



**ОБОСНОВЫВАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ
К СХЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
СП МОСКОВСКИЙ СЕЛЬСОВЕТ ДЮРТЮЛИНСКОГО
РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН
НА ПЕРИОД С 2012 ГОДА ПО 2027 ГОД**

Книга 9

Оценка надежности теплоснабжения

Москово, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения	3
2. Методика расчета вероятности безотказной работы тепловых сетей	3
2.1. Термины и определения	3
2.2. Методика расчета надежности теплоснабжения.....	5
2.2.1. Расчет надежности теплоснабжения не резервируемых участков тепловой сети.....	5
2.2.2. Расчет надежности теплоснабжения для резервируемых участков тепловой сети.....	9
2.2.3. Оценка недоотпуска тепла потребителям.....	11
3. Расчет вероятности безотказной работы тепловых сетей на отопительный период 2011/2012 года.....	12
3.1. Вероятность безотказной работы последовательных участков ТС Котельной №1	12
3.1.1. Участок «Котельная № 1 - ТК-9»	12
3.2. Вероятность безотказной работы последовательных участков ТС Котельной №2	15
3.2.1. Участок «Котельная № 2 - ТК-14»	15
4. Расчет вероятности безотказной работы тепловых сетей на отопительный период перспективного состояния.....	18
4.1. Вероятность безотказной работы последовательных участков ТС Котельной №1	18
4.1.1. Участок «Котельная № 1 - ТК-9»	18
4.2. Вероятность безотказной работы последовательных участков ТС Котельной №2. ...	23
4.2.1. Участок «Котельная № 2 - ТК-14»	23
5. Выводы и предложения по тепловым сетям	28

1. Общие положения

Оценка надежности теплоснабжения разрабатываются в соответствии с подпунктом «и» пункта 19 и пункта 46 Требований к схемам теплоснабжения. Нормативные требования к надёжности теплоснабжения установлены в СНиП 41.02.2003 «Тепловые сети» в части пунктов 6.27-6.31 раздела «Надежность».

В СНиП 41.02.2003 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 теплоты $R_{ит} = 0,97$;
- тепловых сетей $R_{тс} = 0,9$;
- потребителя теплоты $R_{пт} = 0,99$;
- СЦТ в целом $R_{сцт} = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 0,86$.

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;

- Дефект – по ГОСТ 15467;

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

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

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

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).

2.2. Методика расчета надежности теплоснабжения

2.2.1. Расчет надежности теплоснабжения не резервируемых участков тепловой сети

В соответствии со СНиП 41-02-2003 расчет надежности теплоснабжения должен производиться для каждого потребителя, при этом минимально допустимые показатели вероятности безотказной работы следует принимать (пункт «б.28») для:

- источника теплоты $P_{ит} = 0,97$;
- тепловых сетей $P_{тс} = 0,9$;
- потребителя теплоты $P_{пт} = 0,99$;
- 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:

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:

- 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) отказов¹ 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 элементов², 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:

¹ В соответствии с ГОСТ 27.002-89

² Надежность и эффективность в технике. Справочник, том 2. Москва, Из-во «Машиностроение», 1989

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

Интенсивность отказов всего последовательного соединения равна сумме интенсивностей отказов на каждом участке $\lambda_c = L_1 \lambda_1 + L_2 \lambda_2 + \dots + L_n \lambda_n$, [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 самое главное, она зависит от времени эксплуатации участка (важно: не в процессе одного отопительного периода, а времени от начала его ввода в эксплуатацию). В нашей практике для описания параметрической зависимости интенсивности отказов мы применяем зависимость от срока эксплуатации, следующего вида, близкую по характеру к распределению Вейбулла:

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

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:

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

На рис. 2.1 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.

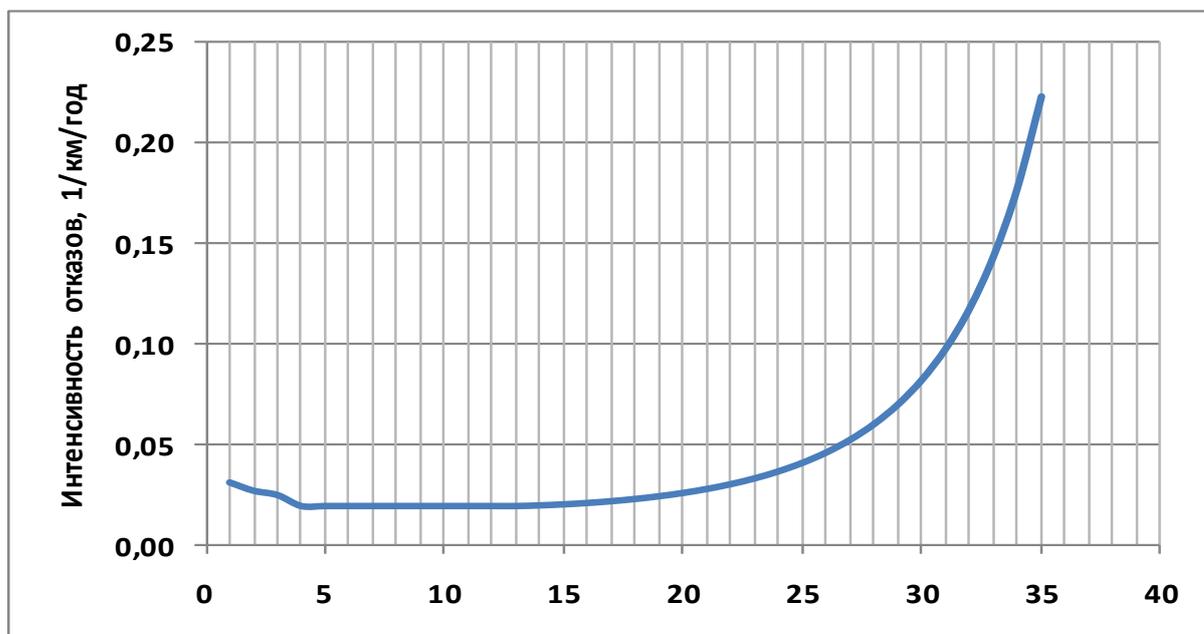


Рисунок 2.1 - Интенсивность отказов в зависимости от срока эксплуатации участка тепловой сети

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 2.01.01.82 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:

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

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);
 β - 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:

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

где t_e - внутренняя температура, которая устанавливается критерием отказа теплоснабжения (+12°С для жилых зданий);

Расчет проводится для каждой градации повторяемости температуры наружного воздуха, например, для города Уфа (см. таблицу 2.1.) при коэффициенте аккумуляции жилого здания $\beta = 40$ часов.

