СХЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЕЛЕНИНСКОГО СЕЛЬСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ КАРТАЛИНСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА НА ПЕРИОД 2019 – 2034

ОБОСНОВЫВАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

ГЛАВА 11

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

2021 год

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения……. 4
2 Описание резервирования по источникам тепловой энергии 6
3 Методика расчета вероятности безотказной работы тепловых сетей 6
3.1 Термины и определения 6
3.2 Методика расчета надежности теплоснабжения.....8
3.2.1 Расчет вероятности безотказной работы тепловой сети по отношению к каждому потребителю.....8
3.2.2 Расчет надежности теплоснабжения нерезервируемых участков тепловой сети.....14
3.2.3 Оценка недоотпуска тепловой энергии потребителям.....16
4. Расчет критериев надежности теплоснабжения зоны №1. Котельная с. Еленинка...…..18
4.1.1. Показатель надежности электроснабжения источников тепла……..……..…18
4.1.2. Показатель надежности водоснабжения источников тепла.....18
4.1.3. Показатель надежности топливоснабжения источников тепла……..……..…18
4.1.4. Показатель соответствия тепловой мощности источников тепла и пропускной способности тепловых сетей фактическим тепловым нагрузкам потребителей……..……18
4.1.5. Показатель уровня резервирования…….19
4.1.6. Показатель технического состояния тепловых сетей. Оценки вероятности отказа (аварийной ситуации) и безотказной (безаварийной) работы системы теплоснабжения по отношению к потребителям, присоединенным к магистральным и распределительным теплопроводам……...…..19
4.1.7. Обработка данных по отказам участков тепловых сетей (аварийным ситуациям), средняя частота отказов участков тепловых сетей (аварийных ситуаций) в системе теплоснабжения……..……..…19
4.1.8. Показатель относительного недоотпуска тепла. Оценка недоотпуска тепловой энергии по причине отказов (аварийных ситуаций) и простоев тепловых сетей и источников тепловой энергии……..…….....20
4.1.9. Показатель качества теплоснабжения……..…….....20
4.1.10. Показатель надежности конкретной системы теплоснабжения……..……21
4.1.11. Оценка надежности систем теплоснабжения. Оценка коэффициентов готовности теплопроводов и источника теплоснабжения к несению тепловой нагрузки……...21
4.2. Расчет критериев надежности теплоснабжения зоны №2. Котельная п. Новокаолиновый…….……22

4.2.1. Показатель надежности электроснабжения источников тепла……..……..…22
4.2.2. Показатель надежности водоснабжения источников тепла.....22
4.2.3. Показатель надежности топливоснабжения источников тепла……..….22
4.2.4. Показатель соответствия тепловой мощности источников тепла и пропускной способности тепловых сетей фактическим тепловым нагрузкам потребителей……22
4.2.5. Показатель уровня резервирования…….……23
4.2.6. Показатель технического состояния тепловых сетей. Оценки вероятности отказа (аварийной ситуации) и безотказной (безаварийной) работы системы теплоснабжения по отношению к потребителям, присоединенным к магистральным и распределительным теплопроводам……23
4.2.7. Обработка данных по отказам участков тепловых сетей (аварийным ситуациям), средняя частота отказов участков тепловых сетей (аварийных ситуаций) в системе теплоснабжения……..……..…..……23
4.2.8. Показатель относительного недоотпуска тепла. Оценка недоотпуска тепловой энергии по причине отказов (аварийных ситуаций) и простоев тепловых сетей и источников тепловой энергии…….……...…24
4.2.9. Показатель качества теплоснабжения…….....…24
4.2.10. Показатель надежности конкретной системы теплоснабжения……..…...25
4.2.11. Оценка надежности систем теплоснабжения. Оценка коэффициентов готовности теплопроводов и источника теплоснабжения к несению тепловой нагрузки.....…25
4.3. Расчет критериев надежности теплоснабжения зоны №3. Котельная АО "НГОК"……25

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Оценка надежности теплоснабжения разрабатываются в соответствии с подпунктом 46 Требований к схемам теплоснабжения. Нормативные требования к надёжности теплоснабжения установлены в СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» СП 124.13330.2012 в части пунктов 6.25-6.30 раздела «Надежность».

В СП 124.13330.2012 надежность теплоснабжения определяется по способности проектируемых и действующих источников теплоты, тепловых сетей и в целом систем централизованного теплоснабжения 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) обеспечивать нормативные показатели вероятности безотказной работы [Р], коэффициент готовности [Кг], живучести [Ж].

