



**СХЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ  
ЗЛАТОУСТОВСКОГО ГОРОДСКОГО  
ОКРУГА**

**(АКТУАЛИЗАЦИЯ НА 2022 ГОД)**

**ОБОСНОВЫВАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ**

**ГЛАВА 11  
ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

## СОДЕРЖАНИЕ

|       |                                                                                                                                                                               |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | . ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....                                                                                                                                                       | 3  |
| 2     | . ОПИСАНИЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПО ИСТОЧНИКАМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ                                                                                                                      |    |
| 4     |                                                                                                                                                                               |    |
| 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.....                                                                                                                         | 17 |
| 4     | . Предложения, обеспечивающие надежность систем теплоснабжения .....                                                                                                          | 20 |
| 4.1   | Применение на источниках тепловой энергии рациональных тепловых схем с дублированными связями и новых технологий, обеспечивающих готовность энергетического оборудования..... | 20 |
| 4.2   | Установка резервного оборудования .....                                                                                                                                       | 20 |
| 4.3   | Организация совместной работы нескольких источников тепловой энергии .....                                                                                                    | 21 |
| 4.4   | Взаимное резервирование тепловых сетей смежных районов поселения, городского округа.....                                                                                      | 21 |
| 4.5   | Устройство резервных насосных станций.....                                                                                                                                    | 21 |
| 4.6   | Установка баков-аккумуляторов .....                                                                                                                                           | 21 |

## 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 СЦТ к исправной работе Кг 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 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 Златоустовского городского округа имеют возможность взаимного резервирования, которое обеспечивается следующим образом:

- Источники Котельная №1 и котельная №2 соединены магистралью и резервируют друг друга.

Установка дополнительной перемычки предусмотрена в Главе 8 (раздел 4.7 «Строительство или реконструкция тепловых сетей для повышения эффективности функционирования системы теплоснабжения, в том числе за счёт перевода котельных в пиковый режим работы или ликвидации котельных») между котельными №9 и №4.

С помощью существующей перемычки между котельными №1 и №2, а также перспективной перемычки между котельными №4 и №9 обеспечивается взаимное резервирование тепловых сетей смежных районов на время устранения неисправности при аварии на трубопроводе, что позволяет обеспечить поддержание температуры в жилых домах не ниже 12°C (согласно СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети») до завершения ремонтных работ.

### 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, 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 (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  $R_{ит} = 0,97$ ;
- тепловых сетей  $R_{тс} = 0,9$ ;
- потребителя теплоты  $R_{пт} = 0,99$ ;
- системы СЦТ в целом  $R_{сцт} = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 0,86$ .

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

- 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 восстановлением (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 все системы в целом. Средняя вероятность безотказной работы системы, состоящей из последовательно соединенных элементов, будет равна произведению вероятностей безотказной работы:

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

Интенсивность отказов всего последовательного соединения равна сумме интенсивностей отказов на каждом участке  $\lambda_c = L_1 \lambda_1 + L_2 \lambda_2 + \dots + L_n \lambda_n$ , [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:

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

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

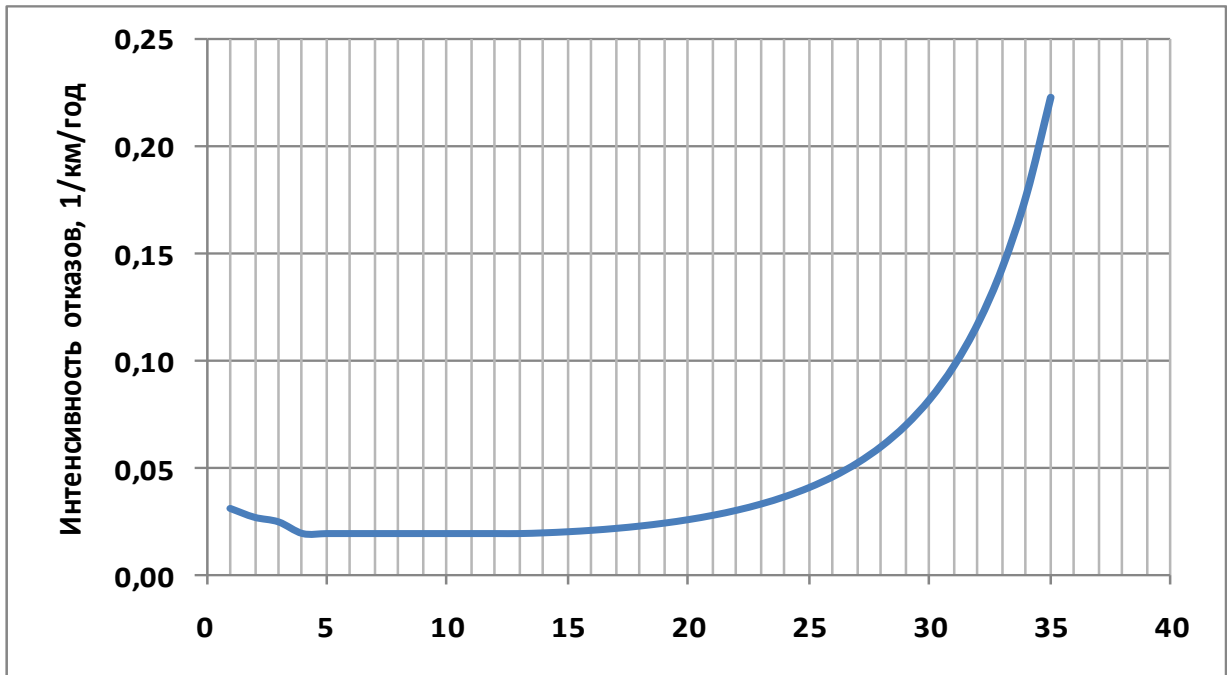
Характер изменения интенсивности отказов зависит от параметра  $\alpha$  : при  $\alpha < 1$ , она монотонно убывает, при  $\alpha > 1$  - возрастает; при  $\alpha = 1$  функция принимает вид  $\lambda(t) = \lambda_0 = Const$ . А  $\lambda_0$  - это средневзвешенная частота (интенсивность) устойчивых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

