



**Схема теплоснабжения  
муниципального образования  
Раздольненский район Республики  
Крым на 2016-2031 гг.**

**Обосновывающие материалы**

**Глава 9**

**Оценка надежности теплоснабжения**

**023.СТС.016.014.009.000**

**Разработчик**

**НП «Энергоэффективный  
город»**

**Исполнительный директор**

**Силинский В. П.**

**«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.**

## СОСТАВ ДОКУМЕНТА

Наименование документа	Шифр
Схема теплоснабжения муниципального образования Раздольненский район на период 2016-2031 гг. (Утверждаемая часть)	023.СТС.016.001.000.000
Глава 1. Существующее положение в сфере производства, передачи и потребления тепловой энергии для целей теплоснабжения	023.СТС.016.002.001.000
Глава 2. Перспективное потребление тепловой энергии на цели теплоснабжения	023.СТС.016.003.002.000
Глава 3. Электронная модель системы теплоснабжения МО Раздольненский район»	023.СТС.016.004.003.000
Приложение 1. Альбом характеристик тепловых сетей	023.СТС.016.005.003.001
Приложение 2. Альбом характеристик потребителей тепловой энергии	023.СТС.016.006.003.002
Приложение 3. Альбом тепловых камер	023.СТС.016.007.003.003
Приложение 4. Инструкция по применению Zulu Thermo	023.СТС.016.008.003.004
Глава 4. Перспективные балансы тепловой мощности источников тепловой энергии и тепловой нагрузки	023.СТС.016.009.004.000
Мастер-план	Шифр не присваивается
Глава 5. Перспективные балансы производительности водоподготовительных установок	023.СТС.016.010.005.000
Глава 6. Предложения по строительству, реконструкции и техническому перевооружению источников тепловой энергии	023.СТС.016.011.006.000
Глава 7. Предложения по строительству и реконструкции тепловых сетей, и сооружений на них	023.СТС.016.012.007.000
Глава 8. Перспективные топливные балансы	023.СТС.016.013.008.000
Глава 9. Оценка надежности теплоснабжения	023.СТС.016.014.009.000
Приложение 1. Результаты расчета показателей надежности	023.СТС.016.015.009.001
Глава 10. Обоснование инвестиций в строительство, реконструкцию и техническое перевооружение	023.СТС.016.016.010.000
Глава 11. Обоснование предложения по определению единой теплоснабжающей организации	023.СТС.016.017.011.000

## Содержание

<b>Перечень таблиц .....</b>	<b>4</b>
<b>Перечень рисунков .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Общие положения .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Методика расчета вероятности безотказной работы тепловых сетей .....</b>	<b>7</b>
2.1 Термины и определения .....	7
2.2 Методика расчета надежности теплоснабжения .....	9
2.2.1 Расчет надежности теплоснабжения не резервируемых участков тепловой сети .....	9
2.2.2 Расчет надежности теплоснабжения не резервируемых участков тепловой сети .....	15
2.2.3 Оценка недоотпуска тепловой энергии потребителям .....	18
<b>3. Результаты расчета показателей надежности .....</b>	<b>19</b>
3.1 Расчет показателей надежности тепловых магистралей от котельной п.г.т. Раздольное, ул. Школьная, 16 (ГУП РК "КТКЭ") .....	20
3.2 Расчет показателей надежности тепловых магистралей от котельной п.г.т. Раздольное, ул. Ленина, 13 (ГУП РК "КТКЭ") .....	21
<b>4. Мероприятия для обеспечения нормативного уровня надежности .....</b>	<b>22</b>

## **Перечень таблиц**

Таблица 1 – Расчет времени снижения температуры внутри отапливаемого помещения ..... 13

## **Перечень рисунков**

Рисунок 1 – Интенсивность отказов в зависимости от срока эксплуатации участка тепловой сети.. 12

Рисунок 2 – Тепловые сети в зоне действия Котельная п.г.т. Раздольное, ул. Школьная, 16 ..... 20

Рисунок 3 – Тепловые сети в зоне действия Котельная п.г.т. Раздольное, ул. Ленина, 13 ..... 21

## 1. Общие положения

Оценка надежности теплоснабжения разрабатывается в соответствии с «Методикой и алгоритмом расчета надежности тепловых сетей при разработке схем теплоснабжения городов». Данная методика создана ОАО «Газпром промгаз» в 2013 году. Нормативные требования к надёжности теплоснабжения установлены в Актуализированной версии 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].