Таблица 2.1

Расчет времени снижения температуры внутри отапливаемого помещения

Температура н.в., °С	Повторяемость температур н.в., ч	Время снижения температуры воздуха внутри отапливаемого помещения до 12°С, ч
-50	0	4,9
-47,5	0	5,0
-42,5	0	5,5
-37,5	5	6,0
-32,5	33	6,6
-27,5	116	7,4
-22,5	265	8,3
-17,5	529	9,6
-12,5	770	11,3
-7,5	948	13,8
-2,5	961	17,6
2,5	799	24,4
7,5	638	40,9

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.

8. В случае отсутствия достоверных данных о времени восстановления теплоснабжения потребителей используются данные,³ указанные в таблице 2.2.

³ Водяные тепловые сети. Справочное пособие. И.В. Беляйкина и др., Москва, «Энергоатомиздат», 1988

Зависимость продолжительности времени устранения аварии от диаметра трубопровода

Диаметр труб d, м	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400	500	600	700	800	1000
Среднее время восстановления z_p , ч	9,5	10,0	10,8	11,3	11,9	12,5	13,8	15,0	16,3	17,5	20,0	22,5	25,0	28,3	35,0

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;
- вычисляется поток отказов (см. уравнение 2.6.) участка тепловой сети, способный привести к снижению температуры в отапливаемом помещении до температуры в +12 град Ц.

$$\bar{z} = \left(1 - \frac{z_{i,j}}{z_p} \right) \times \frac{\tau_j}{\tau_{он}} \quad (2.6)$$

$$\bar{\omega}_i = \lambda_i L_i \times \sum_{j=1}^{j=N} \bar{z}_{i,j}, \quad (2.7)$$

- вычисляется вероятность безотказной работы участка тепловой сети относительно абонента

$$p_i = \exp(-\bar{\omega}_i) \quad (2.8)$$

2.2.2. Расчет надежности теплоснабжения для 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 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

$$P_{ej} = \prod_{i=1}^n P_i \quad (2.9)$$

- вероятность отказа эквивалентного нерезервированного j -того пути

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

- параметр потока отказов эквивалентного нерезервированного j -того пути

$$\bar{\omega}_{ej} = \lambda_i L_i \times \sum_{j=1}^{j=N} \bar{z}_{i,k} , \quad (2.11)$$

- среднее время безотказной работы эквивалентного нерезервированного j -того пути

$$\bar{T}_{\text{бп.}ej} = 1 / \bar{\omega}_{ej} , \quad (2.12)$$

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

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

при этом

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

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

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

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

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

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

2.2.3. Оценка недоотпуска тепла потребителям

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

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

где

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

3. Расчет вероятности безотказной работы тепловых сетей на отопительный период 2011/2012 года

3.1. Вероятность безотказной работы последовательных участков ТС Котельной №1

3.1.1. Участок «Котельная № 1 - ТК-9»

Данный участок начинается от котельной и заканчивается камерой ТК-9.