Нормативные показатели безотказности тепловых сетей обеспечиваются следующими мероприятиями:

- *установлением предельно допустимой длины нерезервированных участков теплопроводов (тупиковых, радиальных, транзитных) до каждого потребителя или теплового пункта;*
- *местом размещения резервных трубопроводных связей между радиальными теплопроводами;*
- *достаточностью диаметров выбираемых при проектировании новых или реконструируемых существующих теплопроводов для обеспечения резервной подачи теплоты потребителям при отказах;*
- *необходимость замены на конкретных участках конструкций тепловых сетей и теплопроводов на более надежные, а также обоснованность перехода на надземную или тоннельную прокладку;*
- *очередность ремонтов и замен теплопроводов, частично или полностью утративших свой ресурс.*

Готовность системы теплоснабжения к исправной работе в течение отопительного периода определяется 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 к исправной работе Кг принимается 0,97.

Нормативные показатели готовности систем теплоснабжения обеспечиваются следующими мероприятиями:

- готовностью к отопительному сезону;
- достаточностью установленной (располагаемой) тепловой мощности источника тепловой энергии для обеспечения исправного функционирования при нерасчетных похолоданиях;
- способностью тепловых сетей обеспечить исправное функционирование при нерасчетных похолоданиях;
- организационными и техническими мерами, необходимые для обеспечения исправного функционирования на уровне заданной готовности;
- максимально допустимым числом часов готовности для источника теплоты.

Потребители теплоты по надежности теплоснабжения делятся на три категории:

Первая категория - потребители, не допускающие перерывов в подаче расчетного количества теплоты и снижения температуры воздуха в помещениях ниже предусмотренных ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Например, больницы, родильные дома, детские дошкольные учреждения с круглосуточным пребыванием детей, картинные галереи, химические и специальные производства, шахты и т.п.

Вторая категория - потребители, допускающие снижение температуры в отапливаемых помещениях на период ликвидации аварии, но не более 54 ч:

- жилых и общественных зданий до 12 °С;
- промышленных зданий до 8 °С.

Третья категория - остальные потребители.

2. ОПИСАНИЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПО ИСТОЧНИКАМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Источники Еленинского сельского поселения не имеют возможность взаимного резервирования, т.к. расстояние между ними – 5 км.

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

3.1 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, ремонтопригодность 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;

Ремонтопригодность – 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 или 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 или 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;

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.

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 27.002-09 «Надежность в технике» 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 последствий его устранения. Все упомянутые в данном разделе термины устанавливают лишь градацию (шкалу) отказов.

3.2 Методика расчета надежности теплоснабжения

3.2.1 Расчет вероятности безотказной работы тепловой сети по отношению к каждому потребителю

В соответствии со СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» СП 124.13330.2012 расчет надежности теплоснабжения должен производиться для каждого потребителя, при этом минимально допустимые показатели вероятности безотказной работы следует принимать (пункт «6.26») для:

источника теплоты Рит = 0,97;

тепловых сетей Ртс = 0,9;

потребителя теплоты Рпт = 0,99;

системы СЦТ в целом Рсцт = 0,9·0,97·0,99 = 0,86.

Расчет вероятности безотказной работы тепловой сети по отношению к каждому потребителю осуществляется по следующему алгоритму:

1) Определяется путь передачи теплоносителя от источника до потребителя, по отношению к которому выполняется расчет вероятности безотказной работы тепловой сети.

2) На первом этапе расчета устанавливается перечень участков теплопроводов,

составляющих этот путь.

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

4) На основе обработки данных по отказам и восстановлениям (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/год);
- средневзвешенная частота (интенсивность) отказов для участков тепловой сети с продолжительностью эксплуатации от 1 до 3 лет;
- средневзвешенная частота (интенсивность) отказов для участков тепловой сети с продолжительностью эксплуатации от 17 и более лет;
- средневзвешенная продолжительность ремонта (восстановления) участков тепловой сети;
- средневзвешенная продолжительность ремонта (восстановления) участков тепловой сети в зависимости от диаметра участка.

Частота (интенсивность) отказов (в соответствии с ГОСТ 27.002-09 «Надежность в технике») каждого участка тепловой сети измеряется с помощью показателя λ_i, 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 все системы в целом. Средняя вероятность безотказной работы системы, состоящей из последовательно соединенных элементов, будет равна произведению вероятностей безотказной работы:

$$P_c = \prod_{i=1}^{i=N} P_i = e^{-\lambda_1 L_1 t} \times e^{-\lambda_2 L_2 t} \times \ldots \times e^{-\lambda_n L_n t} = e^{-t \times \sum_{i=1}^{i=N} \lambda_i L_i} = e^{\lambda_c t} \quad (1.1.)$$

