

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

УДК 697

(индекс УДК)

На правах
рукописи

Кот Виктор Станиславович

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАДЁЖНОСТИ
ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ Г. ЛИДА С УЧЁТОМ ИХ ВОЗРАСТА
И СТРУКТУРЫ

1-70 80 01 «Строительство зданий и сооружений»

Магистерская диссертация
на соискание степени магистра технических наук

Научный руководитель Пивоварова С.И.,
(консультант) к.т.н., доцент

Допущен к защите _____
Вишнякова Ю.В., к.т.н., доцент

Новополоцк, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ	
ВВЕДЕНИЕ.....	3
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	5
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.....	6
1.1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ....	6
1.2 ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.....	12
1.3 МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ..	16
1.4 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ	18
1.5 ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.....	26
ГЛАВА 2 ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ГОРОДА ЛИДА.....	34
2.1 СТРУКТУРА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ГОРОДА ЛИДА	34
2.2 ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ГОРОДА ЛИДА.....	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	56

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим параметром, определяющим эффективность работы системы теплоснабжения, является ее надежность, под которой понимается способность системы к бесперебойному снабжению потребителей тепловой энергией необходимого количества и качества.

Современные системы теплоснабжения, состоящие из источников энергии, тепловых сетей и потребителей, представляют собой сложные системы, на общую надежность которых влияет надежность каждого составляющего элемента.

Надежность систем теплоснабжения зависит от структуры и уровня резервирования, условий эксплуатации.

Одним из важных элементов и наиболее слабым звеном в системе теплоснабжения являются тепловые сети. Тепловые сети имеют сложную разветвленную структуру и значительную протяженность. Для теплосетей характерны существенные различия в требованиях к надежности теплоснабжения со стороны потребителей разных категорий, неравномерность потребления теплоты, разнообразие технических средств, входящих в состав системы в качестве элементов.

Отказ тепловых сетей ведет к нарушению нормальных условий жизни и работы людей, к сбоям в технологических процессах предприятий.

Состояние тепловых сетей зависит от конкретных условий их эксплуатации. Не всегда полностью амортизированные тепловые сети по сроку эксплуатации находятся в аварийном состоянии. Оценка реального технического состояния теплосетей позволит понять, как будет меняться их надежность в будущем.

подавляющее большинство специалистов придерживаются модели надежности теплосетей, основанной на теории вероятностей. В то же время при проектировании используются эмпирические методы оценки надежности, связанные с опытом эксплуатации систем теплоснабжения.

Анализ надежности работы тепловых сетей в зависимости от срока их эксплуатации является важной технико-экономической задачей, позволяет оценить как надежность тепловых сетей, так и необходимые для эксплуатации материально-технические и трудовые ресурсы.

Вопрос повышения уровня надежности тепловых сетей, посредством прогнозирования возможных повреждений путем анализа данных по повреждаемости за предыдущие годы эксплуатации, является одной из

важнейших и актуальных научно-практических задач развития энергетического комплекса страны.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования: Сбор и анализ статистических данных по отказам теплосетей. Оценка параметров надежности тепловых сетей города Лида с учётом из возраста и структуры.

Для достижения цели исследований были поставлены следующие основные задачи:

– Собран статистический материал по повреждениям трубопроводов тепловых сетей г.Лида за период 2016-2020 г.г.

– Анализ данных по отказам тепловых сетей в зависимости возраста и структуры.

– Расчёт показателей параметра потока отказов для труб всех диаметров, среднего значения вероятности безотказной работы тепловых сетей, среднего значения вероятности отказа тепловых сетей и обоснование необходимых мероприятий по достижению нормативной надежности тепловых сетей.

Объект исследования – тепловые сети города Лида.

Предмет исследования – метод расчёта параметров надежности тепловых сетей.

Положения, выносимые на защиту:

– зависимость параметра потока отказов теплопроводов от срока эксплуатации тепловых сетей;

Структура и объем магистерской диссертации. Диссертации состоит из введения, общей характеристики работы, двух глав основной части, заключения, списка использованной литературы из 10 наименований.

Общий объем диссертации содержит 56 страницы, в том числе 27 рисунков на 20 страницах, 7 таблиц на 8 страницах.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

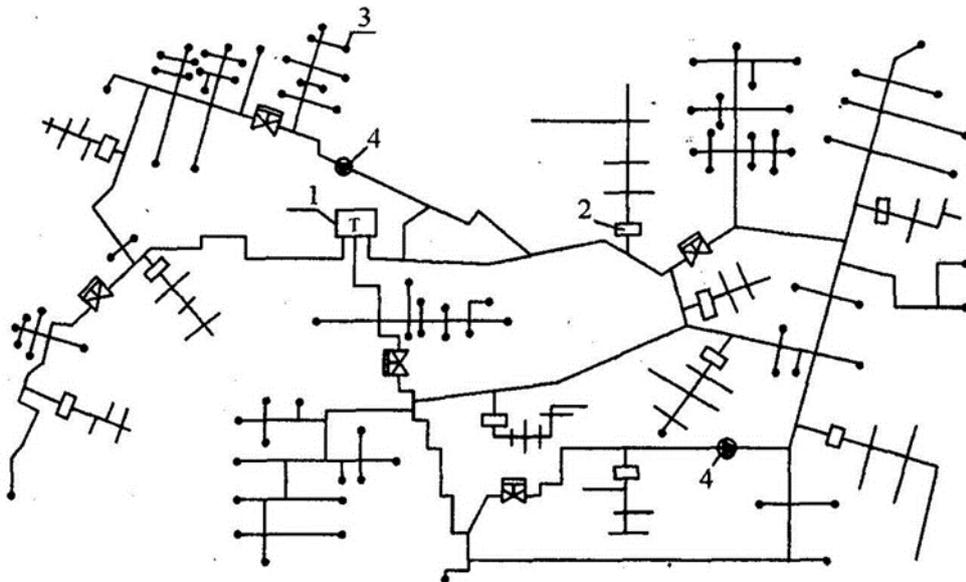
1.1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

«Тепловая сеть – совокупность трубопроводов, устройств и сооружений, предназначенных для транспортирования теплоносителя от источника теплоты до теплового пункта, между тепловыми пунктами или источниками теплоты» [1, с.3].

По своему назначению тепловые сети подразделяются на:

а) «магистральные тепловые сети – тепловые сети (со всеми сопутствующими конструкциями и сооружениями), транспортирующие горячую воду, конденсат водяного пара от выходной запорной арматуры (исключая ее) источника теплоты до первой запорной арматуры на ответвлении к распределительной сети» [1, с.3].

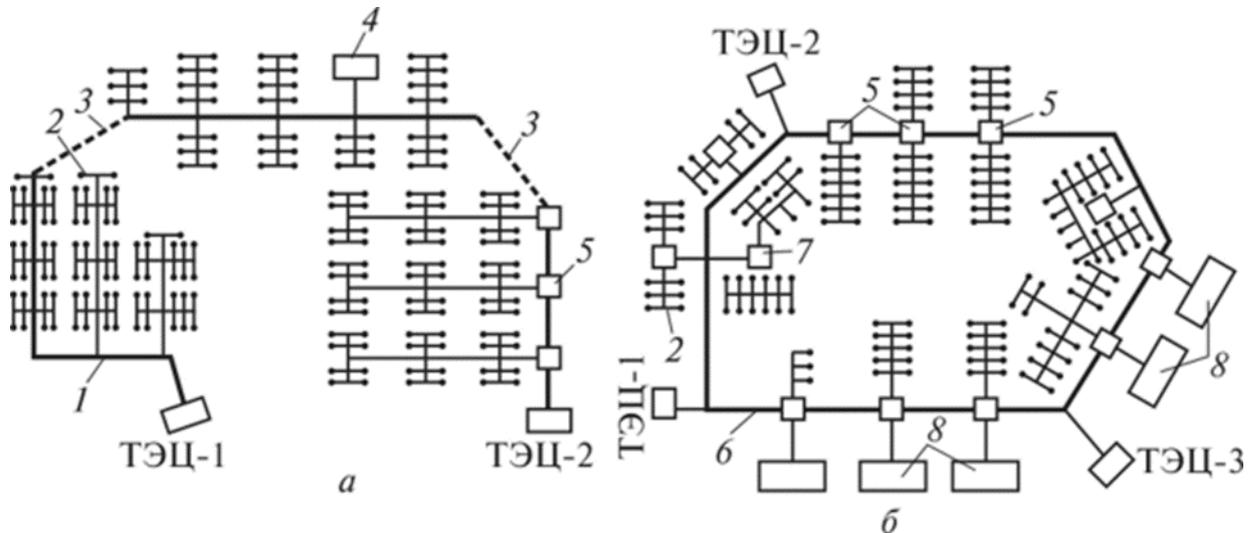
б) «распределительные тепловые сети – тепловые сети от первой запорной арматуры на ответвлении на распределительную сеть до ЦТП (если таковой имеется) или до тепловых пунктов зданий и сооружений» [1, с.3].



1 – теплоэлектроцентраль; 2 – центральный тепловой пункт;
3 – индивидуальный тепловой пункт

Рисунок 1.1 – Структура тепловых сетей от одного теплоисточника

Тепловые сети по своей конфигурации, которая зависит от расположения теплоисточника и потребителей тепловой энергии, подразделяются тупиковые (радиальные), кольцевые и радиально-кольцевые.



- 1 – магистральная теплосеть; 2 – потребители тепловой энергии;
 3 – переемычки; 4 – районные котельные; 5 – теплофикационные камеры с секционирующими задвижками; 6 – закольцевая магистральная теплосеть;
 7 – центральные тепловые пункты; 8 – промышленные предприятия

Рисунок 1.2 – Схемы конфигурации тепловых сетей

Тупиковые тепловые сети (рис. 1.2, а) прокладывают от теплоисточника до конечных потребителей постепенно уменьшая диаметры трубопроводов. Для данной конфигурации теплосетей резервирование не предусмотрено.

В случае, когда для потребителей теплоты не допускается перерыв в теплоснабжении, тогда необходимо предусматривать резервирование подачи тепловой энергии. Для этого на стадии проектирования необходимо предусматривать устройство резервных трубопроводов (переемычек) между районами тепловых сетей, тепломагистралями [1].

В результате применения переемычек в схемах теплосетей, которые соединяют между собой магистрали, образуются кольцевые сети (рис. 1.2, б). Данная конфигурация теплосетей значительно повышает надежность теплоснабжения потребителей в зависимости от их категории.

Тепловые сети по способу прокладки делятся на подземные и надземные (воздушные).

Надземная прокладка тепловых сетей применяются на низких и высоких опорах, на эстакадах. Вышеуказанный способ прокладки тепловых

сетей применяется на территории промышленных предприятий и по территории, не подлежащей застройке.

Надземная прокладка, в сравнении с другим способами прокладки теплосетей, позволяет эксплуатирующей организации постоянно наблюдать за теплопроводами. Данный способ прокладки является более доступным и менее трудоёмким в случае устранения повреждения, на трубопроводах. Теплосети надземной прокладки менее подвержены наружной коррозии из-за отсутствие отрицательного воздействия грунта, грунтовых вод, а также блуждающих токов.

Подземные прокладки подразделяют на канальные и бесканальные.

Для защиты трубопроводов от механических нагрузок, от агрессивного воздействия грунтов и грунтовых вод применяются канальные прокладки.

Канальные прокладки могут осуществляться в проходных, полу проходных и непроходных каналах.

Преимущественное применение среди других видов канальной прокладки получили непроходные каналы. Каналы собираются из унифицированных железобетонных элементов. В непроходных каналах укладывают трубопроводы тепловых сетей, не требующие постоянного надзора.

Бесканальный способ прокладки теплосетей различаются по конструкции тепловой изоляции.

Бесканальная прокладка из ПИ-трубопроводов имеет ряд существенных преимуществ по сравнению традиционной канальной прокладкой. К ним можно отнести такие как упрощение строительства, эксплуатации и ремонта теплосетей из ПИ-труб, увеличение срока службы, снижение тепловых потерь при транспортировке теплоносителя, а также значительное уменьшение капитальных и эксплуатационных затрат.

Кроме того, ПИ-трубопроводы оборудованы системой оперативного дистанционного контроля (ОДК).

Система СОДК позволяет заранее предотвратить утечки и аварии, определить их месторасположение и выявить дефекты трубопроводов из ПИ-труб, такие как намокание слоя теплоизоляции из ППУ, обрыв сигнальных проводников, контакт сигнального провода со стальной трубой, нарушение целостности изоляции соединительного кабеля.

При надземной прокладке ПИ-трубопроводов должны применяться ПИ-трубы в оболочке из металлического стального оцинкованного листа.



Рисунок 1.3 – Прохождение научно-исследовательской практики магистрантом Кот В.С.

В случае монтажа ПИ-труб в непроходных каналах необходимо предусматривать установку скользящих опор.

При изготовлении ПИ-трубопроводов необходимо обеспечить надежное сцепление между всеми её элементами, а именно между наружной поверхностью стальной трубы с изоляцией из жесткого полиуретана, с пролегающими в теле теплоизоляции медными проводами и внутренней поверхностью наружной полиэтиленовой трубы-оболочки для подземной бесканальной прокладки, либо оболочки из металлического стального оцинкованного листа для надземной прокладки.

Таким образом, все элементы трубопроводов в ППУ-изоляции в условиях знакопеременных нагрузжений, обусловленных изменениями температуры теплоносителя перемещаются совместно.

Тепловая сеть представляет собой совокупность трубопроводов, которые соединены между собой единую систему для транспортировки теплоносителя от источника до теплоустановок потребителей теплоты.

Кроме того, в состав тепловых сетей входят теплофикационные камеры, запорная и регулирующей арматуры, дренажные и воздухопускные устройства.

Основными элементами тепловых сетей являются:

- теплопровод, выполненный из стальных труб, которые соединены между собой сваркой, и по которому транспортируется теплоноситель;
- теплоизоляционная конструкция, которая включает в себя теплоизоляционный и покровные слоя, и которая защищает наружную поверхности стального трубопровода от коррозии и от тепловых потерь;
- опорные несущие конструкции, которые воспринимают весовую нагрузку теплопровода и другие усилия, возникающие при его эксплуатации.