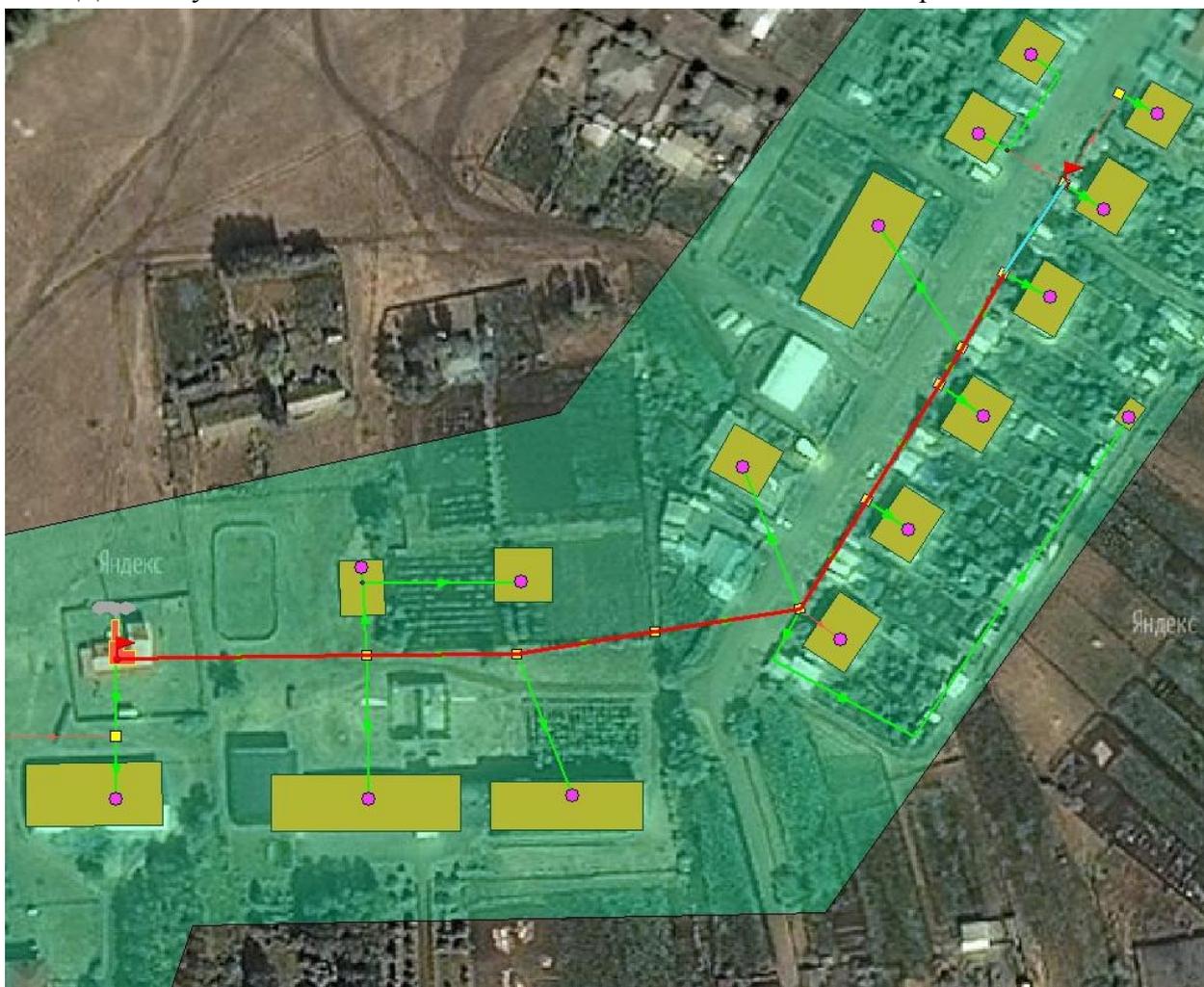


Рисунок 3.1 – Трассировка участка «Котельная № 1 - ТК-9»

В таблице 3.1 приведены данные расчета вероятности безотказной работы (далее ВБР) теплопровода по отношению к тепловым камерам, входящим в «путь» по движению теплоносителя, в соответствии с методикой, изложенной в разделе 2 настоящей книги. На рис. 3.2 – 3.3 представлена иллюстрация расчетов вероятности безотказной работы теплопровода относительно тепловых камер, входящих в состав теплопровода, которые формируют данные о ВБР.

Таблица 3.1

Результаты расчета ВБР участка «Котельная № 1 - ТК-9»

Номер участка пути	Начальная камера участка	Конечная камера участка	Диаметр трубопровода на участке, м	Длина трубопровода на участке, км	Год прокладки трубопровода	Продолжительность эксплуатации участка без капитального ремонта (реконструкции), лет	Частота (интенсивность) отказа участка, 1/ч	Среднее время восстановления участка, час	Параметр потока отказов теплоснабжения при отказе участка, 1/ч	Параметр потока отказов теплоснабжения накопленным итогом, 1/ч	Вероятность безотказной работы пути относительно конечного потребителя
1	Котельная № 1	ТК-1	0,15	0,046	1989	23	0,00000	11,25	0,00000179	0,00000179	0,999998
2	ТК-1	ТК-2	0,15	0,06	1989	23	0,00000	11,25	0,00000234	0,00000413	0,999996
3	ТК-2	ТК-3	0,15	0,045	1989	23	0,00000	11,25	0,00000175	0,00000589	0,999994
4	ТК-3	ТК-4	0,1	0,048	1989	23	0,00000	10,00	0,00000231	0,00000820	0,999992
5	ТК-4	ТК-5	0,1	0,044	1989	23	0,00000	10,00	0,00000212	0,00001032	0,999990
6	ТК-5	ТК-6	0,1	0,044	1989	23	0,00000	10,00	0,00000212	0,00001244	0,999988
7	ТК-6	ТК-7	0,1	0,015	1989	23	0,00000	10,00	0,00000072	0,00001317	0,999987
8	ТК-7	ТК-8	0,1	0,02	1989	23	0,00000	10,00	0,00000096	0,00001413	0,999986
9	ТК-8	ТК-9	0,1	0,036	1989	23	0,00000	10,00	0,00000173	0,00001586	0,999984

