



**СХЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОРОД МАГАДАН»
НА ПЕРИОД С 2014 ДО 2029 ГОДА
(актуализация на 2023 год)**

Книга 2 Обосновывающие материалы к схеме теплоснабжения

Глава 11. Оценка надежности теплоснабжения

СТС.020.002.011.000

Сведений, составляющих государственную тайну в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 30.11.1995 № 1203 «Об утверждении перечня сведений, отнесенных к государственной тайне», не содержится.

Департамент жилищно-коммунального хозяйства
и коммунальной инфраструктуры мэрии города
Магадана

Руководитель Департамент ЖКХ и КИ мэрии
города Магадана

подпись Худинин А.Н.

Разработчик:
Генеральный директор ООО «НП ТЭКтест-32»

подпись Полякова О.А.

Брянск
2023 г.

Оглавление

ГЛАВА 11.ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОСНАЖЕНИЯ	10
а) метода и результаты обработки данных по отказам участков тепловых сетей (аварийным ситуациям), средней частоты отказов участков тепловых сетей (аварийных ситуаций) в каждой системе теплоснабжения.....	11
б) метод и результат обработки данных по восстановлению отказавших участков тепловых сетей (участков тепловых сетей, на которых произошли аварийные ситуации), среднего времени восстановления отказавших участков тепловых сетей в каждой системе теплоснабжения	17
в) результаты оценки вероятности отказов (аварийной ситуации) и безотказной (безаварийной) работы системы теплоснабжения по отношению к потребителям, присоединенным к магистральным и распределительным теплопроводам	17
г) результатов оценки коэффициентов готовности теплопроводов к несению тепловой нагрузки	26
д) результат оценки недоотпуска тепловой энергии по причине отказов (аварийных ситуаций) и простоев тепловых сетей и источников тепловой энергии	28
е) предложения, обеспечивающие надежность систем теплоснабжения	30

Состав документа

Наименование документа	Шифр
Схема теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан» (Утверждаемая часть)	СТС.020.001.000.000
Книга 1. Существующее положение в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии для целей теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан»	СТС.020.002.001.000
Книга 2 Существующее и перспективное потребление тепловой энергии на цели теплоснабжения	СТС.020.002.002.000
Книга 3 Электронная модель системы теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан»	СТС.020.002.003.000
Книга 4 Существующие и перспективные балансы тепловой мощности источников тепловой энергии и тепловой нагрузки потребителей	СТС.020.002.004.000
Книга 5 Мастер-план развития систем теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан»	СТС.020.002.005.000
Книга 6 Существующие и перспективные балансы производительности водоподготовительных установок и максимального потребления теплоносителя теплопотребляющими установками потребителей, в том числе в аварийных режимах	СТС.020.002.006.000
Книга 7 Предложения по строительству, реконструкции, техническому перевооружению и (или) модернизации источников тепловой энергии	СТС.020.002.007.000
Книга 8 Предложения по строительству, реконструкции и (или) модернизации тепловых сетей	СТС.020.002.008.000
Книга 9 Предложения по переводу открытых систем теплоснабжения (горячего водоснабжения) в закрытые системы горячего водоснабжения	СТС.020.002.009.000
Книга 10 Перспективные топливные балансы	СТС.020.002.010.000
Книга 11 Оценка надежности теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан».	СТС.020.002.011.000
Книга 12 Обоснование инвестиций в строительство, реконструкцию, техническое перевооружение и (или) модернизации муниципального образования «Город Магадан»	СТС.020.002.012.000
Книга 13 Индикаторы развития систем теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан»	СТС.020.002.013.000
Книга 14 Ценовые (тарифные) последствия	СТС.020.002.014.000
Книга 15 Реестр единых теплоснабжающих организаций	СТС.020.002.015.000
Книга 16 Реестр мероприятий схемы теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан»	СТС.020.002.016.000
Книга 17 Замечания и предложения к проекту схемы теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан»	СТС.020.002.017.000
Книга 18. Сводный том изменений, выполненных в доработанной и (или) актуализированной схеме теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан»	СТС.020.002.018.000

Настоящий отчет сформирован в рамках формирования Книги 1 Существующее положение в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии для целей теплоснабжения

Паспорт актуализированной схемы теплоснабжения

Виды работ	Актуализация схемы теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан» на период с 2014 до 2029 года (актуализация на 2023 год).
Основание для разработки схемы теплоснабжения	<p>1.Федеральный закон от 27.07.2010 г. № 190 «О теплоснабжении» (с изменениями и дополнениями);</p> <p>2.Постановление Правительства Российской Федерации от 22.02.2012 г. №154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения (с изменениями)»;</p> <p>3. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 05.03.2019 г. № 212 «Об утверждении методических указаний по разработке схем теплоснабжения»;</p> <p>4.Федеральный закон от 06.10.2003 г. №131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 10.01.2022 г.);</p> <p>5.Федеральному закону от 07.12.2011 г. № 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» в части требований к эксплуатации открытых систем теплоснабжения;</p> <p>6.Федеральный закон от 07.12.2011 г. № 417-ФЗ «О внесении изменений в законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием федерального закона «О водоснабжении и водоотведении» в части внесения изменений в закон «О теплоснабжении»;</p> <p>7.Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;</p> <p>8. Министерство энергетики Российской Федерации Приказ от 30.06.2014 г. №399 «Методика расчета значений целевых показателей в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, в том числе в сопоставимых условиях»;</p> <p>9.Постановление Правительства Российской Федерации № 452 от 16.05.2014 г. «Правила определения плановых и расчета фактических значений показателей надежности и энергетической эффективности объектов теплоснабжения, а также определения достижения организацией, осуществляющей регулируемые виды деятельности в сфере теплоснабжения, указанных плановых значений»;</p> <p>10. Генеральный план муниципального образования «Город Магадан»</p> <p>11. Утвержденная в 2021 г. актуализированная Схема теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан»;</p> <p>12. Постановление от 30 июня 2022 г. №2130-пм г. Магадан «Об актуализации схемы теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан» на 2014-2029 годы</p>