Основные требования, которые должны предъявляться к современным тепловым сетям следующие:

- 1) достаточная механическая прочность и герметичность трубопроводов и установленной на них арматуры при определенных эксплуатационных гидравлическом и температурном режимах;
- 2) возможность производства основных элементов теплосетей в заводских условиях и монтаж теплопроводов на стройплощадке из готовых элементов;
- 3) возможность быстрого выявления причин возникновения повреждений и отказов, их устранение и восстановления работоспособности путем проведения ремонта.

«Техника транспорта теплоты предъявляет следующие основные требования к трубам, применяемым для теплопроводов:

- 1) достаточная механическая прочность и герметичность при имеющихся место давлениях и температурах теплоносителя;
- 2) эластичность и стойкость против термических напряжений при переменном тепловом режиме;
- 3) постоянство механических свойств;
- 4) стойкость против внешней и внутренней коррозии;
- 5) малая шероховатость внутренних поверхностей;
- 6) отсутствие эрозии внутренних поверхностей;
- 7) малый коэффициент температурных деформаций;
- 8) высокие теплоизолирующие свойства стенок трубы;
- 9) простота, надежность и герметичность соединения отдельных элементов;
- 10) простота хранения, транспортировки и монтажа» [2, с.322].

«Для трубопроводов тепловых сетей следует предусматривать стальные электросварные трубы или бесшовные стальные трубы» [1, п.11.2].

Трасса трубопроводов тепловых сетей состоит из прямолинейных участков труб и фасонных деталей. В качестве фасонных деталей трубопроводов применяются: отводы, тройники, переходы, неподвижные опоры.

Основным назначением тепловой изоляции является снижение тепловых потерь трубопроводами и оборудованием тепловых сетей, а также поддержания допустимой температуры на поверхности теплоизоляционной конструкции.

Теплоизоляционные конструкции теплопроводов должны отвечать таким основным требованиям, как низкая теплопроводность, малая коррозионная активность, достаточная механическая прочность. Данная конструкция в основном состоит из теплоизоляционного слоя, пароизоляционного слоя, кровного слоя и элементов крепления.

При традиционной канальной прокладке тепловых широкое распространение получила минеральная вата, теплопроводность которой составляет $\lambda = 0,045 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$.

В качестве кровного слоя широкое применение получил стеклопластик.

Для ПИ-трубопроводов в качестве теплоизолирующего слоя применяется жесткий пенополиуретан плотностью не менее $60 \text{ кг}/\text{м}^3$, коэффициент теплопроводности λ составляет $0,025-0,032 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$.

В качестве покровного слоя в ПИ-трубопроводах применяется труба-оболочка. Оболочки предизолированных труб делятся на два вида:

- 1) полиэтиленовые – используются при бесканальной подземной прокладке, в непроходных каналах;
- 2) оцинкованные – используются при надземной прокладке.

1.2 ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

В системе теплоснабжения тепловые сети являются наиболее слабым местом.

Кроме трубопроводов в состав тепловой сети входят запорная арматура, компенсаторы, опоры.

Оценка состояния тепловых сетей показывает, что запас надежности зависят от конструкции тепловых сетей, их качества монтажа и эксплуатации.



Рисунок 1.4 – Прохождение научно-исследовательской практики магистрантом Кот В.С.

Причинами возникновения нарушений в работе теплосетей, которые могут повлиять на их надежность, могут быть - наружная коррозия, внутренняя коррозия, заводские дефекты (дефекты изготовителя), дефекты сварки, дефекты монтажа, дефекты ремонта, ошибки проекта, недостатки эксплуатации (ошибки персонала), прочие не выявленные причины.

Основной проблемой при эксплуатации тепловых сетей является коррозия, которая на влияет на надежность эксплуатации систем теплоснабжения. Коррозии подвергаются трубопроводы как наружной, так и внутренней.

Локальная наружная коррозия, проявляющаяся в виде свищей и разрывов труб, одна из основных причин нарушений в работе тепловых сетей. Из-за периодического или постоянного затопления грунтовыми или поверхностными водами происходит увлажнение тепловой изоляции трубопроводов, что приводит к коррозионным повреждениям тепловых сетей.

Следующей причиной, которая приводит к отказам тепловых сетей – разрывы сварных швов. Это происходит из-за дефектов в местах сварки и превышение нагрузок на теплопровод. Значение удельной повреждаемости, обусловленный разрывами сварных швов, не зависит от диаметра трубопровода.

При эксплуатации тепловых сетей встречаются повреждения, связанные с дефектами неподвижных опор, срывом резьбы спускных кранов, повреждениями компенсаторов и т. д.

В рисунке 1.4 представлены наиболее значимые факторы, снижающие надежность тепловых сетей.

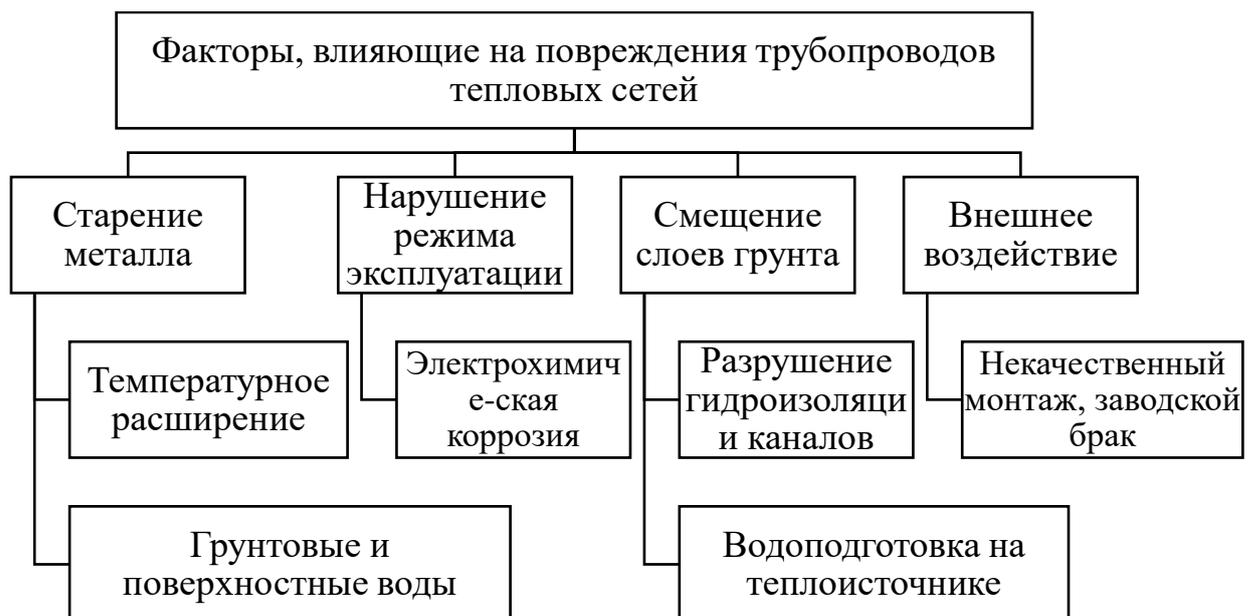


Рисунок 1.5 – Факторы, влияющие на повреждения трубопроводов тепловых сетей

Повреждения, возникающие на тепловых сетях, которые приведут к немедленному отключению потребителей тепловой энергии, является отказом. В связи с этим считать, что повреждение – это событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния, а отказ является событием, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта [3].

Основными отказами тепловых сетей являются – наружная коррозия труб, разрывы сварных швов, коррозия стаканов сальниковых компенсаторов, повреждение запорной арматуры [4].

Рассмотрим причины повреждений, которые влияют на надежную, безопасную работу тепловых сетей.

Локальная наружная коррозия атмосферного типа, при которой на поверхности металла образуется влага в виде плёнки из-за попадание на трубопровод капель воды с перекрытий, проявляется в виде разрывов металла труб и свищей, Причинами попадания влаги происходит в результате разрушения гидроизоляции и цементных заделок стыковых соединений плит перекрытия непроходных каналов.

Также атмосферной коррозии наиболее подвержены трубопроводы в теплофикационных камерах, из-за наличие в них конденсата, образующегося на холодных перекрытиях, находящихся у поверхности. Капли воды попадают на трубопроводы через неплотности крышек люков, и как следствие – интенсивная коррозия металла трубопровода. В трубопроводах неизбежны протечки воды через сальниковые уплотнения задвижек.

Ещё один вид коррозии металла подземных сооружений и трубопроводов – это коррозия от блуждающих токов, возникающих вследствие утечки в грунт электрического заряда от электрических подстанций, электрофицированного рельсового транспорта, линий электропередач. Впоследствии электрический заряд попадает на металлические части конструкции и трубопроводы (уже имеющие анодно-катодные зоны). Следствие данного процесса – уменьшение (растворение) стенки металла трубы в анодных зонах.

Внутренняя коррозия теплопроводов вызывается наличием растворенных в воде газов (кислорода и углекислого газа) при подпитке тепловой сети. Количество углекислого газа определяет значение показателя рН, величину которого можно рассчитать теоретически в зависимости от соотношения подпиточной воды и расхода теплоносителя в тепловой сети. Для нормальной работы тепловой сети показатель рН должен быть 8,3-9.

Снижение этого показателя может привести к интенсивному возникновению углекислотной коррозии.

Задвижки на трубопроводах отказывают из-за коррозии корпуса, коррозии байпаса, неплотности фланцевых соединений, засоров, приводящие к негерметичности отключения участков, трещин в корпусе, искривление или падение дисков. Для сальниковых компенсаторов – это коррозия стакана, выход из строя грундбоксы.

«Повреждения задвижек могут носить двоякий характер: первая группа повреждений обусловлена неплотным перекрытием задвижкой потока воды; ко второй группе относятся повреждения, которые приводят к утечкам теплоносителя из теплопровода. При повреждениях первой группы увеличивается длина участка, отключаемого при аварии, и возрастает недодача теплоносителя потребителям. При повреждениях второй группы нужно отключать задвижку от сети, а при значительных повреждениях ее необходимо отключать немедленно, т.е. происходит отказ элемента. Отказы системы из-за неисправности задвижек составляют примерно 1,5—2% случаев отказов теплопроводов»[4].

Уменьшение толщины стенки трубопровода в местах установки скользящих опор приводит к уменьшению механической прочности трубопровода и к разрушению трубопровода от вертикальных нагрузок.

Образование конденсата на внутренней поверхности строительных конструкций и технологических узлов, вызванное минимальным заглублением от поверхности земли, приводит к разрушению целостности каналов, камер и трубопроводов тепловой сети.

«Механические повреждения теплопроводов возникают при неправильном или небрежном производстве строительно-монтажных работ вблизи их прокладки. Они возникают при случайном совпадении ошибок в проектировании, эксплуатационной документации и ошибочных действиях технических и административных работников при производстве строительных работ» [4].

Все перечисленные причины повреждаемости тепловых сетей в разной степени влияют на срок эксплуатации тепловых сетей без аварий. Для увеличения срока службы трубопроводов тепловой сети необходимо производить своевременную отбраковку отдельных ее участков путем проведения диагностики трубопроводов, тем более что современные приборы позволяют проводить диагностику в любое время года без нарушения работы системы теплоснабжения.

1.3 МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

При эксплуатации тепловых сетей необходимо обеспечить надежность их работы, а также возможность мониторинга их технического состояния.

На сегодняшний день отсутствует единый метод мониторинга состояния тепловых сетей неразрушающего контроля трубопровода теплосети, который объединил бы как простоту, так и широкий спектр применений в тепловых сетях, высокую эффективность и надежность результатов.

Анализируя существующие способы определения состояния тепловых сетей, следует выделить два основных направления и подхода к данной проблеме:

1) Проведение диагностики теплопроводов инструментальными методами.

2) Прогнозирование повреждаемости и оценка надежности тепловых сетей на основе статистических методов.

Существуют несколько методов технической диагностики. Их надежность проверяется посредством визуально-измерительного контроля.

Выделим основные методы диагностики тепловых сетей:

1. осмотры тепловых сетей и их оборудования;
2. проведение испытаний теплосетей - на прочность и герметичность (опрессовка), испытаниям на потенциалы блуждающих токов, температурные, гидравлические, испытания на тепловые потери;
3. ежедневный мониторинг за параметрами теплоносителя посредством внедренной АСДУ теплосетей;
4. акустический метод контроля напряжений в материале трубопроводов;
5. мониторинг параметров систем оперативного дистанционного контроля состояния тепловой изоляции ПИ-трубопроводов тепловых сетей;
6. проведение входного контроля труб, запорной арматуры;
7. операционный и приемочный контроль качества строительно-монтажных работ при строительстве и реконструкциях теплосетей.

Ежедневно должны проводиться обходы и осмотры тепловых сетей и камер, согласно утвержденным маршрутам и графикам. Производится визуальное определение технического состояния элементов тепловой сети с выявлением видимых дефектов или отклонениями от норм безопасной эксплуатации.

Гидравлические испытания («опрессовка») тепловых сетей проводятся после окончания отопительного сезона для выявления дефектов трубопроводов и установленной запорной и регулирующей арматуры, которые невозможно выявить неразрушающими методами диагностики. Данный метод является одним из наиболее действенных, позволяющих мгновенно выявлять проблемные участки.

С целью выявления дефектов теплопроводов, компенсирующих устройств, неподвижных и скользящих опор проводятся испытания тепловых сетей на максимальную температуру теплоносителя. В процессе проведения испытаний выполняется проверка работы теплосетей в условиях температурных деформаций, которые возникают при повышении температуры теплоносителя и последующем ее понижении.

Метод акустических корреляционных течеискателей предназначен для оперативного выявления мест повреждения тепловых сетей без отключения участков трубопроводов.

Метод оперативно-дистанционного контроля может применяться только на ПИ-трубопроводах, которые оснащены данной системой ОДК.

Оценка работоспособности СОДК осуществляется путем проведения измерений значений сопротивления изоляции пенополиуретана между металлической трубой и сигнальными проводниками, а также измерением значений сопротивления сигнальных проводников трубопровода. Пенополиуретан, применяемый в качестве теплоизоляционного материала, имеет практически бесконечное электрическое сопротивление. Уменьшение значения электрического сопротивления при увеличении влажности, например, при появлении воды из-за повреждения полиэтиленовой оболочки или самой металлической трубы, говорит о наличии дефекта и служит основой действия системы ОДК.