Расчет показателей системы с учетом надежности должен производиться для каждого потребителя. При этом минимально допустимые показатели вероятности безотказной работы следует принимать для:

- источника тепловой энергии  $R_{иг} = 0,97$ ;
- тепловых сетей  $R_{тс} = 0,9$ ;
- потребителя теплоты  $R_{пт} = 0,99$ ;
- системы централизованного теплоснабжения (далее по тексту – СЦТ) в целом  $R_{сцт} = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 0,86$ .

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;
- необходимостью замены на конкретных участках конструкций тепловых сетей и теплопроводов на более надежные, а также обоснованность перехода на надземную или тоннельную прокладку;

- очередностью ремонтов и замен теплопроводов, частично или полностью утративших свой ресурс.

Готовность системы теплоснабжения к исправной работе в течении 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 СЦТ к исправной работе  $K_g$  принимается 0,97.

Нормативные показатели готовности систем теплоснабжения обеспечиваются следующими мероприятиями:

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

Потребители теплоты по надежности теплоснабжения делятся на две 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.

## 2. Методика расчета вероятности безотказной работы тепловых сетей

### 2.1 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, 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 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 (СП 124.13330.2012).

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 возможное последствие его устранения. Все упомянутые в данном разделе термины устанавливают лишь градацию (шкалу) отказов.

## 2.2 Методика расчета надежности теплоснабжения

### 2.2.1 Расчет надежности теплоснабжения не резервируемых участков тепловой сети

В соответствии со СП 124.13330.2012 расчет надежности теплоснабжения должен производиться для каждого потребителя, при этом минимально допустимые показатели вероятности безотказной работы следует принимать (пункт «6.28») для:

- источника тепловой энергии  $P_{ит} = 0,97$ ;
- тепловых сетей  $P_{тс} = 0,9$ ;
- потребителя теплоты  $P_{пт} = 0,99$ ;
- системы СЦТ в целом  $P_{сцт} = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 0,86$ .

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

Определяется 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 восстановлениям (времени, затраченном на ремонт участка) всех участков тепловых сетей за несколько лет их работы устанавливаются следующие зависимости:

- $\lambda_0$  - 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  $\lambda_i$ , 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 всей системы в целом. Средняя вероятность безотказной работы системы, состоящей из последовательно соединенных элементов, будет равна произведению вероятностей безотказной работы:

$$P_c = \prod_{i=1}^{i=N} P_i = e^{-\lambda_1 L_1 t} \times e^{-\lambda_2 L_2 t} \times K \times e^{-\lambda_n L_n t} = e^{-t \times \sum_{i=1}^{i=N} \lambda_i L_i} = e^{-\lambda_c t}, \quad (2.1.)$$

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

$$\lambda(t) = \lambda_0 (0,1\tau)^{\alpha-1}, \quad (2.2.)$$

где  $\tau$  - срок эксплуатации участка [лет].

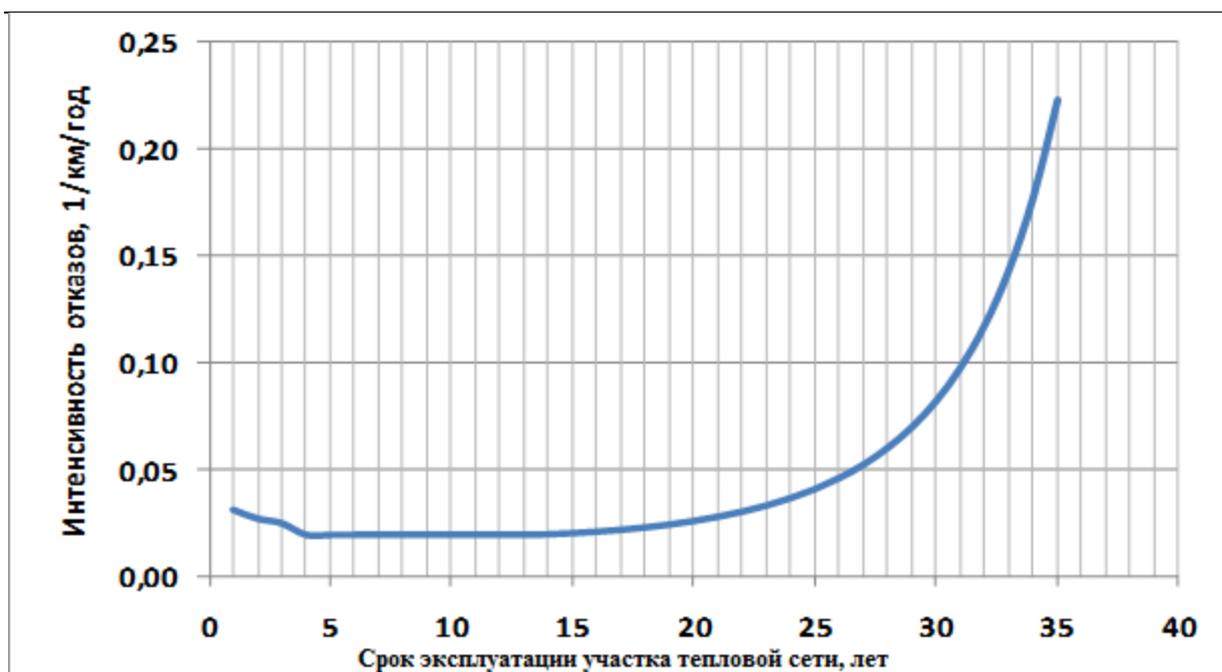
Характер изменения интенсивности отказов зависит от параметра  $\alpha$ : при  $\alpha < 1$ , она монотонно убывает, при  $\alpha > 1$  - возрастает; при  $\alpha = 1$  функция принимает вид  $\lambda(t) = \lambda_0 = Const$ . А  $\lambda_0$  - это средневзвешенная частота (интенсивность) устойчивых отказов в конкретной системе теплоснабжения.