Интенсивность отказов всего последовательного соединения равна сумме интенсивностей отказов на каждом участке $\lambda_c = L_1\lambda_1 + L_2\lambda_2 + \ldots + L_n\lambda_n$, [1/час], 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 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 применяется зависимость от срока эксплуатации, следующего вида, близкая по характеру к распределению Вейбулла:

$$\lambda(t) = \lambda_0 \left(0{,}1\tau\right)^{\alpha-1}, \qquad (1.2.)$$

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 $\lambda(t)=\lambda_0=Const$. А 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:

$$\alpha = \begin{cases} 0{,}8 \cdot при \cdot 0 < \tau \le 3 \\ 1 \cdot при \cdot 3 < \tau \le 17 \\ 0{,}5 \times e^{(\tau/20)} \cdot при \cdot \tau > 17 \end{cases} \qquad (1.3)$$

На рис.1 приведен вид зависимости интенсивности отказов от срока эксплуатации участка тепловой сети. При ее использовании 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.

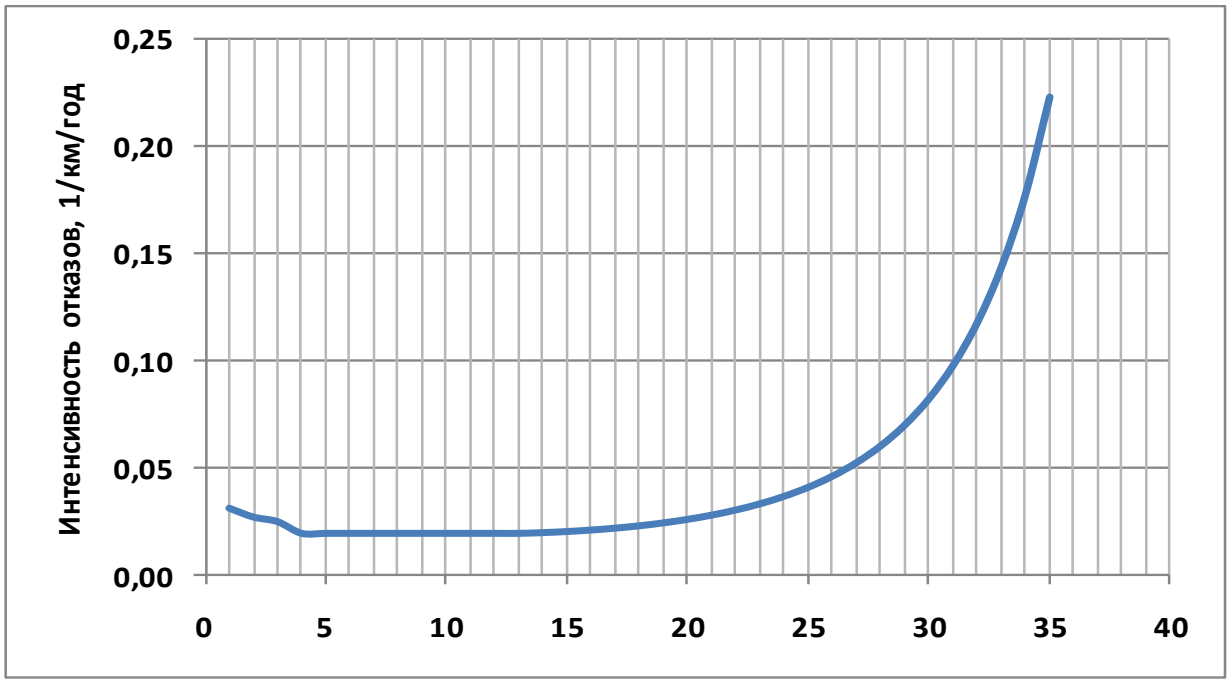

Рисунок 1. *Интенсивность отказов в зависимости от срока эксплуатации участка тепловой сети*

5) 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 01-01-82 «Строительная климатология и геофизика» или справочника «Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей».

6) С использованием данных о теплоаккумулирующей способности абонентских установок 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 (СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети»). Например, для расчета времени снижения температуры в жилом здании используют формулу:

$$t_в = t_н + \frac{Q_o}{q_o V} + \frac{t'_в - t_н - \frac{Q_o}{q_o V}}{\exp(z/\beta)}, \qquad (1.4)$$

где

$t_в$ - внутренняя температура, которая устанавливается в помещении через время z в часах, после наступления исходного события, 0С;

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

$t'_в$ - температура в отапливаемом помещении, которая была в момент начала исходного события, 0С;

$t_н$ - температура наружного воздуха, усредненная на периоде времени z, °С;

Q_o - подача теплоты в помещение, Дж/ч;

q_oV - удельные расчетные тепловые потери здания, Дж/(ч·°С);

β - коэффициент аккумуляции помещения (здания), ч.