Тепловизионное обследование методом тепловой аэросъёмки помогает выявить тепловые аномалии по теплотрассе, которые могут быть связаны с наличием в трубопроводах следующих дефектов: скрытые утечки сетевой воды, неисправности запорной арматуры, разрушения тепловой изоляции труб.

Внутритрубная диагностика трубопроводов является наиболее перспективным мероприятием по повышению надёжности работы тепловых сетей. Внутритрубная диагностика проводится с помощью телеуправляемого робота,двигающегося во внутритрубном пространстве. Запускается диагностический комплекс через небольшой технологический вырез, соответственно, не требуются масштабные раскопки или какие-либо

специальные условия. В режиме реального времени выявляются потери металла, коррозионные повреждения, трещины и другие дефекты.

Контроль коррозионных процессов внутренних поверхностей тепловых сетей состоит в систематическом контроле качества подпиточной и сетевой воды, а также в периодическом контроле интенсивности коррозии металла по индикаторам коррозии.

На водяных тепловых сетях должен быть организован систематический контроль за внутренней коррозией трубопроводов путем анализов сетевой воды, а также по индикаторам внутренней коррозии, устанавливаемым в наиболее характерных точках (на выводах ТЭЦ, концевых участках, в двух-трех промежуточных узлах магистрали).

«Индикаторы коррозии служат для оценки коррозионной агрессивности и влияния сетевой воды на внутреннюю коррозию трубопроводов теплосети. Коррозионная агрессивность воды определяется по потерям массы индикаторов» [5, с.8].

Также профилактическим мероприятием, имеющим целью выявление состояния строительного-изоляционных конструкций, тепловой изоляции и трубопроводов являются шурфовки, проводимые в подземных прокладках тепловых сетей.

Применение современных методов диагностики является основой обеспечения надежности функционирования тепловых сетей. Результаты диагностики с использованием современных диагностических средств позволяют своевременно выявлять повреждения и вовремя проводить ремонты трубопроводов и оборудования тепловых сетей.

1.4 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Тепловые сети должны обеспечивать потребителей тепловой энергией, выполнять заданные функции при минимальных затратах на сооружение и эксплуатацию, обладать требуемой надежностью.

Надежность тепловых сетей – это свойство обеспечивать в течение заданного времени подачу потребителю требуемого количества теплоносителя с определенными температурой и давлением.

«Потребители теплоты по надежности теплоснабжения делятся в соответствии с п. 5.2 [1] на три категории.

I категория – потребители, нарушение теплоснабжения которых связано с опасностью для жизни людей (при снижении температуры воздуха в помещениях ниже норм, установленных ГОСТ 30494) или со значительным

ущербом народному хозяйству (повреждение технологического оборудования, массовый брак продукции). Примеры потребителей теплоты I категории: родильные дома, детские дошкольные учреждения с круглосуточным пребыванием детей, здания стационаров лечебных организаций, картинные галереи, производственные здания химической промышленности, шахты и т. п.;

II категория – потребители, для которых допускается снижение температуры в отапливаемых помещениях на период ликвидации аварии:

- жилых и общественных зданий – до 12 °С;
- производственных зданий – до 8 °С;

III категория – остальные потребители. Примеры потребителей теплоты III категории: здания складов, гаражи, стоянки автомобилей, здания лесопилок, цеха деревообработки, ремонтно-механические мастерские, помещения канализационно-насосных станций и т. п.» [1].

«Надежность является сложным свойством, состоящим из более простых свойств, таких как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость и живучесть» [2].

«Под безотказностью тепловых сетей понимается их способность сохранять рабочее состояние в течение заданного нормативного срока службы. Количественным показателем выполнения этого свойства может служить параметр потока отказов ω , определяемый как число отказов за год, отнесенное к единице (1 км) протяженности теплопроводов.

Значение этого показателя зависит от конструкции теплопровода, качества металла и толщины стенки трубы, качества антикоррозионных покрытий и теплогидроизоляционных материалов, качества и срока эксплуатации теплопроводов, условий их укладки и др. С увеличением срока эксплуатации значение параметра потока отказов, как правило, возрастает. Однако не учитывается динамика изменения параметра потока отказов во времени, т. е. старение тепловых сетей. В качестве показателя безотказности может быть также использована вероятность безотказной работы, как величина, однозначно связанная с параметром потока отказов.

Под долговечностью участков тепловых сетей понимается свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, когда дальнейшее их использование недопустимо или экономически нецелесообразно» [2]. Сохранять работоспособность до предельного состояния с допустимыми перерывами или без них при обслуживании и ремонтах. Долговечность – это основное понятие элементов и оборудования

системы. Долговечность определяет сроки между капитальными ремонтами системы.

По мере старения действующего теплопровода и выработки заложенного в нем рабочего ресурса растут ежегодный поток отказов и ежегодные затраты на их устранение.

«Под ремонтпригодностью понимается способность к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния участков тепловых сетей путем обеспечения их ремонта с последующим вводом в эксплуатацию после ремонта» [2]. Ремонтпригодностью характеризуется свойством, заключающимся в приспособленности системы к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания, диагностики и ремонтов.

«В качестве основного параметра, характеризующего ремонтпригодность теплопровода, можно принять время z_p , необходимое для ликвидации повреждения» [2].

Время восстановления имеет большое значение при обосновании необходимости резервирования системы. Оно в основном зависит от диаметров труб или оборудования сети. При малых диаметрах время ремонта может оказаться меньше времени допустимого перерыва теплоснабжения. В таком случае нет необходимости в резервировании.

Этот параметр зависит от конструкции теплопровода и типа укладки (надземный или подземный), от диаметра трубопровода, расстояния между секционирующими задвижками, определяющими объем сетевой воды, который необходимо дренировать до начала ремонта, а затем восполнить после его проведения. «Параметр z_p зависит также от оснащения теплоснабжающего предприятия машинами, механизмами и транспортом, которые требуются для выполнения аварийно-восстановительных работ. Как правило, параметр z_p должен определяться экспертным путем для каждого конкретного теплоснабжающего предприятия с учетом местных условий: типов конструкций тепловых сетей, способов их укладки, оснащения техникой, организации эксплуатации и др.

Для предварительного вычисления параметра z_p (ч) может быть принята зависимость:

$$z_p = a \cdot [1 + (b + cl) \cdot d^{1,2}], \quad (1.1)$$

где l – расстояние между секционирующими задвижками, м;
 d – диаметр трубопровода, м;

a , b , c – постоянные коэффициенты, зависящие от способа укладки теплопровода (подземный, надземный) и его конструкции, а также от уровня механизации ремонтных работ» [2].

В формуле (1.1) время z_p включает в себя время, необходимое на установление места повреждения, локализацию поврежденной секции магистрали, дренаж из нее воды, проведение ремонта, наполнение сетевой водой после ремонта, включение в работу.

Для подземных теплопроводов в непроходных каналах на практике обычно принимают $a = 6$, $b = 0,5$, $c = 0,0015$ 1/м [2].

Таблица 1.1 – Среднее время восстановления z_p , ч, поврежденного участка тепловой сети

Диаметр труб d , м	Расстояние между секционирующими задвижками l , км	Среднее время восстановления z_p , ч
0,1-0,2	-	5
0,4-0,5	1,5	10-12
0,6	2-3	17-22
1	2-3	27-36
1,4	2-3	38-51

Под сохраняемостью тепловых сетей понимается их способность сохранять безотказность, долговечность и ремонтпригодность в течение срока консервации.

До настоящего времени свойство сохраняемости сети никак не оценивается из-за отсутствия соответствующих показателей.

Живучесть – важнейшее свойство системы теплоснабжения, позволяющее ей противостоять возмущениям, не допуская их каскадного развития с массовым нарушением питания потребителей тепловой энергии. Другими словами, живучесть – это способность системы теплоснабжения сохранять свою работоспособность при аварийных и экстремальных условиях, связанных с понижением температуры наружного воздуха ниже расчетной для данного климатического района. Главным условием живучести системы теплоснабжения является отсутствие локального замерзания сетевой воды в трубопроводах, приводящих к прекращению её циркуляции. В связи с этим в период аварийных ситуаций должна быть обеспечена минимальная подача тепловой энергии в системы

зданий по теплопроводам, расположенным в неотапливаемых помещениях и снаружи, в подъездах, лестничных клетках, на чердаках и подвалах для поддержания температуры воды в течение всего ремонтно-восстановительного периода после отказа не ниже 3°C.

В соответствии с этим в проектах должны быть предусмотрены мероприятия по обеспечению живучести элементов систем теплоснабжения, находящиеся в зонах возможного воздействия отрицательных температур, в том числе:

- организация локальной циркуляции сетевой воды в тепловых сетях и теплопотребляющих системах зданий за счет установки циркуляционных насосов как на тепломагистралях, так и в локальных системах отопления тепловых узлов потребителей;

- прогрев и заполнение тепловых сетей и теплопотребляющих систем зданий в период ремонтно-восстановительных работ;

- при необходимости – спуск сетевой воды и циркуляционной воды из теплопотребляющих систем зданий, магистральных и распределительных тепловых сетей во время ремонтно-восстановительных работ заполнением систем после окончания работ.

Рассмотренные свойства надежности тепловых сетей рекомендуется исследовать отдельно для распределительных и магистральных тепловых сетей. Это связано со следующим.

Во-первых, тепловые сети в районных и общегородских системах должны быть обязательно структурированы с выделением на них как минимум двух уровней:

- 1) системы транспорта теплоты по магистральным тепловым сетям от источника теплоты до промпредприятий, жилых микрорайонов, административно-общественных центров и т.п.;

- 2) распределительных тепловых сетей, передающих теплоноситель от магистральных тепловых сетей до потребителей теплоты (объектов теплоснабжения), т.е. до ИТП отапливаемых зданий [2].

Пониженная надежность действующих тепловых сетей в системах транспортировки и распределения теплоты объясняется условиями их сооружения и эксплуатации: сложностью выполнения строительно-монтажных работ в неблагоприятных грунтовых и климатических условиях; невозможностью постоянного визуального контроля состояния тепловой сети в процессе эксплуатации; неблагоприятными внешними условиями, способствующими наружной коррозии подземных теплопроводов в диапазоне коррозионно-опасных при высокой влажности температур (70-90

°С); участием в проектировании и сооружении тепловых сетей неспециализированных, а следовательно, недостаточно квалифицированных проектных и строительно-монтажных организаций, что нередко носило массовый характер, особенно при строительстве распределительных сетей; сооружением тепловых сетей из стальных труб общего назначения, часто не удовлетворявших требованиям эксплуатации тепловых сетей по качеству металла и стального листа, из которых изготавливались; отсутствием промышленного производства теплопроводов полной заводской готовности, конструкция которых обеспечивает защиту стальных труб от коррозии при неблагоприятных внешних условиях, а тепловая изоляция – низкие потери теплоты; интенсификацией коррозионных процессов внутренних поверхностей труб вследствие несоблюдения качества сетевой воды из-за нарушений водно-химических режимов систем теплоснабжения, связанных с режимами водоподготовительных установок ТЭЦ (котельных); неудовлетворительной эксплуатацией теплоиспользующих установок и систем, принадлежащих потребителям тепла (подсос воздуха, перетоки водопроводной необработанной воды в сетевую воду через неплотности в абонентских теплообменниках и т.п.); слабой оснащённостью систем транспортировки и распределения теплоты (тепловых сетей) средствами дистанционного контроля и управления и связанными с этим более сложными условиями эксплуатации, в том числе при ликвидации возможных нарушений в работе сетей [2].

Проблема надёжности систем тепловых сетей является сложной и многогранной. Для её решения необходимо рассмотреть ряд больших задач, основными из которых являются:

1) повышение качества элементов систем, в основном качества теплопроводов, для чего необходимо разработать такие конструкции прокладок, которые обеспечивали бы защиту тела трубы от коррозии, исключали намокание теплоизоляционного слоя. Каналы должны быть обеспечены дренажем поверхностных вод, попадающих в них. Во избежание внутренней коррозии подпитку тепловых сетей производить химически очищенной и деаэрированной водой. Повышение качества элементов снизит значения параметров потоков отказов элементов сетей;

2) ввиду практической невозможности строительства абсолютно надёжных тепловых сетей и учитывая, что элементы тепловых сетей периодически отказывают, для обеспечения надёжного теплоснабжения необходимо резервирование. Для сокращения расходов на резервирование

необходимо структуру сетей проектировать соответственно требованиям надежности, вводить в системы структурный и транспортный резервы;

3) надежность теплоснабжения может быть обеспечена только в том случае, если система тепловых сетей будет управляемой. Таким образом, управляемость сети является категорией общего понятия надежности. Управляемость сети обеспечивается принятой схемой сети и автоматизацией системы централизованного теплоснабжения;

4) в процессе эксплуатации сети должно быть обеспечено управление надежностью, имея в виду в основном, надзор за состоянием системы, профилактические и капитальные ремонты, регулярные испытания тепловых сетей, отладку гидравлических режимов при развитии системы, управление эксплуатационными и аварийными гидравлическими и тепловыми режимами [4].

Понятие надежности отражает два главных подхода к оценке работы устройства или системы. Первый – это вероятностная оценка работоспособности системы. Необходимость в вероятностной оценке связана с тем, что продолжительность работы элементов системы обуславливается рядом случайных факторов, предвидеть воздействие которых на работу элемента оказывается невозможным. Поэтому исключается детерминированная оценка времени работы элемента и заменяется вероятностной оценкой, т.е. законом распределения времени работы. Учет времени – это второй главный подход к оценке работоспособности системы.

Надежность – это сохранение качеств элементом или системой во времени. В соответствии с этими основными свойствами понятия надежности главным ее критерием является вероятность безотказной работы системы (элемента) P в течение заданного периода времени t [4].