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

$$\alpha = \begin{cases} 0,8 \cdot n_{при} \cdot 0 < \tau \leq 3 \\ 1 \cdot n_{при} \cdot 3 < \tau \leq 17 \\ 0,5 \times e^{(\frac{\tau}{20})} \cdot n_{при} \cdot \tau > 17 \end{cases} \quad (2.3)$$

На рисунке (см. Рисунок 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.**

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».

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 (СП 124.13330.2012). Например, для расчета времени снижения температуры в жилом здании используют формулу:

$$t_a = t_n + \frac{Q_o}{q_o V} + \frac{t'_a - t_n - \frac{Q_o}{q_o V}}{\exp(z/\beta)}, \quad (2.4)$$

где

- $t_g$  - внутренняя температура, которая устанавливается в помещении через время  $z$  в часах, после наступления исходного события, °С;
- $z$  - время, отсчитываемое после начала исходного события, ч;
- $t'_g$  - температура в отапливаемом помещении, которая была в момент начала исходного события, °С;
- $t_n$  - температура наружного воздуха, усредненная на периоде времени  $z$ , °С;
- $Q_o$  - подача теплоты в помещение, Дж/ч;
- $q_o V$  - удельные расчетные тепловые потери здания, Дж/(ч·°С);
- $\beta$  - коэффициент аккумуляции помещения (здания), ч.

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

$$z = \beta \times \ln \frac{(t_g - t_n)}{(t_{g,a} - t_n)}, \quad (2.5)$$

где  $t_{g,a}$  - внутренняя температура, которая устанавливается критерием отказа теплоснабжения (+12 °С для жилых зданий);

Расчет проводится для каждой градации повторяемости температуры наружного воздуха для Раздольненского района (см. Таблица 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
-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

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:

$$z_p = a \left[ 1 + (b + cl_{c.3}) D^{1.2} \right] \quad (2.6)$$

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
- $l_{c.3}$  - 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 2.5 вычисляется время ликвидации повреждения на  $i$ -том участке;
- по каждой градации повторяемости температур с использованием уравнения 2.4 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 2.7) и поток отказов (см. уравнение 2.8) участка тепловой сети, способный привести к снижению температуры в отапливаемом помещении до температуры в  $+12$  °С

$$\bar{z} = \left( 1 - \frac{z_{i,j}}{z_p} \right) \times \frac{\tau_j}{\tau_{on}} \quad (2.7)$$

$$\bar{\omega}_i = \lambda_i L_i \times \sum_{j=1}^{j=N} \bar{z}_{i,j} \quad (2.8)$$

- вычисляется вероятность безотказной работы участка тепловой сети относительно абонента.

$$p_i = \exp(-\bar{\omega}_i) \quad (2.9)$$

## **2.2.2 Расчет надежности теплоснабжения не резервируемых 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  $j$ -того пути:

$$P_{ej} = \prod_{i=1}^n P_i \quad (2.10)$$

- вероятность отказа эквивалентного нерезервированного  $j$ -того пути:

$$q_{ej} = 1 - \prod_{i=1}^n P_i \quad (2.11)$$

- параметр потока отказов эквивалентного нерезервированного  $j$ -того пути:

$$\bar{\omega}_{ej} = \lambda_i L_i \times \sum_{j=1}^{j=N} \bar{z}_{i,k}, \quad (2.12)$$