Для расчет времени снижения температуры в жилом задании до +12^{0}С при внезапном прекращении теплоснабжения эта формула при $\left(\frac{Q_o}{q_oV}=0\right)$ имеет следующий вид:

$$z=\beta\times\ln\frac{(t_в-t_н)}{(t_{в,а}-t_н)}, \quad (1.5)$$

Для расчета времени снижения температуры в жилом задании до +12^{0}С при внезапном прекращении теплоснабжения эта формула при $\left(\frac{Q_o}{q_oV}=0\right)$ имеет следующий вид:

$$z=\beta\times\ln\frac{(t_в-t_н)}{(t_{в,а}-t_н)}, \quad (1.5)$$

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 для Еленинского сельского поселения (см. таблицу 1) при коэффициенте аккумуляции жилого здания $\beta=40$ часов.

Таблица 1. *Расчет времени снижения температуры внутри отапливаемого помещения*

Температура наружного воздуха, °С	**Повторяемость температур наружного воздуха, час**	**Время снижения температуры воздуха внутри отапливаемого помещения до +12 °С**
-50	0	4,85
-47,5	0	5,05
-42,5	5	5,48
-37,5	19	5,99
-32,5	90	6,61
-27,5	170	7,38
-22,5	369	8,34
-17,5	580	9,60

Температура наружного воздуха, °С	Повторяемость температур наружного воздуха, час	Время снижения температуры воздуха внутри отапливаемого помещения до +12 °С
-12,5	832	11,30
-7,5	910	13,75
-2,5	860	17,57
2,5	908	24,44
7,5	537	40,87

7) 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 используют эмпирическую зависимость для времени, необходимого для ликвидации повреждения, предложенную Е.Я. Соколовым:

$$z_p = a\left[1+\left(b+cl_{с.з}\right)D^{1,2}\right], \qquad (1.6)$$

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.

Расчет выполняется для каждого участка и/или элемента, входящего в путь от источника до абонента:

- по уравнению 1.5 вычисляется время ликвидации повреждения на i-том участке;
- по каждой градации повторяемости температур с использованием уравнения 1.4 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 (см. уравнение 1.7) и поток отказов (см. уравнение 1.8) участка тепловой сети, способный привести к снижению температуры в отапливаемом помещении до температуры в +12 °С.

$$\overline{z} = \left(1 - \frac{z_{i,j}}{z_p}\right) \times \frac{\tau_j}{\tau_{on}} \quad (1.7)$$

$$\overline{\omega}_i = \lambda_i L_i \times \sum_{j=1}^{j=N} \overline{z}_{i,j}, \quad (1.8)$$

вычисляется вероятность безотказной работы участка тепловой сети относительно абонента

$$p_i = \exp(-\overline{\omega}_i) \quad (1.9)$$

3.2.2 Расчет надежности теплоснабжения нерезервируемых участков тепловой сети

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, в соответствии с методом, приведенным в разделе 2.2.1. По результатам расчетов определяются:

- вероятность безотказной работы эквивалентного нерезервированного - того пути:

$$p_{ej} = \prod_{i=1}^{n} p_i \qquad (1.10)$$

- вероятность отказа эквивалентного нерезервированного -того пути:

$$q_{ej} = 1 - \prod_{i=1}^{n} p_i \qquad (1.11)$$

- параметр потока отказов эквивалентного нерезервированного j -того пути:

$$\bar{\omega}_{ej} = \lambda_i L_i \times \sum_{j=1}^{j=N} \bar{z}_{i,k} \qquad (1.12)$$

,

- среднее время безотказной работы эквивалентного нерезервированного j -того пути:

$$\bar{T}_{бр.ej} = 1 / \bar{\omega}_{ej} \qquad (1.13)$$

,

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

$$\bar{T}_{вс.ej} = q_{ej} / \bar{\omega}_{ej} \qquad (1.14)$$

,

при этом

$$q_{ej} = \lambda_{ej} \times \bar{T}_{вс,ej} \qquad (1.15)$$

,

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:

$$p_{ek} = 1 - \prod_{j=1}^{m} q_{ej} \qquad (1.16)$$

- вероятность отказа эквивалентного резервированного k-того пути:

$$q_{ek} = \prod_{j=1}^{m} q_{ej} \qquad (1.17)$$

- параметр потока отказов эквивалентного резервированного k-того пути:

$$\bar{\omega}_{ek} = \sum_{j=1}^{m} \omega_{ej} \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{m-1} \omega_{el} \bar{T}_{ej} \qquad (1.18)$$

,

- среднее время безотказной работы эквивалентного резервированного k-того пути:

$$\bar{T}_{бр.ek} = \left[\sum_{j=1}^{m} \omega_{ej} \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{m-1} \omega_{el} \bar{T}_{ej} \right]^{-1} \qquad (1.19)$$

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

$$\bar{T}_{ek} = \frac{\prod_{j=1}^{m} \omega_{ej} \bar{T}_{ej}}{\left[\sum_{j=1}^{m} \omega_{ej} \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{m-1} \omega_{el} \bar{T}_{ej} \right]}, \qquad (1.20)$$

3.2.3 Оценка недоотпуска тепловой энергии потребителям

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».