	13. Другие нормативно-правовые и нормативно-методические документы.
Заказчики схемы	Департамент жилищно-коммунального хозяйства и коммунальной инфраструктуры мэрии города Магадана
Основные разработчики схемы теплоснабжения	ООО «НП ТЭКтест-32»
Цели разработки схемы теплоснабжения	<p>Целью работы является разработка решений по повышению надежности и эффективности эксплуатации систем теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан», как базового документа, определяющего стратегию и единую техническую политику перспективного развития систем теплоснабжения.</p> <p>Работа должна содержать анализ фактического состояния систем теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан», полную информацию о фактических технико-экономических показателях, требуемую для принятия решения о целесообразности инвестирования в технологические решения с целью обеспечения надежности и развития системы централизованного теплоснабжения муниципального образования с учетом снижения эксплуатационных затрат и достижения необходимого уровня энергоэффективности.</p> <p>Разработка единого комплекса мероприятий, обеспечит сбалансированное перспективное развитие системы коммунальной инфраструктуры в соответствии с потребностями жилищного и промышленного строительства обеспечения надежности, энергетической эффективности указанных системы, снижения негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека, повышения инвестиционной привлекательности коммунальной инфраструктуры на территории муниципального образования «Город Магадан».</p> <p>Задачи:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Актуализация схемы теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан» на период с 2014 до 2029 года (актуализация на 2023 год): <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Камеральное обследование системы теплоснабжения. 1.2. Актуализация утверждаемой части и обосновывающих материалов. 1.3. Актуализация электронной модели систем теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан». 1.4. Разработка плана действий по ликвидации последствий аварийных ситуаций.
Этапы (периоды) Схемы теплоснабжения	<p>Базовым годом разработки – принять год, предшествующий году, в котором подлежит утверждению актуализированная схема теплоснабжения муниципального образования.</p> <p>Расчеты по перспективе развития систем теплоснабжения формируются на каждый год первого 5-летнего периода и на последующие 5-летние периоды.</p>

Основные индикаторы и показатели, позволяющие оценить ход реализации мероприятий схемы и ожидаемые результаты реализации мероприятий из схемы теплоснабжения	<ul style="list-style-type: none">– обеспечение безопасности и надежности теплоснабжения потребителей в соответствии с требованиями технических регламентов;- обеспечение энергетической эффективности теплоснабжения и потребления тепловой энергии с учетом требований, установленных федеральными законами;– снижение потерь воды и тепловой энергии в сетях централизованного отопления и горячего водоснабжения в установленные сроки.– соблюдение баланса экономических интересов теплоснабжающих организаций и интересов потребителей;- оценку экономической эффективности мероприятий по переводу открытых систем теплоснабжения (горячего водоснабжения), отдельных участков таких систем на закрытые системы горячего водоснабжения в порядке, установленном Правительством Российской Федерации.
--	---

Термины и определения

При формировании Схемы теплоснабжения использованы следующие термины и определения:

зона действия источника тепловой энергии – территория города, городского округа или ее часть, границы которой устанавливаются закрытыми секционирующими задвижками тепловой сети системы теплоснабжения;

зона действия системы теплоснабжения – территория города, городского округа или ее часть, границы которой устанавливаются по наиболее удаленным точкам подключения потребителей к тепловым сетям, входящим в систему теплоснабжения;

зона деятельности единой теплоснабжающей организации – одна или несколько систем теплоснабжения на территории поселения, городского округа, в границах которых единая теплоснабжающая организация обязана обслуживать любых обратившихся к ней потребителей тепловой энергии;

источник тепловой энергии – устройство, предназначенное для производства тепловой энергии;

качество теплоснабжения – совокупность установленных нормативными правовыми актами Российской Федерации и (или) договором теплоснабжения характеристик теплоснабжения, в том числе термодинамических параметров теплоносителя;

комбинированная выработка электрической и тепловой энергии – режим работы теплоэлектростанций, при котором производство электрической энергии непосредственно связано с одновременным производством тепловой энергии;

мощность источника тепловой энергии нетто - величина, равная располагаемой мощности источника тепловой энергии за вычетом тепловой нагрузки на собственные и хозяйственные нужды;

надежность теплоснабжения – характеристика состояния системы теплоснабжения, при котором обеспечиваются качество и безопасность теплоснабжения;

открытая система теплоснабжения (горячего водоснабжения) – технологически связанный комплекс инженерных сооружений, предназначенный для теплоснабжения и горячего водоснабжения путем отбора горячей воды из тепловой сети;

потребитель тепловой энергии – лицо, приобретающее тепловую энергию (мощность), теплоноситель для использования на принадлежащих ему на праве собственности или ином законном основании теплопотребляющих установках либо для

оказания коммунальных услуг в части горячего водоснабжения и отопления;

радиус эффективного теплоснабжения – максимальное расстояние от теплопотребляющей установки до ближайшего источника тепловой энергии в системе теплоснабжения, при превышении которого подключение теплопотребляющей установки к данной системе теплоснабжения нецелесообразно по причине увеличения совокупных расходов в системе теплоснабжения;

рабочая мощность источника тепловой энергии - средняя приведенная часовая мощность источника тепловой энергии, определяемая по фактическому полезному отпуску источника тепловой энергии за последние 3 года работы;

располагаемая мощность источника тепловой энергии – величина, равная установленной мощности источника тепловой энергии за вычетом объемов мощности, не реализуемой по техническим причинам, в том числе по причине снижения тепловой мощности оборудования в результате эксплуатации на продленном техническом ресурсе (снижение параметров пара перед турбиной, отсутствие рециркуляции в пиковых водогрейных котлоагрегатах и др.);

расчетный элемент территориального деления – территория города, городского округа или ее часть, принятая для целей разработки схемы теплоснабжения в неизменяемых границах на весь срок действия схемы теплоснабжения.

