



**Схема теплоснабжения
Забайкальского муниципального округа
Забайкальского края
на период 2025-2043 г.**

Обосновывающие материалы

Глава 11. Оценка надежности теплоснабжения

Забайкальск, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

11.1	Обоснование метода и результатов обработки данных по отказам участков тепловых сетей (аварийным ситуациям), средней частоты отказов участков тепловых сетей (аварийных ситуаций) в каждой системе теплоснабжения.....	4
11.2	Обоснование метода и результатов 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.....	7
11.3	Обоснование результатов оценки вероятности отказа (аварийной ситуации) и безотказной (безаварийной) работы системы теплоснабжения по отношению к потребителям, присоединенным к магистральным и распределительным теплопроводам.....	8
11.4	Обоснование результатов оценки коэффициентов готовности теплопроводов к несению тепловой нагрузки	8
11.5	Обоснование результатов оценки недоотпуска тепловой энергии по причине отказов (аварийных ситуаций) и простоев тепловых сетей и источников тепловой энергии.....	9
11.6	Обоснование мероприятий по резервированию источников тепловой энергии и тепловых сетей, определенных системой мер по повышению надежности.....	10
11.7	Обоснование мероприятий по замене тепловых сетей, определенных системой мер по повышению надежности	11
11.8	Обоснование сценариев развития аварий в системах теплоснабжения (не менее одного для каждой зоны теплоснабжения с суммарной установленной тепловой мощностью источников тепловой энергии 100 Гкал/ч и более) на основе результатов моделирования аварийных ситуаций, включая моделирование отказов элементов, расчета после аварийных гидравлических режимов и оценки надежности теплоснабжения в аварийных режимах	

теплоснабжения (при отказе головного участка теплотрассы на одном (с наибольшим диаметром) из выводов тепловой мощности от источника тепловой энергии и при отключении насосной группы сетевых насосов на одном из источников тепловой энергии для систем с несколькими источниками тепловой энергии, работающими на единую тепловую сеть, в режиме плавающей точки водораздела (без выделенных зон действия)..... 15

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

Частота (интенсивность) отказов каждого участка тепловой сети измеряется с помощью показателя λ который имеет размерность [1/км/год] или [1/км/час]. 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 всей системы в целом. Средняя вероятность безотказной работы системы, состоящей из последовательно соединенных элементов, будет равна произведению вероятностей безотказной работы:

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

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

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

где L_i – протяженность каждого участка, (км)

И, таким образом, чем выше значение интенсивности отказов системы, тем меньше вероятность безотказной работы. Параметр времени в этих выражениях всегда равен одному отопительному периоду, т.е. значение вероятности безотказной работы вычисляется как некоторая вероятность в конце каждого рабочего цикла (перед следующим ремонтным периодом).

Интенсивность отказов каждого конкретного участка может быть разной, но самое главное, она зависит от времени эксплуатации участка (важно: не в процессе одного отопительного периода, а времени от начала его ввода в эксплуатацию). В нашей практике для описания параметрической зависимости интенсивности отказов мы применяем зависимость от срока

эксплуатации, следующего вида, близкую по характеру к распределению Вейбулла:

$$\lambda_c = \lambda_0(0,1\tau)^{\alpha-1}, \text{ где}$$

τ - срок эксплуатации участка [лет].

Характер изменения интенсивности отказов зависит от параметра α : при $\alpha < 1$, она

монотонно убывает, при $\alpha > 1$ - возрастает; при $\alpha = 1$ функция принимает вид $\lambda(t) = \lambda_0 = \text{Const}$. λ_0 – это средневзвешенная частота (интенсивность) устойчивых отказов в конкретной системе теплоснабжения.

Обработка значительного количества данных по отказам, позволяет использовать следующую зависимость для параметра формы интенсивности отказов:

$$\alpha = \begin{cases} 0,8 & \text{при } 0 < \tau \leq 3 \\ 1 & \text{при } 3 < \tau \leq 17 \\ 0,5e^{\frac{\tau}{20}} & \text{при } \tau > 17 \end{cases}$$

Поскольку представленные статистические данные о технологических нарушениях, предоставленные, недостаточно полные, то среднее значение интенсивности отказов принимается равным $\lambda_0 = 0,05$ 1/(год км).

На рисунке 11.2.1 приведен вид зависимости интенсивности отказов от срока эксплуатации участка тепловой сети.