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:

$$\Delta Q_н = \bar{Q}_{пр} \times T_{оп} \times q_{тп} \text{ ,Гкал} \qquad (1.21)$$

$\bar{Q}_{пр}$ где

$T_{оп}$ среднегодовая тепловая мощность теплопотребляющих установок потребителя

$\bar{Q}_{пр}$ - (либо, по-другому, тепловая нагрузка потребителя), Гкал/ч;

$T_{оп}$ - продолжительность отопительного периода, час;

$q_{тп}$ - вероятность отказа теплопровода.

$q_{тп}$

4. Расчет критериев надежности теплоснабжения зоны №1.

Котельная с. Еленинка

4.1.1 Показатель надежности электроснабжения источников тепла ($К_э$), характеризуется наличием или отсутствием резервного электропитания:

• при наличии резервного электроснабжения $К_э = 1,0$;

• при отсутствии резервного электроснабжения при мощности источника тепловой энергии (Гкал/ч):

до 5,0 - $К_э = 0,8$;
5,0 – 20 - $К_э = 0,7$;
свыше 20 - $К_э = 0,6$.

На котельной с. Еленинского сельского поселения резервным источником электроснабжения является второй ввод, $К_э = 1,0$;

4.1.2. Показатель надежности водоснабжения источников тепла ($К_в$) характеризуется наличием или отсутствием резервного водоснабжения:

• при наличии резервного водоснабжения $К_в = 1,0$;

• при отсутствии резервного водоснабжения при мощности источника тепловой энергии (Гкал/ч):

до 5,0 - $К_в = 0,8$;
5,0 – 20 - $К_в = 0,7$;
свыше 20 - $К_в = 0,6$.

Резервное водоснабжение на котельной Еленинского сельского поселения являются 2-е резервные емкости запаса исходной воды V=60м3 и V=3м3, $К_в = 1,0$

4.1.3. Показатель надежности топливоснабжения источников тепла ($К_т$), характеризуется наличием или отсутствием резервного топливоснабжения:

• при наличии резервного топлива $К_т = 1,0$;

• при отсутствии резервного топлива при мощности источника тепловой энергии (Гкал/ч):

до 5,0 - $К_т = 1,0$;
5,0 – 20 - $К_т = 0,7$;
свыше 20 - $К_т = 0,5$.

Резервное топливоснабжение на котельной Еленинского сельского поселения не предусмотрено проектом, установленная мощность котельной – 4,4 Гкал/час. $К_т = 1,0$

4.1.4. Показатель соответствия тепловой мощности источников тепла и пропускной способности тепловых сетей фактическим тепловым нагрузкам потребителей ($К_б$). Величина этого показателя определяется размером дефицита (%):

до 10 - $К_б = 1,0$;
10 – 20 - $К_б = 0,8$;
20 – 30 - $К_б$ - 0,6;
свыше 30 - $К_б = 0,3$.

Дефицит тепловой мощности источника тепла на котельной Еленинского сельского поселения отсутствует $К_б$ = 1,0;

4.1.5. Показатель уровня резервирования ($К_р$) источников тепла и элементов тепловой сети, характеризуемый отношением резервируемой фактической тепловой нагрузки к фактической тепловой нагрузке (%) системы теплоснабжения, подлежащей резервированию:

90 – 100 - $К_р$ = 1,0;
70 – 90 - $К_р$ = 0,7;
50 – 70 - $К_р$ = 0,5;
30 – 50 - $К_р$ = 0,3;
менее 30 - $К_р$ = 0,2.

На котельной Еленинского сельского поселения показатель уровня резервирования равен 1,0;

4.1.6. Показатель технического состояния тепловых сетей. Оценки вероятности отказа (аварийной ситуации) и безотказной (безаварийной) работы системы теплоснабжения по отношению к потребителям, присоединенным к магистральным и распределительным теплопроводам; ($К_с$), характеризуемый долей ветхих, подлежащих замене (%) трубопроводов:

до 10 - $К_с$ = 1,0;
10 – 20 - $К_с$ = 0,8;
20 – 30 - $К_с$ = 0,6;
свыше 30 - $К_с$ = 0,5.

