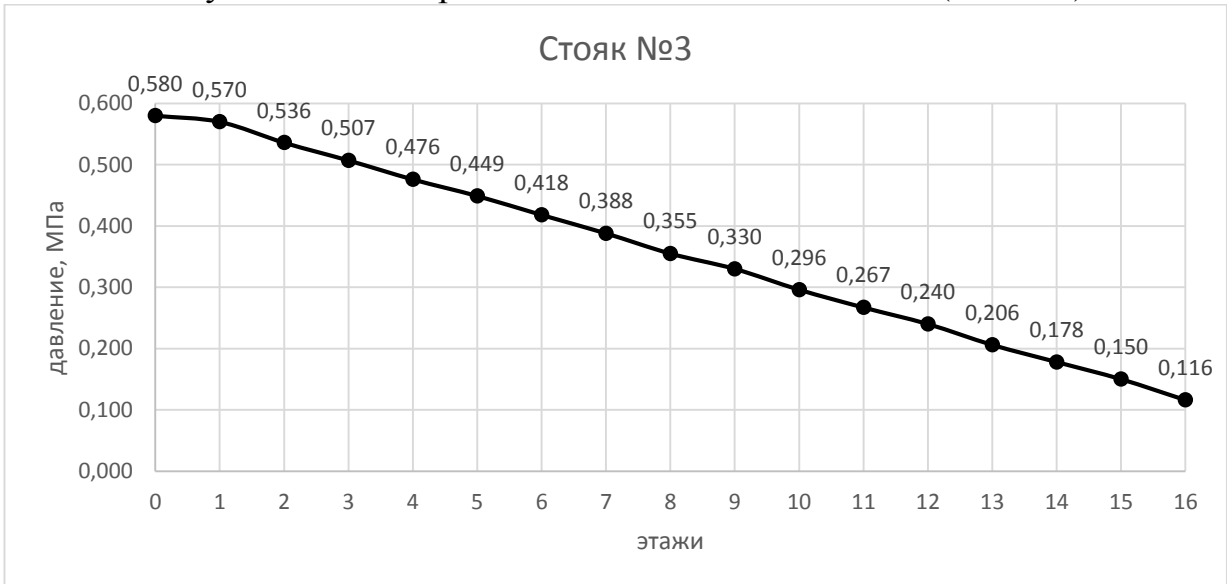


Рисунок 26 – Распределение давления по этажам (Стояк 3)

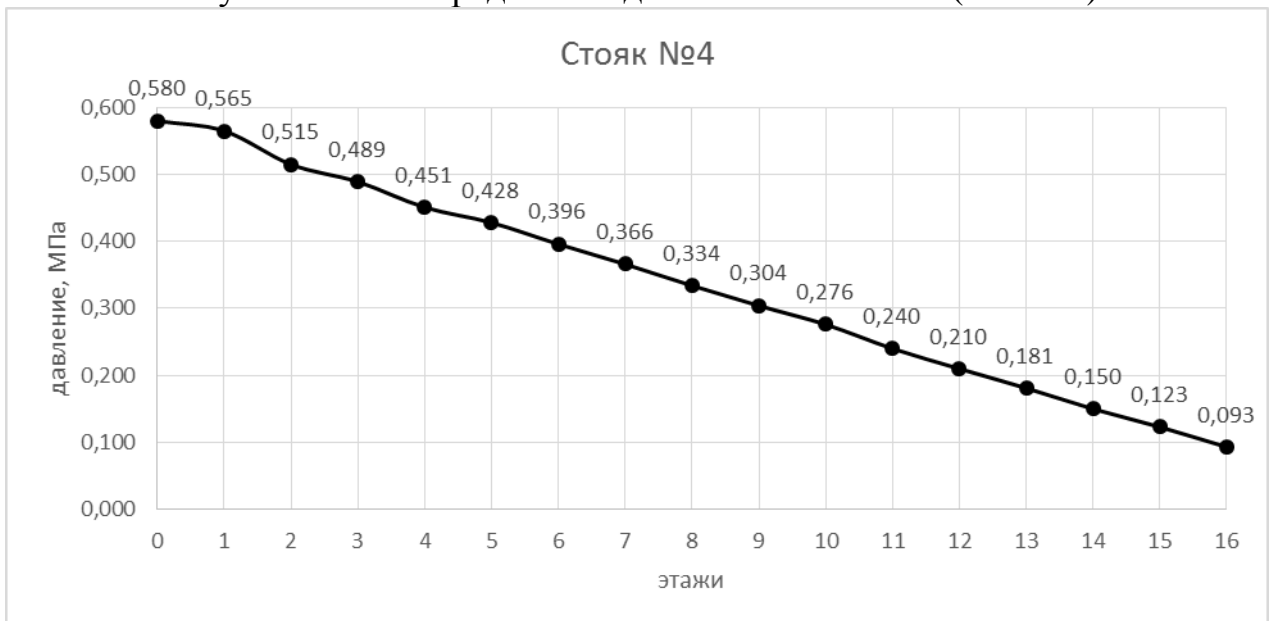


Рисунок 27 – Распределение давления по этажам (Стояк 4)

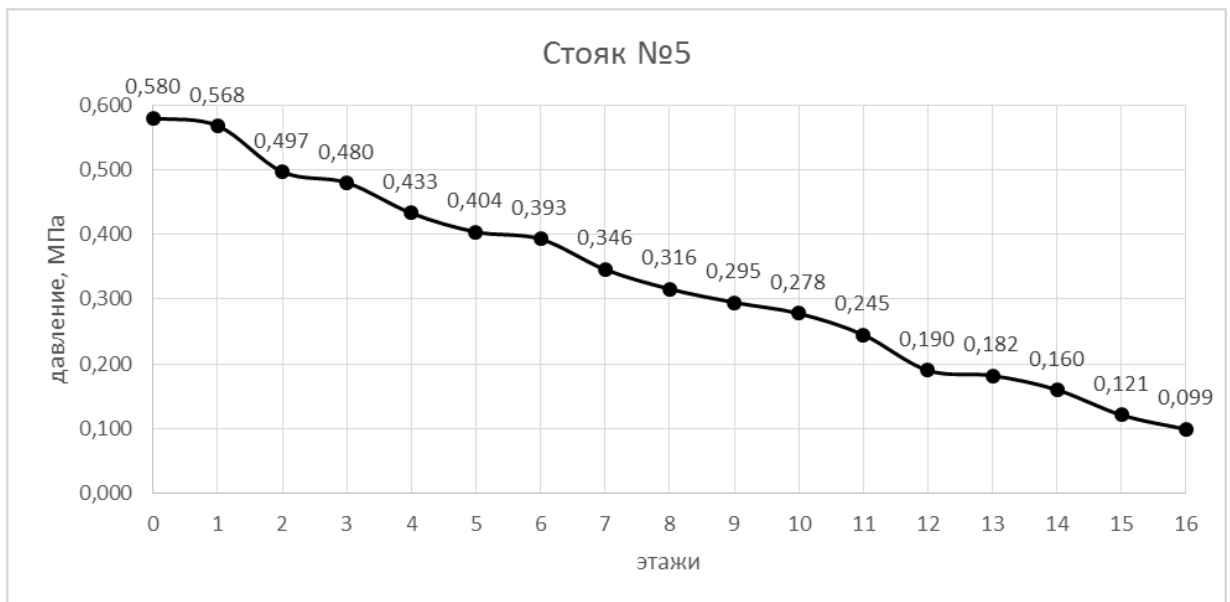


Рисунок 28 – Распределение давления по этажам (Стояк 5)

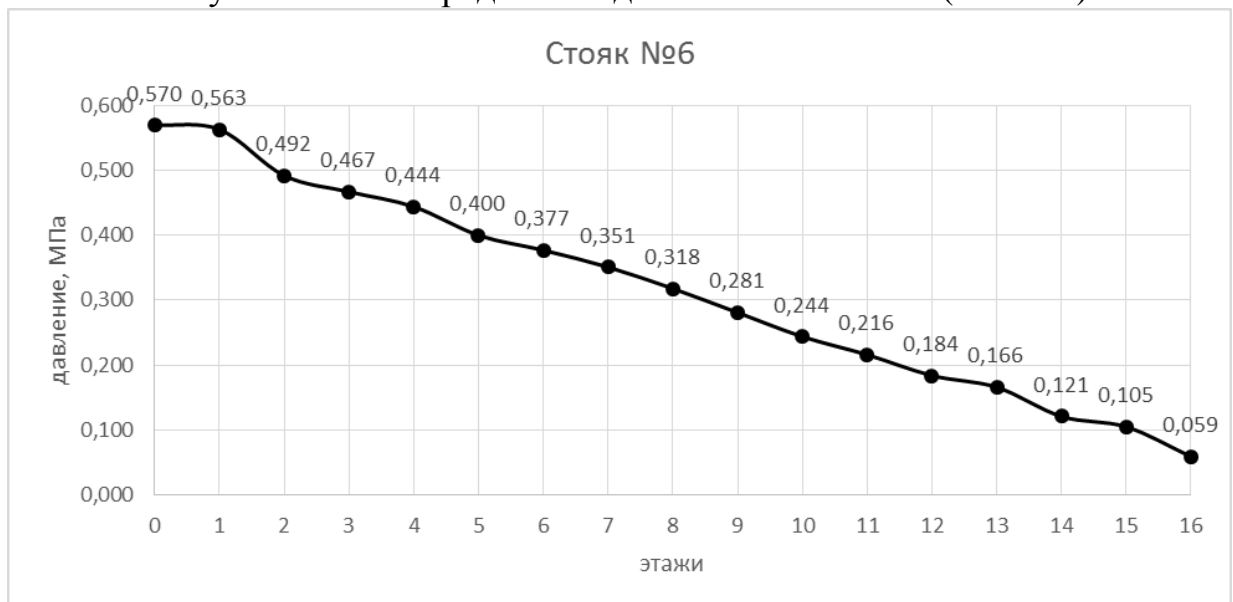


Рисунок 29 – Распределение давления по этажам (Стояк 6)

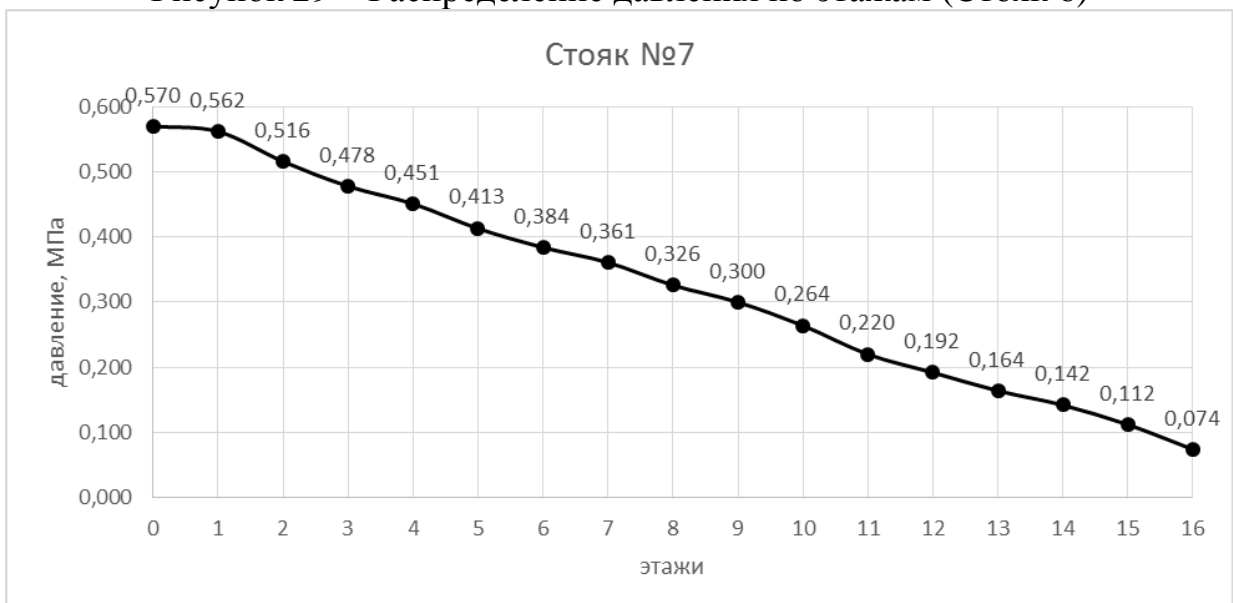


Рисунок 30 – Распределение давления по этажам (Стояк 7)