«Существуют два пути создания надежных систем. Первый путь – это повышение качества элементов, из которых состоит система. Вторым – резервирование элементов. Повышают надежность, используя прежде всего первый путь, который реализуют при конструировании, изготовлении и приемке элементов и узлов в эксплуатацию. Когда исчерпываются технические возможности повышения качества элементов или когда дальнейшее повышение качества оказывается экономически невыгодным, тогда идут по пути резервирования. Под экономической невыгодностью повышения качества элемента имеется в виду такое положение, когда дешевле чаще заменять отказавшие элементы, чем изготавливать их более высокого качества, т.е. технически более совершенными с применением более дорогих материалов, обеспечивающих больший срок службы.

Второй путь необходим, когда надежность системы должна быть выше надежности элементов, из которых она состоит. Повышение надежности достигается резервированием – путем параллельного включения резервного элемента, а для тепловых сетей путем закольцовки теплопроводов или устройства перемычек» [4].

К основным мероприятиям по резервированию и повышению надежности тепловых сетей относится применение следующих технических решений:

- прокладка от источника тепла двух и более головных тепломагистралей, соединенных между собой резервными перемычками (закольцовка тепловых сетей);
- прокладка резервных перемычек между тепловыми сетями двух и более источников тепла (закольцовка тепловых районов);
- монтаж в закольцованном контуре не менее трех секционирующих задвижек (две - при врезке контура, одна и более - по трассе контура);
- прокладка до абонентов двух резервных теплопроводов;
- прокладка до абонентов реверсивного (третьего) теплопровода;
- уменьшение протяженности участка между секционирующими задвижками;
- монтаж секционирующих задвижек по ходу потока сетевой воды после врезки ответвлений;
- обеспечение минимальной циркуляции сетевой воды в аварийных перемычках;
- соединение теплопроводов транспозицией («перехлест» теплопроводов) на участках со встречными потоками теплоносителя (непосредственно на участках или в камерах).

Для потребителей теплоты I категории следует предусматривать резервирование, обеспечивающее 100 процентную подачу теплоты тепловыми сетями. Как альтернативный вариант предусматривают местные резервные источники теплоты.

В соответствии с требованиями [1] при проектировании тепловых сетей подземной прокладки в непроходных каналах и при бесканальной прокладке должно предусматриваться резервирование подачи тепла в зависимости от климатических условий и диаметров трубопроводов.

Резервирование тепловых сетей не требуется в следующих случаях:

- при наличии у потребителей местного резервного источника тепла;
- для участков надземной прокладки протяженностью менее 5 км (при соответствующем обосновании расстояние может быть увеличено);

- для теплопроводов, прокладываемых в тоннелях и проходных каналах;
- для тепловых сетей диаметром 250 мм и менее (при отсутствии потребителей I категории).

Таблица 1.2 – Допустимые снижения подачи тепловой энергии в зависимости от температуры наружного воздуха и диаметра трубопровода

Минимальный диаметр трубопроводов, мм	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, °С				
	минус 10	минус 20	минус 30	минус 40	Минус 50
	Допускаемое снижение подачи теплоты, %, до				
300	-	-	-	-	50
400	-	-	-	50	60
500	-	-	50	60	70
600	-	50	60	70	80
700 и более	50	60	70	80	90

Примечание: Знак "-" означает, что резервирование не требуется.

«Учитывая вероятностную природу отказов элементов и систем теплоснабжения, основной показатель надежности должен давать вероятностную оценку безотказности работы системы теплоснабжения в течение расчетного времени. Величиной расчетного времени устанавливается необходимая длительность безотказности работы, т.е. отражается нестационарность случайного процесса функционирования системы. Расчетная длительность принимается равной длительности отопительного периода. Системы теплоснабжения относятся к сложным техническим системам, поэтому их надежность следует оценивать показателем качества функционирования. Этим показателем оценивают как нерезервированные, так и резервированные системы» [4].

1.5 ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ. ПОТОК ОТКАЗОВ

Для возможности оценки надежности системы прежде всего необходимо точно сформулировать понятие отказа элемента, рассмотреть физические и вероятностные условия возникновения отказов. Вообще отказ элемента – это нарушение его работоспособности, для восстановления

которой необходим ремонт с отключением элемента из системы. При формулировке понятия отказа элемента тепловой сети исходят из внезапности и длительности перерыва в теплоснабжении потребителей. Внезапный отказ элемента – это такое нарушение его работоспособности, когда отказавший элемент необходимо немедленно выключить из работы. При постепенном отказе вначале можно провести предварительный ремонт элемента без нарушения или с допустимым нарушением теплоснабжения, перенеся полный восстановительный ремонт на некоторое время, когда его выключение не приведет к отказу системы. Внезапный отказ у нерезервированных систем приводит к отказу системы, а у резервированных – к изменению гидравлического режима работы.

Длительность ремонта внезапно отказавшего элемента малого диаметра может быть меньше допустимого перерыва теплоснабжения, определяемого теплоаккумулирующей способностью зданий и системы теплоснабжения. Такие внезапные отказы не приводят к необходимости резервирования элементов. Таким образом, под отказом элемента тепловой сети следует понимать внезапный отказ при условии, что время ремонта отказавшего элемента больше допустимого перерыва теплоснабжения.

Понятие отказа нерезервированной системы формулируется однозначно, ибо отказ любого элемента приводит к отказу системы. При отказе головного участка происходит полный отказ системы, и все потребители лишаются теплоснабжения. При отказе любого другого элемента имеет место частичный отказ системы, когда лишается теплоснабжения только часть потребителей, расположенных за отказавшим элементом. Под отказом нерезервированной тепловой сети следует понимать прекращение подачи тепла всем или части потребителей, вызванное отказом элемента сети [4].

Причинами отказов, связанных с нарушением прочности элементов, являются случайные совпадения перегрузок на ослабленных местах элементов, следовательно, природа отказов носит вероятностный характер. Прочность элемента определяется значениями ряда независимых случайных величин, каждая из которых имеет свой закон распределения. Значение величины зависит от большого числа близких по своему влиянию случайных факторов. Например, снижение прочности сварного шва может быть связано с непроваром, наличием шлаковых включений и других причин, которые, в свою очередь, зависят от квалификации сварщика, качества используемых электродов, условия сварки и т. д. Таким образом, отказы имеют случайную природу.

«На рисунке 1.6 показаны законы распределения несущей способности элемента R и нагрузки на элемент N . Здесь несущая способность и нагрузка рассматриваются как случайные величины. Отношение математических ожиданий этих величин R и N дает запас прочности, принятый при проектировании элемента. Однако хотя и с малой, но учитываемой вероятностью может иметь место случай, когда $N^{\text{макс}} > R^{\text{мин}}$, т.е. произойдет разрушение элемента, наступит отказ. Следовательно, второй особенностью отказов является то, что они относятся к категории редких событий» [4].

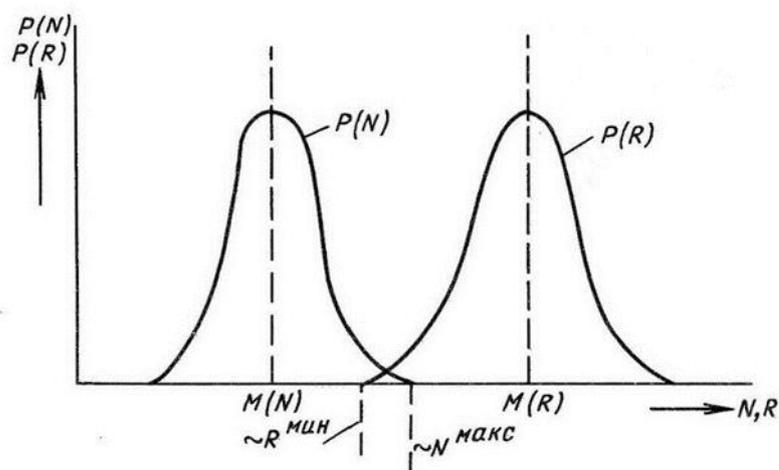


Рисунок 1.6 – Распределения внешних нагрузок и несущей способности элемента

Таким образом, главные свойства отказов заключаются в том, что они представляют собой случайные и редкие события. Эти свойства характеризуют не только отказы, связанные с нарушением прочности, но и все отказы. Если нарушение работоспособности элемента не является случайным событием, следовательно, его можно предусмотреть и учесть в расчетах.

Одной из важнейших характеристик надежности элементов является интенсивность отказов λ , которую можно определить как вероятность того, что элемент, проработавший безотказно время t , откажет в последующий момент dt .

Учитывая изложенное, при оценке надежности теплоснабжения следует исходить из принципиальной недопустимости отказов, считая, что отказ системы приводит к непоправимым для выполнения задачи последствиям.

«Рассмотрим работу элемента с позиций теории надежности. Элемент работает до отказа. После отказа его выключают из системы, ремонтируют (заменяют) и вновь включают в работу.

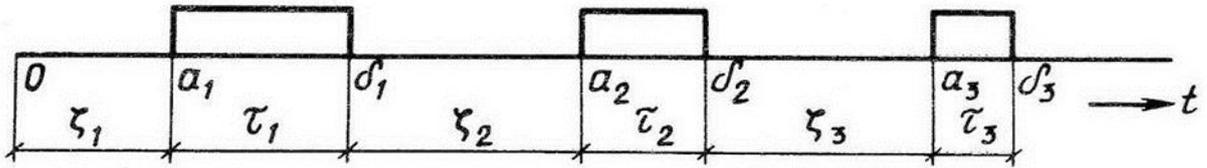


Рисунок 1.7 – Модель процесса функционирования элемента

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – моменты отказов; $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – моменты включения элемента в работу после ремонта (или замены); ζ_i – длительность периода работы; τ_i – длительность ремонта.

Математическая модель процесса функционирования элемента представляется следующей (рис. 1.7). В любой момент времени t элемент может находиться или в состоянии исправности, или в состоянии отказа. Сам процесс функционирования представляется чередующейся последовательностью величин $\zeta_1, \tau_1, \zeta_2, \tau_2, \dots, \zeta_i, \tau_i$.

Последовательность отказов элемента во времени составляет поток отказов. Поток отказов характеризуется параметром потока отказов ω , который является аналогом интенсивности отказов λ . Для потоков отказов ординарных и не имеющих последействия эти понятия совпадают. Вместе с тем они имеют различную природу: $\omega(t)$ приближенно равна безусловной вероятности отказа элемента за единицу времени (которая достаточно мала), а $\lambda(t)$ является условной вероятностью отказа за единицу времени при условии, что элемент проработал безотказно до момента t .

Рассмотрим основные характеристики ремонтируемых изделий. Предположим, что мы имеем возможность наблюдать за состоянием N одинаковых участков теплопроводов, каждый из которых имеет длину l (км) или N задвижек, установленных на теплопроводах, в течение t лет. За это время на каждом участке теплопровода или на каждой задвижке было обнаружено по $m_i(t)$ повреждения (отказов), которые были устранены. В таком случае среднее число отказов до наработки t будет:

$$m_{\text{cp}}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t)}{N}. \quad (1.2)$$

В пределе, при очень большом числе наблюдаемых объектов, получаем характеристику потока отказов:

$$H(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t)}{N}. \quad (1.3)$$

У теплопроводов и их оборудования в период приемки все возможные дефекты обнаруживают и устраняют, поэтому период приработки отсутствует, и функцию $H(t)$ можно считать линейной:

$$H(t) = \omega t. \quad (1.4)$$

Здесь $\omega = \text{const}$ – параметр потока, 1/год. Его определяют из статистических данных повреждений, фиксируемых эксплуатационными службами. Если за время наблюдений Δt (обычно Δt принимают равным одному году) каждый элемент из N наблюдаемых отказал m_i раз, тогда параметр

$$\omega = \frac{\sum_{i=1}^N m_i}{N \Delta t}. \quad (1.5)$$

Величину, обратную параметру потока отказов, $T=1/\omega$, измеряемую в годах (часах), называют наработанной на отказ. T – это среднее время работы элемента (участка теплопровода, задвижки, компенсатора и т.д.) между отказами.

Параметр потока отказов теплопроводов ω , 1/год, обычно относят к 1 км длины. В этом случае

$$\omega = \omega_T \cdot l, \quad (1.6)$$

где ω_T – параметр потока отказов теплопровода, отнесенный к 1 км, 1/(км·год);

l – длина теплопровода (подающего и обратного), км.

Значение параметра потока отказов ω для тепловых сетей

$$\omega = \frac{n}{(t \cdot \sum l)}, \quad (1.7)$$

где n – количество отказов, зафиксированных на трубопроводах одного диаметра;

t – время наблюдения за теплопроводами, год;

$\sum l$ – суммарная длина подающего и обратного трубопроводов одного диаметра, км.

Поток отказов элементов систем теплоснабжения составляет однородный процесс Пуассона. Такой процесс характеризуется стационарностью, отсутствием последействия и ординарностью. Эти условия выполняются и для систем теплоснабжения.

Стационарность – это такое свойство потока случайных событий, когда вероятность наступления определенного их числа на заданном промежутке времени зависит от длительности рассматриваемого промежутка, но не зависит от его сдвига на ту или иную величину по оси времени. Стационарность нарушается при старении элементов. За период эксплуатации теплопроводов и элементов тепловых сетей процессы старения явно не выявляются, поэтому можно считать, что поток отказов элементов тепловых сетей является стационарным и величина параметра потока отказов сохраняется примерно постоянной. Но вместе с тем число отказов в период низких наружных температур возрастает, а на подающей линии число отказов существенно больше, чем на обратной. Интенсивность коррозионных повреждений существенно зависит от температуры теплоносителя, следовательно, при качественном регулировании отпуска тепла – от времени года.

Учитывая существующую статистику повреждений, будем опираться на средние статистические данные и считать $\omega = \text{const}$. Следовательно, приближенно можно принять, что число отказов пропорционально рассматриваемому промежутку времени, не зависит от его сдвига в пределах времени эксплуатации, и система теплоснабжения обладает свойством стационарности. Если система характеризуется отсутствием последействия, то это значит, что отказы в системе возникают независимо друг от друга. Это свойство характерно для тепловых сетей, ибо если один отказ может повлечь за собой другой, в системе предусматривается защита, предупреждающая такое явление. Теплопроводы проектируют таким образом, чтобы повреждение одного участка не могло послужить причиной повреждения другого, поэтому можно считать, что системы теплоснабжения не имеют последействия.