Протяженность ветхих трубопроводов на котельной Еленинского сельского поселения , подлежащих замене, превышает превышает 30%. $К_с$ = 0,5.

4.1.7. Обработка данных по отказам участков тепловых сетей (аварийным ситуациям), средняя частота отказов участков тепловых сетей (аварийных ситуаций) в системе теплоснабжения.

Наименование источника теплоснабжения	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год
Котельная Еленинского сельского поселения	0	0	0	0	0

Показатель интенсивности отказов тепловых сетей, ($К_{отк}$), характеризуемый количеством вынужденных отключений участков тепловой сети с ограничением отпуска тепловой энергии потребителям, вызванным отказом и его устранением за последние три года

$И_{отк} = n_{отк}/(3*S)$ [1/(км*год)],

где $n_{отк}$ - количество отказов за последний год - отсутствуют;

S- протяженность тепловой сети данной системы теплоснабжения, **2,511 км**.

В зависимости от интенсивности отказов ($И_{отк}$) определяется показатель надежности ($К_{отк}$)

до 0,5 - $К_{отк}$ = 1,0;

0,5 - 0,8 - $К_{отк}$ = 0,8;

0,8 - 1,2 - $К_{отк}$ = 0,6;

свыше 1,2 - $К_{отк}$ = 0,5;

Отказов и вынужденных отключений участков тепловой сети за последний 5 лет не было. $К_{отк}$ = 1,0

Статистика восстановлений (аварийно - восстановительные ремонты) тепловых сетей и среднее время, затраченное на восстановление работоспособности тепловых сетей, за последние 5 лет.

Среднее время, затраченное на восстановление работоспособности тепловых сетей на аварийно-восстановительные ремонты в тепловых сетях за последний год не было.

Наименование источника теплоснабжения	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год
Котельная Еленинского сельского поселения	Аварий на тепловых сетях не было.				

4.1.8. Показатель относительного недоотпуска тепла. Оценка недоотпуска тепловой энергии по причине отказов (аварийных ситуаций) и простоев тепловых сетей и источников тепловой энергии, ($К_{нед}$) в результате аварий и инцидентов определяется по формуле:

$$Q_{нед} = Q_{ав}/Q_{факт}*100 \ [\%]$$

где $Q_{ав}$ - аварийный недоотпуск тепла за последние год не было;

$Q_{факт}$ - фактический отпуск тепла системой теплоснабжения за последние год.

В зависимости от величины недоотпуска тепла ($Q_{нед}$) определяется показатель надежности ($К_{нед}$)

до 0,1 - $К_{нед}$ = 1,0;

0,1 - 0,3 - $К_{нед}$ = 0,8;

0,3 - 0,5 - $К_{нед}$ = 0,6;

свыше 0,5 - $К_{нед}$ = 0,5.

Недоотпуска тепла за последний год не было. $К_{нед}$ = 1,0.

4.1.9. Показатель качества теплоснабжения ($К_{ж}$), характеризуемый количеством жалоб потребителей тепла на нарушение качества теплоснабжения.

$$Ж = Д_{жал}/ Д_{сумм}*100 \ [\%], \text{ где}$$

$Д_{сумм}$ - количество зданий, снабжающихся теплом от системы теплоснабжения, 65 ед;

$Д_{жал}$ - количество зданий, по которым поступили жалобы на работу системы теплоснабжения 3ед.

В зависимости от рассчитанного коэффициента (Ж) определяется показатель надежности ($К_ж$)

до 0,2	- $К_ж$ = 1,0;
0,2 – 0,5	- $К_ж$ = 0,8;
0,5 – 0,8	- $К_ж$ = 0,6;
свыше 0,8	- $К_ж$ = 0,4.

Жалоб на качество теплоснабжения за последние 5 лет поступало 3 . $К_ж$ = 0,4;

4.1.10. Показатель надежности конкретной системы теплоснабжения ($К_{над}$), определяется как средний по частным показателям $К_э$, $К_в$, $К_т$, $К_б$, $К_р$ и $К_с$:

$$К_{над} = \frac{К_э + К_в + К_т + К_б + К_р + К_с + К_{отк} + К_{нед} + К_ж}{n},$$

где n - число показателей, учтенных в числителе.

$К_ж$ = (1,0 + 1,0 + 1,0+1,0 + 1,0 + 0,5 + 1,0 + 1,0 + 0,4) / 9 = 0,878

4.1.11. Оценка надежности систем теплоснабжения. Оценка коэффициентов готовности теплопроводов и источника теплоснабжения к несению тепловой нагрузки.