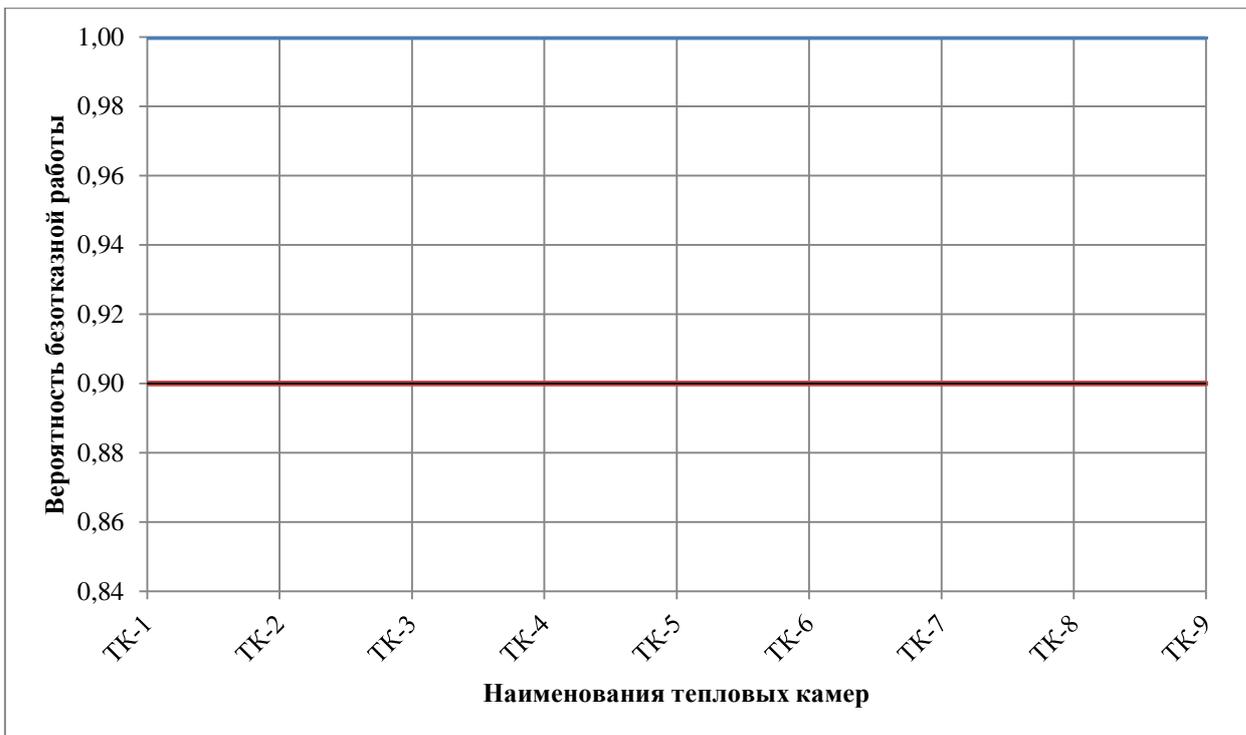


Рисунок 3.2 – ВБР относительно тепловых камер участка «Котельная № 1 - ТК-9»

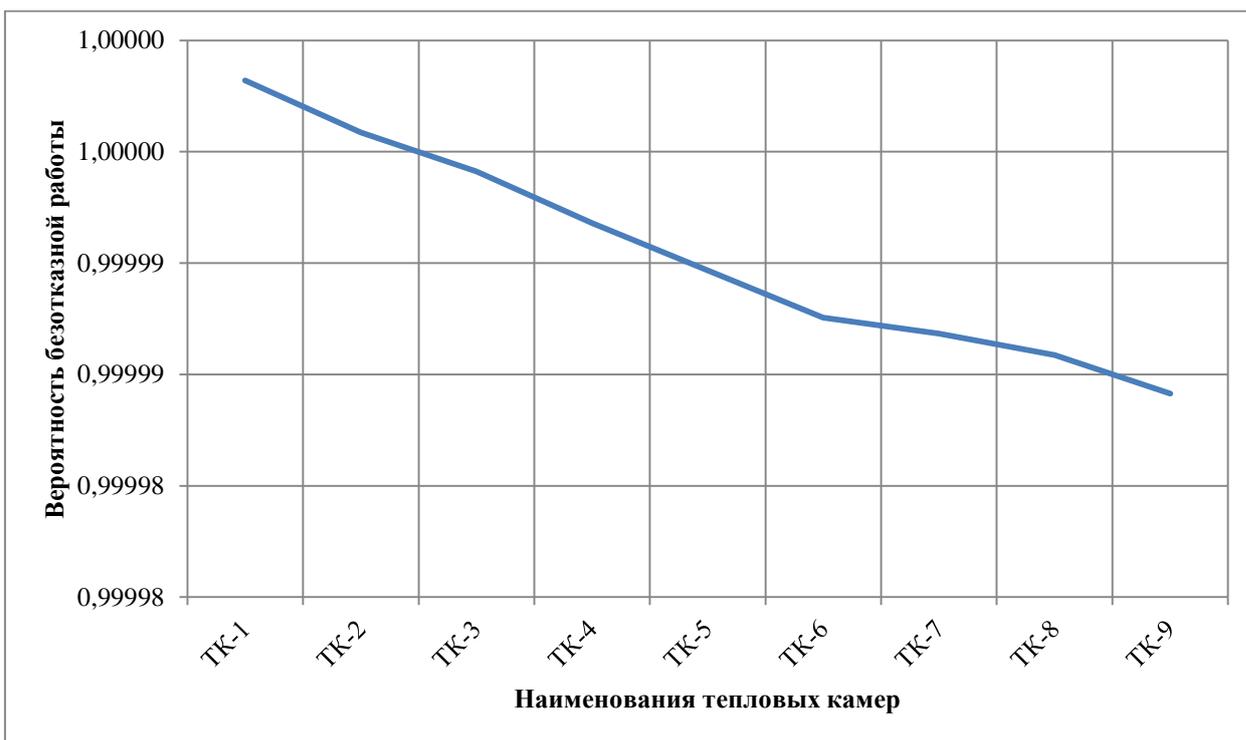


Рисунок 3.3 – ВБР относительно тепловых камер участка «Котельная № 1 - ТК-9» (в укрупненном масштабе)

Результаты расчета показывают, что вероятность отказа теплоснабжения потребителей по пути теплоносителя, присоединенных к тепловым камерам на участке «Котельная № 1 - ТК-9» не ниже нормативной величины, требуемой в СНиП 41-02-2003 (вероятность безотказной работы тепловых сетей относительно каждого потребителя не

должна быть ниже $P_i \geq 0,9$). Тем самым, обеспечивается надежная передача теплоносителя потребителям участка данной магистрали.

3.2. Вероятность безотказной работы последовательных участков ТС Котельной №2

3.2.1. Участок «Котельная № 2 - ТК-14»

Данный участок начинается от котельной и заканчивается камерой ТК-14.