Ординарностью обладают такие системы, у которых практически невозможно появление двух или нескольких отказов за малый промежуток времени. Системы теплоснабжения обладают свойством ординарности.

Вероятность m отказов за время t в простейшем потоке событий $P_m(t)$ определяется по закону Пуассона:

$$P_m(t) = \frac{(\omega t)^m}{m!} e^{-\omega t}, \quad (1.8)$$

где $m=0, 1, 2, \dots, n$.

Вероятность того, что за время t не будет ни одного отказа (будет ноль отказов), равна:

$$P_0(t) = e^{-\omega t} = P(t). \quad (1.9)$$

Эта вероятность – есть функция надежности. Таким образом, функция надежности элементов систем теплоснабжения подчиняется экспоненциальному закону.

Минимально допустимый показатель вероятности безотказной работы для тепловых сетей следует принимать $P_{т.с.} = 0,9$.

По формулам (1.8) и (1.9) вероятность отказа тепловых сетей будет равна

$$P(t) = 1 - e^{-\omega t}. \quad (1.10)$$

Параметр потока отказов ω представляет собой частоту отказов в единицу времени. По предельной теореме Бернулли, частота появления события при большом числе опытов сколь угодно мало отличается от вероятности этого события в отдельном опыте. Следовательно, с известным приближением параметр потока отказов можно рассматривать как вероятность отказа в единицу времени. Если для элемента сети $\omega=0,05$ 1/год, то можно считать, что вероятность отказа элемента в течение года равна 0,05. Иначе, если сеть включает 100 элементов, то в течение года откажет пять (любых) элементов из этих ста.

Расчетное значение параметра потока отказов теплопроводов, согласно [4] составляет

$$\omega_{т} = 0,05 \frac{1}{\text{км} \cdot \text{год}}.$$

Для задвижек параметр потока отказов равен:

$$\omega_3 = 0,002 \frac{1}{\text{км} \cdot \text{год}}.$$

В результате статистической обработки времени отключения потребителей были получены следующие средние значения: для трубопроводов $D=100 \div 200$ мм $\tau_p^{\text{cp}}=5$ ч; для трубопроводов $D=250 \div 400$ мм $\tau_p^{\text{cp}}=9,1$ ч. [4].

ГЛАВА 2 ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ГОРОДА ЛИДА

2.1 СТРУКТУРА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ГОРОДА ЛИДА

Участок тепловых сетей был создан на Лидской ТЭЦ в 1964 году. С 1975 года Лидская ТЭЦ и тепловые сети входили в состав Гродненского предприятия тепловых сетей. Начиная с 1990 г. Район тепловых сетей является структурным подразделением Лидских тепловых сетей.

Район тепловых сетей ЛТС осуществляет техническую эксплуатацию и ремонт трубопроводов и оборудования тепловых сетей от двух теплоисточников Лидских тепловых сетей в городе Лида: Лидской ТЭЦ и котельный цех «Неман».

Район тепловых сетей охватывает тепловыми сетями от теплоисточника Лидской ТЭЦ всю центральную и историческую часть города Лида, микрорайоны «Росляки», «Северный», «Красноармейский», «Слободской», улицу Хасановская, микрорайон улиц Гастелло – Кооперативная, а также от теплоисточника котельный цех «Неман» – микрорайон «Индустриальный».

В Лидских тепловых сетях определены 7 тепловых магистралей:

– от Лидской ТЭЦ - 6 тепломагистралей (ТМ №№ 1, 3, 4, 5, 6, 7) с четырьмя отдельными выводами тепловых магистралей от Лидской ТЭЦ (выводы ТМ № 1, ТМ № 3, ТМ №4, ТМ №5);

– от котельного цеха «Неман» - тепломагистраль №8.

В зону обслуживания РТС входят 961 тепловые камеры, из них:

– тепловые камеры водяных тепловых сетей – 266 шт.;

– колодцы для обслуживания ПИ-шаровых кранов – 682 шт.

Магистральные и распределительные тепловые сети города Лида до применения ПИ-трубопроводов прокладывалась в непроходных каналах с тепловой изоляцией из минеральной ваты.

Анализ повреждений теплосетей, находящихся на балансе предприятия, показал, что в последние годы происходило увеличение количество повреждений трубопроводов с изоляцией из минваты и проложенных в непроходных каналах, вследствие наружной коррозии труб и увлажнения, и разрушения тепловой изоляции. Такие теплотрассы не обеспечивали надежное теплоснабжение потребителей тепла.

С целью определения надежности трубопроводов тепловых сетей, а также с целью принятия решений по очередности ремонтов и реконструкции

трубопроводов тепловых сетей была проанализирована повреждаемость тепловых сетей в целом.

В результате обработки сведений по повреждаемости тепловых сетей в зависимости от срока службы, диаметров, протяженности, условий прокладки, была получена зависимость количества повреждаемости тепловых сетей от срока эксплуатации трубопроводов.

На основании полученных сведений о повреждаемости за предыдущие годы эксплуатацию, был получен один из критериев количественной оценки прогнозирования повреждаемости теплопроводов, который учитывался при расстановке по ранжиру участков тепловых сетей, рассматриваемых для включения в программу реконструкции теплосетей, с целью повышения показателей вероятности безотказной работы потребителей до нормативной величины.

При реконструкции тепловых сетей города Лида применялись трубопроводы в пенополиуретановой (ППУ) тепловой изоляции.

Для обеспечения в дальнейшем сложившейся тенденции омоложения тепловых сетей и ежегодного снижения количества амортизированных тепловых сетей, имеющих сроки эксплуатации свыше 25 лет, в филиале «Лидские тепловые сети» выполняется реконструкцию тепловых сетей с перекладкой на ПИ-трубопроводы в ежегодном объеме не менее 5 км в однострубно́м исчислении.

Технология бесканальной прокладки тепловых сетей с применением ПИ-трубопроводов в г.Лида начала впервые внедряться с 1995 года при проведении реконструкции тепломагистрали №5 по ул.7 Ноября, условным диаметром Ду500мм.

По состоянию на 01.01.2021г. общая протяжённость ПИ-трубопроводов, находящихся на балансе Лидских тепловых сетей, составляет – 96 281 м в однострубно́м исчислении, что составляет 55,9 % от протяженности водяных тепловых сетей.

2.2 ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ГОРОДА ЛИДА

Проведем оценку состояния надежности тепловых сетей за период с 2016 по 2020 годы эксплуатации.

Значения удельной повреждаемости определены на основании информации о повреждениях тепловых сетей.

Данные о повреждениях теплопроводов были получены из журналов учета повреждений Района тепловых сетей города Лида. Данные, характеризующие теплосети, были взяты из паспортов на тепловые сети.

При определении удельной повреждаемости были использованы не все повреждения, зафиксированные в журналах учета повреждений. Из исследования были исключены:

- 1) повреждения, которые были зафиксированы в период проведения гидравлических и температурных испытаний тепловых сетей;
- 2) повреждения, при ликвидации которых отключения участков и потребителей составляло менее 3 часов;
- 3) тепловые сети, выполненные из ПИ-трубопроводов.

Из отсутствия данных об отказах задвижек, компенсаторов, расчёт удельной повреждаемости не выполнялся.

Исходной информацией для расчета надежности систем тепловых сетей являются значения удельной повреждаемости трубопроводов тепловых сетей.

Распределение долей протяженности по способам прокладки показано на рисунках 2.1, 2.4, 2.7.

Распределение протяженности тепловых сетей по срокам эксплуатации приведено на рисунках 2.2, 2.5, 2.8.

Распределение отказов тепловых сетей приведено на рисунках 2.3, 2.6, 2.9.

Были посчитаны средние значения параметра потока отказов трубопроводов тепловых сетей, вероятности безотказной работы тепловых сетей, вероятности отказа тепловых сетей.

Общая протяженность водяных тепловых сетей, находящихся на балансе Лидских тепловых сетей, на 01.01.2017 г. составляет – 164 232 м в однострубно́м исчислении.

- Тепловая сеть подземной канальной прокладки - 77 316м (47,1%)
- Тепловая сеть надземной (воздушной) прокладки - 16 827м (10,2%)
- Тепловая сеть подземной бесканальной прокладки (ПИ-трубы) - 70 089м (42,7%)

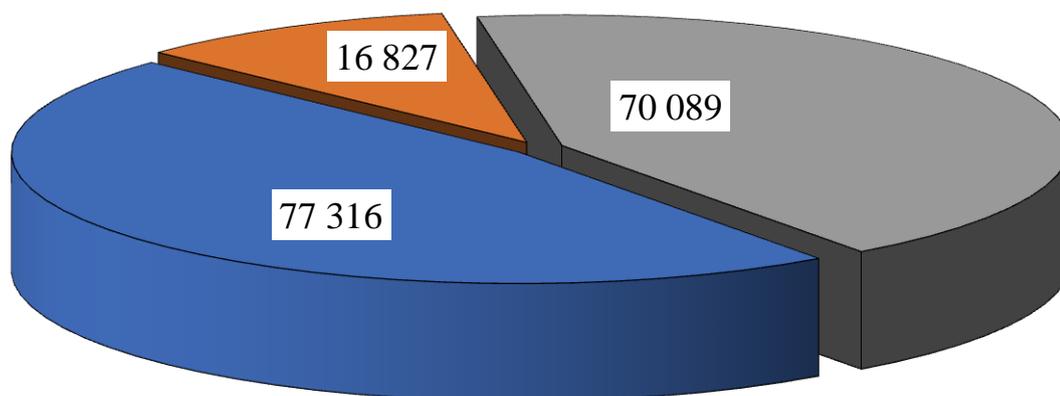
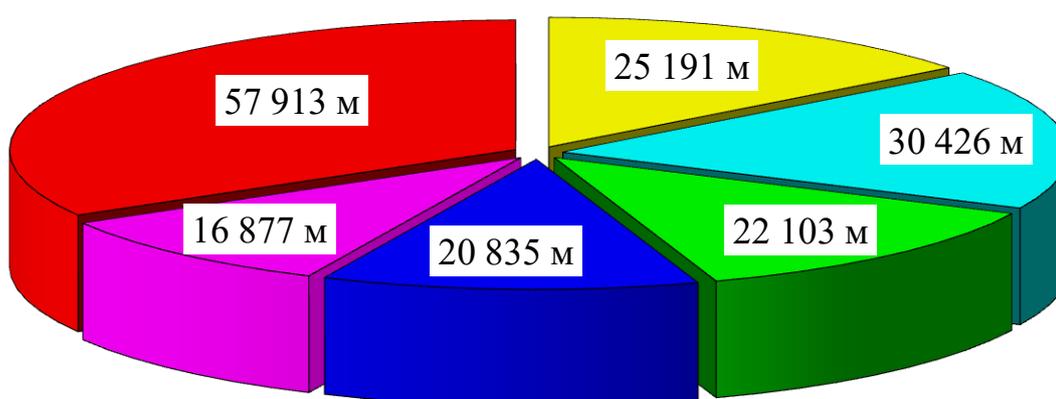
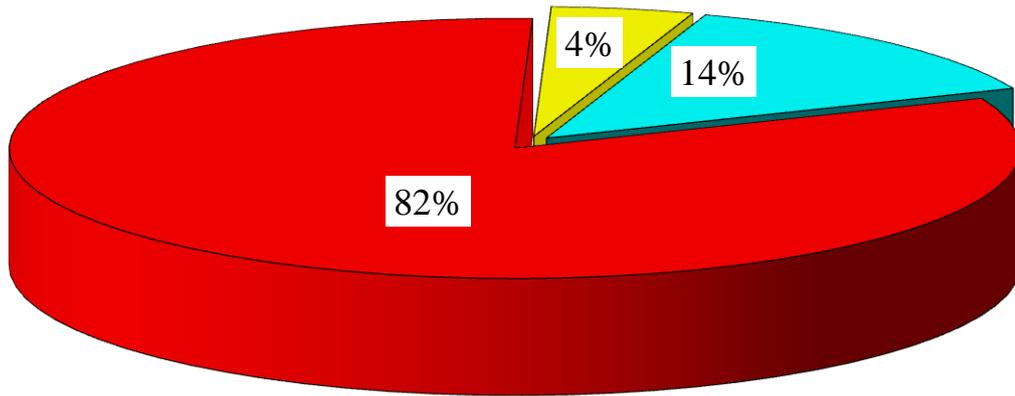


Рисунок 2.1 – Распределение тепловых сетей по типам прокладки за 2016 год



- до 5 лет (14,5%)
- от 5 до 10 лет (17,6%)
- от 10 до 15 лет (12,8%)
- от 15 до 20 лет (12,0%)
- от 20 -до 25 лет (9,7%)
- более 25 лет (33,4%)

Рисунок 2.2 – Распределение тепловых сетей по срокам эксплуатации за 2016 год



■ 15 - 20 лет (1 отказ) ■ 20 - 25 лет (3 отказа) ■ свыше 25 лет (18 отказов)

Рисунок 2.3 – Распределение отказов тепловых сетей за 2016 год

Среднее значение удельной повреждаемости трубопроводов

$$\omega_{\text{ср}} = 22 / (1 \cdot 94,143) = 0,234 \text{ 1/}(\text{год} \cdot \text{км}).$$

Среднее значение вероятности безотказной работы тепловых сетей составляет

$$P_0(t) = e^{-0,234 \cdot 1} = 0,79$$

Среднее значение вероятности отказа тепловых сетей составляет

$$P(t) = 1 - 0,79 = 0,21$$

Таблица 2.1 – Данные по отказам на тепловых сетях города Лида за 2016 год

Показатель	Диаметр трубопроводов, мм													Всего
	Менее 57	76	89	108	133	159	219	273	325	377	426	530	630	
Протяжённость трубопроводов (подающих и обратных), км	9,815	6,948	7,669	8,672	2,145	11,096	6,571	6,868	5,917	5,578	6,964	15,274	0,626	94,143
Число отказов	-	2	7	-	-	4	5	2	-	1	1	-	-	22
Удельная повреждаемость, ω 1/(км×год)	-	0,288	0,913	-	-	0,361	0,761	0,291	-	0,179	0,143	-	-	0,234
Среднее время восстановления, ч	-	3,5	4,2	-	-	5	5,5	5,8	-	6,2	8	-	-	-

Общая протяженность водяных тепловых сетей, находящихся на балансе Лидских тепловых сетей, на 01.01.2018 г. составляет – 169 605 м в однотрубном исчислении.