система теплоснабжения – совокупность источников тепловой энергии и теплопотребляющих установок, технологически соединенных тепловыми сетями;

тепловая нагрузка – количество тепловой энергии, которое может быть принято потребителем тепловой энергии за единицу времени;

тепловая мощность – количество тепловой энергии, которое может быть произведено и (или) передано по тепловым сетям за единицу времени;

тепловая сеть – совокупность устройств (включая центральные тепловые пункты, насосные станции), предназначенных для передачи тепловой энергии, теплоносителя от источников тепловой энергии до теплопотребляющих установок;

тепловая энергия – энергетический ресурс, при потреблении которого изменяются термодинамические параметры теплоносителей (температура, давление);

теплоноситель – пар, вода, которые используются для передачи тепловой энергии;

теплоснабжение – обеспечение потребителей тепловой энергии тепловой энергией, теплоносителем, в том числе поддержание мощности;

теплоснабжающая организация – организация, осуществляющая продажу

потребителям и (или) теплоснабжающим организациям произведенных или приобретенных тепловой энергии (мощности), теплоносителя и владеющая на праве собственности или ином законном основании источниками тепловой энергии и (или) тепловыми сетями в системе теплоснабжения, посредством которой осуществляется теплоснабжение потребителей тепловой энергии (данное положение применяется к регулированию сходных отношений с участием индивидуальных предпринимателей);

теплопотребляющая установка – устройство, предназначенное для использования тепловой энергии, теплоносителя для нужд потребителя тепловой энергии;

теплосетевые объекты – объекты, входящие в состав тепловой сети и обеспечивающие передачу тепловой энергии от источника тепловой энергии до теплопотребляющих установок потребителей тепловой энергии;

установленная мощность источника тепловой энергии – сумма номинальных тепловых мощностей всего принятого по акту ввода в эксплуатацию оборудования, предназначенного для отпуска тепловой энергии потребителям на собственные и хозяйственные нужды;

элемент территориального деления – территория города, городского округа или ее часть, установленная по границам административно-территориальных единиц.

ГЛАВА 11.ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОСНАЖЕНИЯ

Термины и определения

Термины и определения, используемые в данном разделе соответствуют определениям ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике».

Надежность – свойство участка тепловой сети или элемента тепловой сети сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность обеспечивать передачу теплоносителя в заданных режимах и условиях применения и технического обслуживания. Надежность тепловой сети и системы теплоснабжения является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Безотказность – свойство тепловой сети непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки;

Долговечность – свойство тепловой сети или объекта тепловой сети сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта;

Ремонтпригодность – свойство элемента тепловой сети, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта;

Исправное состояние – состояние элемента тепловой сети и тепловой сети в целом, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации;

Неисправное состояние – состояние элемента тепловой сети и тепловой сети в целом, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации;

Работоспособное состояние – состояние элемента тепловой сети и тепловой сети в целом, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации;

Неработоспособное состояние - состояние элемента тепловой сети, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или)

конструкторской (проектной) документации. Для сложных объектов возможно деление их неработоспособных состояний. При этом из множества неработоспособных состояний выделяют частично неработоспособные состояния, при которых тепловая сеть способна частично выполнять требуемые функции;

Предельное состояние – состояние элемента тепловой сети или тепловой сети в целом, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно;

Критерий предельного состояния - признак или совокупность признаков предельного состояния элемента тепловой сети, установленные нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией. В зависимости от условий эксплуатации для одного и того же элемента тепловой сети могут быть установлены два и более критериев предельного состояния;

Дефект – по ГОСТ 15467;

Повреждение – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния;

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния элемента тепловой сети или тепловой сети в целом;

Критерий отказа – признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния тепловой сети, установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

а) метода и результаты обработки данных по отказам участков тепловых сетей (аварийным ситуациям), средней частоты отказов участков тепловых сетей (аварийных ситуаций) в каждой системе теплоснабжения

Для целей перспективной схемы теплоснабжения термин «отказ» будет использован в следующих интерпретациях:

отказ участка тепловой сети – событие, приводящие к нарушению его работоспособного состояния (т.е. прекращению транспорта теплоносителя по этому участку в связи с нарушением герметичности этого участка);

отказ теплоснабжения потребителя – событие, приводящее к падению температуры в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий ниже +12 °С, в промышленных зданиях ниже +8 °С (СНиП 41-02-2003. Тепловые сети).

При разработке схемы теплоснабжения для описания надежности термины «повреждение» и «инцидент» будут употребляться только в отношении событий, к которым может быть применена процедура отложенного ремонта, потому что в соответствии с ГОСТ 27.002-89 эти события не приводят к нарушению работоспособности участка тепловой сети и, следовательно, не требуют выполнения незамедлительных ремонтных работ с целью восстановления его работоспособности. К таким событиям относятся зарегистрированные «свищи» на прямом или обратном теплопроводах тепловых сетей. Тем не менее, ремонтные работы по ликвидации свищей требуют прерывания теплоснабжения (если нет вариантов подключения резервных теплопроводов), и в этом смысле они аналогичны «отложенным» отказам.

Мы также не будем употреблять термин «авария», так как это характеристика «тяжести» отказа и возможных последствия его устранения. Все упомянутые в этом абзаце термины устанавливают лишь градацию (шкалу) отказов.

Способность проектируемых и действующих источников теплоты, тепловых сетей и в целом СЦТ обеспечивать в течение заданного времени требуемые режимы, параметры и качество теплоснабжения (отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, а также технологических потребностей предприятий в паре и горячей воде) следует определять по вероятности безотказной работы [Р]. Минимально допустимые показатели вероятности безотказной работы следует принимать:

источника теплоты РИТ = 0,97;

тепловых сетей РТС = 0,9;

потребителя теплоты РПТ = 0,99.

Для описания показателей надежности и качества поставки тепловой энергии, определения зон ненормативной надежности и безопасности теплоснабжения рассчитываем показатели надежности тепловых сетей по каждой зоне теплоснабжения для наиболее отдаленных потребителей от каждого источника теплоснабжения. Методика расчета надежности относительно отдаленных потребителей основывается на том, что вероятность безотказной работы снижается по мере удаления от источника теплоснабжения. Таким образом, определяется узел тепловой сети, начиная с которого значение вероятности безотказной работы ниже нормативно допустимого показателя. В результате расчета формируется зона ненормативной надежности и безопасности теплоснабжения по каждой зоне теплоснабжения. При расчете показателей надежности работы тепловых сетей учитывается кольцевое включение трубопроводов, возможность

использования резервных перемычек и перераспределения зон теплоснабжения между источниками. Для оценки объемов тепловой зоны с ненормативной надежностью тепловых сетей представлены значения величины материальных характеристик трубопроводов зоны безопасности теплоснабжения и зоны ненормативной надежности, их процентное соотношение.