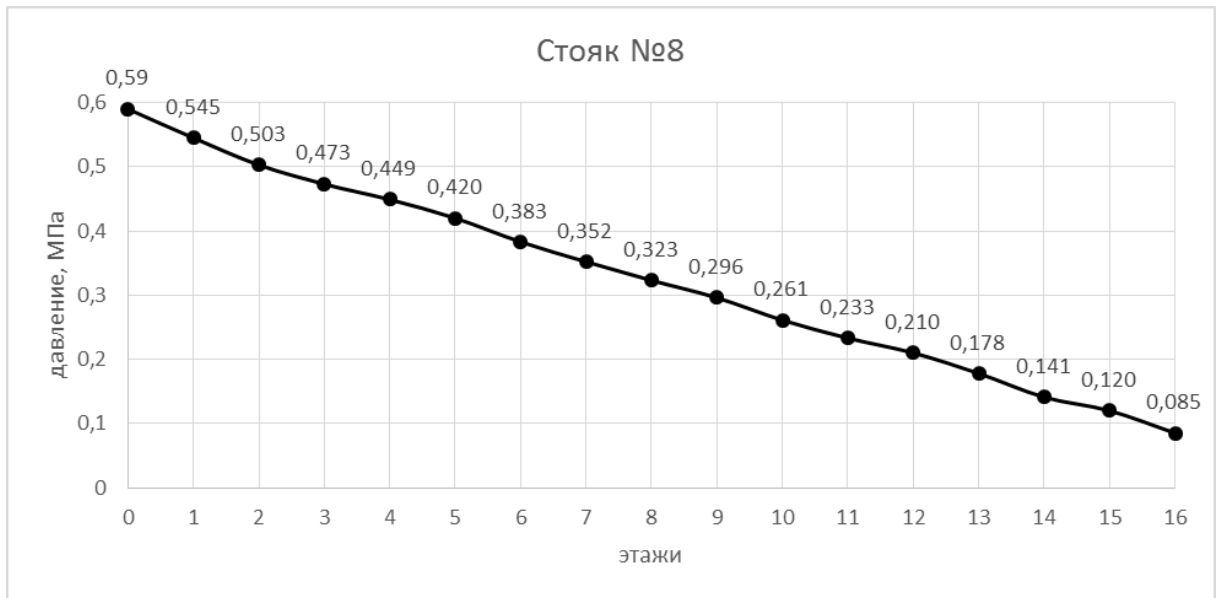


Рисунок 31 – Распределение давления по этажам (Стояк 8)

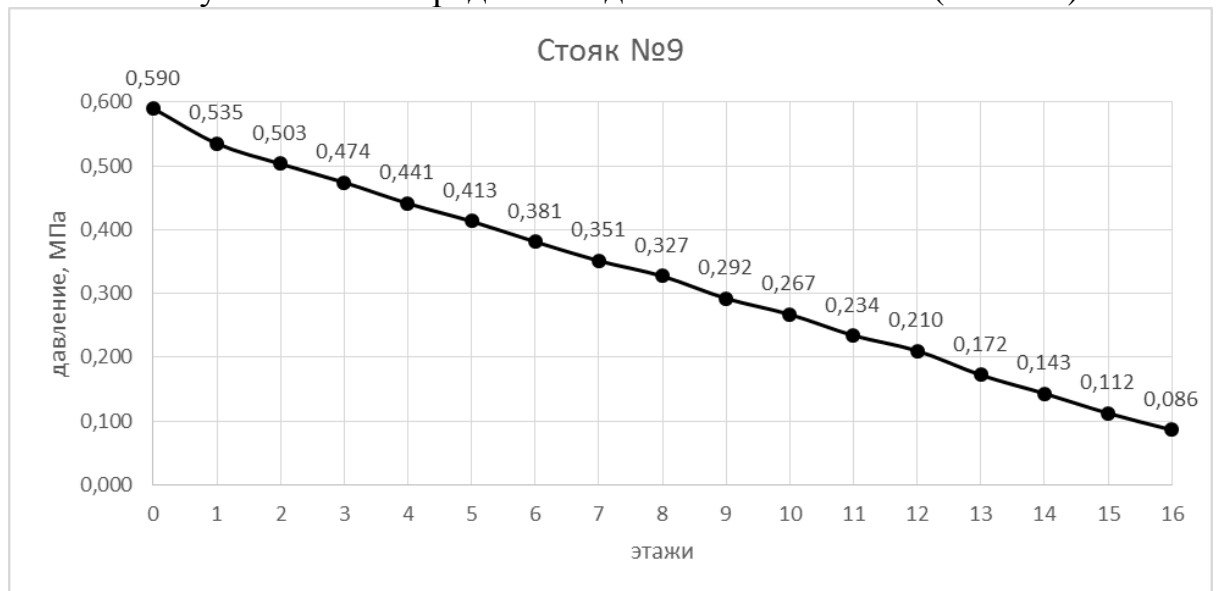


Рисунок 32 – Распределение давления по этажам (Стояк 9)

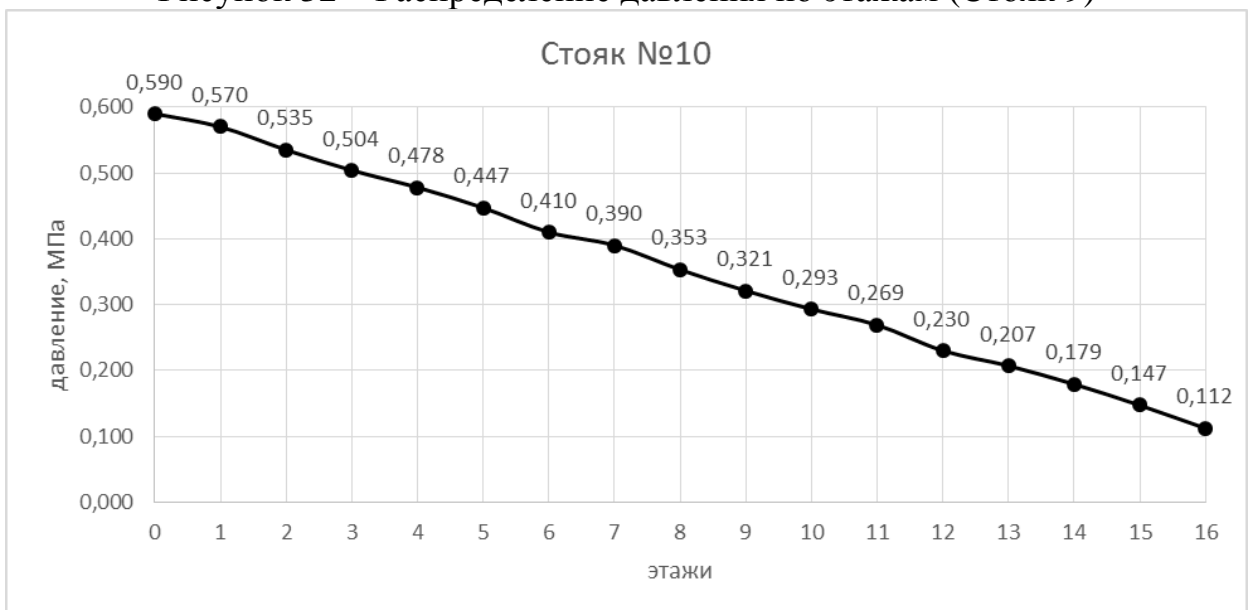


Рисунок 33 – Распределение давления по этажам (Стояк 10)

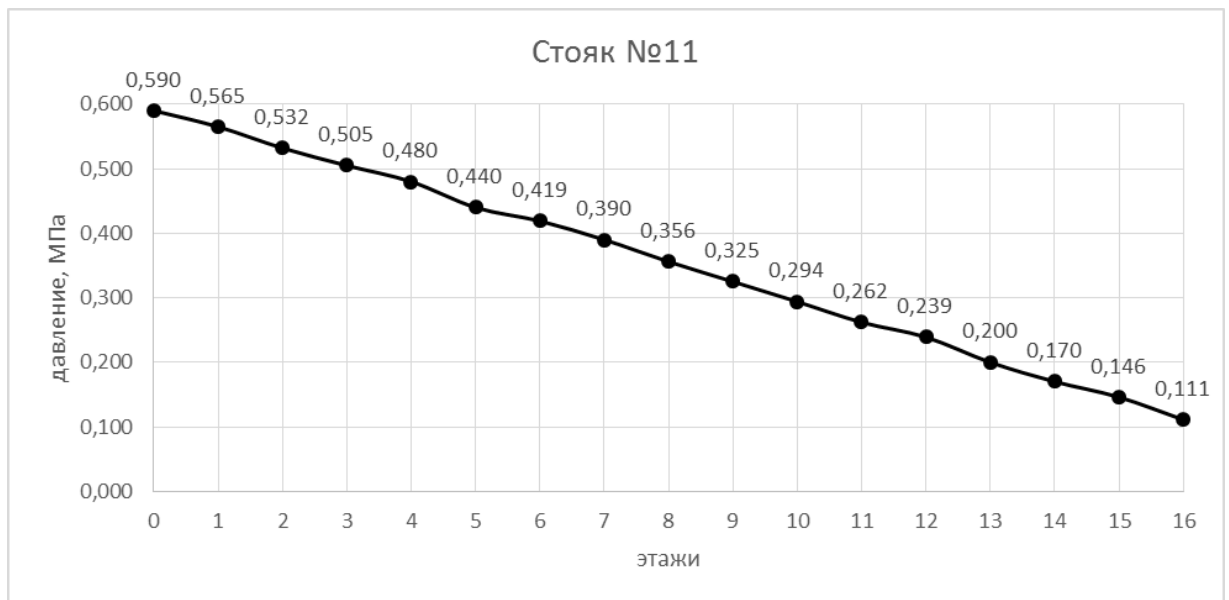


Рисунок 34 – Распределение давления по этажам (Стояк 11)

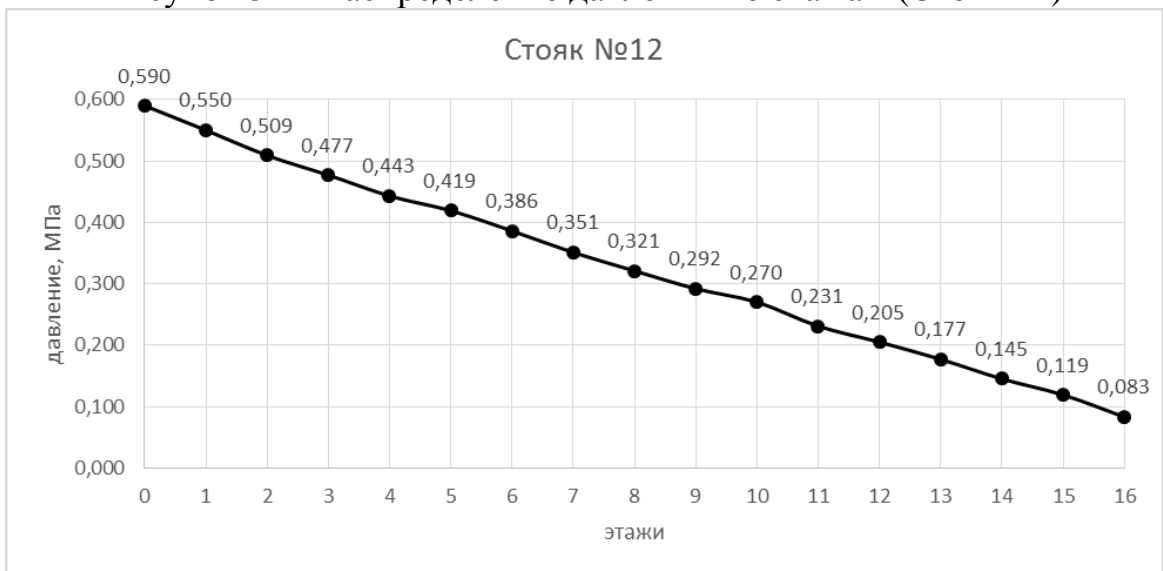


Рисунок 35 – Распределение давления по этажам (Стояк 12)