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

$$\bar{T}_{вс.еj} = q_{ej} / \bar{\omega}_{ej}, \quad (2.13)$$

при этом:

$$q_{ej} = \lambda_{ej} \times \bar{T}_{вс.еj}, \quad (2.14)$$

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:

$$P_{ek} = 1 - \prod_{j=1}^m q_{ej} \quad (2.15)$$

- вероятность отказа эквивалентного резервированного  $k$ -того пути:

$$q_{ek} = \prod_{j=1}^m q_{ej} \quad (2.16)$$

- параметр потока отказов эквивалентного резервированного  $k$ -того пути:

$$\bar{\omega}_{ek} = \sum_{j=1}^m \omega_{ej} \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{m-1} \omega_{el} \bar{T}_{ej}, \quad (2.17)$$

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

$$\bar{T}_{\text{бр.ек}} = \left[ \sum_{j=1}^m \omega_{ej} \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{m-1} \omega_{el} \bar{T}_{ej} \right]^{-1} \quad (2.18)$$

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

$$\bar{T}_{ek} = \frac{\prod_{j=1}^m \omega_{ej} \bar{T}_{ej}}{\left[ \sum_{j=1}^m \omega_{ej} \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^{m-1} \omega_{el} \bar{T}_{ej} \right]}, \quad (2.19)$$

### 2.2.3 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:

$$\Delta Q_n = \bar{Q}_{np} \times T_{on} \times q_{mn}, \text{Гкал} \quad (2.20)$$

где

- $\bar{Q}_{np}$  - среднегодовая тепловая мощность теплопотребляющих установок потребителя (либо, по-другому, тепловая нагрузка потребителя), Гкал/ч;
- $T_{on}$  - продолжительность отопительного периода, час;
- $q_{mn}$  - вероятность отказа теплопровода.

### **3. Результаты расчета показателей надежности**

Расчет показателей надежности СЦТ был выполнен при помощи программно-расчетного комплекса ZuluThermo 7.0 по методике, алгоритм которой описан в предыдущих разделах.

Согласно принятому в Мастер-плане варианту развития теплоснабжения в Раздольненском районе, который предполагает к 2020 г. (котельная ул. Школьная, 16) и 2021 г. (котельная ул. Ленина, 13) отказ от централизованного теплоснабжения котельных ГУП РК "КТКЭ", вывод из эксплуатации тепловых сетей, а также организация поквартирного отопления в жилых домах и отдельностоящих (встроенных) блочно-модульных котельных на отопительных модулях в социально-административных зданиях. На основании вышеуказанного расчет показателей надежности СЦТ проводился по состоянию на 2019 г. и 2020г.

Результаты расчета показателей надежности тепловых сетей, расположенных в зоне действия источников Раздольненского района приведены в таблицах 1 – 2 Приложения 1. Перспективные показатели надежности, определяемые числом нарушений в подаче тепловой энергии, обозначены как «Интенсивность отказов». Перспективные показатели, определяемые приведенной продолжительностью прекращения подачи тепловой энергии, обозначены как «Время восстановления». Перспективные показатели, определяемые средневзвешенной величиной отклонений температуры теплоносителя, соответствующие отклонениям параметров теплоносителя в результате нарушений в подаче тепловой энергии, обозначены как «Вероятность отказа».

Результаты расчета перспективных показателей, определяемых приведенным объемом недоотпуска тепла в результате нарушений в подаче тепловой энергии представлены в таблице 3 Приложения 1 и обозначены как «Средний суммарный недоотпуск теплоты».

По результатам расчета надежности тепловых сетей на 2019 г. и 2020 г. рекомендуются следующие мероприятия (при условии соблюдения нормативной надежности на расчетный срок):

- контроль исправного состояния и безопасной эксплуатации трубопроводов;
- экспертное обследование технического состояния трубопроводов в установленные сроки с выдачей рекомендаций по дальнейшей эксплуатации или выдачей запрета на дальнейшую эксплуатацию трубопроводов.

### 3.1 Расчет показателей надежности тепловых магистралей от котельной п.г.т. Раздольное, ул. Школьная, 16 (ГУП РК "КТКЭ")

Расчетный путь движения теплоносителя начинается от узла Котельная п.г.т. Раздольное, ул. Школьная, 16. Участки тепловых сетей, использованные в расчете представлены см. Рисунок 2.

Результаты расчета показателей надежности тепловых магистралей, расположенных в зоне действия Котельная п.г.т. Раздольное, ул. Школьная, 16, представлены в таблице 1 Приложения 1.

Результаты расчета объема недоотпуска тепла потребителям, из-за нарушений в подаче тепловой энергии, представлены в таблице 3 Приложения 1.