Для ликвидации зон ненормативной надежности будут предложены мероприятия по реконструкции и капитальному ремонту тепловых сетей, строительству резервных перемычек и насосных станций. При расчете надежности системы теплоснабжения используются следующие условные обозначения:

РБР – вероятности безотказной работы;

РОТ – вероятность отказа, где $РОТ = 1 - РБР$

Расчет вероятности безотказной работы тепловой сети по отношению к каждому потребителю рекомендуется выполнять с применением приведенного ниже алгоритма. Определить путь передачи теплоносителя от источника до потребителя, по отношению к которому выполняется расчет вероятности безотказной работы тепловой сети.

На первом этапе расчета устанавливается перечень участков теплопроводов, составляющих этот путь.

Для каждого участка тепловой сети устанавливаются: год его ввода в эксплуатацию, диаметр и протяженность.

На основе обработки данных по отказам и восстановлением (времени, затраченном на ремонт участка) всех участков тепловых сетей за несколько лет их работы устанавливаются следующие зависимости:

λ_0 - средневзвешенная частота (интенсивность) устойчивых отказов участков в конкретной системе теплоснабжения при продолжительности эксплуатации участков от 3 до 17 лет, $1/(км \cdot год)$;

λ_0 - средневзвешенная частота (интенсивность) отказов для участков тепловой сети с продолжительностью эксплуатации от 1 до 3 лет, $1/(км \cdot год)$;

λ_0 - средневзвешенная частота (интенсивность) отказов для участков тепловой сети с продолжительностью эксплуатации от 17 и более лет, $1/(км \cdot год)$.

Частота (интенсивность) отказов каждого участка тепловой сети измеряется с помощью показателя λ_i , который имеет размерность $1/(км \cdot год)$. Интенсивность отказов всей тепловой сети (без резервирования) по отношению к потребителю представляется как последовательное (в смысле надежности) соединение элементов при котором отказ

одного из всей совокупности элементов приводит к отказу все системы в целом. Средняя вероятность безотказной работы системы, состоящей из последовательно соединенных элементов, будет равна произведению вероятностей безотказной работы:

$$P_c = \prod_{i=1}^{i=N} P_i = e^{-\lambda_1 L_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 L_2 t} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda_n L_n t} = e^{-t \sum_{i=1}^n \lambda_i L_i} = e^{-\lambda_c t}, \quad (1)$$

Интенсивность отказов всего последовательного соединения равна сумме интенсивностей отказов на каждом участке:

$$\lambda_c = \lambda_1 L_1 + \lambda_2 L_2 + \dots + \lambda_n L_n, \frac{1}{\text{час}} \quad (2)$$

где L - протяженность каждого участка, км.

Для описания параметрической зависимости интенсивности отказов рекомендуется использовать зависимость от срока эксплуатации, следующего вида, близкую по характеру к распределению Вейбулла:

$$\lambda(t) = \lambda_0(0, t\tau)^{a-1}, \quad (3)$$

где τ - срок эксплуатации участка, лет.

Для распределения Вейбулла рекомендуется использовать следующие эмпирические коэффициенты:

$$a = \begin{cases} 0,8 & \text{при } 1 < \tau \leq 3 \\ 1,0 & \text{при } 3 < \tau \leq 17 \\ 0,5 \cdot e^{\tau/20} & \text{при } \tau > 17 \end{cases}, \quad (4)$$

Поскольку статистические данные о технологических нарушениях, предоставленные теплоснабжающими организациями, недостаточно полные, то среднее значение интенсивности отказов принимается равным $\lambda_0=0,05$ 1/(год·км). При использовании данной зависимости следует помнить о некоторых допущениях, которые были сделаны при отборе данных:

- она применима только тогда, когда в тепловых сетях существует четкое разделение на эксплуатационный и ремонтный периоды;
- в ремонтный период выполняются гидравлические испытания тепловой сети после каждого отказа.

По данным региональных справочников по климату о среднесуточных температурах наружного воздуха за последние десять лет строят зависимость повторяемости температур наружного воздуха (график продолжительности тепловой нагрузки отопления). При отсутствии этих данных зависимость повторяемости температур наружного воздуха для местоположения тепловых сетей принимают по данным СНиП 2.01.01-82 или справочника «Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей».

С использованием данных о тепло аккумулирующей способности объектов теплопотребления (зданий) определяют время, за которое температура внутри отапливаемого помещения снизится до температуры, установленной в критериях отказа теплоснабжения.

Отказ теплоснабжения потребителя – событие, приводящее к падению температуры в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий ниже +12 °С, в промышленных зданиях ниже +8 °С (СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003). Для расчета времени снижения температуры в жилом здании до +12 °С при внезапном прекращении теплоснабжения формула имеет следующий вид:

$$z = \beta \cdot \ln \frac{t_e - t_n}{t_{в.а} - t_n}, \quad (5)$$

где $t_{в.а}$ – внутренняя температура, которая устанавливается критерием отказа теплоснабжения (+12 °С для жилых зданий). Расчет проводится для каждой градации повторяемости температур наружного воздуха.

Расчет времени снижения температуры внутри отапливаемого помещения при коэффициенте аккумуляции жилого здания $\beta=40$ часов приведён в таблице 1.

На основе данных о частоте (потоке) отказов участков тепловой сети, повторяемости температур наружного воздуха и данных о времени восстановления (ремонта) элемента (участка, НС, компенсатора и т.д.) тепловых сетей определяют вероятность отказа теплоснабжения потребителя. В случае отсутствия достоверных данных о времени восстановления теплоснабжения потребителей, рекомендуется использовать эмпирическую зависимость для времени, необходимом для ликвидации повреждения, предложенную Е.Я.Соколовым:

$$Z_p = a \cdot [1 + (b + c \cdot L_{с.з.}) \cdot D^{12}], \quad (6)$$

где a, b, c – постоянные коэффициенты, зависящие от способа укладки теплопровода (подземный, надземный) и его конструкции, а также от способа диагностики места повреждения и уровня организации ремонтных работ;

$L_{с.з.}$ – расстояние между секционирующими задвижками, м; D – условный диаметр трубопровода, м.