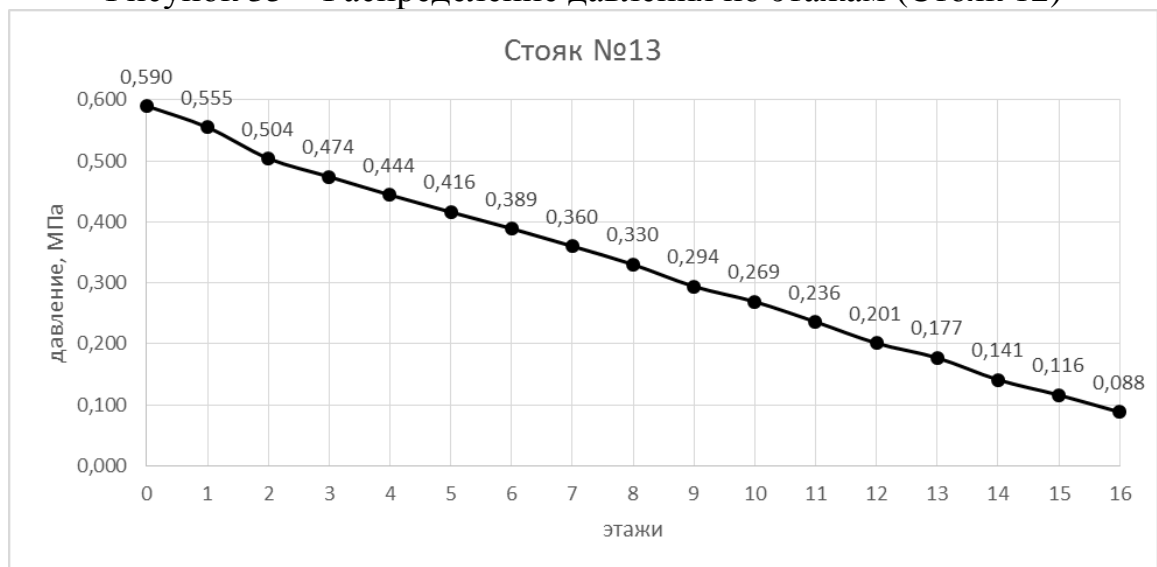


Рисунок 36 – Распределение давления по этажам (Стояк 13)

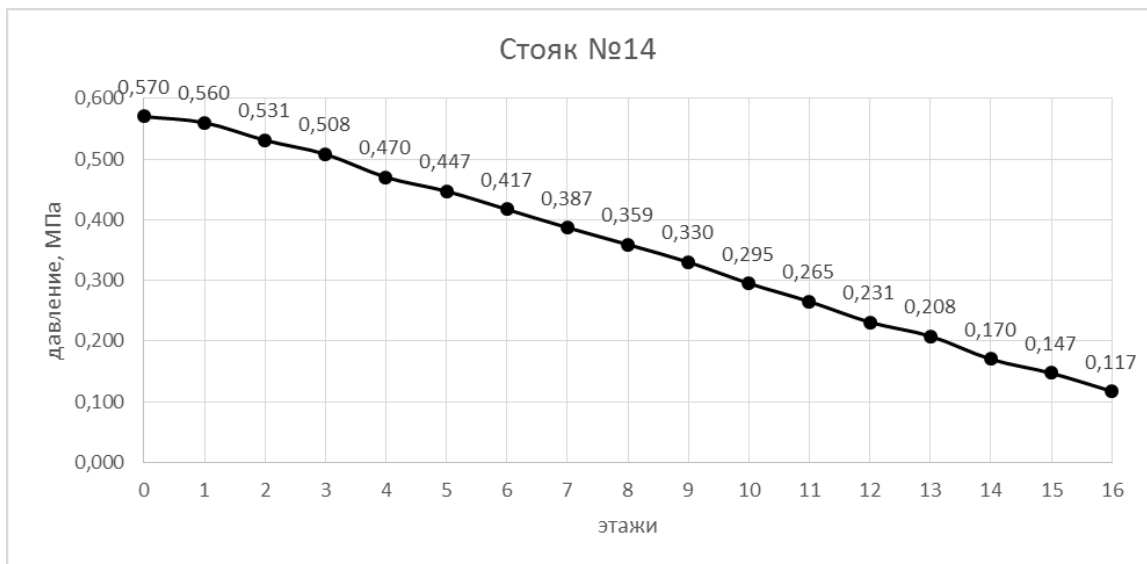


Рисунок 37 – Распределение давления по этажам (Стояк 14)

«Ввиду недостаточности данных о влиянии роста шероховатости при длительной эксплуатации трубопроводов на потери давления, задачей проводимых экспериментальных исследований является определение значения гидравлической характеристики S в зависимости от шероховатости стальной трубы $du25\text{мм}$ ГОСТ 10704-91.

Для построения гидравлической характеристики S необходимо иметь данные о потерях напора при определённом расходе. К обработке приняты результаты расчётов S по замерам с наименьшим разбросом значений и проведён анализ на соответствие их нормальному закону распределения» [6] (рис. 38-51).

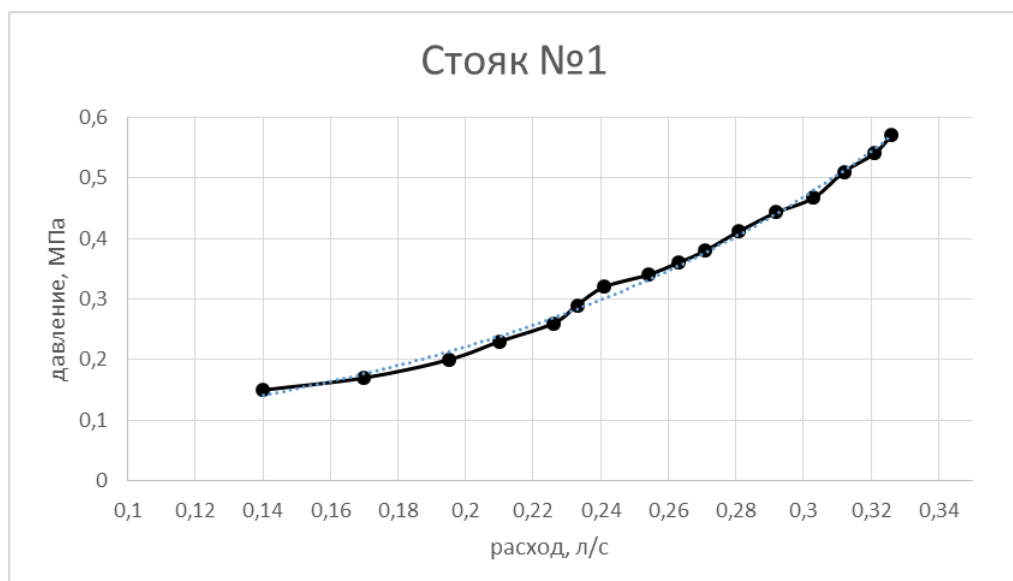


Рисунок 38 – Гидравлическая характеристика (Стояк 1)

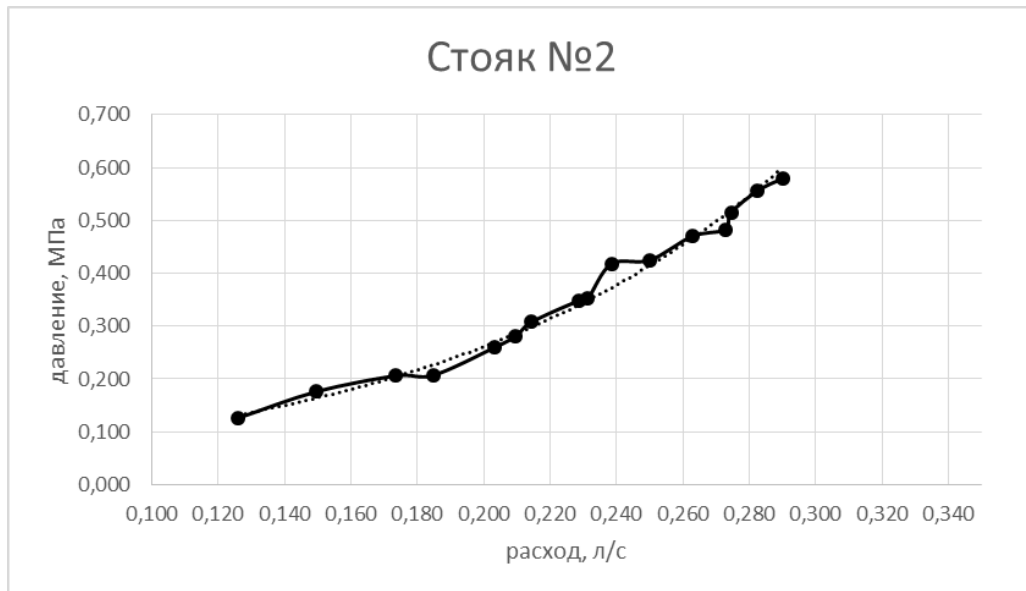


Рисунок 39 – Гидравлическая характеристика (Стояк 2)

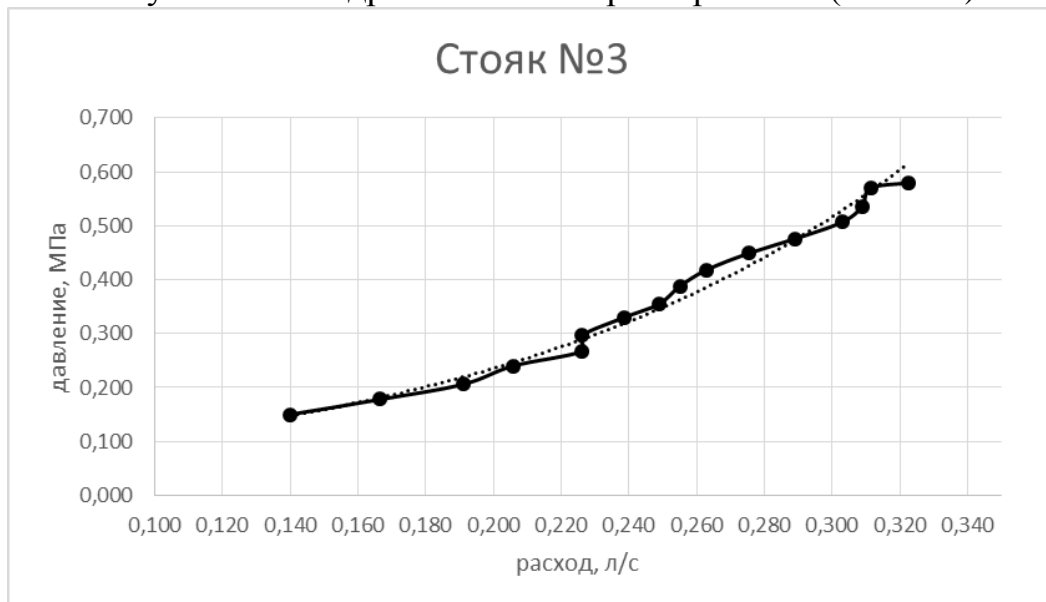


Рисунок 40 – Гидравлическая характеристика (Стояк 3)

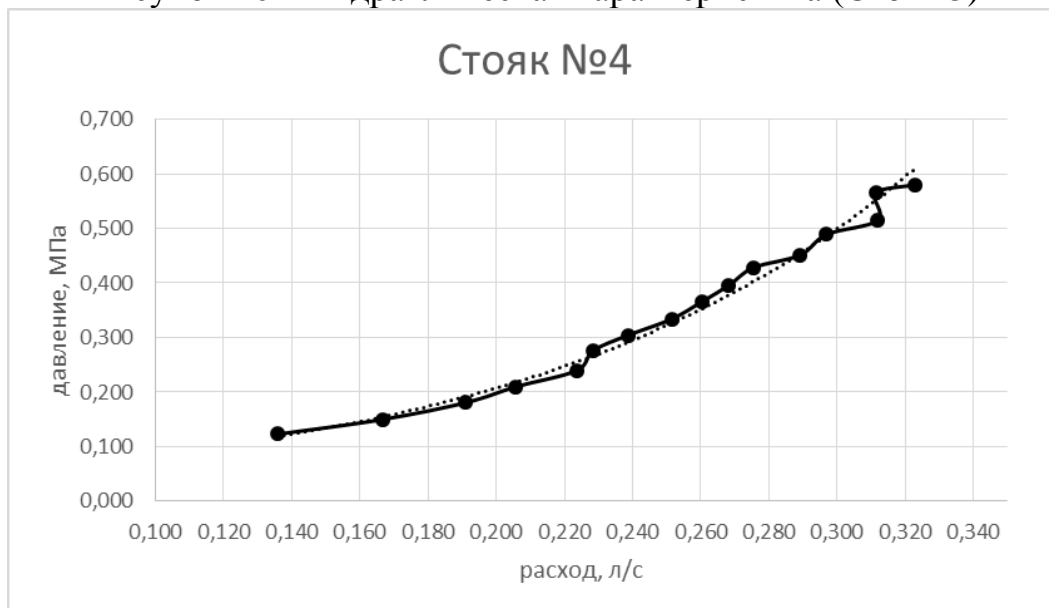


Рисунок 41 – Гидравлическая характеристика (Стояк 4)