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

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 99,9673%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2019г. 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.

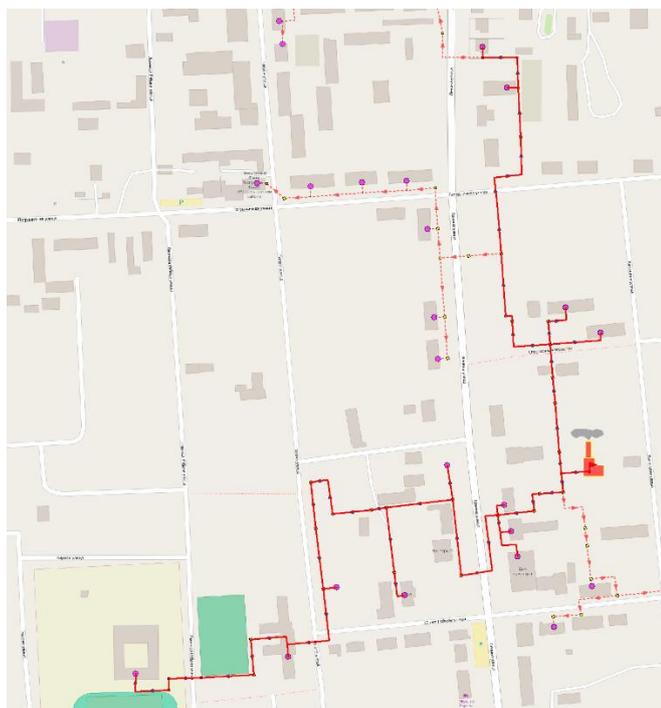


Рисунок 2 – Тепловые сети в зоне действия Котельная п.г.т. Раздольное, ул. Школьная, 16

### 3.2 Расчет показателей надежности тепловых магистралей от котельной п.г.т. Раздольное, ул. Ленина, 13 (ГУП РК "КТКЭ")

Расчетный путь движения теплоносителя начинается от узла Котельная п.г.т. Раздольное, ул. Ленина, 13. Участки тепловых сетей, использованные в расчете представлены см. Рисунок 3 – Тепловые сети в зоне действия Котельная п.г.т. Раздольное, ул. Ленина, 13

Результаты расчета показателей надежности тепловых магистралей, расположенных в зоне действия Котельная п.г.т. Раздольное, ул. Ленина, 13, представлены в таблице 2 Приложения 1.

Результаты расчета объема недоотпуска тепла потребителям, из-за нарушений в подаче тепловой энергии, представлены в таблице 3 Приложения 1.

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

- вероятность безотказной работы СЦТ составляет 99,9925%, что значительно превышает нормативное значение (согласно СП 124.13330.2012 значение равно 86,4%);
- из вышесказанного следует, что рассматриваемая СЦТ на 2020 г. способна обеспечить показатели надежности, соответствующие нормативным значениям;
- необходимо проводить периодические испытания, согласно требованиям «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», утвержденных приказом №1 15 Минэнерго РФ от 24.03.2003.

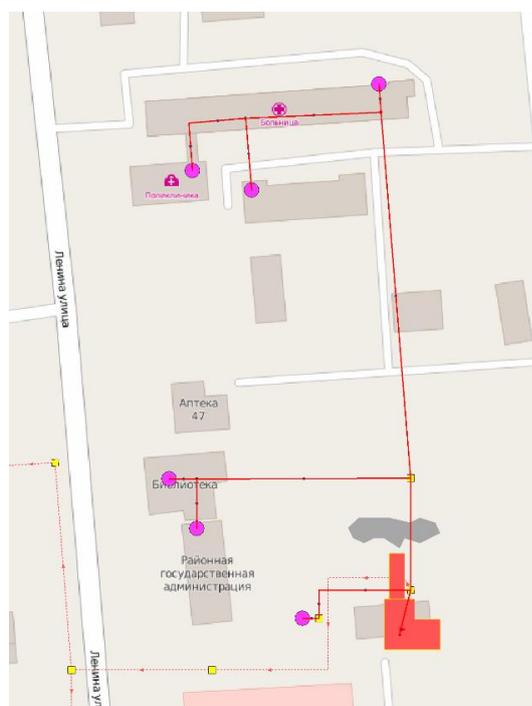


Рисунок 3 – Тепловые сети в зоне действия Котельная п.г.т. Раздольное, ул. Ленина, 13

#### **4. Мероприятия для обеспечения нормативного уровня надежности.**

По результатам расчетов надежности теплоснабжения Раздольненского района отсутствует необходимость проведения мероприятий для поддержания уровня нормативной надежности.