В зависимости от полученных показателей надежности системы теплоснабжения с точки зрения надежности могут быть оценены как:

- **высоконадежные** - **более 0,9;**
- **надежные** - **0,75 - 0,89;**
- **малонадежные** - **0,5 - 0,74;**
- **ненадежные** - **менее 0,5.**

Показатель надежности системы теплоснабжения котельной с. Еленинка составляет - 0,878. Система может быть оценена как надежная и готова к несению тепловой нагрузки.

4.2. Расчет критериев надежности теплоснабжения зоны №2.
Котельная п. Новокаолиновый

4.2.1. Показатель надежности электроснабжения источников тепла ($К_э$), характеризуется наличием или отсутствием резервного электропитания:

• при наличии резервного электроснабжения $К_э = 1,0$;

• при отсутствии резервного электроснабжения при мощности источника тепловой энергии (Гкал/ч):

до 5,0 - $К_э = 0,8$;
5,0 – 20 - $К_э = 0,7$;
свыше 20 - $К_э = 0,6$.

На котельной п. Новокаолиновый резервным источником электроснабжения является вторая трансформаторная подстанция, $К_э = 1,0$;

4.2.2. Показатель надежности водоснабжения источников тепла ($К_в$) характеризуется наличием или отсутствием резервного водоснабжения:

• при наличии резервного водоснабжения $К_в = 1,0$;

• при отсутствии резервного водоснабжения при мощности источника тепловой энергии (Гкал/ч):

до 5,0 - $К_в = 0,8$;
5,0 – 20 - $К_в = 0,7$;
свыше 20 - $К_в = 0,6$.

Резервное водоснабжение на котельной п. Новокаолиновый является второй ввод, $К_в = 1,0$

4.2.3. Показатель надежности топливоснабжения источников тепла ($К_т$), характеризуется наличием или отсутствием резервного топливоснабжения:

• при наличии резервного топлива $К_т = 1,0$;

• при отсутствии резервного топлива при мощности источника тепловой энергии (Гкал/ч):

до 5,0 - $К_т = 1,0$;
5,0 – 20 - $К_т = 0,7$;
свыше 20 - $К_т = 0,5$.

Резервное топливоснабжение на котельной п. Новокаолиновый отсутствует, установленная мощность котельной – 2,8 Гкал/час. $К_т = 1,0$

4.2.4. Показатель соответствия тепловой мощности источников тепла и пропускной способности тепловых сетей фактическим тепловым нагрузкам потребителей ($К_б$). Величина этого показателя определяется размером дефицита (%):

до 10 - $К_б = 1,0$;
10 – 20 - $К_б = 0,8$;
20 – 30 - $К_б$ - 0,6;
свыше 30 - $К_б = 0,3$.

Дефицит тепловой мощности источника тепла п. Новокаолиновый отсутствует $K_б = 1,0$;

4.2.5. Показатель уровня резервирования ($К_р$) источников тепла и элементов тепловой сети, характеризуемый отношением резервируемой фактической тепловой нагрузки к фактической тепловой нагрузке (%) системы теплоснабжения, подлежащей резервированию:

90 – 100 - $К_р = 1,0$;
70 – 90 - $К_р = 0,7$;
50 – 70 - $К_р = 0,5$;
30 – 50 - $К_р = 0,3$;
менее 30 - $К_р = 0,2$.

На котельной п. Новокаолиновый показатель уровня резервирования равен 1,0;

4.2.6. Показатель технического состояния тепловых сетей. Оценки вероятности отказа (аварийной ситуации) и безотказной (безаварийной) работы системы теплоснабжения по отношению к потребителям, присоединенным к магистральным и распределительным теплопроводам; ($К_с$), характеризуемый долей ветхих, подлежащих замене (%) трубопроводов:

до 10 - $К_с = 1,0$;
10 – 20 - $К_с = 0,8$;
20 – 30 - $К_с = 0,6$;
свыше 30 - $К_с = 0,5$.

Протяженность ветхих трубопроводов от котельной п. Новокаолиновый, подлежащих замене, в пределах 20 - 30%. $К_с = 0,6$.

4.2.7. Обработка данных по отказам участков тепловых сетей (аварийным ситуациям), средняя частота отказов участков тепловых сетей (аварийных ситуаций) в системе теплоснабжения.

Наименование источника теплоснабжения	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год
Котельная п. Новокаолиновый	Отказов в работе участков тепловых сетей нет				

Показатель интенсивности отказов тепловых сетей, ($К_{отк}$), характеризуемый количеством вынужденных отключений участков тепловой сети с ограничением отпуска тепловой энергии потребителям, вызванным отказом и его устранением за последние три года

$$И_{отк} = n_{отк}/(3*S) \quad [1/(км*год)],$$

где $n_{отк}$ - количество отказов за последний год - отсутствуют;

S- протяженность тепловой сети данной системы теплоснабжения, **2,49 км**.