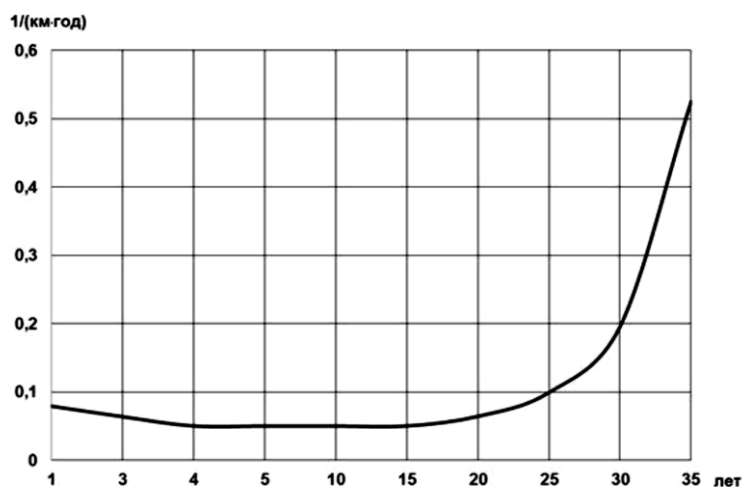


Рисунок 11.1.1 - Зависимости интенсивности отказов от срока эксплуатации участка тепловой сети

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.

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

Например, для расчета времени снижения температуры в жилом здании используют формулу:

$$t_{\text{в}} = t_{\text{н}} + \frac{Q_0}{q_0} + \frac{t'_{\text{в}} - t_{\text{н}} \frac{Q_0}{q_0 V}}{\exp(\frac{z}{\beta})}, \text{ где}$$

$t_{\text{в}}$ – внутренняя температура, которая устанавливается в помещении через время z в часах, после наступления исходного события, °C;

z – время, отсчитываемое после начала исходного события, ч;

$t'_{\text{в}}$ – температура в отапливаемом помещении, которая была в момент начала исходного события, °C;

$t_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, усредненная на периоде времени z , °C;

Q_0 – подача теплоты в помещение, Гкал/ч;

$q_0 V$ – удельные расчетные тепловые потери здания, Гкал/(ч·°C);

β – коэффициент аккумуляции помещения (здания), ч.

Для расчета времени снижения температуры в жилом здании до +12°C при $\frac{Q_0}{q_0 V} = 0$ внезапном прекращении теплоснабжения эта формула при 0 имеет следующий вид:

$$z = \beta * \ln \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{(t_{\text{в},a} - t_{\text{н}})}, \text{ где}$$

$t_{в,а}$ – внутренняя температура, которая устанавливается критерием отказа теплоснабжения (+12 0С для жилых зданий).

Расчет проводится для каждой градации повторяемости температуры наружного воздуха при коэффициенте аккумуляции жилого здания 40 часов.

11.2 Обоснование метода и результатов 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

По категории отключений потребителей, инциденты на тепловых сетях классифицируются на:

- отказы (инциденты, которые не считаются авариями);
- аварии.

В соответствии с п. 2.10 Методических рекомендаций по техническому расследованию и учету технологических нарушений в системах коммунального энергоснабжения и работе энергетических организаций жилищно-коммунального комплекса МДК 4-01.2001: «2.10 Авариями в тепловых сетях считаются: 2.10.1, Разрушение (повреждение) зданий, сооружений, трубопроводов тепловой сети в период отопительного сезона при отрицательной среднесуточной температуре наружного воздуха, восстановление работоспособности которых продолжается более 36 часов». Согласно сведениям теплоснабжающих организаций за 2024 г. аварийных ситуаций не возникало. Происходили только отказы.

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 используются данные, указанные в таблице 11.2.1.

Таблица 11.2.1 – Время восстановления в зависимости от диаметра трубопровода

Диаметр труб d, мм	25	50	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400	500
время z_p , ч	0,1	1	10	10	11	11	12	13	14	15	16	18	20

Согласно сведениям теплоснабжающих организаций, фактическое время восстановления работоспособности тепловых сетей в целом, соответствует нормативам, представленным выше.

11.3 Обоснование результатов оценки вероятности отказа (аварийной ситуации) и безотказной (безаварийной) работы системы теплоснабжения по отношению к потребителям, присоединенным к магистральным и распределительным теплопроводам

Оценка вероятности отказа (аварийной ситуации) по отношению к потребителям, присоединенным к магистральным и распределительным теплопроводам на территории Забайкальского муниципального округа, не проводилась в связи с отсутствием данных.

11.4 Обоснование результатов оценки коэффициентов готовности теплопроводов к несению тепловой нагрузки

Расчёт коэффициента готовности системы к теплоснабжению потребителей выполняется совместно с расчётом вероятности безотказной работы тепловой сети.