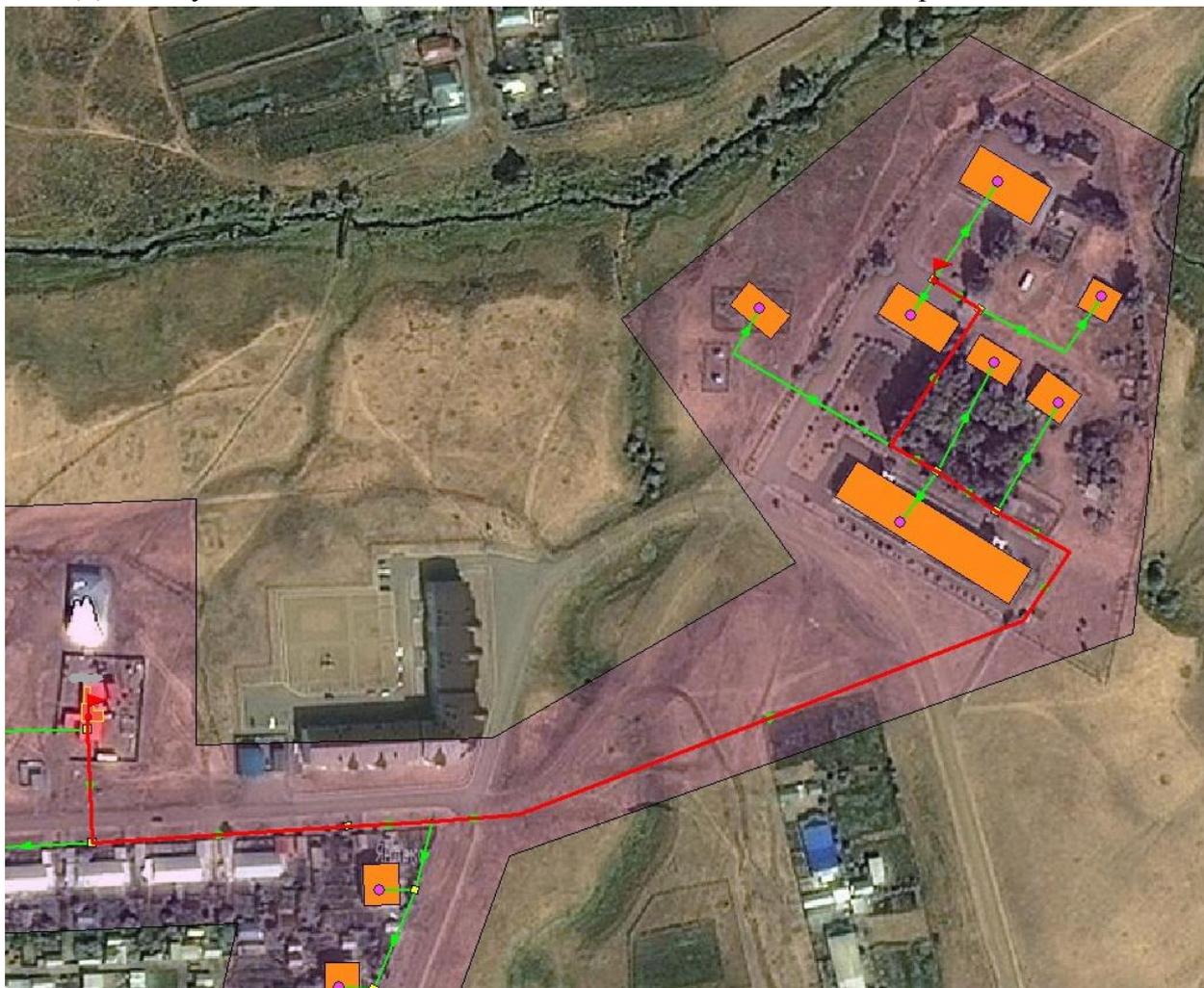


Рисунок 3.4 – Трассировка участка «Котельная № 2 - ТК-14»

В таблице 3.2 приведены данные расчета вероятности безотказной работы (далее ВБР) теплопровода по отношению к тепловым камерам, входящим в «путь» по движению теплоносителя, в соответствии с методикой, изложенной в разделе 2 настоящей книги. На рис. 3.5 – 3.6 представлена иллюстрация расчетов вероятности безотказной работы теплопровода относительно тепловых камер, входящих в состав теплопровода, которые формируют данные о ВБР.

Таблица 3.2

Результаты расчета ВБР участка «Котельная № 2 - ТК-14»

Номер участка пути	Начальная камера участка	Конечная камера участка	Диаметр трубопровода на участке, м	Длина трубопровода на участке, км	Год прокладки трубопровода	Продолжительность эксплуатации участка без капитального ремонта (реконструкции), лет	Частота (интенсивность) отказа участка, 1/ч	Среднее время восстановления участка, час	Параметр потока отказов теплоснабжения при отказе участка, 1/ч	Параметр потока отказов теплоснабжения накопленным итогом, 1/ч	Вероятность безотказной работы пути относительно конечного потребителя
1	Котельная № 2	ТК-1	0,15	0,001	1989	23	0,00000	11,25	0,000000004	0,000000004	1,000000
2	ТК-1	ТК-3	0,15	0,038	1989	23	0,00000	11,25	0,00000148	0,00000152	0,999998
3	ТК-3	ТК-5	0,15	0,232	1989	23	0,00001	11,25	0,00000905	0,00001057	0,999989
4	ТК-5	У-5-1	0,15	0,017	1989	23	0,00000	11,25	0,00000066	0,00001123	0,999989
5	У-5-1	ТК-11	0,1	0,4	1989	23	0,00002	10,00	0,00001928	0,00003051	0,999969
6	ТК-11	ТК-12	0,08	0,055	1989	23	0,00000	9,50	0,00000290	0,00003341	0,999967
7	ТК-12	У-12-1	0,08	0,01	1989	23	0,00000	9,50	0,00000053	0,00003393	0,999966
8	У-12-1	ТК-13	0,07	0,08	1989	23	0,00000	9,50	0,00000421	0,00003815	0,999962
9	ТК-13	ТК-14	0,05	0,02	1989	23	0,00000	9,50	0,00000105	0,00003920	0,999961



Рисунок 3.5 – ВБР относительно тепловых камер участка «Котельная № 2 - ТК-14»



Рисунок 3.6 – ВБР относительно тепловых камер участка «Котельная № 2 - ТК-14» (в укрупненном масштабе)

Результаты расчета показывают, что вероятность отказа теплоснабжения потребителей по пути теплоносителя, присоединенных к тепловым камерам на участке «Котельная № 2 - ТК-14» не ниже нормативной величины, требуемой в СНиП 41-02-2003 (вероятность безотказной работы тепловых сетей относительно каждого потребителя не должна быть ниже $P_i \geq 0,9$). Тем самым, обеспечивается надежная передача теплоносителя потребителям участка данной магистрали.