- Тепловые сети подземной канальной прокладки - 76 766 м (45,2%)
- Тепловые сети подземной бесканальной прокладки (ПИ-трубы) - 75 950 м (44,8%)
- Тепловые сети надземной (воздушной) прокладки - 16 889 м (10,0%)

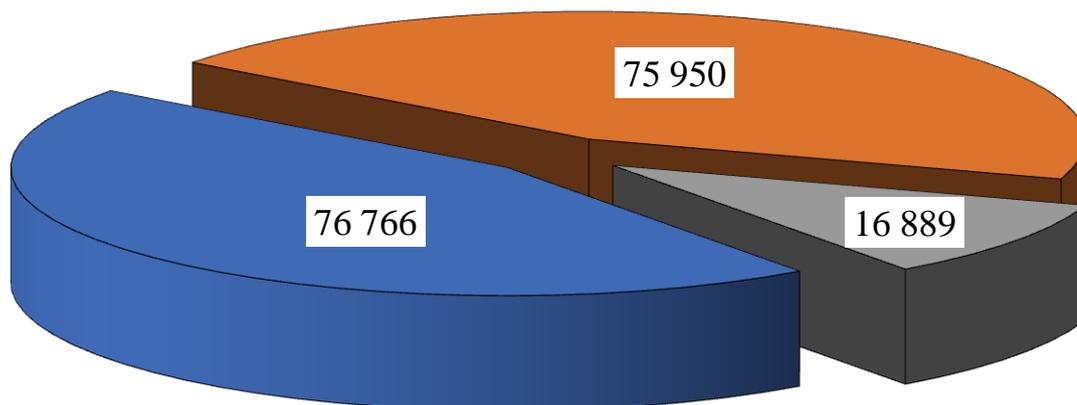
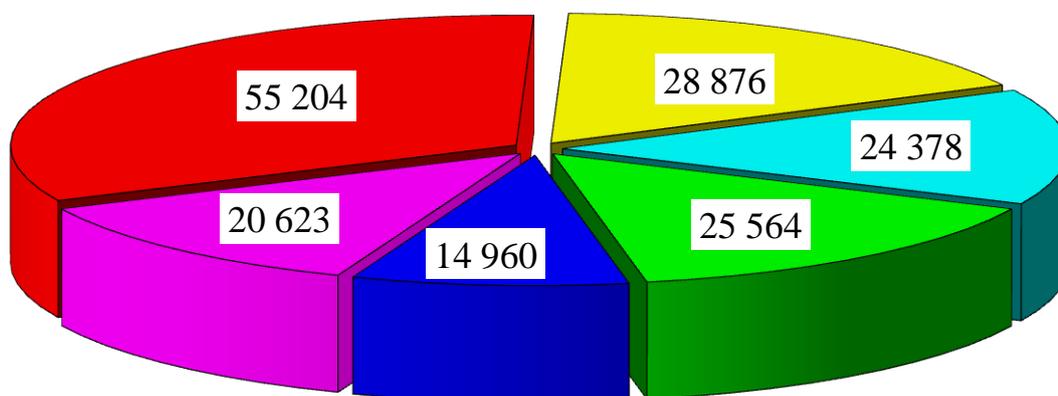


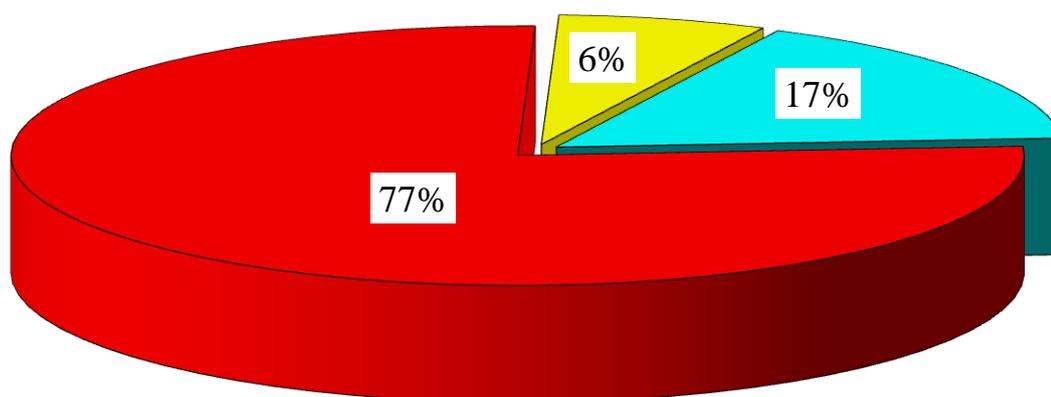
Рисунок 2.4 – Распределение тепловых сетей по типам прокладки за 2017 год



- | | |
|---------------------------|--------------------------|
| ■ до 5 лет (16,2%) | ■ от 5 до 10 лет (15,2%) |
| ■ от 10 до 15 лет (14,3%) | ■ от 15 до 20 лет (8,6%) |
| ■ от 20 до 25 лет (11,8%) | ■ более 25 лет (34,0%) |

Рисунок 2.5 – Распределение тепловых сетей по срокам эксплуатации за 2017 год

Увеличение количества тепловых сетей со сроком службы свыше 25 лет в 2017 году обусловлено приемкой на баланс предприятия квартальных тепловых сетей со сроком эксплуатации сверх нормативного от сторонних организаций по их фактическому состоянию, в соответствии с распоряжением Президента Республики Беларусь «О вопросах энергоснабжения» от 31 декабря 2015 года №231рп. Всего за 2017 год. Вследствие этого также произошло увеличение количества повреждений в сравнении с 2016 годом.



■ 15 - 20 лет (2 отказа) ■ 20 - 25 лет (5 отказов) ■ свыше 25 лет (23 отказа)

Рисунок 2.6 – Распределение отказов тепловых сетей за 2017 год

Среднее значение удельной повреждаемости трубопроводов

$$\omega_{\text{cp}} = 30 / (1 \cdot 93,655) = 0,320 \text{ 1/}(\text{год} \cdot \text{км}).$$

Среднее значение вероятности безотказной работы тепловых сетей составляет

$$P_0(t) = e^{-0,320 \cdot 1} = 0,73$$

Среднее значение вероятности отказа тепловых сетей составляет

$$P(t) = 1 - 0,73 = 0,27$$

Таблица 2.2 – Данные по отказам на тепловых сетях города Лида за 2017 год

Показатель	Диаметр трубопроводов, мм													Всего
	Менее 57	76	89	108	133	159	219	273	325	377	426	530	630	
Протяжённость трубопроводов (подающих и обратных), км	10,01	7,712	8,339	9,581	2,037	10,127	6,367	5,941	5,917	5,578	6,964	14,456	0,626	93,655
Число отказов	2	9	4	3	3	3	3	2	1	-	-	-	-	30
Удельная повреждаемость, ω 1/(км×год)	0,200	1,167	0,480	0,313	1,473	0,296	0,471	0,337	0,169	-	-	-	-	0,320
Среднее время восстановления, ч	3,8	4	4,5	4,6	4,2	5,2	5,5	6,1	6,8	-	-	-	-	-

Общая протяженность водяных тепловых сетей, находящихся на балансе Лидских тепловых сетей, на 01.01.2019 г. составляет – 170 241 м в однострубном исчислении.

- Тепловые сети подземной канальной прокладки - 70 677 м (41,5%)
- Тепловые сети подземной бесканальной прокладки (ПИ-трубы) - 82 675 м (48,6%)
- Тепловые сети надземной (воздушной) прокладки - 16 889 м (9,9%)

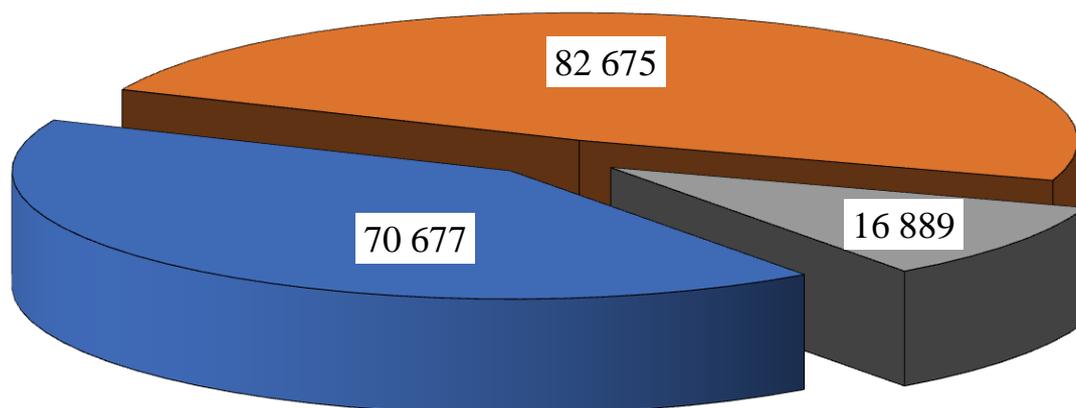
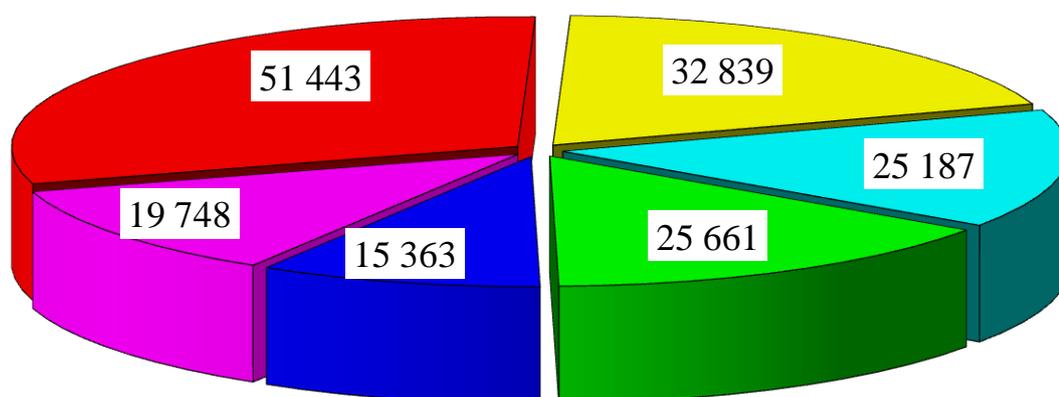
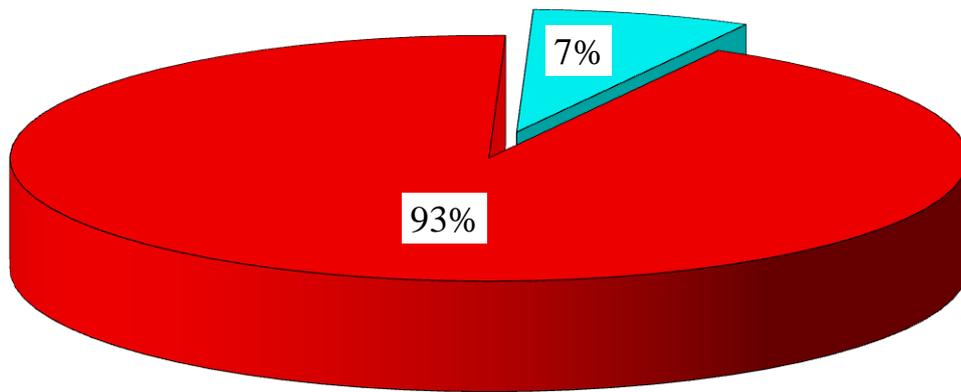


Рисунок 2.7 – Распределение тепловых сетей по типам прокладки за 2018 год



- до 5 лет (18,3%)
- от 5 до 10 лет (15,6%)
- от 10 до 15 лет (14,3%)
- от 15 до 20 лет (8,8%)
- от 20 до 25 лет (11,2%)
- более 25 лет (31,8%)

Рисунок 2.8 – Распределение тепловых сетей по срокам эксплуатации за 2018 год



■ 20 - 25 лет (2 отказа) ■ свыше 25 лет (25 отказов)

Рисунок 2.9 – Распределение отказов тепловых сетей за 2018 год

Среднее значение удельной повреждаемости трубопроводов

$$\omega_{\text{ср}} = 27 / (1 \cdot 87,566) = 0,308 \text{ 1/}(\text{год} \cdot \text{км}).$$

Среднее значение вероятности безотказной работы тепловых сетей составляет

$$P_0(t) = e^{-0,308 \cdot 1} = 0,73$$

Среднее значение вероятности отказа тепловых сетей составляет

$$P(t) = 1 - 0,73 = 0,27$$

Таблица 2.3 – Данные по отказам на тепловых сетях города Лида за 2018 год

Показатель	Диаметр трубопроводов, мм													Всего
	Менее 57	76	89	108	133	159	219	273	325	377	426	530	630	
Протяжённость трубопроводов (подающих и обратных), км	9,778	7,406	7,794	9,288	2,037	9,522	6,269	4,397	5,787	5,578	5,154	13,93	0,626	87,566
Число отказов	3	4	6	3	-	5	2	1	1	-	2	-	-	27
Удельная повреждаемость, ω 1/(км×год)	0,307	0,540	0,770	0,323	-	0,525	0,319	0,227	0,173	-	0,388	-	-	0,308
Среднее время восстановления, ч	3,5	3,8	4,4	5	-	5,5	5,8	6,2	6,5	-	8,4	-	-	-

Общая протяженность водяных тепловых сетей, находящихся на балансе Лидских тепловых сетей, на 01.01.2020 г. составляет – 171 864 м в однострубно́м исчислении.