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

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

На рис.3.1 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 3.2.1-1.** 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:

$$t_{\varepsilon} = t_n + \frac{Q_o}{q_o V} + \frac{t'_\varepsilon - t_n - \frac{Q_o}{q_o V}}{\exp(z/\beta)}, \quad (1.4)$$

где

$t_{\varepsilon}$  – внутренняя температура, которая устанавливается в помещении через время  $z$  в часах, после наступления исходного события, 0С;

- $z$  - время, отсчитываемое после начала исходного события, ч;  
 $t'_s$  - температура в отапливаемом помещении, которая была в момент начала исходного события, 0С;  
 $t_n$  - 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 расчет 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:

$$z = \beta \times \ln \frac{(t_s - t_n)}{(t_{s,a} - t_n)}, \quad (1.5)$$

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:

$$z = \beta \times \ln \frac{(t_s - t_n)}{(t_{s,a} - t_n)}, \quad (1.5)$$

где  $t_{s,a}$  - внутренняя температура, которая устанавливается критерием отказа теплоснабжения (+12 0С для жилых зданий);

Расчет проводится для каждой градации повторяемости температуры наружного воздуха для Златоустовского городского округа (см. таблицу 3.2.1-1) при коэффициенте аккумуляции жилого здания  $\beta = 40$  часов.

**Таблица 3.2.1-1. 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                                                                       |

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:

$$z_p = a \left[ 1 + (b + c l_{c.3}) D^{1,2} \right], \quad (1.6)$$

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
- $l_{c.3}$  – 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 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  $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

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

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

вычисляется вероятность безотказной работы участка тепловой сети относительно абонента

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

### 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:

$$P_{ej} = \prod_{i=1}^n P_i \quad (1.10)$$

- вероятность отказа эквивалентного нерезервированного -того пути:

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

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

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

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

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

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

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

при этом

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 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:

$$\Delta Q_n = \bar{Q}_{np} \times T_{on} \times q_{mn}, \text{Гкал} \quad (1.21)$$

$\bar{Q}_{np}$  - где

$T_{on}$  -  $\bar{Q}_{np}$  - среднегодовая тепловая мощность теплотребляющих установок потребителя (либо, по-другому, тепловая нагрузка потребителя), Гкал/ч;

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

$q_{mn}$  - вероятность отказа теплопровода.

$q_{mn}$

**Таблица 3.2.3-2. Показатели надежности систем централизованного теплоснабжения Златоустовского городского округа согласно приказу Министерства регионального развития Российской Федерации от 26 июля 2013 г. N 310**