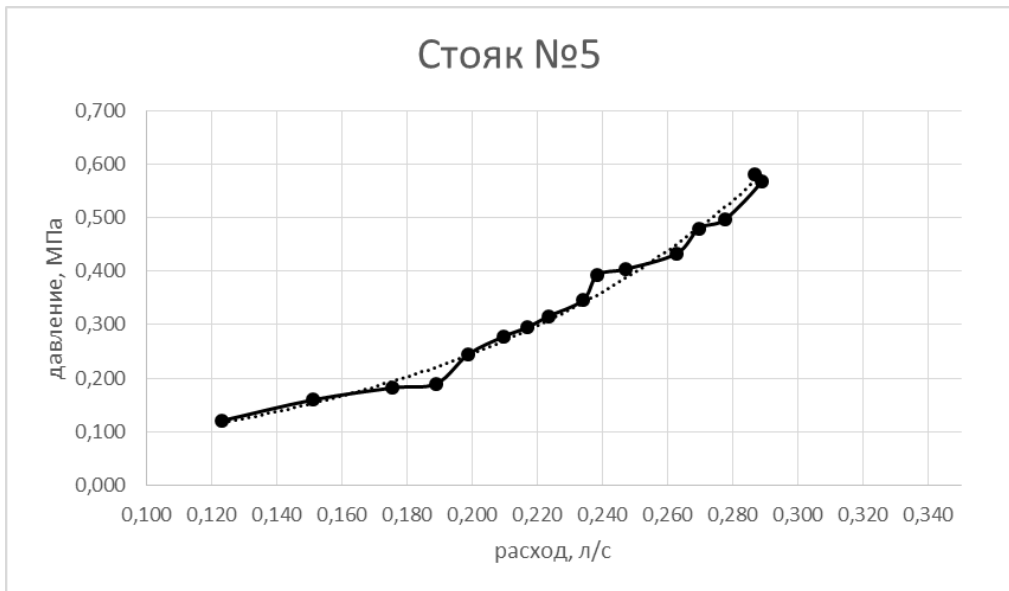


Рисунок 42 – Гидравлическая характеристика (Стояк 5)

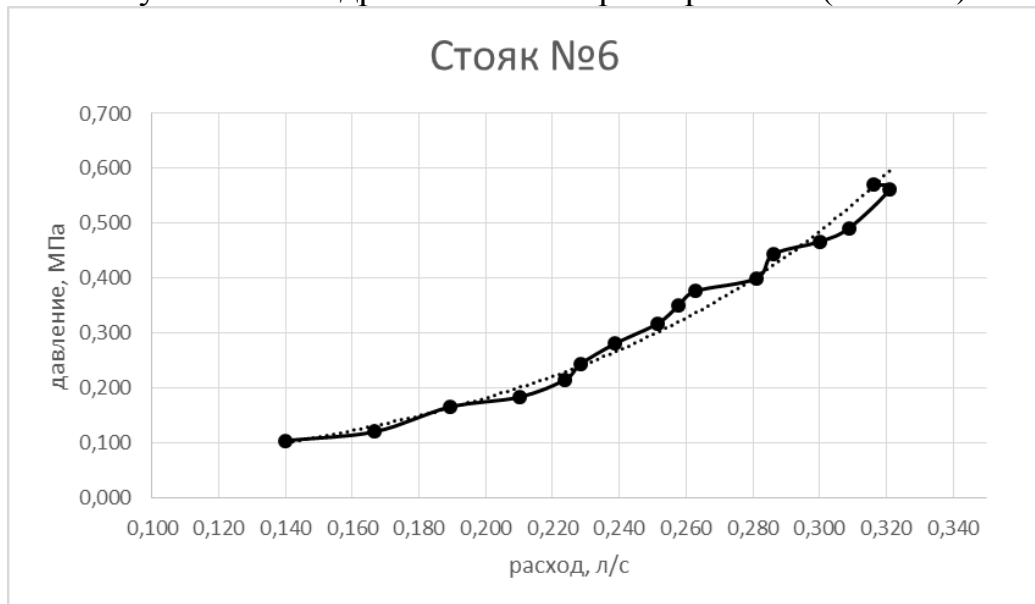


Рисунок 43 – Гидравлическая характеристика (Стояк 6)

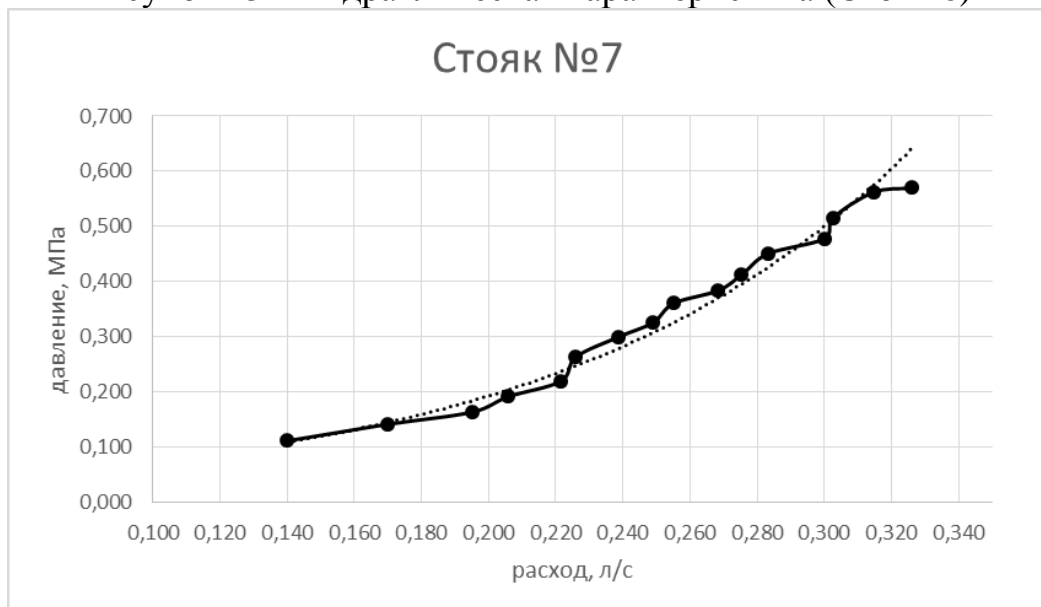


Рисунок 44 – Гидравлическая характеристика (Стояк 7)

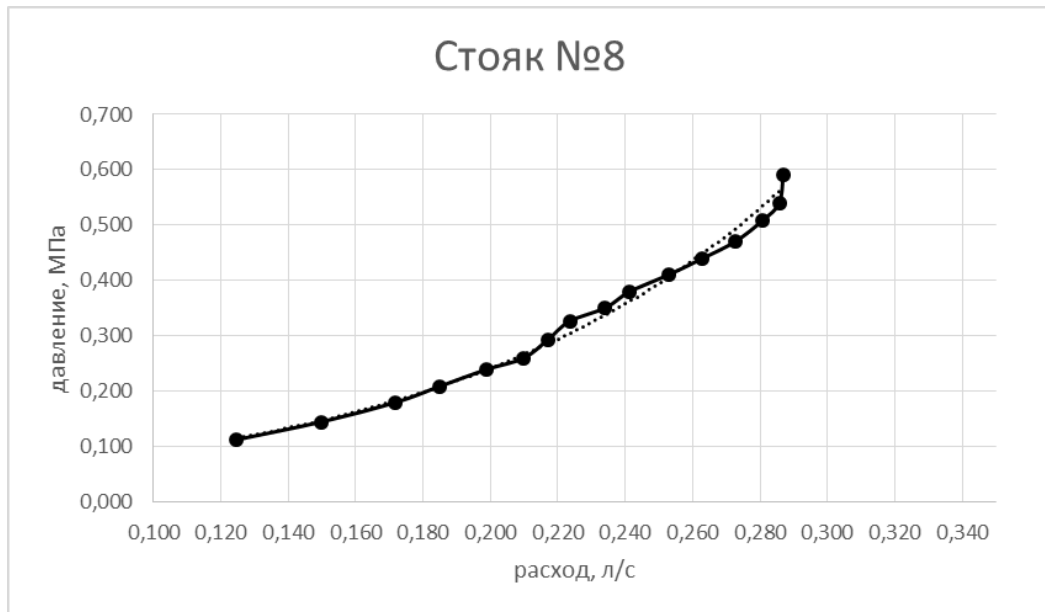


Рисунок 45 – Гидравлическая характеристика (Стояк 8)

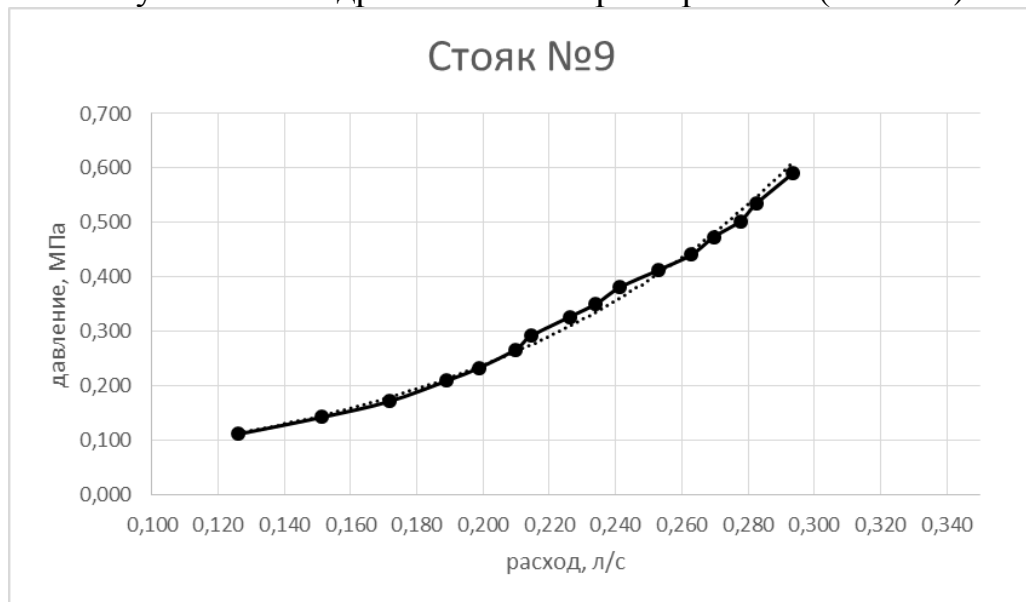


Рисунок 46 – Гидравлическая характеристика (Стояк 9)

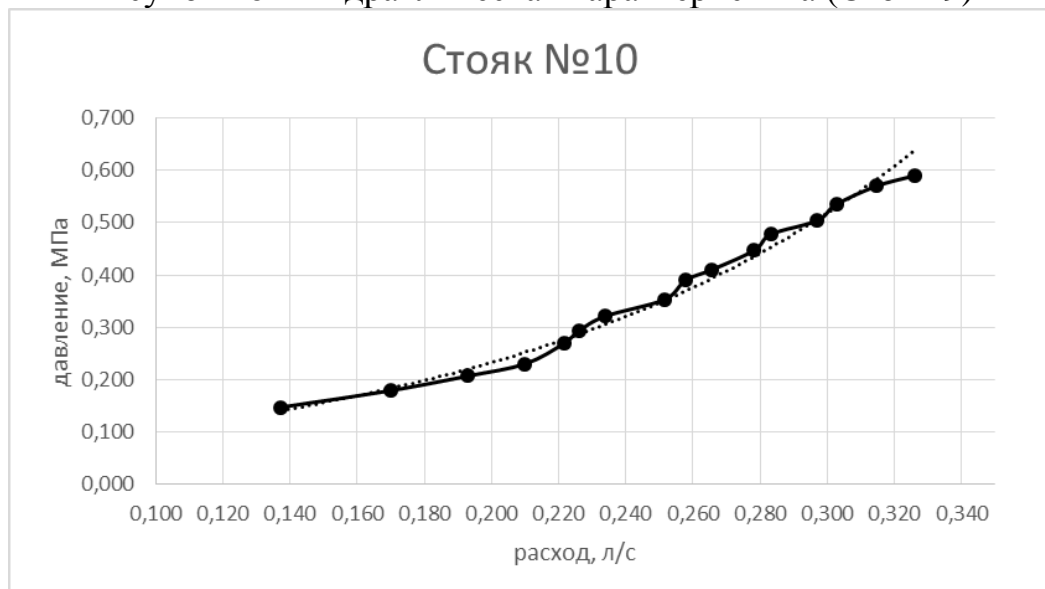


Рисунок 47 – Гидравлическая характеристика (Стояк 10)