Согласно рекомендациям для подземной прокладки теплопроводов значения постоянных коэффициентов равны: $a=6$; $b=0,5$; $c=0,0015$.

Значения расстояний между секционирующими задвижками $L_{с.з.}$ берутся из соответствующей базы электронной модели. Если эти значения в базах модели не определены, тогда расчёт выполняется по значениям, определённым СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003, по формуле:

$$L_{с.з.} = \begin{cases} \leq 1000 \text{ м при } D \geq 100 \text{ мм} \\ \leq 1500 \text{ м при } 400 \leq D \leq 500 \text{ мм} \\ \leq 3000 \text{ м при } D \geq 600 \text{ мм} \\ \leq 5000 \text{ м при } D \geq 900 \text{ мм} \end{cases}, \quad (7)$$

Расчет выполняется для каждого участка, входящего в путь от источника до абонента:

- вычисляется время ликвидации повреждения на i -м участке; по каждой градации повторяемости температур вычисляется допустимое время проведения ремонта;
- вычисляется относительная и накопленная частота событий, при которых время снижения температуры до критических значений меньше чем время ремонта повреждения;
- вычисляются относительные доли и поток отказов участка тепловой сети, способ привести к снижению температуры в отапливаемом помещении до температуры $+12^\circ\text{C}$:

$$\bar{z} = \left(1 - \frac{z_{i,j}}{z_p}\right) \cdot \frac{\tau_j}{\tau_{он}}, \quad (8)$$

$$\bar{\omega} = \lambda_i \cdot L_i \cdot \sum_{j=1}^{j=N} \bar{z}_{i,j}, \quad (9)$$

- вычисляется вероятность безотказной работы участка тепловой сети относительно абонента

$$p_i = \exp(-\bar{\omega}_i), \quad (10)$$

Таблица 1.–расчет времени снижения температуры внутри отапливаемого помещения

Температур наружного воздуха, $^\circ\text{C}$	Повторяемость температур наружного воздуха, час	Время снижения температуры воздуха внутри отапливаемого помещения до $+12^\circ\text{C}$
-50,0	0	3,69
-47,5	0	3,84
-42,5	0	4,18
-37,5	7	4,58
-32,5	31	5,06
-27,5	127	5,66
-22,5	355	6,41
-17,5	590	7,41
-12,5	838	8,76
-7,5	974	10,73
-2,5	919	13,85
2,5	900	19,58
7,5	514	33,89

б) метод и результат обработки данных по восстановлению отказавших участков тепловых сетей (участков тепловых сетей, на которых произошли аварийные ситуации), среднего времени восстановления отказавших участков тепловых сетей в каждой системе теплоснабжения

Для анализа восстановлений применен количественный метод анализа. Время, затраченное на восстановление теплоснабжения потребителей после аварийных отключений, в значительной степени зависит от следующих факторов: диаметр трубопровода, тип прокладки, объем дренирования и заполнения тепловой сети, а также времени, затраченного на согласование раскопок с собственниками смежных коммуникаций. Среднее время, затраченное на восстановление теплоснабжения потребителей после аварийных отключений в отопительный период, зависит от характеристик трубопровода отключаемой теплосети, и соответствует установленным нормативам. Нормативный перерыв теплоснабжения (с момента обнаружения, идентификации дефекта и подготовки рабочего места, включающего в себя установление точного места повреждения (со вскрытием канала) и начала операций по локализации поврежденного трубопровода). Указанные нормативы представлены в таблице 2.

Таблица 2– Допустимое время восстановления участка тепловой сети согласно СНиП 41-02-2003

Диаметр труб тепловых сетей, мм	Время восстановления теплоснабжения, час
50-70	2
80	3
100	4
150	5
200	6
300	7
400	8

Существенных отклонений от нормативного времени восстановления теплоснабжения за 5-летний период не наблюдалось.

в) результаты оценки вероятности отказов (аварийной ситуации) и безотказной (безаварийной) работы системы теплоснабжения по отношению к потребителям, присоединенным к магистральным и распределительным теплопроводам

Надежность пониженного уровня теплоснабжения потребителей оценивается вероятностями безотказной работы, определяемыми для каждого потребителя и представляющими собой вероятности того, что в течение отопительного периода температура воздуха в зданиях не опустится ниже граничного значения.

Вероятность безотказной работы потребителя тепловой энергии ниже нормативной означает, что во время отопительного периода в случае аварии на

участках тепловой сети за время устранения аварии температура воздуха в зданиях может опуститься ниже граничного значения с вероятностью более 14%. Время устранения аварии зависит от диаметра трубопровода и представлена в таблице 1.3.

Пограничные значения температур разные для разных категорий потребителей.

Первая категория – потребители, не допускающие перерывов в подаче расчетного количества тепла и снижения температуры воздуха в помещениях ниже 20°C или договором между поставщиком и потребителем тепла. Например, больницы, родильные дома, детские дошкольные учреждения с круглосуточным пребыванием детей, картинные галереи, химические и специальные производства, шахты, операционные, реанимационные помещения и т.п.

Вторая категория — потребители, допускающие временное снижение температуры в отапливаемых помещениях:

а) жилых и общественных зданий — до +12 °С;

б) промышленных зданий — до +8 °С;

Третья категория — остальные потребители. Например, временные здания и сооружения, вспомогательные здания промышленных предприятий, бытовые помещения и т.п.

К примеру, если жилое отапливаемое здание находится в ненадёжной зоне и в результате отказа трубопровода т/сети Ду 1200 мм остаётся без теплоснабжения, то в течение 54 часов температура в здании упадёт, ниже 12 °С с вероятностью более 14%.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от МТЭЦ

Расчетный путь движения теплоносителя начинается от узла МТЭЦ.