Дополнительно рассчитываются:

- интенсивность восстановления элементов тепловой сети, 1/ч:

$$\mu = \frac{1}{z_p}$$

- стационарная вероятность рабочего состояния сети:

$$p_0 = \left(1 + \sum_{i=1}^N \frac{\lambda}{\mu} \right)^{-1}$$

- вероятность состояния сети, соответствующая отказу i -го элемента:

$$p_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} p_0$$

Коэффициент готовности системы к теплоснабжению выбранного потребителя:

$$K = p_0 + \sum p_i \frac{\tau_{от} - \tau_{Н1}}{\tau_{от}}$$

где $\tau_{от}$ – продолжительность отопительного периода, ч;

HI – продолжительность действия низких температур наружного воздуха (ниже расчётной температуры наружного воздуха) в течение отопительного периода, при которой время восстановления отказавшего i -го элемента становится равным времени снижения температуры воздуха в здании i -го потребителя до минимального допустимого значения, ч.

11.5 Обоснование результатов оценки недоотпуска тепловой энергии по причине отказов (аварийных ситуаций) и простоев тепловых сетей и источников тепловой энергии

Выполнив оценку вероятности безотказной работы каждого магистрального теплопровода, легко определить средний (как вероятностную меру) недоотпуск тепла для каждого потребителя, присоединенного к этому магистральному теплопроводу.

Вычислив вероятность безотказной работы теплопровода относительно выбранного потребителя и, соответственно, вероятность отказа теплопровода относительно выбранного потребителя недоотпуск рассчитывается как:

$$\Delta Q_n = \overline{Q_{пр}} \cdot T_{оп} \cdot q_{mn}, \text{ где}$$

$\overline{Q_{\text{пр}}}$ – среднегодовая тепловая мощность теплопотребляющих установок потребителя (либо, тепловая нагрузка потребителя), Гкал/ч;

$T_{\text{оп}}$ – продолжительность отопительного периода, час;

q_{mn} – вероятность отказа теплопровода.

11.6 Обоснование мероприятий по резервированию источников тепловой энергии и тепловых сетей, определенных системой мер по повышению надежности

Согласно положениям СП 124.13330.2012 (Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003), резервирование источников тепла по основному оборудованию обеспечивается следующим условием выбора котлов: при выходе из строя самого мощного котла производительность оставшихся котлов должна обеспечить покрытие в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха, от 78 до 91% расчетной нагрузки на отопление и вентиляцию для потребителей 2-й и 3-й категорий и 100% расчетной нагрузки потребителей 1-й категории. При возможности, допускается отключение системы горячего водоснабжения. Котельная должна быть обеспечена нормативным запасом аварийного топлива. Электроснабжение котельной производительностью более 10 Гкал/ч фактически должно соответствовать первой категории. При этих условиях строительство двух источников тепла для населенного пункта не является обязательным требованием и обосновывается технико-экономическими соображениями.

Строительство резервных источников тепловой энергии не планируется.

Ввод резервных теплогенерирующих энергоустановок не планируется.

Надежность системы теплоснабжения также обеспечивается наличием резервных источников питания на котельных и ЦТП.

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 источников округа, взаимное резервирование тепловых сетей смежных районов не представляется возможным.

11.7 Обоснование мероприятий по замене тепловых сетей, определенных системой мер по повышению надежности

Обоснование мероприятий по замене тепловых сетей как ключевого элемента системы мер по повышению надежности является строгим императивом для современных теплоснабжающих организаций и муниципалитетов. Вот комплексное обоснование таких мероприятий:

1. Прямое устранение причин ненадежности:

Физический износ: Основная причина аварий. Трубы, изоляция, запорная арматура, компенсаторы и опоры достигают предельного срока

службы (25-30 лет и более). Металл теряет прочность, изоляция разрушается, коррозия истончает стенки труб. Замена устраняет сам источник риска.

Моральный износ: Устаревшие материалы (сталь без ВУС изоляции), технологии (прокладка в непроходных каналах с разрушенной гидроизоляцией, бесканальная с неэффективной изоляцией), схемы (отсутствие резервирования). Замена позволяет внедрить современные материалы (ППУ изоляция, коррозионно-стойкие трубы) и технологии (предварительно изолированные трубы, бесканальная прокладка с системой ОДК).

Накопленные дефекты: Многократные ремонты на одном участке, не устраняют коренную проблему. Полная замена участка ликвидирует все накопленные дефекты.