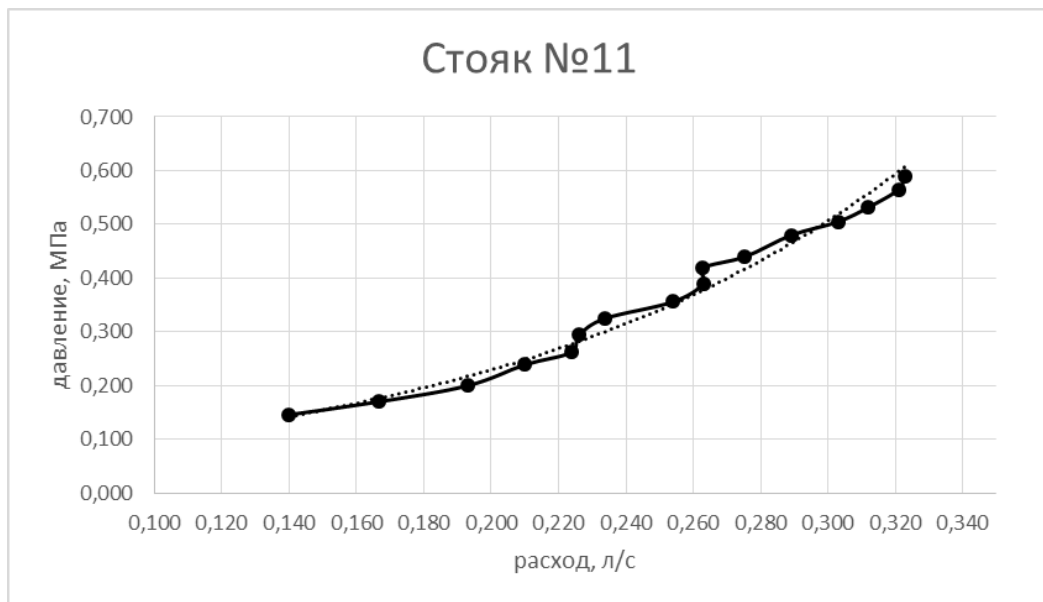


Рисунок 48 – Гидравлическая характеристика (Стаяк 11)

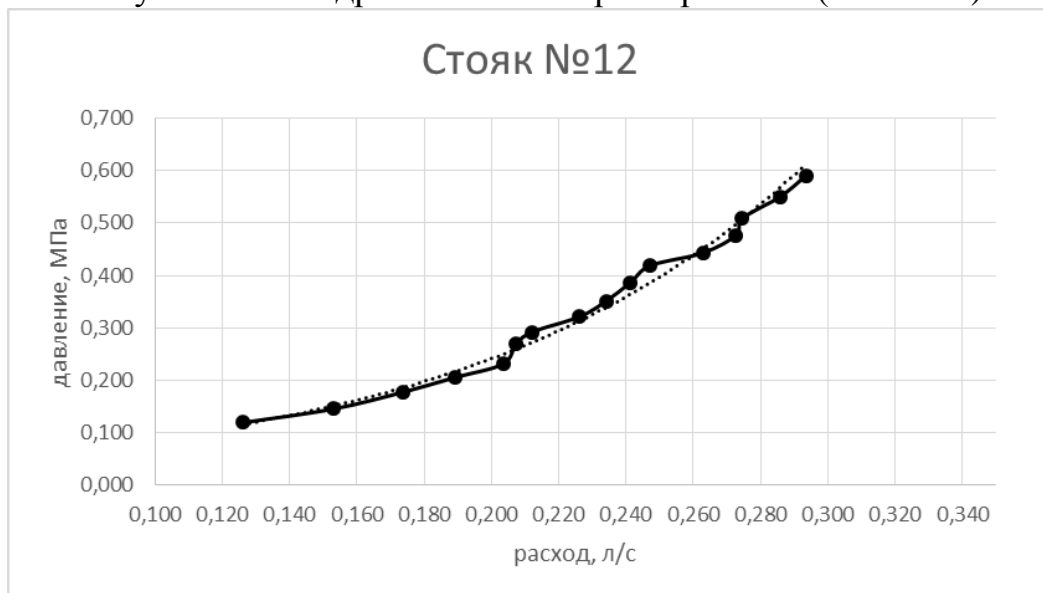


Рисунок 49 – Гидравлическая характеристика (Стаяк 12)

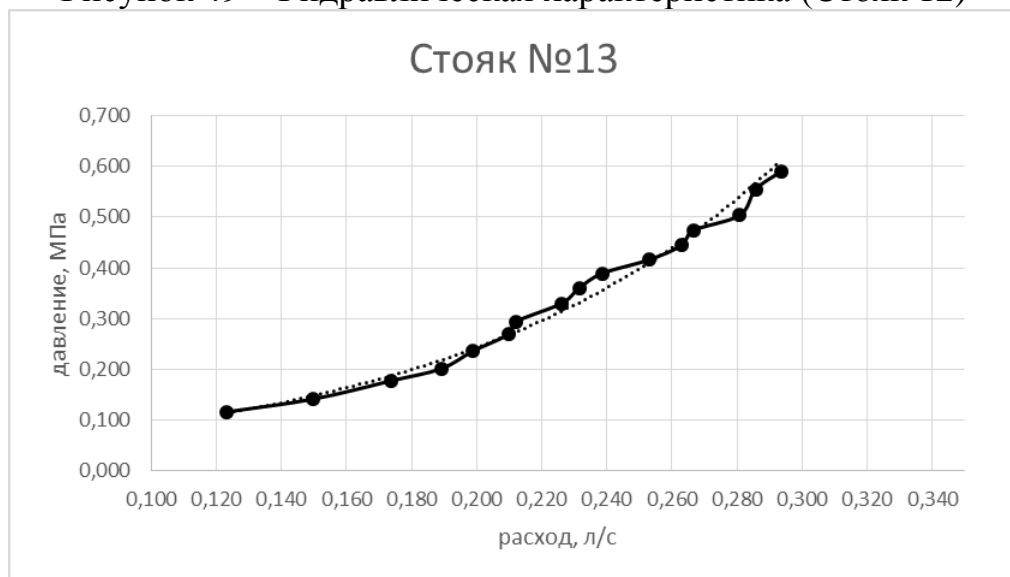


Рисунок 50 – Гидравлическая характеристика (Стаяк 13)

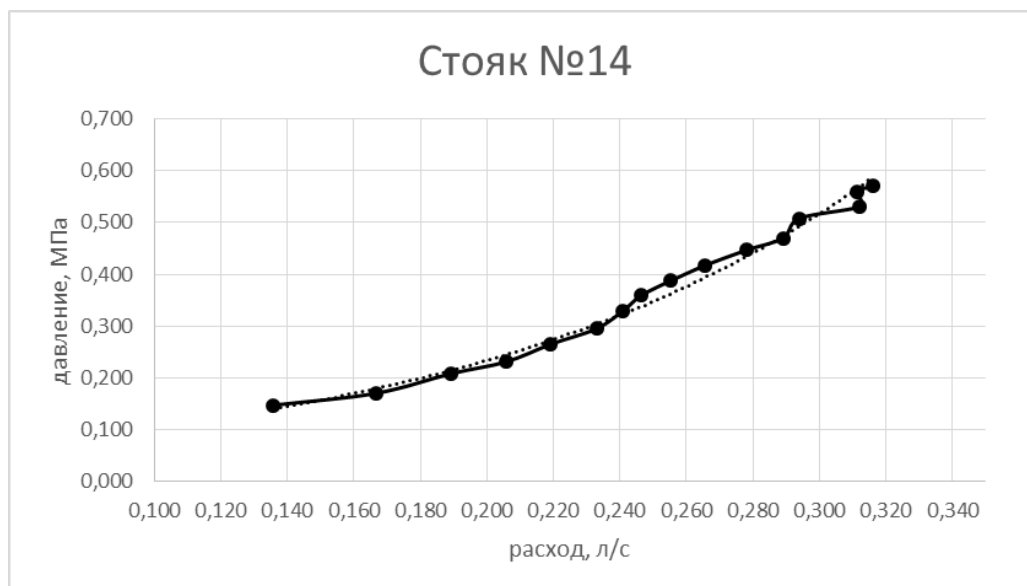


Рисунок 51 – Гидравлическая характеристика (Стояк 14)

По графикам для стояков № 2, 5 (кухня) видно значительное колебание давления по этажам, что свидетельствует о значительном зарастании. Для стояков № 8, 9 (кухня), которые были частично заменены силами жильцов, графики более сглажены. Также заметно, что стояки обслуживающие санитарные узлы или с/у и кухни (Стояки № 3, 4) менее подвержены зарастанию в силу большего диаметра и расхода. Графики гидравлической характеристики дают возможность определить наиболее проблемные стояки и участки на них.

Сравнение распределении давления по этажам и гидравлической характеристики для стояков № 2, 5 (без ремонта) представленные на рисунках 52, 53.