Результаты расчета показателей надежности тепловых магистралей, расположенных в зоне действия МТЭЦ, представлены в электронной модели.

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 82,63 %, что ниже нормативного значения (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. не способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от Котельной №21

Расчетный путь движения теплоносителя начинается от узла Котельной №21.

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 76,664 %, что ниже нормативного значения (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. не способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от Котельной №2

Расчетный путь движения теплоносителя начинается от узла Котельная №2, Марчеканская, 2, к. 3.

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 99,99848%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от Котельной №43 ул. Авиационная, 10

Расчетный путь движения теплоносителя начинается от узла Котельная №43 ул. Авиационная, 10.

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 99,9963%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;

- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от Котельной №44.

Расчетный путь движения теплоносителя начинается от узла Котельная №44.

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 99,286%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от котельной №45 .

Расчетный путь движения теплоносителя начинается от узла Котельная №45.

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 2%, что значительно ниже нормативного значения (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2028г. не способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от котельной №46 ул. Майская.

Расчетный путь движения теплоносителя начинается от узла Котельная №46 ул. Майская.

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 99,96%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);

- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от котельной №47 п. Уптар, ул. Усть-Илимская,5.

Расчетный путь движения теплоносителя начинается от узла Котельная №47 п. Уптар, ул. Усть-Илимская,5.

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 99,85%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2028г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от котельной №56 ул. Гагарина, 25.

Расчетный путь движения теплоносителя начинается от узла Котельная № 56 ул. Гагарина, 25.

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 99,9288%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от котельной №62 ул. Пионерская, 2.

Расчетный путь движения теплоносителя начинается от узла Котельная №62 ул. Пионерская, 2.

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 97,84%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от ЦТП-1

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 0,56%, что значительно ниже нормативного значения (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от ЦТП-2

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 49,403%, что значительно ниже нормативного значения (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от ЦТП-4

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 98,467%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от ЦТП-5

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 16,75%, что значительно ниже нормативного значения (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от ЦТП-6

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 59,777%, что значительно ниже нормативного значения (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от ЦТП-7

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 96,02%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от ЦТП-8

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 19,949%, что значительно ниже нормативного значения (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от ЦТП -9

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 25,457%, что значительно ниже нормативного значения (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от ЦТП-10

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 99,09%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);

- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от ЦТП.

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 99,9407%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от ЦТП-12

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 34,365%, что значительно ниже нормативного значения (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

Расчет показателей надежности тепловых магистралей от ЦТП-13

В ходе анализа результатов расчета показателей надежности СЦТ были сделаны выводы:

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 63,678%, что значительно ниже нормативного значения (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2029 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;

- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №115 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

г) результатов оценки коэффициентов готовности теплопроводов к несению тепловой нагрузки

В системах теплоснабжения одним из самых распространенных способов повышения надежности является резервирование участков, суммы участков, целых магистральных выводов или насосных агрегатов, секционирующих задвижек и т.д. А наиболее часто применяемым способом расчета систем теплоснабжения с резервированием – приведение реальной системы теплоснабжения к эквивалентной модели параллельных или последовательно-параллельных соединений участков тепловой сети. Этот метод, конечно, является не единственным, но значительно более простым чем, например, «метод минимальных путей - минимальных сечений».

Однако, в любом случае, прежде чем решать задачу эквивалентирования схемы необходимо выполнить структурный анализ тепловой сети, который заключается в том, чтобы определить весь набор путей передачи теплоносителя от источника тепловой мощности к потребителю (узлу «сброса» (иногда «стока») тепловой нагрузки). Выявленные пути и их совместное рассмотрение позволяют свести схему к параллельному или последовательно параллельному соединению участков тепловой сети.

Все эти приемы и методы хорошо известны и широко применяются при структурном анализе сложных схем электрических сетей и неоднократно апробированы при анализе надежности схем теплоснабжения. Алгоритм решения задачи расчета надежности резервированных тепловых сетей сводится к следующим простым шагам и вычислениям.

Шаг 1. Выделяется потребитель, относительно которого выполняется расчет надежности вероятности безотказной работы теплоснабжения

Шаг 2 . Выполняется структурный анализ тепловой сети, позволяющий выделить все пути, по которым можно осуществить передачу теплоносителя от источника до выделенного потребителя. В некоторых специализированных программных комплексах (например, «Теплограф», «Zulu») эта процедура осуществляется автоматически, что значительно сокращает время на структурный анализ тепловой сети.

Шаг 3. Составляется эквивалентная схема путей для расчета надежности теплоснабжения. Она будет состоять из параллельно-последовательных или последовательно-параллельных участков тепловой сети (в смысле надежности).

Шаг 4. Для всех последовательных участков пути, также как для не резервированных участков, рассчитывается их вероятность безотказной работы. По результатам расчетов определяются:

вероятность безотказной работы эквивалентного нерезервированного j -того пути

$$p_{ej} = \prod_{i=1}^n p_i$$

вероятность отказа эквивалентного нерезервированного j -того пути

$$q_{ej} = 1 - \prod_{i=1}^n p_i$$

параметр потока отказов эквивалентного нерезервированного j -того пути

$$\bar{\omega}_{ej} = \lambda_i L_i \times \sum_{j=1}^{j=N} \bar{z}_{i,k}$$

среднее время безотказной работы эквивалентного нерезервированного j -того пути

$$\bar{T}_{op.ej} = 1 / \bar{\omega}_{ej}$$

среднее время восстановления (ремонта) эквивалентного нерезервированного j -того пути

$$\bar{T}_{вс.ej} = q_{ej} / \bar{\omega}_{ej}$$

при этом

$$q_{ej} = \lambda_{ej} \times \bar{T}_{вс.ej},$$

Шаг 5. После сведения всех показателей надежности нерезервированных участков пути к эквивалентным значениям рассчитываются показатели надежности параллельных соединений участков пути, состоящих из эквивалентных последовательных:

вероятность безотказной работы эквивалентного резервированного k -того пути

$$p_{ek} = 1 - \prod_{j=1}^m q_{ej}$$

вероятность отказа эквивалентного резервированного k -того пути

$$q_{ek} = \prod_{j=1}^m q_{ej}$$

параметр потока отказов эквивалентного резервированного k -того пути

$$\bar{\omega}_{ek} = \sum_{j=1}^m \omega_{ej} \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{m-1} \omega_{el} \bar{T}_{ej}$$

среднее время безотказной работы эквивалентного резервированного k -того пути

$$\bar{T}_{op.ek} = \left[\sum_{j=1}^m \omega_{ej} \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{m-1} \omega_{el} \bar{T}_{ej} \right]^{-1}$$

среднее время восстановления (ремонта) эквивалентного резервированного k -того пути

$$\bar{T}_{ek} = \frac{\prod_{j=1}^m \omega_{ej} \bar{T}_{ej}}{\left[\sum_{j=1}^m \omega_{ej} \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{m-1} \omega_{el} \bar{T}_{ej} \right]}$$

Шаг 6. Процедура расчета повторяется для последовательных (в смысле надежности) эквивалентных путей.

Результаты расчетов

Как было показано выше, реконструкция тепловых сетей в связи с исчерпанием физического ресурса действующих магистральных теплопроводов необходима для обеспечения теплоснабжения потребителей с надежностью, характеризующейся нормативными показателями, принятыми при их проектировании.

В 2022 году эксплуатационная надежность тепловых сетей муниципального образования «Город Магадан» в целом обеспечивалась за счет работы теплосетевой компании по текущей ликвидации возникающих повреждений в тепловых сетях и недопущению их развития в серьезные аварии с тяжелыми последствиями.

Учитывая все вышеизложенные факторы, можно сделать вывод о необходимости увеличения объемов капитальных ремонтов магистральных трубопроводов, а также о разработке планов реконструкции тепловых сетей в связи с исчерпанием физического ресурса действующих теплопроводов. Данные мероприятия будут служить в целях своевременной ликвидации возникающих повреждений в тепловых сетях и недопущению их развития в серьезные аварии с тяжелыми последствиями. Если не предпринять действенных мер долгосрочного характера по восстановлению эксплуатационного ресурса, то в ближайшие пять лет поток отказов на тепловых сетях зоны действия удвоится, и справляться с их своевременным устранением будет практически невозможно. В результате выполнения этих проектов по реконструкции теплопроводов будет существенно сокращен поток отказов в тепловых сетях, вместе с которыми должны быть постепенно сокращены и затраты на аварийно-восстановительные работы.

д) результат оценки недоотпуска тепловой энергии по причине отказов (аварийных ситуаций) и простоев тепловых сетей и источников тепловой энергии

Оценка надежности системы производится на основе использования отдельных показателей надежности. В частности, для оценки надежности системы теплоснабжения используются такие показатели, как интенсивность отказов и относительный аварийный недоотпуск теплоты.

Интенсивность отказов определяется по зависимости

$$P = SM_{отнот} / SM_{п},$$

где $M_{от}$ - материальная характеристика участков тепловой сети, выключенных из работы при отказе, м²;

$t_{от}$ - время вынужденного выключения участков сети, вызванное отказом и его устранением, ч;

$SM_{п}$ - произведение материальной характеристики тепловой сети данной системы теплоснабжения на плановую длительность ее работы за заданный период времени (обычно за год).

Материальной характеристикой тепловой сети, состоящей из "п" участков, является величина $M = \sum_{i=1}^n d_i^2$, представляющая сумму произведений диаметров трубопроводов на их длину в метрах (учитываются как подающие, так и обратные трубопроводы).

Относительный аварийный недоотпуск теплоты может быть определен по формуле

$$q = SQ_{ав} / BQ,$$

где $SQ_{ав}$ - аварийный недоотпуск теплоты за год;

BQ - расчетный отпуск теплоты всей системой теплоснабжения за год.

Эти показатели в определенной мере характеризуют надежность работы системы теплоснабжения.

Данный показатель может быть рассчитан в том случае, если по каждому участку можно определить место повреждения с указанием времени отключения потребителя от сети. Однако, в связи с отсутствием информации по существующим отказам на тепловых сетях, произвести математические расчеты невозможно.

е) предложения, обеспечивающие надежность систем теплоснабжения

предложения по применению на источниках тепловой энергии рациональных тепловых схем с дублированными связями и новых технологий, обеспечивающих нормативную готовность энергетического оборудования

Согласно СП 124.13330.2012 нормативный уровень надежности, определяется тремя критериями: вероятностью безотказной работы, готовностью (качеством) теплоснабжения и живучестью.

Готовность системы к исправной работе следует определять по числу часов ожидания готовности: источника теплоты, тепловых сетей, потребителей теплоты, а также - числу часов нерасчетных температур наружного воздуха в данной местности.

Минимально допустимый показатель готовности СЦТ к исправной работе (Кг) принимается 0,97.

Для расчета показателя готовности следует определять (учитывать):

- готовность СЦТ к отопительному сезону;
- достаточность установленной тепловой мощности источника теплоты для обеспечения исправного функционирования СЦТ при нерасчетных похолоданиях;
- способность тепловых сетей обеспечить исправное функционирование СЦТ при нерасчетных похолоданиях;
- организационные и технические меры, необходимые для обеспечения исправного функционирования СЦТ на уровне заданной готовности;
- максимально допустимое число часов готовности для источника теплоты;
- температуру наружного воздуха, при которой обеспечивается заданная внутренняя температура воздуха.

В соответствии с анализом, проведенным по существующему источнику тепла системы теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан», выявлен критерий, который влияет на готовность системы к исправной работе с некачественной стороны, а именно дефицит мощности МТЭЦ, указанный в таблице 3.