- Тепловые сети подземной канальной прокладки - 64 161 м (37,4%)
- Тепловые сети подземной бесканальной прокладки (ПИ-трубы) - 90 784 м (52,8%)
- Тепловые сети надземной (воздушной) прокладки - 16 916 м (9,8%)

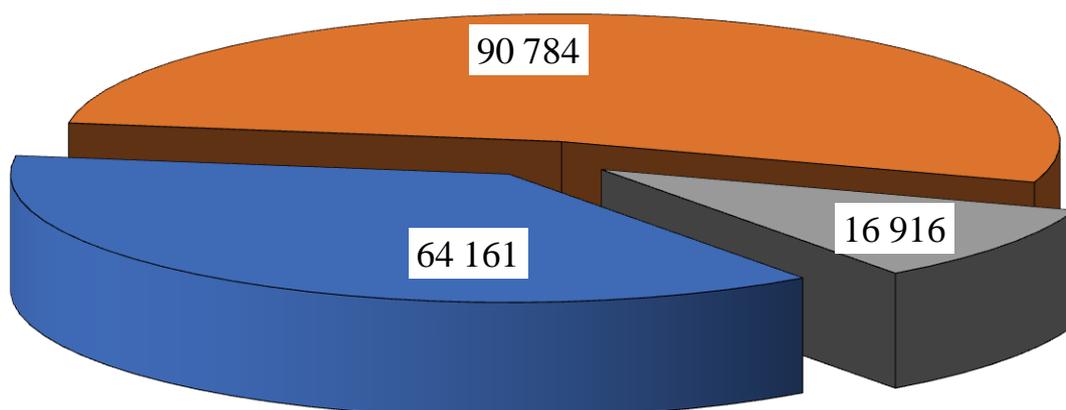


Рисунок 2.10 – Распределение тепловых сетей по типам прокладки за 2019 год

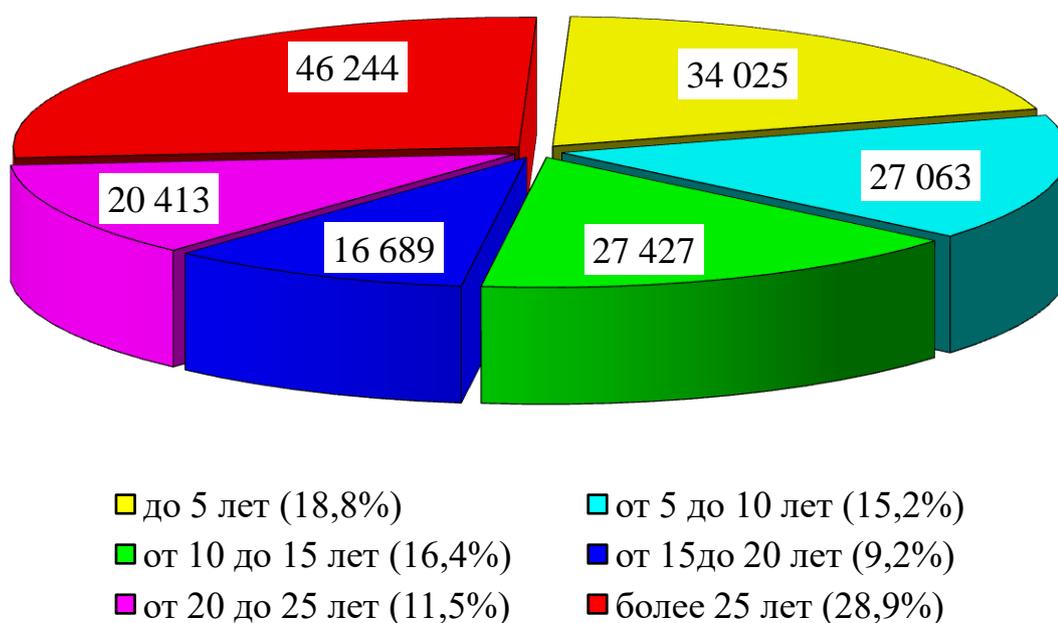
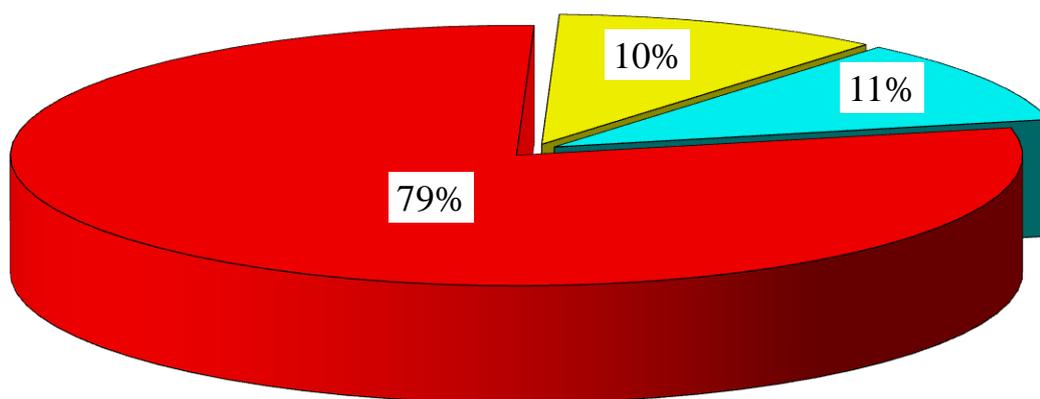


Рисунок 2.11 – Распределение тепловых сетей по срокам эксплуатации за 2019 год



■ 15 - 20 лет (2 отказа) ■ 20 - 25 лет (2 отказа) ■ свыше 25 лет (15 отказов)

Рисунок 2.12 – Распределение отказов тепловых сетей за 2019 год

Среднее значение удельной повреждаемости трубопроводов

$$\omega_{\text{ср}} = 19 / (1 \cdot 81,077) = 0,234 \text{ 1/}(\text{год} \cdot \text{км}).$$

Среднее значение вероятности безотказной работы тепловых сетей составляет

$$P_0(t) = e^{-0,234 \cdot 1} = 0,79$$

Среднее значение вероятности отказа тепловых сетей составляет

$$P(t) = 1 - 0,79 = 0,21$$

Таблица 2.4 – Данные по отказам на тепловых сетях города Лида за 2019 год

Показатель	Диаметр трубопроводов, мм													Всего
	Менее 57	76	89	108	133	159	219	273	325	377	426	530	630	
Протяжённость трубопроводов (подающих и обратных), км	9,584	6,973	6,961	8,808	2,037	8,342	5,67	2,793	5,371	5,384	4,602	13,926	0,626	81,077
Число отказов	2	4	3	2	1	2	1	1	1	2	-	-	-	19
Удельная повреждаемость, ω 1/(км×год)	0,209	0,574	0,431	0,227	0,491	0,240	0,176	0,358	0,186	0,371	-	-	-	0,234
Среднее время восстановления, ч	3,4	3,8	3,8	4,1	4	5,2	5,8	6,2	7	7,1	-	-	-	-

Общая протяженность водяных тепловых сетей, находящихся на балансе Лидских тепловых сетей, на 01.01.2021 г. составляет – 172 325 м в однострубном исчислении.

- Тепловые сети подземной канальной прокладки - 59 139 м (34,3%)
- Тепловые сети подземной бесканальной прокладки (ПИ-трубы) - 96 281 м (55,9%)
- Тепловые сети надземной (воздушной) прокладки - 16 905 м (9,8%)

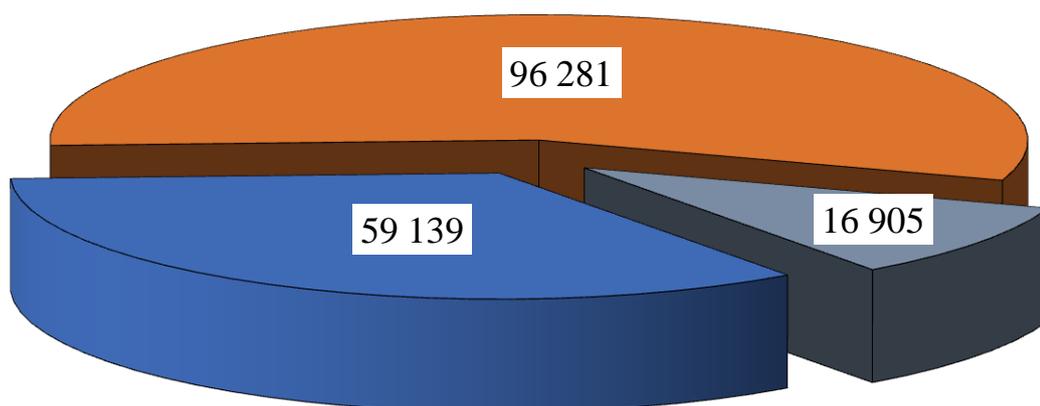
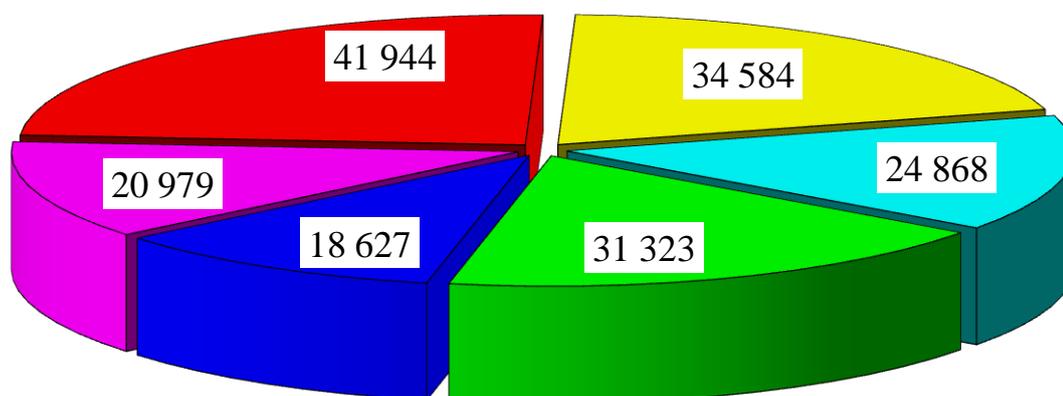


Рисунок 2.13 – Распределение тепловых сетей по типам прокладки за 2020 год



- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| ■ до 5 лет (19,2%) | ■ от 5 до 10 лет (13,7%) |
| ■ от 10 до 15 лет (18,8%) | ■ от 15 до 20 лет (10,3%) |
| ■ от 20 до 25 лет (11,8%) | ■ более 25 лет (26,5%) |

Рисунок 2.14 – Распределение тепловых сетей по срокам эксплуатации за 2020 год.

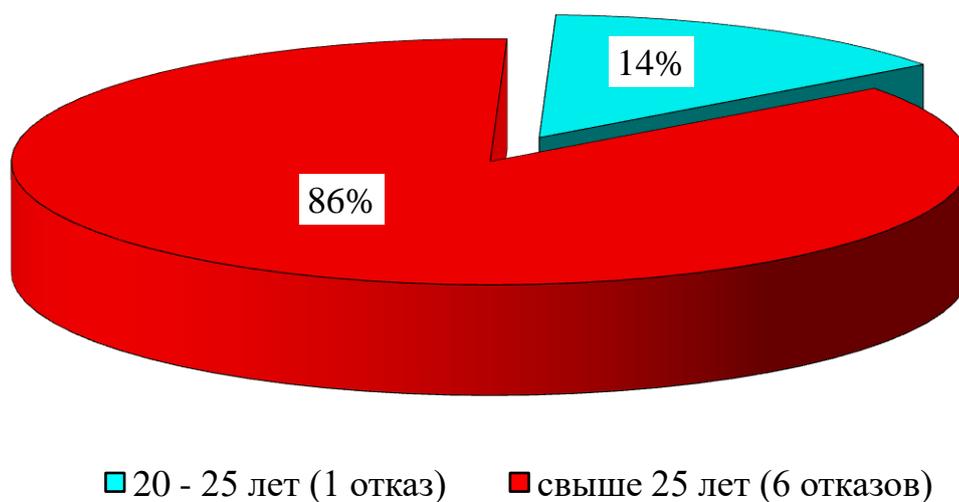


Рисунок 2.15 – Распределение отказов тепловых сетей за 2020 год

Среднее значение удельной повреждаемости трубопроводов

$$\omega_{\text{cp}} = 7 / (1 \cdot 76,044) = 0,09 \text{ 1/}(\text{год} \cdot \text{км}).$$

Среднее значение вероятности безотказной работы тепловых сетей составляет

$$P_0(t) = e^{-0,09 \cdot 1} = 0,91$$

Среднее значение вероятности отказа тепловых сетей составляет

$$P(t) = 1 - 0,91 = 0,09$$

Таблица 2.5 – Данные по отказам на тепловых сетях города Лида за 2020 год

Показатель	Диаметр трубопроводов, мм													Всего
	Менее 57	76	89	108	133	159	219	273	325	377	426	530	630	
Протяжённость трубопроводов (подающих и обратных), км	9,299	6,557	6,55	7,117	2,037	7,721	5,091	2,605	4,614	5,384	4,602	13,841	0,626	76,044
Число отказов	-	1	1	1	-	-	3	-	1	-	-	-	-	7
Удельная повреждаемость, ω 1/(км×год)	-	0,153	0,153	0,141	-	-	0,589	-	0,217	-	-	-	-	0,092
Среднее время восстановления, ч	-	3,9	3,5	4	-	-	5,4	-	6,6	-	-	-	-	-

Оценка состояния и анализа повреждаемости трубопроводов тепловых сетей за рассматриваемый период показал, что в последние годы прослеживается динамика уменьшение количества тепловых сетей со сроком эксплуатации свыше 25 лет, а соответственно, и уменьшение количества повреждений на тепловых сетях.