| № п/п | Наименование теплоисточника  | $K_0$ | $K_e$ | $K_b$ | $K_p$ | $K_c$ | $K_{отк.тс}$ | $K_{отк.ит}$ | $K_n$ | $K_m$ | $K_{тр}$ | $K_{ист}$ | $K_{зот}$ | Оценка надежности теплоисточников | $K_{тс}$ | Оценка надежности тепловых сетей | Общая оценка надежности систем теплоснабжения города |
|-------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|-------|-------|----------|-----------|-----------|-----------------------------------|----------|----------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1     | ТЭЦ АО «Златмаш»             | 1     | 1     | 1     | 1     | 0,67  | 0,8          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,96     | высоконадежная                   | высоконадежная                                       |
| 2     | ТЭЦ ООО «ЗЭМЗ-Энерго»        | 1     | 1     | 1     | 1     | 0,55  | 0,8          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,95     | высоконадежная                   | высоконадежная                                       |
| 3     | Котельная №1                 | 1     | 1     | 1     | 1     | 0,69  | 0,8          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,96     | высоконадежная                   | высоконадежная                                       |
| 4     | Котельная №2                 | 1     | 1     | 1     | 1     | 0,75  | 0,8          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,97     | высоконадежная                   | высоконадежная                                       |
| 5     | Котельная №3                 | 1     | 1     | 1     | 0,3   | 0,49  | 0,8          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,899    | надежная                         | надежная                                             |
| 6     | Котельная №4                 | 0,6   | 1     | 1     | 1     | 0,82  | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,96     | высоконадежная                   | высоконадежная                                       |
| 7     | Котельная №5                 | 0,6   | 1     | 1     | 1     | 0,8   | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,96     | высоконадежная                   | высоконадежная                                       |
| 8     | Котельная №6                 | 0,6   | 1     | 1     | 1     | 0,85  | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,96     | высоконадежная                   | высоконадежная                                       |
| 9     | Котельная пос. Центральный   | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,2   | 0,9   | 0,6          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,81     | надежная                         | надежная                                             |
| 10    | Котельная пос. Дегтярка      | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,2   | 0,91  | 0,8          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,83     | надежная                         | надежная                                             |
| 11    | Котельная пос. Веселовка     | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,2   | 0,98  | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,85     | надежная                         | надежная                                             |
| 12    | Котельная №8                 | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 0,3   | 0,6          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,81     | надежная                         | надежная                                             |
| 13    | Котельная №9                 | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 0,22  | 0,6          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,77     | надежная                         | надежная                                             |
| 14    | Котельная ст. Златоуст       | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 0,5   | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,86     | надежная                         | надежная                                             |
| 15    | Котельная ст. Аносово        | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 0,56  | 0,8          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,81     | надежная                         | надежная                                             |
| 16    | Котельная ст. Уржумка        | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 0,4   | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,85     | надежная                         | надежная                                             |
| 17    | Котельная ООО «НПП «ТехМикс» | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 0,61  | 0,6          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,80     | надежная                         | надежная                                             |
| 18    | Локальная элект-рокотельная, | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 1     | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                          | 0,86     | надежная                         | надежная                                             |

| №<br>п/п | Наименование<br>теплоисточника      | $K_o$ | $K_e$ | $K_b$ | $K_p$ | $K_c$ | $K_{отк.тс}$ | $K_{отк.ит}$ | $K_n$ | $K_m$ | $K_{тр}$ | $K_{ист}$ | $K_{зот}$ | Оценка<br>надежности<br>теплоисточников | $K_{тс}$ | Оценка<br>надежности<br>тепловых сетей | Общая оценка<br>надежности<br>систем<br>теплоснабжения<br>города |
|----------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|-------|-------|----------|-----------|-----------|-----------------------------------------|----------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|          | Орловское теп-<br>личное хоз-во     |       |       |       |       |       |              |              |       |       |          |           |           |                                         |          |                                        |                                                                  |
| 19       | Котельная<br>школы-детсада<br>№27   | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 0,35  | 0,6          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                                | 0,82     | надежная                               | надежная                                                         |
| 20       | Котельная СОШ<br>№5 (29)            | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 0,52  | 0,8          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                                | 0,81     | надежная                               | надежная                                                         |
| 21       | Котельная СОШ<br>№90 (41)           | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 0,96  | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                                | 0,85     | надежная                               | надежная                                                         |
| 22       | Котельная СОШ<br>№18 (19)           | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 1     | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                                | 0,86     | надежная                               | надежная                                                         |
| 23       | Котельная СОШ<br>№1 (20)            | 0,6   | 1     | 1     | 0,3   | 0,38  | 0,8          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                                | 0,83     | надежная                               | надежная                                                         |
| 24       | Котельная СОШ<br>№18 (12)           | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 1     | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                                | 0,86     | надежная                               | надежная                                                         |
| 25       | Котельная д/с<br>№17                | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,2   | 1     | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                                | 0,89     | надежная                               | надежная                                                         |
| 26       | Котельная д/с<br>№31                | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 1     | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                                | 0,86     | надежная                               | надежная                                                         |
| 27       | Котельная 7<br>жилого участка       | 0,6   | 0,6   | 1     | 0,3   | 0,5   | 1            | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                                | 0,82     | надежная                               | надежная                                                         |
| 28       | Котельная<br>квартала<br>Молодежный | 0,6   | 1     | 1     | 0,3   | 0,39  | 0,8          | 1            | 1     | 1     | 1        | 1         | 1         | надежная                                | 0,84     | надежная                               | надежная                                                         |

#### **4. Предложения, обеспечивающие надежность систем теплоснабжения**

##### **4.1 Применение на источниках тепловой энергии рациональных тепловых схем с дублированными связями и новых технологий, обеспечивающих готовность энергетического оборудования**

Применение на источниках тепловой энергии рациональных тепловых схем с дублированными связями и новых технологий, обеспечивающих готовность энергетического оборудования, не рассматривается в силу экономической нецелесообразности проведения реконструкций котельных при имеющихся уровнях загрузки.