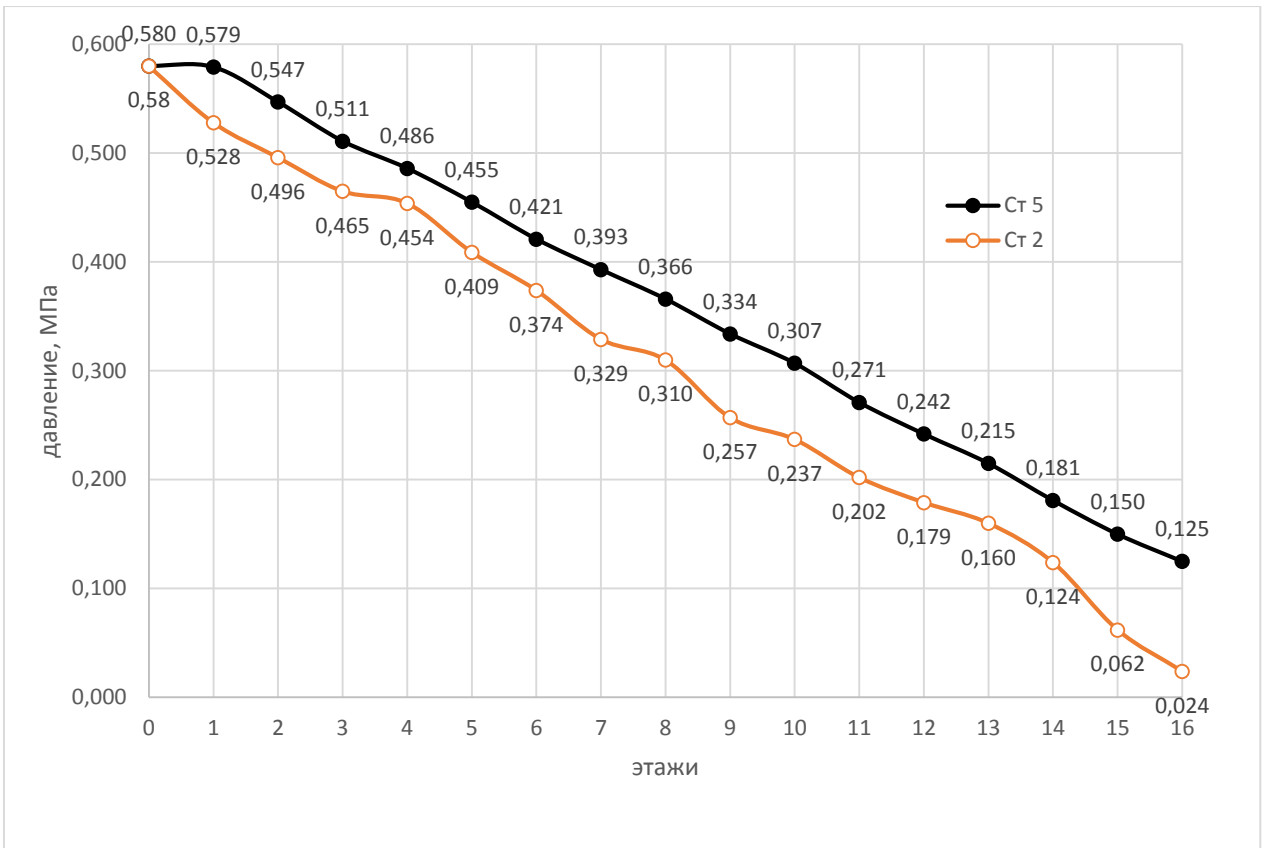


Рисунок 52 – Сравнение распределении давления по этажам для стояков № 2,

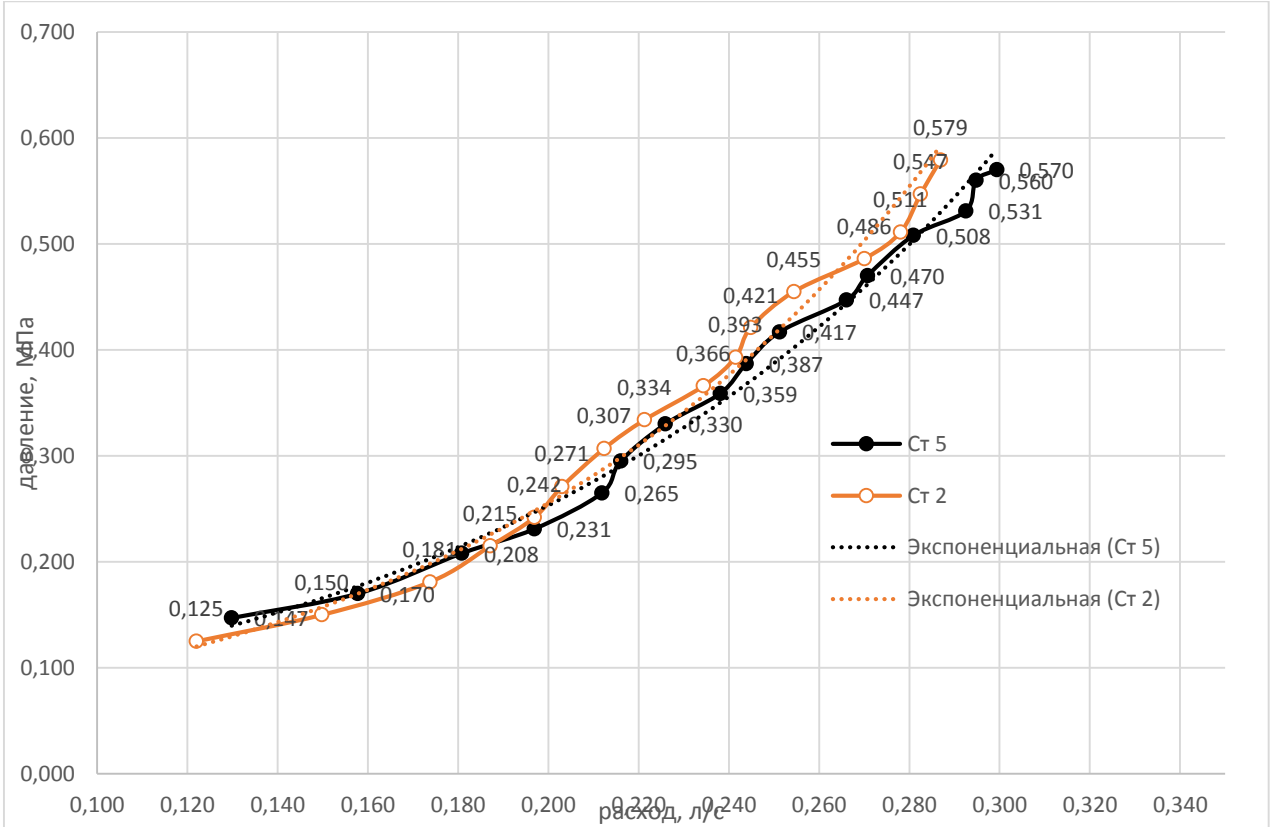


Рисунок 53 – Сравнение гидравлической характеристики для стояков № 2, 5

Выводы по 2 главе:

В результате эксперимента апробирован метод поиска участков трубопровода с наибольшей степенью зарастания по изменению гидравлической характеристики на участках. Установлено, что распределение давления по стоякам и этажам удовлетворяет требованиям [9], следовательно, увеличения производительности насосной станции не требуется. Проблема с недостатком воды у потребителей связана со значительным уменьшением пропускной способности старых труб. Это хорошо видно по гидравлическим характеристикам стояков № 2, 5 (без ремонта) и № 8, 9 (с частичной заменой участков). Частичный ремонт стояков практически подтверждает необходимость проведения капитального ремонта системы водоснабжения.

Проведённая математическая проверка и обработка результатов эксперимента позволяют подтвердить достоверность опытных данных и применять данный метод оценки состояния труб для решения подобных задач на других жилых домах. Предложенный метод позволяет обойтись без дорогостоящего и неудобного для жильцов разрушающего контроля, с последующими сварочными работами.

Глава 3 Разработка методики проведения обследования

«В настоящее время существует несколько методик неразрушающего контроля, применяемые в различных областях промышленности. В сфере ЖКХ используются методики обследования состояния инженерных систем, как составная часть общей методики» [2].

«Обследование – эмпирический способ получения недостающей информации об определенном объекте, осуществляемый путем его визуального осмотра, взятия образцов, из которой состоит объект, измерения различных параметров, фиксации состояния его и составных частей и т. д.

Таким образом, можно сформулировать подзадачи, направленные на решение основной задачи по разработке методики обследования:

- 1) провести анализ, действующей нормативно-технической документации и область применения методики;
- 2) определить цели и методы обследования;
- 3) определить метрологические требования к приборам и средствам измерения;
- 4) определить порядок и последовательность проведения обследования;
- 5) разработать правила оформления результатов обследования» [2].

3.1 Анализ, действующей нормативно-технической документации

«Документы как источник первичной информации используются многими методами. В конечном счете работа в большей части основана на извлечении нужной информации из первичных документов. Основным содержанием этого метода является сбор письменных и графических материалов об изучаемом явлении и их анализ посредством специально разработанных методических приемов. Особое место в этой группе принадлежит контент-анализу. Контентный анализ — формализованный метод анализа информации.

Основывается на выделении определенных её характеристик (смысловых единиц, количества мест, выделяемых под тот или иной материал, и т. д.) в соответствии с целями исследования и принятой концепцией» [9].

«В соответствии с приказом Минстроя России от 05.08.2014 № 437, должно проводиться техническое обследование объектов системы водоснабжения и водоотведения. Процедура должна осуществляться не реже 1 раза в 5 лет, а также в случае разработки осуществляющей водоснабжение и (или) водоотведение организацией: по приведению качества питьевой воды в соответствие с установленными требованиями.

Целями обследования, согласно упомянутому приказу, являются:

- определение фактических значений показателей надежности, качества, энергетической эффективности объектов;
- получение (подготовка) исходных данных для разработки схем водоснабжения и водоотведения, планов мероприятий по приведению качества питьевой воды в соответствие с установленными требованиями, а также для определения расходов, необходимых для эксплуатации объектов;
- обеспечение принятия эффективных управленческих решений органами государственной власти, органами местного самоуправления и организациями, осуществляющими водоснабжение, и водоотведение» [3].

«Проведение работы поверхностно, ограничиваясь перечислением имеющихся объектов и части их характеристик, без должного анализа не позволяет получить данные, достаточные для решения обозначенных задач. Процедура технологического обследования требует индивидуального подхода к разработке основных требований и методик проведения технологического обследования в каждом конкретном случае, привлечения специалистов-технологов по водоснабжению и водоотведению, специалистов в области эксплуатации оборудования и строительства» [3].

3.2 Методы обследования

«Основной целью обследования является получение адекватной информации о техническом и технологическом состоянии системы водоснабжения и водоотведения и необходимых мероприятиях по ее совершенствованию. В частности, необходимо определить срок службы объектов обследования, их износ, технологическую и энергетическую эффективность, возможный срок дальнейшей службы и целесообразность дальнейшего использования в условиях сложившейся технологии и состояния оборудования» [9].

«В результате необходимо сделать вывод о мероприятиях, необходимых для дальнейшей эксплуатации объектов. Здесь возможны следующие варианты:

- проведение текущего и планово-предупредительного ремонта;
- восстановление с проведением капитального ремонта и заменой оборудования;
- проектирование и строительство новых объектов.

При решении о проведении капитального ремонта или проектирования и строительства новых объектов решающую роль играют технологические и энергетические показатели работы» [11].

3.3 Область применения

Предлагаемая методика на основании [3] «регулирует отношения по содержанию общего имущества, принадлежащего на праве общей долевой собственности собственникам помещений в многоквартирном доме. В состав общего имущества включаются следующие элементы системы холодного водоснабжения и помещения с расположенным в них оборудованием:

- технические подвалы, в которых имеются инженерные коммуникации и оборудование, обслуживающее более одного жилого или нежилого помещения в многоквартирном доме;

– санитарно-техническое и иное оборудование, находящееся в многоквартирном доме за пределами или внутри помещений и обслуживающее более одного помещения (квартиры);

– внутридомовые инженерные системы холодного водоснабжения, состоящие из стояков, ответвлений от стояков до первого отключающего устройства, расположенного на ответвлениях от стояков, отключающих устройств, коллективных (общедомовых) приборов учета холодной воды, первых запорно-регулирующих кранов на отводах внутриквартирной разводки от стояков, а также механического, электрического, санитарно-технического и иного оборудования, расположенного на этих сетях» [3].

3.4 Метрологические требования к приборам и средствам измерения

«Для проведения замеров необходимых физических величин: давления, расхода, времени, объёма, линейных размеров, допускаются поверенные или аттестованные средства измерений согласно перечня средств измерений для проведения испытаний (таблица 1). Допускается использование аналогичных средств измерений, расширяющих номенклатуру измеряемых параметров и упрощающих процесс измерения, при соблюдении требований» [10, 13].

«Все измерения должны выполняться по аттестованным методикам измерений в соответствии со статьей 5 ФЗ "Об обеспечении единства измерений" от 26.06.2008 № 102 и ГОСТ Р ИСО 5725-1. Методики прямых измерений изложены в технической документации на средства измерений» [10].

«Применяемые средства измерений должны иметь свидетельства об утверждении типа средств и документы, подтверждающие проведение их поверки (калибровки) с установленной периодичностью.

Перед выполнением измерений необходимо:

– составить график выполнения измерений;

- ознакомиться с исполнительной документацией, проверить готовность системы к проведению измерений;
- определить места измерений, а также виды, количество и последовательность их выполнения;
- определить места измерительных точек;
- на основании исполнительной документации сделать расчеты измеряемых величин в выбранных измерительных точках;
- подготовить приборы к измерениям в соответствии с техническим описанием каждого прибора;
- подготовить вспомогательные инструменты, оборудование, рабочие места;
- обеспечить необходимые режимы работы систем» [6].

Таблица 8 – Перечень средств измерений для проведения обследования

Наименование определяемых (измеряемых) характеристик (параметров) продукции	Наименование СИ, тип (марка)	Метрологические характеристики СИ	
		Диапазон измерений	Класс точности (разряд), погрешность
Измерение давления воды	ТМ-310 Р.00	0-1,6 МПа	Класс точности 1
Измерение давления воды	ТМ-310 Р.00	0-1,0 МПа	Класс точности 1
Измерение давления воды	ТМ-310 Р.00	0-0,4 МПа	Класс точности 1
Расход воды	Расходомер-счетчик SITRANS FM	(0,01 - 0,25) л/с	Расходомер-счетчик электромагнитный SITRANS FM
Измерение линейных размеров	Рулетка метал. Р10УЗК	от 0 до 3000 мм	Класс точности 2
Измерение линейных размеров	Штангенциркуль ШЦ-I-300-0,05	от 0 до 300 мм	Класс точности 1
Измерение линейных размеров	ТЕТРОН-УТ225 Толщиномер ультразвуковой	от 0,01 до 225 мм	Класс точности 0,5

3.5 Натурное обследование

«Это важнейшая часть работы для обоснования степени (процента) износа и целесообразности дальнейшего ремонта. В ходе данного вида работ очень важно не только провести натурное обследование объектов, где это физически возможно, но собрать достаточный подтверждающий материал (в том числе фотоматериал) для обоснования реальной степени износа. Следует подробно охарактеризовать состояние технологического оборудования, запорно-регулирующей арматуры, трубопроводов, водоразборных приборов, которые доступны для визуального обследования» [9].

«При проведении обследований встречаются случаи, когда указанные величины износа и возможное время дальнейшей эксплуатации, предоставляемые эксплуатирующей организацией, ничем не обоснованы. Более того, для сооружений, построенных в одно и то же время на одной площадке, указываются кратно различающиеся величины процента износа.

Осмотры общего имущества в зависимости от способа управления многоквартирным домом проводятся собственниками помещений, лицами, привлекаемыми собственниками помещений на основании договора для проведения строительно-технической экспертизы, управляющей организацией. Результаты осмотра общего имущества оформляются актом осмотра, который является основанием для принятия собственниками помещений или ответственными лицами решения о соответствии или несоответствии проверяемого общего имущества нормативным требованиям, требованиям обеспечения безопасности граждан, а также о мероприятиях, необходимых для устранения выявленных дефектов. При достижении предельно критических характеристик надежности и безопасности устанавливается собственниками помещений или ответственными лицами с отражением этого факта в акте осмотра» [11].

3.6 Порядок проведения обследования

Обследование технического состояния системы водоснабжения проводится в 3 этапа:

- 1) подготовка к проведению обследования;
- 2) предварительное (визуальное) обследование;
- 3) инструментальное обследование.

Подготовительные работы:

Подготовительные работы проводят с целью: ознакомления с объектом обследования, его объемно-планировочным и конструктивным решением, материалами инженерными изысканий; сбора и анализа проектно-технической документации; составления программы работ с учетом согласованного технического задания.

Порядок проведения обследования:

1) Внешний осмотр состояния ввода трубопроводов холодного водоснабжения. Проверка соответствия диаметра ввода проекту. Наличие герметизации ввода, окраски, наличие механических или коррозионных повреждений, заплат, хомутов, отсутствие несанкционированных врезок до водомерного узла.

2) Осмотр водомерного узла, состояния установленного оборудования (запорной арматуры, средств КИП). Проверка наличия опломбированных элементов. Проверка на соответствие проекту.