4. Расчет вероятности безотказной работы тепловых сетей на отопительный период перспективного состояния

4.1. Вероятность безотказной работы последовательных участков ТС Котельной №1

4.1.1. Участок «Котельная №1 - ТК-9»

Вероятность безотказной работы участка «Котельная №1 – ТК-9» к 2017 году достигнет 0,9999, что выше нормативного значения (см. рис. 4.1). Результаты расчета ВБР по состоянию на 2017 год представлены в таблице 4.1.

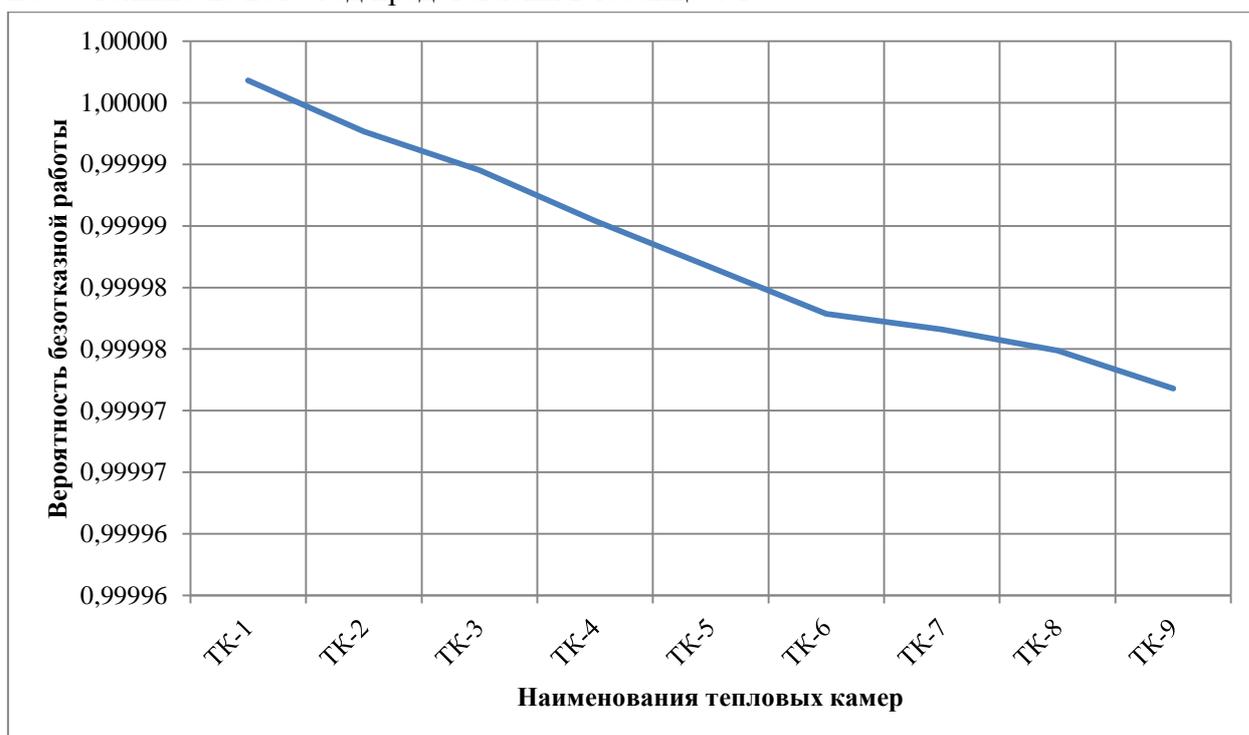


Рисунок 4.1 - ВБР относительно тепловых камер участка «Котельная №1 - ТК-9» по состоянию на 2017 год

Вероятность безотказной работы участка «Котельная №1 – ТК-9» к 2022 году достигнет 0,9999, что выше нормативного значения (см. рис. 4.2). Результаты расчета ВБР по состоянию на 2022 год представлены в таблице 4.2.