Таблица 3.1 – дефицит тепловой энергии по котельным

№	Наименование источника	Ед. измерения	2022 г.	2023 г.	2024	2025-2029
1	МТЭЦ	Гкал/ч	-38,98	-39,01	-58,114	-78,3

Таблица 3.2 – дефицит тепловой энергии по котельным

№	Наименование источника	Ед. измерения	2022 г.	2023 г.	2024	2025-2029
1	Котельные № 2	Гкал/ч	1,57	- 0,34	-0,344	-0,344
		%	36,6	-14,29	-14,45	-14,45
2	Котельные № 21	Гкал/ч	0,622	-0,618	-0,598	-0,598
		%	15,78	-22,87	-22,13	-22,13
3	Котельные № 45	Гкал/ч	0,805	- 0,435	- 0,436	- 0,436
		%	35,86	- 43,28	- 43,38	- 43,38
4	Котельные № 47	Гкал/ч	2,73	-0,73	-0,707	-0,707
		%	27,45	- 11,26	- 10,9	- 10,9
5	Котельные № 62	Гкал/ч	2,71	-0,53	-1,9	-1,9
		%	28,41	-8,41	-30,16	-30,16

предложения по установке резервного оборудования

Согласно СП 89.13330.2016 Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76 количество и единичную производительность котлоагрегатов, устанавливаемых в котельной, следует выбирать по расчетной производительности котельной, проверяя режим работы котлоагрегатов для теплого периода года; при этом в

случае выхода из строя наибольшего по производительности котла в котельных первой категории оставшиеся должны обеспечивать отпуск тепла потребителям первой категории:

- на технологическое теплоснабжение и системы вентиляции - в количестве, определяемом минимально допустимыми нагрузками (независимо от температуры наружного воздуха);

- на отопление и горячее водоснабжение - в количестве, определяемом режимом наиболее холодного месяца.

В случае выхода из строя одного котла независимо от категории котельной количество тепла, отпускаемого потребителям второй категории, не нормируется.

Согласно СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003 при авариях (отказах) на источнике теплоты на его выходных коллекторах в течение всего ремонтно-восстановительного периода должны обеспечиваться:

- подача 100 % необходимой теплоты потребителям первой категории (если иные режимы не предусмотрены договором);

- подача теплоты на отопление и вентиляцию жилищно-коммунальным и промышленным потребителям второй и третьей категорий в размерах, указанных в таблице 4;

- заданный потребителем аварийный режим расхода пара и технологической горячей воды;

- заданный потребителем аварийный тепловой режим работы не отключаемых вентиляционных систем;

- среднесуточный расход теплоты за отопительный период на горячее водоснабжение (при невозможности его отключения).

При совместной работе нескольких источников теплоты на единую тепловую сеть района (города) должно предусматриваться взаимное резервирование источников теплоты, обеспечивающее аварийный режим.

Таблица 4 - Допустимое снижение подачи теплоты

Наименование показателя	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления t_o , °C				
	-10	-20	-30	-40	-50
Допустимое снижение подачи теплоты до, %	78	84	87	89	91

При актуализации схемы теплоснабжения по всем источникам тепловой энергии, за исключением МТЭЦ, имеется резерв тепловой мощности. Резервное оборудование по котельным не требуется

предложения по организации совместной работы нескольких источников тепловой энергии на единую тепловую сеть

Организация совместной работы нескольких источников теплоты на единую тепловую сеть позволяет, в случае аварии на одном из источников, частично обеспечивать единые тепловые нагрузки за счет других источников теплоты.

Прокладка резервных трубопроводных связей обеспечивает непрерывное теплоснабжение потребителей со значительным снижением недоотпуска теплоты во время аварий. Количество и диаметры перемычек определяются, исходя из нормальных и в аварийных режимах работы сети, с учетом снижения расхода теплоносителя. Места размещения резервных трубопроводных соединений между смежными теплопроводами и их количество определяется расчетным путем с использованием в качестве критерия такого показателя надежности как вероятность безотказной работы.

При обеспечении безотказности тепловых сетей определяются:

- предельно допустимые длины нерезервированных участков теплопроводов (тупиковых, радиальных, транзитных) до каждого потребителя или теплового пункта;
- места размещения резервных трубопроводных связей между радиальными теплопроводами;
- достаточность диаметров, выбираемых при проектировании новых или реконструируемых существующих теплопроводов, для обеспечения резервной подачи теплоты потребителям при отказах.

Предложения по организации совместной работы нескольких источников тепловой энергии на единую тепловую сеть на расчетный срок схемы теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан» отсутствуют.

предложения по резервированию тепловых сетей смежных районов поселения, городского округа

Структурное резервирование разветвленных тупиковых тепловых сетей осуществляется делением последовательно соединенных участков теплопроводов секционирующими задвижками. К полному отказу тупиковой тепловой сети приводят лишь отказы головного участка и головной задвижки теплосети. Отказы других элементов основного ствола и головных элементов основных ответвлений теплосети приводят к существенным нарушениям ее работы, но при этом остальная часть потребителей получает тепло в необходимых количествах. Отказы на участках небольших ответвлений приводят только к незначительным нарушениям

теплоснабжения, и отражается на обеспечении теплом небольшого количества потребителей. Возможность подачи тепла не отключенным потребителям в аварийных ситуациях обеспечивается использованием секционирующих задвижек. Задвижки устанавливаются по ходу теплоносителя в начале участка после ответвления к потребителю.

Такое расположение позволяет подавать теплоноситель потребителю по этому ответвлению при отказе последующего участка теплопровода.

В связи с территориальным расположением теплоисточников муниципального образования «Город Магадан» предложения по резервированию тепловых сетей на расчетный срок схемы теплоснабжения отсутствуют.

предложения по устройству резервных насосных станций

На расчетный срок схемы теплоснабжения (в период до 2029 года) устройство резервных насосных станций на тепловых сетях системы теплоснабжения муниципального образования «Город Магадан» не предусматривается.

предложения по установке баков-аккумуляторов

На расчетный срок схемы теплоснабжения (в период до 2029 года) установка дополнительных баков-аккумуляторов на теплоисточниках муниципального образования «Город Магадан» не предусматривается.

Описание изменений в показателях надежности теплоснабжения за период, предшествующий актуализации схемы теплоснабжения, с учетом введенных в эксплуатацию новых и реконструированных тепловых сетей и сооружений на них.

На период предшествующий актуализации схемы теплоснабжения, с учетом введенных в эксплуатацию новых тепловых сетей, изменений в показателях надежности теплоснабжения не произошло в муниципальном образовании «Город Магадан».