В зависимости от интенсивности отказов ($И_{отк}$) определяется показатель надежности ($К_{отк}$)

до 0,5 - $К_{отк}$ = 1,0;
0,5 - 0,8 - $К_{отк}$ = 0,8;
0,8 - 1,2 - $К_{отк}$ = 0,6;
свыше 1,2 - $К_{отк}$ = 0,5;

Отказов и вынужденных отключений участков тепловой сети за последний 5 лет нет. $К_{отк}$ = 1,0

Статистика восстановлений (аварийно - восстановительные ремонты) тепловых сетей и среднее время, затраченное на восстановление работоспособности тепловых сетей, за последние 5 лет.

Среднее время, затраченное на восстановление работоспособности тепловых сетей на аварийно-восстановительные ремонты в тепловых сетях за последний год не было.

Наименование источника теплоснабжения	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год
Котельная п. Новокаолиновый	Аварий на тепловых сетях нет.				

4.2.8. Показатель относительного недоотпуска тепла. Оценка недоотпуска тепловой энергии по причине отказов (аварийных ситуаций) и простоев тепловых сетей и источников тепловой энергии, ($К_{нед}$) в результате аварий и инцидентов определяется по формуле:

$$Q_{нед} = Q_{ав}/Q_{факт}*100 \ [\%]$$

где $Q_{ав}$ - аварийный недоотпуск тепла за последние год не было;

$Q_{факт}$ - фактический отпуск тепла системой теплоснабжения за последние год, тыс.Гкал.

В зависимости от величины недоотпуска тепла ($Q_{нед}$) определяется показатель надежности ($К_{нед}$)

до 0,1 - $К_{нед}$ = 1,0;
0,1 - 0,3 - $К_{нед}$ = 0,8;
0,3 - 0,5 - $К_{нед}$ = 0,6;
свыше 0,5 - $К_{нед}$ = 0,5.

Недоотпуска тепла за последний год не было. $К_{нед}$ = 1,0.

4.2.9. Показатель качества теплоснабжения ($К_{ж}$), характеризуемый количеством жалоб потребителей тепла на нарушение качества теплоснабжения.

$$Ж = Д_{жал}/ Д_{сумм}*100 \ [\%], \text{ гда}$$

$Д_{сумм}$ - количество зданий, снабжающихся теплом от системы теплоснабжения, 65 ед;

$Д_{жал}$ - количество зданий, по которым поступили жалобы на работу системы теплоснабжения 3ед.

В зависимости от рассчитанного коэффициента (Ж) определяется показатель надежности ($К_ж$)

до 0,2	- $К_ж$ = 1,0;
0,2 – 0,5	- $К_ж$ = 0,8;
0,5 – 0,8	- $К_ж$ = 0,6;
свыше 0,8	- $К_ж$ = 0,4.

Жалоб на качество теплоснабжения за последние 5 лет поступало 4 . $К_ж$ = 0,4;

4.2.10. Показатель надежности конкретной системы теплоснабжения ($К_{над}$), определяется как средний по частным показателям $К_э$, $К_в$, $К_т$, $К_б$, $К_р$ и $К_с$:

$$К_{над} = \frac{К_э + К_в + К_т + К_б + К_р + К_с + К_{отк} + К_{нед} + К_ж}{n},$$

где n - число показателей, учтенных в числителе.

$К_ж$ = (1,0 + 1,0 + 0,1+1,0 + 1,0 + 0,6 + 1,0 + 1,0 + 0,4) / 9 = 0,889

4.2.11. Оценка надежности систем теплоснабжения. Оценка коэффициентов готовности теплопроводов и источника теплоснабжения к несению тепловой нагрузки.

В зависимости от полученных показателей надежности системы теплоснабжения с точки зрения надежности могут быть оценены как:

- **высоконадежные - более 0,9;**
- **надежные - 0,75 - 0,89;**
- **малонадежные - 0,5 - 0,74;**
- **ненадежные - менее 0,5.**

Показатель надежности системы теплоснабжения от котельной п. Новокаолиновый составляет - 0,889. Система может быть оценена как высоконадежная и готова к несению тепловой нагрузки.

4.3. Расчет критериев надежности теплоснабжения зоны №3. Котельная АО «НГОК»

Расчет критериев надежности теплоснабжения зоны №3 (котельная АО «НГОК») не производился, ввиду отсутствия исходной информации и данный источник не участвует в теплоснабжении потребителей тепловой энергии п. Новокаолиновый