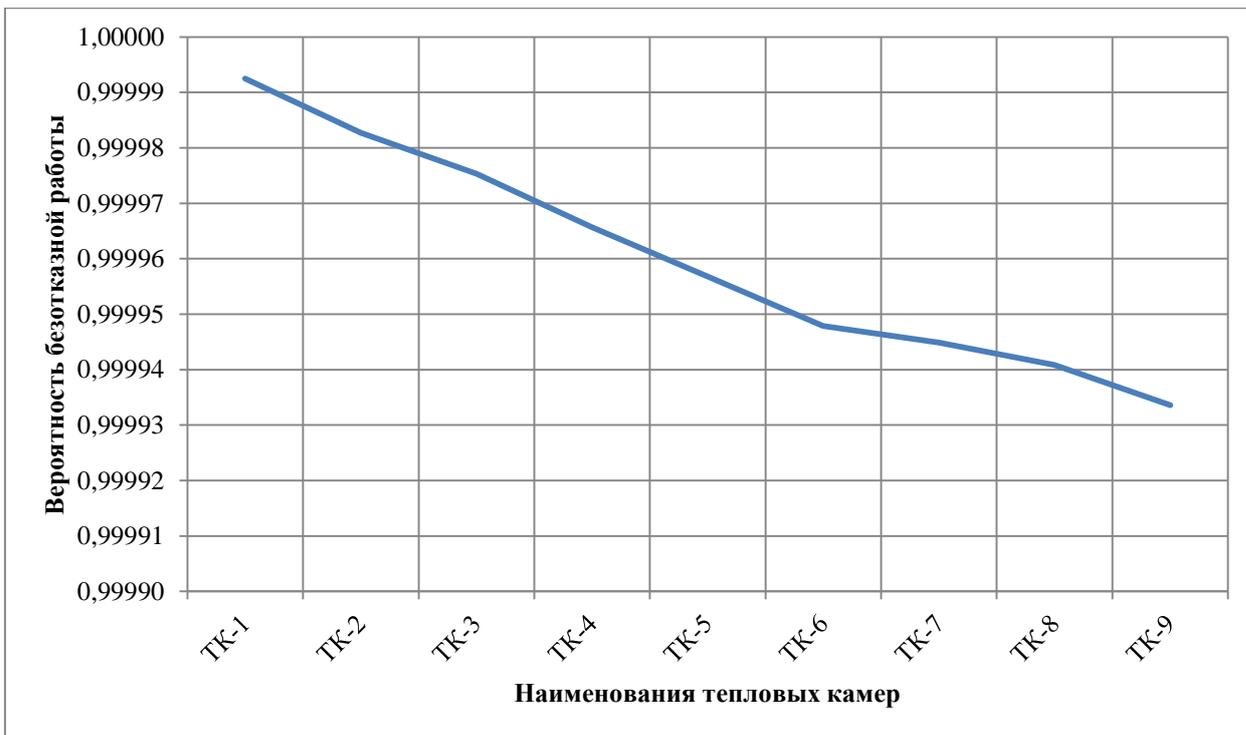


Рисунок 4.2 – ВБР относительно тепловых камер участка «Котельная № 1 - ТК-9» по состоянию на 2022 год

Вероятность безотказной работы участка «Котельная № 1 - ТК-9» к 2027 году достигнет 0,9997, что выше нормативного значения (см. рис. 4.3). Результаты расчета ВБР по состоянию на 2027 год представлены в таблице 4.3.



Рисунок 4.3 - ВБР относительно тепловых камер участка «Котельная № 1 - ТК-9» по состоянию на 2027 год

Таблица 4.1

Результаты расчета ВБР участка «Котельная № 1 - ТК-9» на 2017 год

Номер участка пути	Начальная камера участка	Конечная камера участка	Диаметр трубопровода на участке, м	Длина трубопровода на участке, км	Год прокладки трубопровода	Продолжительность эксплуатации участка без капитального ремонта (реконструкции), лет	Частота (интенсивность) отказа участка, 1/ч	Среднее время восстановления участка, час	Параметр потока отказов теплоснабжения при отказе участка, 1/ч	Параметр потока отказов теплоснабжения накопленным итогом, 1/ч	Вероятность безотказной работы пути относительно конечного потребителя
1	Котельная № 1	ТК-1	0,15	0,046	1989	28	0,00000	11,25	0,00000319	0,00000319	0,999997
2	ТК-1	ТК-2	0,15	0,06	1989	28	0,00001	11,25	0,00000416	0,00000735	0,999993
3	ТК-2	ТК-3	0,15	0,045	1989	28	0,00000	11,25	0,00000312	0,00001047	0,999990
4	ТК-3	ТК-4	0,1	0,048	1989	28	0,00001	10	0,00000411	0,00001459	0,999985
5	ТК-4	ТК-5	0,1	0,044	1989	28	0,00000	10	0,00000377	0,00001836	0,999982
6	ТК-5	ТК-6	0,1	0,044	1989	28	0,00000	10	0,00000377	0,00002213	0,999978
7	ТК-6	ТК-7	0,1	0,015	1989	28	0,00000	10	0,00000129	0,00002341	0,999977
8	ТК-7	ТК-8	0,1	0,02	1989	28	0,00000	10	0,00000171	0,00002513	0,999975
9	ТК-8	ТК-9	0,1	0,036	1989	28	0,00000	10	0,00000309	0,00002821	0,999972

Таблица 4.2

Результаты расчета ВБР участка «Котельная № 1 - ТК-9» на 2022 год

Номер участка пути	Начальная камера участка	Конечная камера участка	Диаметр трубопровода на участке, м	Длина трубопровода на участке, км	Год прокладки трубопровода	Продолжительность эксплуатации участка без капитального ремонта (реконструкции), лет	Частота (интенсивность) отказа участка, 1/ч	Среднее время восстановления участка, час	Параметр потока отказов теплоснабжения при отказе участка, 1/ч	Параметр потока отказов теплоснабжения накопленным итогом, 1/ч	Вероятность безотказной работы пути относительно конечного потребителя
1	Котельная № 1	ТК-1	0,15	0,046	1989	33	0,00001	11,25	0,00000751	0,00000751	0,999992
2	ТК-1	ТК-2	0,15	0,06	1989	33	0,00001	11,25	0,00000980	0,00001731	0,999983
3	ТК-2	ТК-3	0,15	0,045	1989	33	0,00001	11,25	0,00000735	0,00002466	0,999975
4	ТК-3	ТК-4	0,1	0,048	1989	33	0,00001	10,00	0,00000969	0,00003435	0,999966
5	ТК-4	ТК-5	0,1	0,044	1989	33	0,00001	10,00	0,00000888	0,00004323	0,999957
6	ТК-5	ТК-6	0,1	0,044	1989	33	0,00001	10,00	0,00000888	0,00005211	0,999948
7	ТК-6	ТК-7	0,1	0,015	1989	33	0,00000	10,00	0,00000303	0,00005513	0,999945
8	ТК-7	ТК-8	0,1	0,02	1989	33	0,00000	10,00	0,00000404	0,00005917	0,999941
9	ТК-8	ТК-9	0,1	0,036	1989	33	0,00001	10,00	0,00000727	0,00006643	0,999934