##### **4.2 Установка резервного оборудования**

Начиная с 2010 года ежегодно при проведении плановых проверок по подготовке ЗГО к очередному отопительному периоду Златоустовским территориальным отделом Ростехнадзора в актах проверок фиксируется замечание «На котельных № 3, 5 не обеспечен резервный (нормативный) запас топлива на отопительный период, резервные топливные хозяйства неработоспособны». В настоящее время существующее резервное мазутное хозяйство находится в неработоспособном состоянии, восстановить его не представляется возможным: существующие подземные резервуары не эксплуатировались долгое время в связи с чем нарушена гидроизоляция, отсутствуют подогреватели мазута, мазутопроводы, газовые горелки на котлах, насосы для перекачки мазута. Затраты по восстановлению мазутного хозяйства составляют 30 - 40 млн.руб., данные средства в настоящее время отсутствуют и в бюджете ЗГО, и у обслуживающей организации ООО «Теплоэнергетик».

В связи с тем, что восстановление и в последующем эксплуатация мазутного хозяйства финансово и экономически нецелесообразна в 2011 году заказаны проекты на установку системы автономного газоснабжения, работающего на СУГ, в качестве резервного топлива для котельных № 3, 5. В 2016 году получены положительные заключения ОГАУ «Госэкспертиза Челябинской области»:

- на проект «Установка системы автономного газоснабжения сжиженным углеводородным газом (СУГ) в качестве резервного топлива в котельных № 3 г. Златоуст, ул. 4-я Демидовская, № 29-а» по проектной документации № 25 Зл/1.2.- 14р/14 от 29.12.2015г., по сметной документации № 74-1-4-Зл/1.2.-14р/14 от 26.02.2016г. Стоимость строительно-монтажных работ в текущем уровне цен по состоянию на II квартал 2019 г. с учетом НДС составляет - 56, 66 млн.руб.

- на проект «Установка системы автономного газоснабжения сжиженным углеводородным газом (СУГ) в качестве резервного топлива в котельной № 5 г. Златоуст, ул.

Аносова, 198а» по проектной документации № 25 Зл/1.2-15р/14 от 29.12.2015г., по сметной документации № 74-1-5-Зл/1.2.-15р/14 от 26.02.2016г. Стоимость строительно-монтажных работ в текущем уровне цен по состоянию на II квартал 2019 г. с учетом НДС составляет - 68, 42 млн. руб.

Источником финансирования мероприятий по установке систем автономного газоснабжения сжиженным углеводородным газом (СУГ) в качестве резервного топлива могут выступать только целевые средства бюджетов разного уровня.

**Таблица 4.2-1. Мероприятия по установке резервного оборудования**

| Наименование котельной             | Наименование мероприятий                                                                                       | Оценка финансовых затрат в текущих ценах, тыс. руб. |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Котельная № 3 ООО «Теплоэнергетик» | Установка системы автономного газоснабжения сжиженным углеводородным газом (СУГ) в качестве резервного топлива | 56656,642                                           |
| Котельная № 5 ООО «Теплоэнергетик» | Установка системы автономного газоснабжения сжиженным углеводородным газом (СУГ) в качестве резервного топлива | 68418,153                                           |

#### **4.3 Организация совместной работы нескольких источников тепловой энергии**

Исходя из экономической нецелесообразности это мероприятие не включено.

#### **4.4 Взаимное резервирование тепловых сетей смежных районов поселения, городского округа**

Потребности во взаимном резервировании тепловых сетей смежных районов округа, исходя из экономической нецелесообразности, не предусмотрено за исключением мероприятия по строительству дополнительной перемычки между котельными №9 и №4.

С помощью перспективной перемычки между котельными №4 и №9 обеспечивается взаимное резервирование тепловых сетей смежных районов на время устранения неисправности при аварии на трубопроводе, что позволяет обеспечить поддержание температуры в жилых домах не ниже 12°C (согласно СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети») до завершения ремонтных работ.

#### **4.5 Устройство резервных насосных станций**

Предложения по устройству резервных насосных станций не предусматриваются, т.к. экономически не целесообразно.

#### **4.6 Установка баков-аккумуляторов**

Исходя из экономической целесообразности это мероприятие не включено.