2. Кардинальное снижение аварийности и повышение бесперебойности:

Снижение частоты отказов: Новые сети, изготовленные по современным стандартам и проложенные с применением передовых технологий, имеют на порядок меньшую вероятность аварии по сравнению с изношенными. Это напрямую повышает коэффициент готовности системы.

Уменьшение масштабов последствий: Современные материалы (особенно ППУ с ОДК) позволяют быстрее локализовать и обнаружить течь, минимизируя ущерб от затопления, повреждения имущества, дорог, коммуникаций.

Повышение устойчивости к нагрузкам: Новые сети лучше выдерживают гидравлические удары, температурные деформации, внешние нагрузки (вибрация от транспорта).

3. Значительное сокращение эксплуатационных затрат:

Резкое снижение затрат на аварийно-восстановительные работы (АВР): Основная статья перерасхода средств при работе со старыми сетями. Замена устраняет эту статью на длительный период для нового участка.

Снижение потерь тепловой энергии: Современная предизолированная труба (особенно с ППУ изоляцией) имеет на 30-50% меньшие тепловые потери по сравнению с изношенной канальной прокладкой или старой бесканальной. Это прямая экономия топлива и денег.

Снижение потерь сетевой воды: Устранение неплотностей и свищей резко уменьшает объем подпитки и затраты на химводоподготовку.

Снижение затрат на текущие ремонты и диагностику: Новые сети требуют меньше профилактических ремонтов и менее частой детальной диагностики в первые 15-20 лет эксплуатации.

4. Повышение качества теплоснабжения:

Стабильность гидравлических режимов: Отсутствие неплотностей и заужений сечений труб позволяет точнее поддерживать расчетные расходы и давления у потребителей.

Обеспечение требуемых температур: Меньшие тепловые потери и стабильная гидравлика позволяют доставлять теплоноситель с параметрами, максимально приближенными к расчетным.

5. Улучшение экологической обстановки:

Снижение выбросов CO₂ и загрязняющих веществ: за счет значительного сокращения потерь тепла уменьшается объем сжигаемого топлива на источниках.

Прекращение загрязнения почв и грунтовых вод: Устранение утечек сетевой воды, часто содержащей токсичные ингибиторы коррозии и продукты коррозии.

6. Соответствие требованиям законодательства и нормативов:

Выполнение ФЗ № 190 «О теплоснабжении»: требует обеспечения надежности и качества теплоснабжения. Замена изношенных сетей – основной путь выполнения.

Соответствие СП 124.13330.2012: современные нормы проектирования предписывают применение материалов и технологий, обеспечивающих долгий срок службы и низкие потери. Старые сети им не соответствуют.

Требования программ модернизации: региональные и федеральные программы (например, модернизация ТЭК) прямо предусматривают финансирование замены изношенных сетей как приоритет.

7. Долгосрочная экономическая эффективность:

Инвестиции vs. Эксплуатационные расходы: хотя капитальные затраты на замену высоки, они окупаются за счет резкого снижения эксплуатационных затрат (АВР, потери тепла и воды) в течение длительного срока службы новых сетей (не менее 25-30 лет).

Снижение рисков штрафов и исков: за недопоставку тепла, ущерб имуществу потребителей из-за аварий.

8. Повышение управляемости и мониторинга:

Внедрение системы ОДК: практически все современные предизолированные трубы оснащаются Системой Оперативного Дистанционного Контроля (СОДК). Это позволяет:

- моментально обнаруживать и точно локализовать повреждение изоляции (потенциальное место будущей течи) до аварии;
- перейти от планово-предупредительного ремонта к ремонту по фактическому состоянию;
- повысить скорость ликвидации реальных аварий.

11.8 Обоснование сценариев развития аварий в системах теплоснабжения (не менее одного для каждой зоны теплоснабжения с суммарной установленной тепловой мощностью источников тепловой энергии 100 Гкал/ч и более) на основе результатов моделирования аварийных ситуаций, включая моделирование отказов элементов, расчета после аварийных гидравлических режимов и оценки надежности теплоснабжения в аварийных режимах теплоснабжения (при отказе головного участка теплопровода на одном (с наибольшим диаметром) из выводов тепловой мощности от источника тепловой энергии и при отключении насосной группы сетевых насосов на одном из источников тепловой энергии для систем с несколькими источниками тепловой энергии, работающими на единую тепловую сеть, в режиме плавающей точки водораздела (без выделенных зон действия))

В Забайкальском муниципальной округе отсутствуют источники тепловой энергии 100 Гкал/ч и более.