3) Внешний осмотр магистралей, проложенных в подвале. Состояние запорной арматуры стояков, средств крепежа.

4) Измерение давление на вводе. Возможно использовать установленные на водомерном узле манометры при наличии свидетельств о поверке и классе точности не менее 2,5. В противном случае использовать манометры с диапазоном 0-1,6 МПа из комплекта (таблица 9).

5) Измерение давления на ответвлениях к стоякам. В качестве точки подключения возможно использовать дренажные патрубки $\frac{1}{2}$ ' при использовании переходника $\frac{1}{2}$ ' \times 20 мм. Схема приведена на рисунке 28.

6) Результаты внешнего осмотра, с фиксацией обнаруженных дефектов заносится в таблицу 9. возможно использовать фотоматериалы, ссылки на проектную документацию.

7) Результаты измерения давления, на трубопроводах, принадлежащих к общему имуществу заносятся в таблицу 10.

8) Не менее, чем за три дня извещаются о проведении поквартирного обследования жильцы и заинтересованные лица.

9) Составляется график осмотра и проведения измерений по квартирам. При отсутствии более 50% результатов замеров по стояку необходимо провести повторные замеры в другое время. Доля полученных результатов должна быть не менее 70%.

10) Внешний осмотр стояков и водоразборного оборудования производится непосредственно у потребителя. В случае, если элементы водопровода закрыты коробами, представители инспектирующей организации могут потребовать демонтировать короба.

11) Сопоставление результатов осмотра (следы протечек, повреждений элементов водопровода, ремонтов, сварочных работ) и архива аварийных ситуаций. Результаты внешнего осмотра с фиксацией обнаруженных дефектов заносится в таблицу 9.

12) Измерение расхода допускается проводить одним из методов либо их комбинацией, в случае если возникают сомнения о достоверности результатов:

– использование накладного ультразвукового расходомера (возможно снимать мгновенный расход). Установка прибора и измерения расхода выполняются по инструкции к прибору;

– использование установленного в квартире расходомера (определение расхода, разница показаний G_n и G_k за определённое время t);

– использование объёмного метода (определение времени заполнения мерной колбы).

Результаты измерения расхода заносятся в таблицу 10.

1) Измерение давления на внутренней водопроводной разводке. Измерения проводят после вводной арматуры, водоразборные приборы должны быть закрыты. К резьбовому соединению на внутриквартирном водопроводе подключают измерительный комплект, аналогичный показанному на рисунке 54, для удобства работы возможно использование гибкого шланга длиной до 1 м. Для повышения точности измерений необходимо провести не менее трёх сбросов давления путём открытия водоразборного крана.

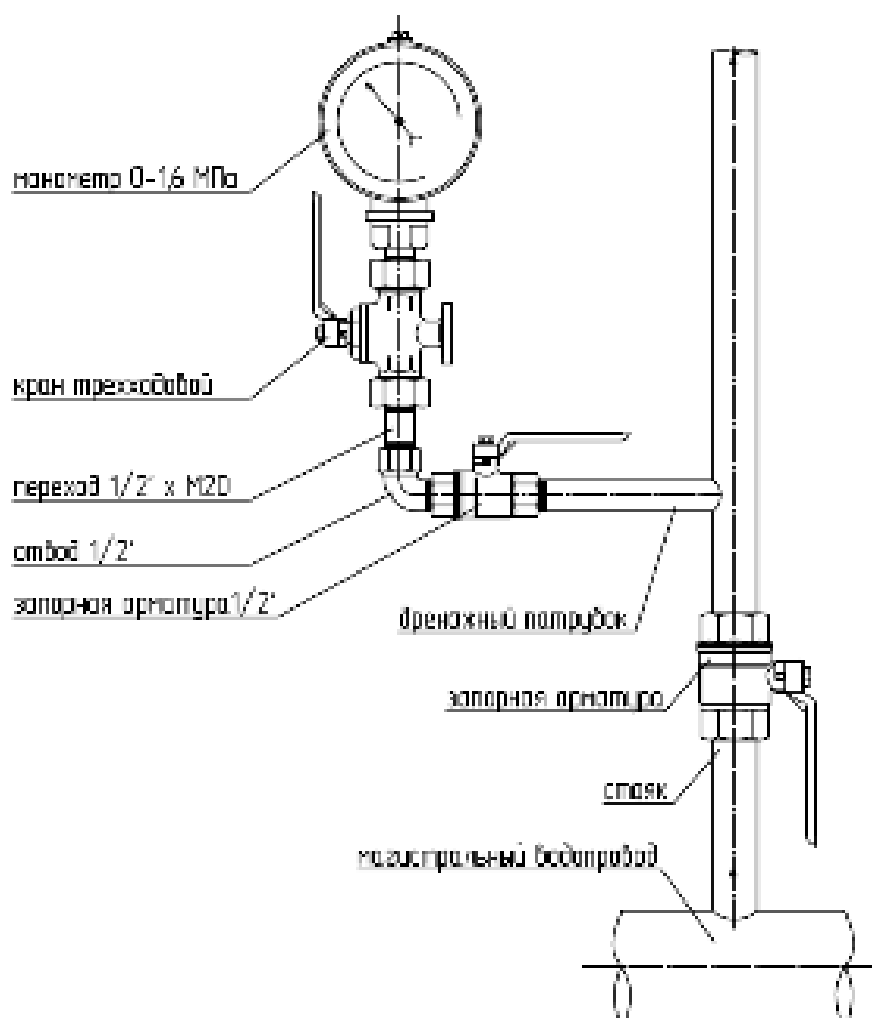


Рисунок 54 – Подключение манометра к дренажному патрубку стояка

Результаты измерения давления заносятся в таблицу 10.

2) Составляется акт обследования по установленной форме.

Камеральные работы:

1) Обработка результатов внешнего осмотра. Проверка соответствия проектной и эксплуатационной документации. Принятие решения о проведении инструментального обследования.

2) Обработка результатов измерений из таблицы 3. В случае отсутствия данных по некоторым участкам допускается применять интерполяцию. Статистический анализ, расчёт погрешностей выполняется при необходимости согласно действующим нормативным документам [3]

3) Построение гидравлических характеристик по стоякам. При необходимости можно построить эпюру распределения давления по стоякам, этажам.

4) Принятие решений и разработка технических мероприятий по устранению выявленных проблем.

Дополнительные работы:

1) При необходимости отбор образцов (разрушающий контроль). В случае получения спорных, недостоверных результатов в процессе инструментального обследования допускается проводить разрушающий контроль состояния трубопроводов. Для этого необходимо:

- отключить стояк и слить воду в дренаж;
- произвести поперечный распил трубы;
- произвести осмотр и замеры внутренних повреждений трубы;
- при необходимости вырезать образец трубы длиной не менее 10

условных диаметров.

- восстановить трубопровод посредством газовой сварки.

2) Расчёт технико-экономических показателей. Обоснование вида ремонтных работ (кап. ремонт, реконструкция)

3) Подготовка разрешительной документации, взаимодействие с собственниками.

Ниже приведены примеры заполнения таблиц 9 и 10.

Таблица 9 – Сведения об обнаруженных дефектах

№	Наименование дефекта	Расположение	Замечания, рекомендации по устранению	Примечание
1	Повреждение красочного слоя длиной 0,5 м	Участок магистрали между Ст 1 и Ст 2,	Зачистить и восстановить красочный слой	Фото 1
2	Переврезка стояка	Ст 3	Несоответствие проекту	Фото 2

Таблица 10 – Результаты измерений физических величин

№	Наименование определяемых (измеряемых) параметров	Место замера	Кол-во замеров	Прибор, №, диапазон	Ед. изм.	Измеренные значения	Средн. Значение
1	Измерение давления	Кв.16 с/у	3	Манометр №20 0–1,0 МПа	МПа	0,52 0,52 0,51	0,52
2	Измерение расхода	Кв.16 с/у	1	УЗ № 628 расходомер (0,05 - 0,25) л/с	л/с	0,2	0,2
3	Измерение времени	Кв.16 с/у	3	Электронный секундомер №452 от 0,01с	с	5 5 5,1	5
4	Измерение объёма	Кв.16 с/у	3	Колба 0-1 л	л	1 1 1	1

3.7 Оформление результатов обследования

Оформления результатов обследования выполняются в соответствии с действующей нормативно-правовой базой. В качестве отчётного документа, на разных этапах работы составляются необходимые документы. Ориентировочный состав работ и отчётный документ в виде схемы представлен на рисунке 55.

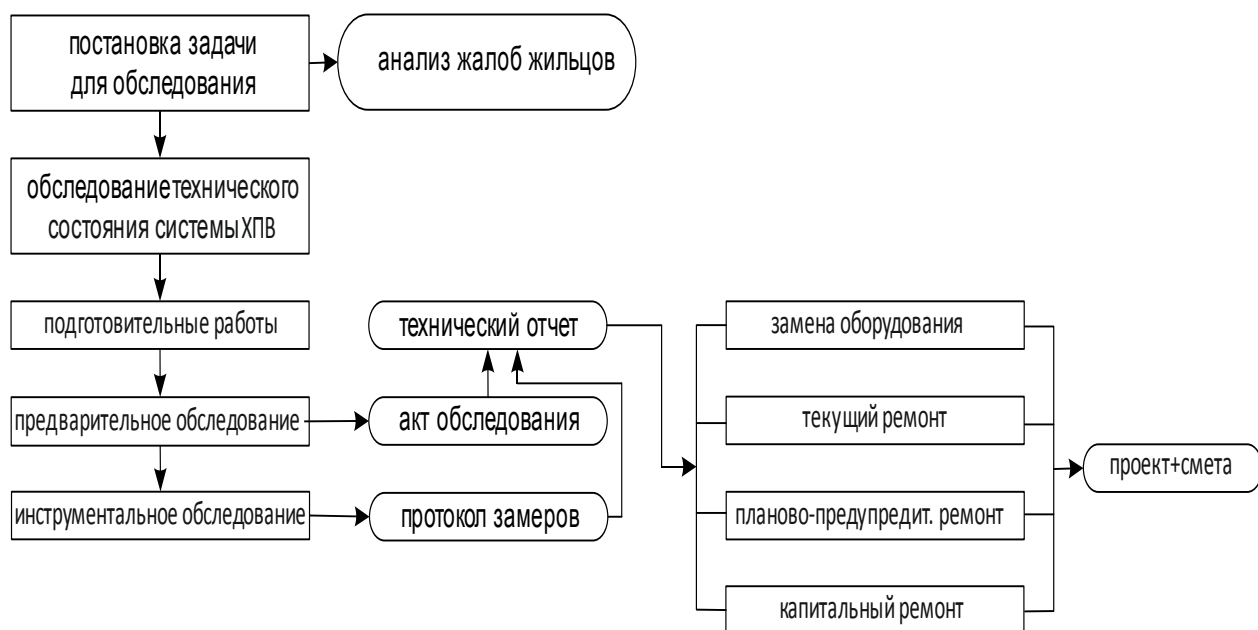


Рисунок 55 – Схема проведения обследования системы ХПВ жилого дома.

На схеме в прямоугольных рамках обозначены действия, в рамках со скруглёнными краями – документы, которые являются результатом действия. На заключительном этапе формируется техническое задание для проектирования предстоящих работ и составление локальной сметы. По результатам технического отчёты принимается решение о выполнении определённого типа ремонта, исходя из степени повреждений трубопроводов, финансовых возможностей, наличия прочих ресурсов.

3.8 Требования безопасности

Общее имущество многоквартирного дома необходимо содержать в соответствии с требованиями действующего законодательства РФ и обеспечивать надежность, безопасность для жизни и здоровья граждан, сохранность имущества, соблюдение проектных характеристик на протяжении нормативного срока эксплуатации.

Окончательно вывод об износе и возможности дальнейшей эксплуатации с ремонтом следует делать на основании совместного анализа данных, полученных в ходе работы с документацией, визуального и

инструментального обследования с привлечением специалистов других профилей.

При возникновении сомнений в возможности дальнейшей эксплуатации и определении процента износа, рекомендуется включать такие сооружения в программу дополнительного обследования.

В ходе обследования важно обращать внимание на отклонения от проектов и нарушения, которые часто возникают в ходе ремонтов оборудования и сооружений.

3.9 Верификация результатов исследования

Проверка (верификация) результатов исследования осуществляется по нескольким направлениям [7]:

1. Прямым, сводящимся к получению самим исследователем того же результата, но с использованием другого метода; важен при разработке прогнозной модели исследуемого объекта и совпадение при этом результатов прогноза и фактического состояния объекта в определенный перспективный момент времени;

Например, прогнозирование коррозионного повреждения и зарастания трубопроводов в перспективе на 5, 10, 15, 20 лет.