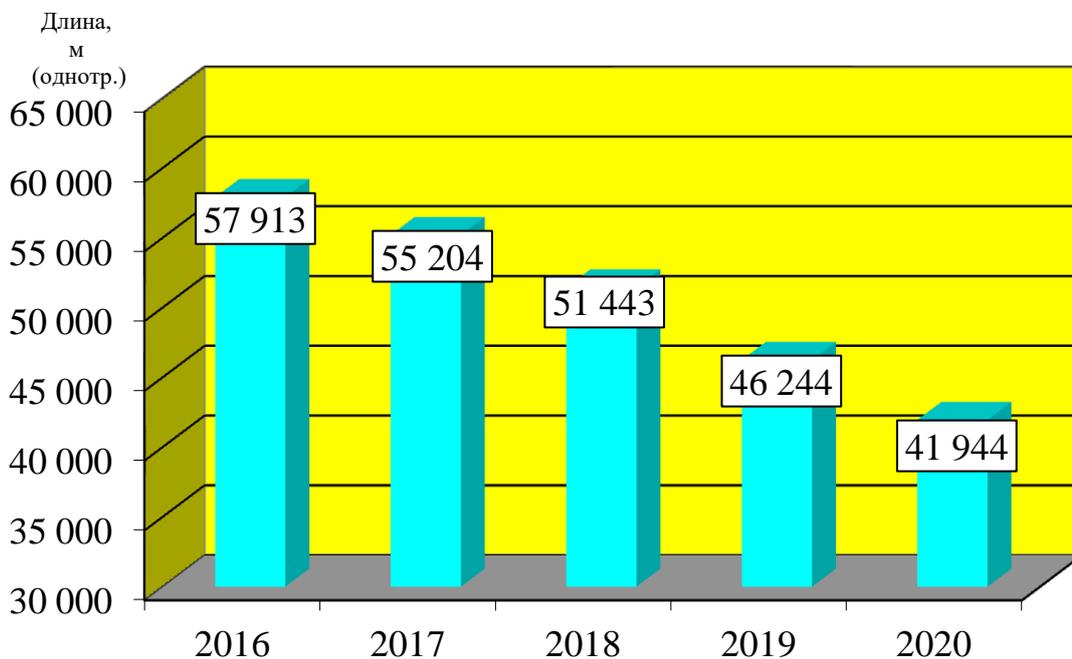


Рисунок 2.16 – Количество тепловых сетей со сроком службы превышающим 25 лет

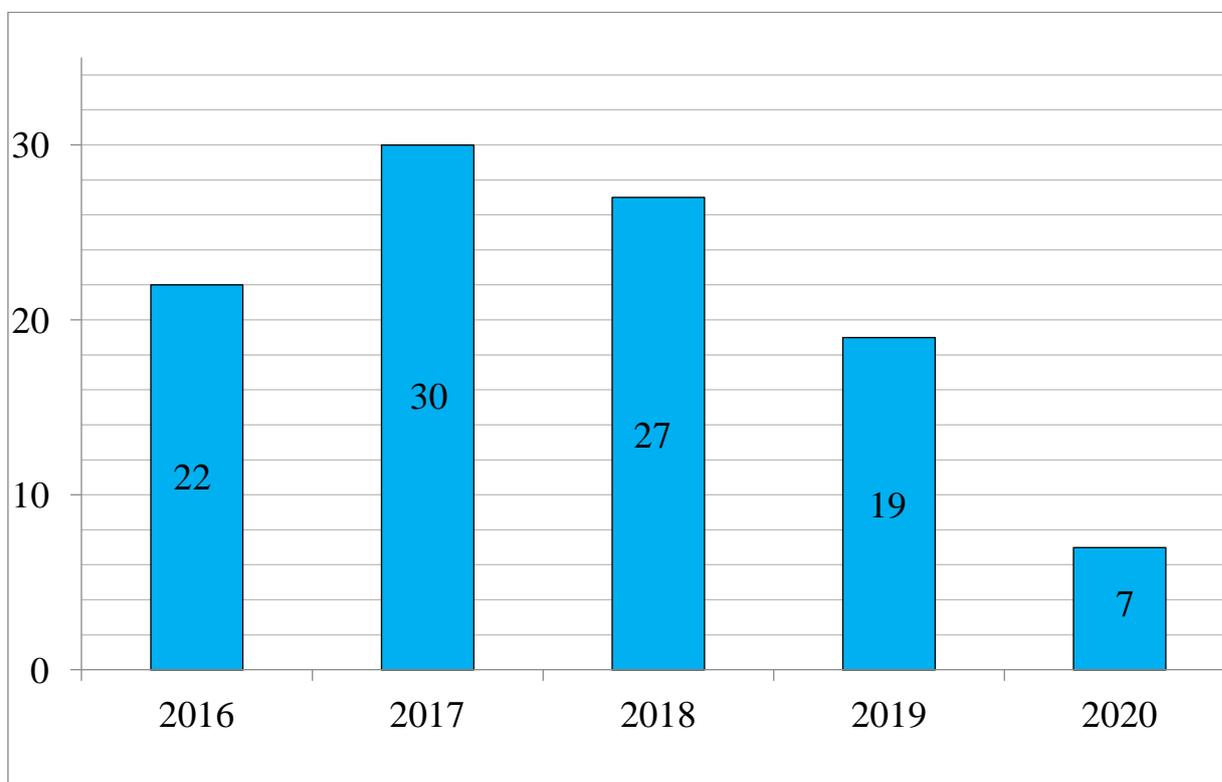


Рисунок 2.17 – Количество повреждений тепловых сетей за 2016-2020 г.

Это объясняется значительным и стабильным ростом доли ПИ-трубопроводов при проведении реконструкции тепловых сетей.



Рисунок 2.18 – Динамика замены тепловых сетей на ПИ-трубопроводы за 2016 - 2020г.

Усредненное значение удельной повреждаемости трубопроводов за период 2016-2020 г.г. снизилось с 0,320 1/(км×год) до 0,092 1/(км×год).

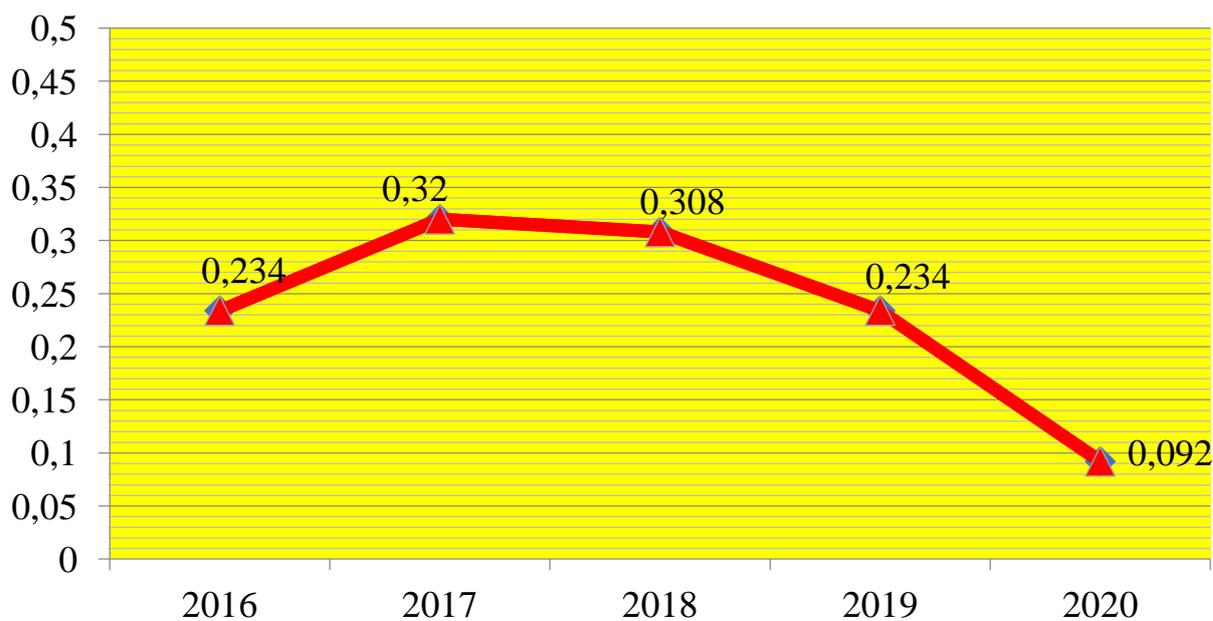


Рисунок 2.19 – Усредненные значения удельной повреждаемости трубопроводов

Сопоставление полученных усредненных значений вероятности безотказной работы тепловых сетей с минимально допустимым показателем вероятности безотказной работы для тепловых сетей, который следует принимать $P_{т.с.} = 0,9$, показывает, что происходит рост данного показателя из-за своевременной замены тепловых сетей срок, которых свыше 25 лет.

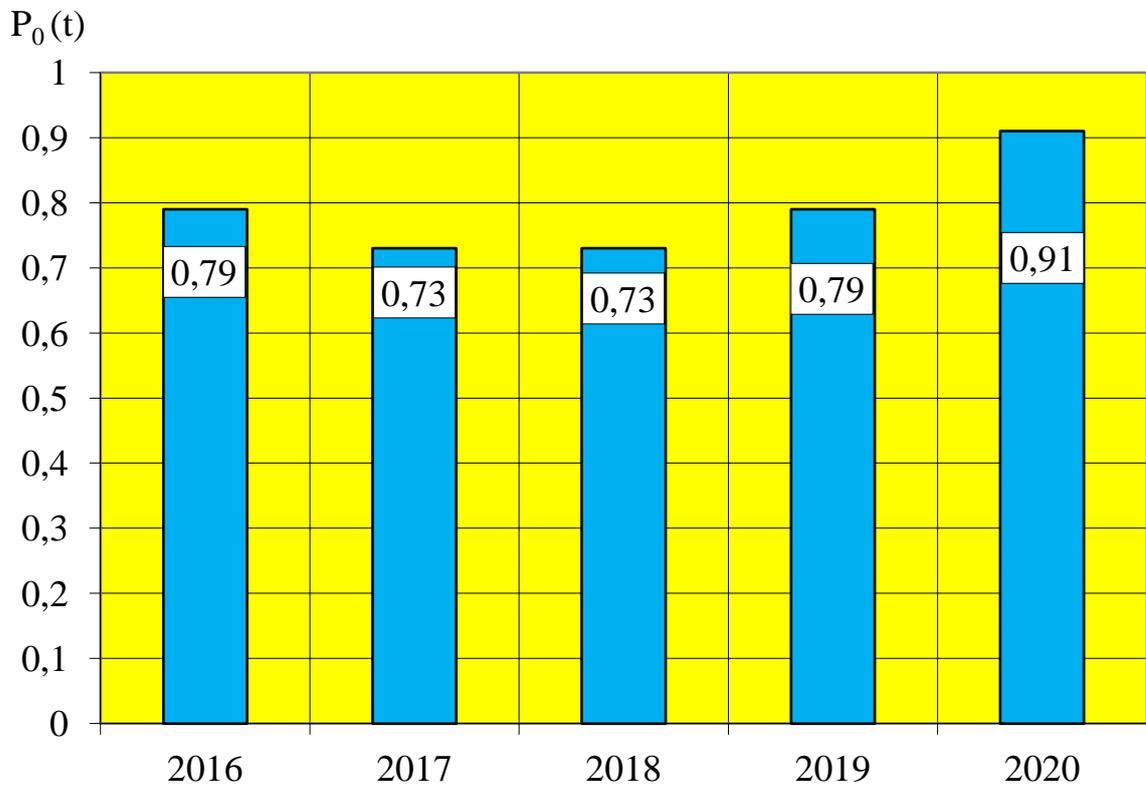


Рисунок 2.20 – Динамика среднего значения вероятности безотказной работы тепловых сетей за 2016 - 2020г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом статистического моделирования получены зависимости удельной повреждаемости, времени наработки на отказ, вероятности безотказной работы трубопроводов тепловых сетей от срока эксплуатации, позволяющие прогнозировать их надежность на значительный период.

В ходе диссертационного исследования проведён расчет усредненного удельной повреждаемости для тепловых сетей города Лида, полученный по статистическим данным, который по состоянию на 01.01.2021 год составляет для теплопроводов $\omega_{\text{ср}} = 0,09$ 1/(год · км). По существующим методикам и рекомендациям эти значения должны быть для теплопроводов - 0,05 1/(год · км).

Данные по потоку отказов теплосетей указывают на недостаточный уровень эксплуатации теплосетей, что требует разработки эксплуатационными организациями планов по увеличению объёмов замены тепловых сетей со сроком службы свыше 25 лет с учётом снижения прогнозируемого потока отказов до рекомендуемых значений (0,05 для ТС).

Высокие показатели надежности не гарантируют безаварийность работы трубопроводов тепловых сетей. В то же время параметры надежности позволяет теплоснабжающим организациям провести анализ надежности, и при необходимости разработать и реализовать опережающие мероприятия в целях поддержания безотказной работы тепловых сетей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СН 4.02.01-2019 Тепловые сети – Мн., 2020 – 47 с.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 9-е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ. – 2009. – 472 с.
3. ТКП 387-2012 Расследование и учет нарушений в работе объектов энергетического хозяйства потребителей электрической и (или) тепловой энергии – Мн., 2019 – 34 с.
4. Ионин А.А. Надежность систем тепловых сетей. - М.: Стройиздат, 1989. – 265 с.
5. СТП 09110.20.328-08 Инструкция по проведению оценки интенсивности процесса внутренней коррозии в тепловых сетях – ГПО "Белэнерго", Мн., 2008 – 34 с.
6. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения – М., 1989 – 36 с.
7. Теплоснабжение: Учебное пособие для студентов вузов / В. Е. Козин и др. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
8. Теплоснабжение: Учебник для вузов / А. А. Ионин, Б. М. Хлыбов, В. Н. Братенков, Е. Н. Терлецкая; Под ред. А. А. Ионина. – М: Стройиздат, 1982. – 336 с.
9. Наладка и эксплуатации водяных тепловых сетей: Справочник / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 432 с.
10. Железняк, В. К. Методология научного исследования: пособие для магистрантов и аспирантов технических специальностей / В. К. Железняк, А. В. Барков, Д. С. Рябенко; под общ. ред. В. К. Железняка. – Новополоцк: Полоцкий государственный университет, 2018. – 88 с.
11. Положение по оформлению и защите диссертации на соискание степени магистра наук Новополоцк: - ПГУ, 2014. – 14 с.
12. Яковлев, Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б.В. Яковлев. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 447 с.: ил., табл., схем.