2. Механизмами самого исследовательского метода: ряд статистических методов исследования обладает внутренними, встроенными в алгоритм метода механизмами количественной (цифровой) верификации результатов проведенного исследования; к таким можно отнести: вычисление и сравнение с табличными значениями коэффициентов корреляции детерминации, коэффициента Стьюдента (метод корреляционно-регрессионного анализа) и т. д. (приведены в главе 2).

Выводы по главе 3:

Квалифицированно выполненное техническое обследование систем водоснабжения – весьма сложная процедура. Её выполнение может позволить, опираясь на опыт выполнения подобных работ, дать возможность повысить качество и надежность работы с помощью относительно небольших затрат и выработать технологически и экономически оптимальную стратегию проведения ремонтов и дальнейшего развития системы водоснабжения на современном уровне развития материалов, техники, технологических решений.

Показатели технико-экономического состояния систем холодного водоснабжения являются основой для определения фактических значений показателей надежности, качества и энергетической эффективности. Подготовки проекта плановых показателей надежности, качества и энергетической эффективности.

Рекомендации

По результатам технического обследования должны разработаны рекомендации. Они разделяются на первоочередные (то, что необходимо сделать в ближайшее время для поддержания системы в работоспособном состоянии) и на перспективные (рекомендации по развитию системы).

Содержание рекомендаций первого типа, как правило, хорошо известно специалистам эксплуатирующих организаций и без проведения технического обследования. Это такие работы, как текущий и планово-предупредительный ремонт водопровода, замена неработоспособного оборудования, установка резервного оборудования, там, где оно отсутствует, но необходимо для обеспечения надежности (например, повысительная насосная станция) и т. п. В ходе технического обследования наряду с анализом имеющихся программ ремонта и обновления оборудования, следует учитывать данные, полученные в ходе работы, особенно инструментального обследования и последующих расчетов.

Также в рекомендациях важно выделить объекты и оборудование, выход из строя которых приведёт к существенному нарушению технологических процессов (длительный перерыв в подаче воды), в том числе и на противопожарные нужды.

Разработка рекомендаций по развитию системы является более сложной и не всегда очевидной задачей. Основной вопрос заключается в том: восстанавливать существующее или соорудать новое? Так, по опыту ряда объектов, для большей части жилого сектора требуется капитальный ремонт и полная замена трубопроводов холодного водоснабжения.

Общие выводы

1. Установлены основные причины и механизмы возникновения коррозии. Определены наиболее значимые виды коррозии, влияющие на увеличение шероховатости и уменьшение внутреннего диаметра стальных труб. Электрокоррозия, кислородная и биокоррозия наиболее вероятные причины возникновения повышенного гидравлического сопротивления. Определены факторы, ухудшающие гидравлическую характеристику водопроводной сети: увеличение шероховатости, скорости движения воды, уменьшение внутреннего диаметра. Исходя из рассмотренных теоретических сведений и приведённого практического опыта определены предпосылки для проведения экспериментальной проверки этого влияния на примере 16-этажного жилого дома.

2. В результате эксперимента апробирован метод поиска участков трубопровода с наибольшей степенью зарастания по изменению гидравлической характеристики на участках. Установлено, что распределение давления по стоякам и этажам удовлетворяет требованиям [9], следовательно, увеличения производительности насосной станции не требуется. Проблема с недостатком воды у потребителей связана со значительным уменьшением пропускной способности старых труб. Это хорошо видно по гидравлическим характеристикам стояков № 2, 5 (без ремонта) и № 8, 9 (с частичной заменой участков). Частичный ремонт стояков практически подтверждает необходимость проведения капитального ремонта системы водоснабжения.

Проведённая математическая проверка и обработка результатов эксперимента позволяет подтвердить достоверность опытных данных и применять данный метод оценки состояния труб для решения подобных задач на других жилых домах. Предложенный метод позволяет обойтись без дорогостоящего и неудобного для жильцов разрушающего контроля, с последующими сварочными работами.

3. Квалифицированно выполненное техническое обследование систем водоснабжения – весьма сложная процедура. Её выполнение может позволить, опираясь на опыт выполнения подобных работ, дать возможность повысить качество и надежность работы с помощью относительно небольших затрат и выработать технологически и экономически оптимальную стратегию проведения ремонтов и дальнейшего развития системы водоснабжения на современном уровне развития материалов, техники, технологических решений.

Показатели технико-экономического состояния систем холодного водоснабжения являются основой для определения фактических значений показателей надежности, качества и энергетической эффективности. Подготовки проекта плановых показателей надежности, качества и энергетической эффективности.

Заключение

В результате проведённой работы, в том числе и предлагаемой методике, можно дать ответы на основные вопросы, возникающие при нарушениях гидравлического режима в системе холодного водоснабжения.

1. Определить степень зарастания трубопроводов системы ХВС продуктами коррозии, грязи и т.п.

2. Влияет ли зарастание трубопроводов системы ХВС продуктами коррозии, грязи и т.п. на напор и расход воды в точке водоразбора.

3. Требуется ли замена определённых участков или всей существующей системы холодного водоснабжения в многоквартирном жилом доме.

4. Решит ли проблему с напором в точке водозабора, установка повысительных насосов, без замены труб магистралей и стояков.

5. Возможно ли нормализовать напор в точке водоразбора, выполнив работы по частичной замене стояков холодного водоснабжения.

6. К какому виду ремонта относятся работы по замене системы холодного водоснабжения в многоквартирном жилом доме.

Вопросы об источниках финансирования, оформления юридических документов, организации конкурса по выбору поставщиков и монтажников оборудования и материалов, прочие организационные вопросы в настоящей работе не рассматривались.

Список используемых источников

1. Анциферов С.А., Усманова Е.А. Анализ влияния внутренней коррозии на эксплуатацию трубопроводов // Вестник НГИЭИ. 2015. №6 (49). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-vnutrenney-korrozii-na-ekspluatatsiyu-truboprovodov> (дата обращения: 30.01.2019).
2. Анциферов С.А., Филенков В.М. Апробация экспериментального стенда для определения гидравлического сопротивления шероховатой трубы // Вестник НГИЭИ. 2015. №6 (49). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aprobatsiya-eksperimentalnogo-stenda-dlya-opredeleniya-gidravlicheskogo-soprotivleniya-sherohovatoy-truby> (дата обращения: 30.01.2019).
3. Бударин А.В. Метод расчёта движения жидкости. – Одесса: Астропринт, 2006. –124 с.
4. Воловник, Г.И. Реконструкция систем водоснабжения и водоотведения населенных мест: Учеб. пособие / Г.И. Воловник, Л.Д. Терехов. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2003. – 113 с.: ил.
5. ВСН 58-88 (Р) Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2002. – 479 с.
7. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
8. Жилин В. Н., Ильин Д. Н. Очистка воды и защита систем водо и теплоснабжения от коррозии, отложений // Энергобезопасность и энергосбережение. 2009. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ochistka-vody-i-zaschita-sistem-vodoi-teplosnabzheniya-ot-korrozii-otlozheniy> (дата обращения: 04.012.2020).

9. Закон Российской Федерации от 7 февраля 1992 г. № 2300-І «О защите прав потребителей»: оф. текст. // Российская газета от 7 апреля 1992 г.

10. Майны Ш.Б. Защита коммунальных сетей водоснабжения от внутренней коррозии // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. 2021. №1 (74). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zaschita-kommunalnyh-setey-vodosnabzheniya-ot-vnutrenney-korrozii> (дата обращения: 24.03.2021).

11. Макотрина Л.В. Сравнение некоторых разделов системы горячего водоснабжения СНиП 2. 04. 01-85* «Внутренний водопровод и канализация зданий» с новыми нормативными документами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. №5 (10). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-nekotoryh-razdelov-sistemy-goryachego-vodosnabzheniya-snip-2-04-01-85-vnutrenniy-vodoprovod-i-kanalizatsiya-zdaniy-s-novymi> (дата обращения: 27.04.2020).

12. МУК 4.3.2900-11 «Измерение температуры горячей воды систем централизованного горячего водоснабжения». Дата актуализации: 01.01.2019. - М.: Роспотребнадзор, 2011.

13. Н.А.Спирин, В.В.Лавров. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: учебник для вузов / Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. – 257 с.

14. Постановление Правительства РФ от 06.05.2011 N 354 (ред. от 27.03.2018, с изм. от 10.07.2018) «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов»: офиц. текст. // Собрании законодательства Российской Федерации от 30 мая 2011 г. N 22 ст. 3168.

15. Распоряжение Правительства РФ от 2 февраля 2010 г. № 102-р Об утверждении Концепции федеральной целевой программы «Комплексная программа модернизации и реформирования жилищно-коммунального хозяйства на 2010 - 2020 годы».

16. Рафальская Т.А., Мансуров Р.Ш. Оценка влияния температуры воды в системе горячего водоснабжения на температурный режим помещений // Водоснабжение и санитарная техника, 2017. – №4. – С. 42-49. – ISSN 0321-4044. <http://www.vstmag.ru/ru/archives-all/2017/2017-04/6953-ocenka-vlijanija>

17. Романов Н.Р. Низкая надежность, отказы и реконструкция инженерных сетей // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2020. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nizkaya-nadezhnost-otkazy-i-rekonstruktsiya-inzhenernyh-setey> (дата обращения: 18.03.2021).

18. СанПиН 2.1.4.2496-09 "Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Изменение к СанПиН 2.1.4.1074-01" (с изменениями на 2 апреля 2018 года). - М.: ГУП ЦПП, 2010.

19. СП 30.13330.2016 Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85* (с Поправкой). - М.: Госстрой России ГУП ЦПП, 2017.

20. СП 61.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. - М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2013.

21. СП 73.13330.2016 (СНиП 3.05.01-85) Внутренние санитарно-технические системы. - М.: Госстрой России ГУП ЦПП, 2017.

22. Федеральный закон от 21 июля 2007 г. № 185-ФЗ «О Фонде содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства»: офиц. текст. // Собрание законодательства Российской Федерации от 23 июля 2007 г. № 30 ст. 3799.

23. Федеральный закон от 21 июля 2014 г. № 209-ФЗ «О государственной информационной системе жилищно-коммунального хозяйства»: офиц. текст. // Собрание законодательства Российской Федерации от 28 июля 2014 г. № 30 (часть I) ст. 4210.

24. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской

Федерации» (с изменениями и дополнениями): офиц. текст. // Собрание законодательства Российской Федерации от 30 ноября 2009 г. N 48 ст. 5711.

25. Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении»: офиц. текст. // Собрание законодательства Российской Федерации от 2 августа 2010 г. № 31 ст. 4159.

26. Федеральный закон от 7 декабря 2011 г. № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении»: офиц. текст. // Собрание законодательства Российской Федерации от 12 декабря 2011 г. N 50 ст. 7358.

27. Хабибуллина А.Р. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций в системе водоснабжения муниципального образования // Научные междисциплинарные исследования. 2020. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-chrezvychaynyh-situatsiy-v-sisteme-vodosnabzheniya-munitsipalnogo-obrazovaniya> (дата обращения: 14.05.2021).

28. Чапаев Д.Б., Оленников А.А. Расчет скорости внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей из углеродистых сталей. Известия Высших Учебных Заведений. Черная металлургия. 2012; 55(4):33-36. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2012-4-33-36>.

29. Gusmano, G., Labella, P., Montesperelli, G., Privitera, A., and Tassinari, S. (2006) Study of the inhibition mechanism of imidazolines by electrochemical impedance spectroscopy. *Corrosion*, 62, pp. 576-583.

30. Okafor, P.C., Liu, X., and Zheng Y.G. (2009) Corrosion inhibition of mild steel by ethylamino imidazoline derivative in CO₂-saturated solution. *Corro. Sci.*, 51, pp. 761-768.

31. Song, F.M., Kirk, D.W., Graydon, J.W., and Cormack D.E (2004) Predicting carbon dioxide corrosion of bare steel under an aqueous boundary layer. *Corrosion*, 60, pp. 736-743.

32. Villamizar, W., Casales, M., Gonzalez-Rodriguez, J.G., and Martinez, L. (2007) CO₂ corrosion inhibition by hydroxyethyl, aminoethyl, and amidoethyl imidazolines in water–oil mixtures. *J. Solid State Electrochem.*, 11, pp. 619-629.

33. Mertiny, P., Juss, K., and El Ghareeb, M. M. (October 28, 2009). "Evaluation of Glass and Basalt Fiber Reinforcements for Polymer Composite Pressure Piping." ASME. J. Pressure Vessel Technol. December 2009; 131(6): 061407. <https://doi.org/10.1115/1.4000360>

34. Xiuyu, L., Shenhao, C., Houyi, M., Guangzeng, L., and Lixia, S. (2006) Protection of iron corrosion by stearic acid and stearic imidazoline self-assembled monolayers. Applied Surface Science, 253(2)15, pp. 814-820.