Таблица 4.3

Результаты расчета ВБР участка «Котельная №1 - ТК-9» на 2027 год

Номер участка пути	Начальная камера участка	Конечная камера участка	Диаметр трубопровода на участке, м	Длина трубопровода на участке, км	Год прокладки трубопровода	Продолжительность эксплуатации участка без капитального ремонта (реконструкции), лет	Частота (интенсивность) отказа участка, 1/ч	Среднее время восстановления участка, час	Параметр потока отказов теплоснабжения при отказе участка, 1/ч	Параметр потока отказов теплоснабжения накопленным итогом, 1/ч	Вероятность безотказной работы пути относительно конечного потребителя
1	Котельная № 1	ТК-1	0,15	0,046	1989	38	0,00004	11,25	0,00002528	0,00002528	0,999975
2	ТК-1	ТК-2	0,15	0,06	1989	38	0,00005	11,25	0,00003297	0,00005825	0,999942
3	ТК-2	ТК-3	0,15	0,045	1989	38	0,00004	11,25	0,00002473	0,00008297	0,999917
4	ТК-3	ТК-4	0,1	0,048	1989	38	0,00004	10,00	0,00003260	0,00011557	0,999884
5	ТК-4	ТК-5	0,1	0,044	1989	38	0,00004	10,00	0,00002988	0,00014545	0,999855
6	ТК-5	ТК-6	0,1	0,044	1989	38	0,00004	10,00	0,00002988	0,00017533	0,999825
7	ТК-6	ТК-7	0,1	0,015	1989	38	0,00001	10,00	0,00001019	0,00018551	0,999815
8	ТК-7	ТК-8	0,1	0,02	1989	38	0,00002	10,00	0,00001358	0,00019910	0,999801
9	ТК-8	ТК-9	0,1	0,036	1989	38	0,00003	10,00	0,00002445	0,00022354	0,999776

4.2. Вероятность безотказной работы последовательных участков ТС Котельной №2.

4.2.1. Участок «Котельная № 2 - ТК-14»

Вероятность безотказной работы участка «Котельная № 2 - ТК-14» к 2017 году достигнет 0,9999, что выше нормативного значения (см. рис. 4.4). Результаты расчета ВБР по состоянию на 2017 год представлены в таблице 4.4.



Рисунок 4.4 - ВБР относительно тепловых камер участка «Котельная № 2 – ТК-14» по состоянию на 2017 год

Вероятность безотказной работы участка «Котельная №2 – ТК-14» к 2022 году достигнет 0,9998, что выше нормативного значения (см. рис. 4.5). Результаты расчета ВБР по состоянию на 2022 год представлены в таблице 4.5.



Рисунок 4.5 - ВБР относительно тепловых камер участка «Котельная № 2 - ТК-14» по состоянию на 2022 год

Вероятность безотказной работы участка «Котельная № 2 – ТК-14» к 2027 году достигнет 0,9994, что выше нормативного значения (см. рис. 4.6). Результаты расчета ВБР по состоянию на 2027 год представлены в таблице 4.6.



Рисунок 4.6 - ВБР относительно тепловых камер участка «Котельная № 2 - ТК-14» по состоянию на 2027 год

Таблица 4.4

Результаты расчета ВБР участка «Котельная № 2 - ТК-14» на 2017 год

Номер участка пути	Начальная камера участка	Конечная камера участка	Диаметр трубопровода на участке, м	Длина трубопровода на участке, км	Год прокладки трубопровода	Продолжительность эксплуатации участка без капитального ремонта (реконструкции), лет	Частота (интенсивность) отказа участка, 1/ч	Среднее время восстановления участка, час	Параметр потока отказов теплоснабжения при отказе участка, 1/ч	Параметр потока отказов теплоснабжения накопленным итогом, 1/ч	Вероятность безотказной работы пути относительно конечного потребителя
1	Котельная № 2	ТК-1	0,15	0,001	1989	28	0,00000	11,25	0,00000007	0,00000007	1,000000
2	ТК-1	ТК-3	0,15	0,038	1989	28	0,00000	11,25	0,00000264	0,00000270	0,999997
3	ТК-3	ТК-5	0,15	0,232	1989	28	0,00002	11,25	0,00001609	0,00001879	0,999981
4	ТК-5	У-5-1	0,15	0,017	1989	28	0,00000	11,25	0,00000118	0,00001997	0,999980
5	У-5-1	ТК-11	0,1	0,4	1989	28	0,00004	10	0,00003428	0,00005426	0,999946
6	ТК-11	ТК-12	0,08	0,055	1989	28	0,00001	9,5	0,00000515	0,00005941	0,999941
7	ТК-12	У-12-1	0,08	0,01	1989	28	0,00000	9,5	0,00000094	0,00006034	0,999940
8	У-12-1	ТК-13	0,07	0,08	1989	28	0,00001	9,5	0,00000749	0,00006784	0,999932
9	ТК-13	ТК-14	0,05	0,02	1989	28	0,00000	9,5	0,00000187	0,00006971	0,999930

Таблица 4.5

Результаты расчета ВБР участка «Котельная № 2 - ТК-14» на 2022 год

Номер участка пути	Начальная камера участка	Конечная камера участка	Диаметр трубопровода на участке, м	Длина трубопровода на участке, км	Год прокладки трубопровода	Продолжительность эксплуатации участка без капитального ремонта (реконструкции), лет	Частота (интенсивность) отказа участка, 1/ч	Среднее время восстановления участка, час	Параметр потока отказов теплоснабжения при отказе участка, 1/ч	Параметр потока отказов теплоснабжения накопленным итогом, 1/ч	Вероятность безотказной работы пути относительно конечного потребителя
1	Котельная № 2	ТК-1	0,15	0,001	1989	33	0,00000	11,25	0,00000016	0,00000016	1,000000
2	ТК-1	ТК-3	0,15	0,038	1989	33	0,00001	11,25	0,00000621	0,00000637	0,999994
3	ТК-3	ТК-5	0,15	0,232	1989	33	0,00006	11,25	0,00003789	0,00004425	0,999956
4	ТК-5	У-5-1	0,15	0,017	1989	33	0,00000	11,25	0,00000278	0,00004703	0,999953
5	У-5-1	ТК-11	0,1	0,4	1989	33	0,00010	10,00	0,00008073	0,00012776	0,999872
6	ТК-11	ТК-12	0,08	0,055	1989	33	0,00001	9,50	0,00001213	0,00013989	0,999860
7	ТК-12	У-12-1	0,08	0,01	1989	33	0,00000	9,50	0,00000221	0,00014209	0,999858
8	У-12-1	ТК-13	0,07	0,08	1989	33	0,00002	9,50	0,00001764	0,00015974	0,999840
9	ТК-13	ТК-14	0,05	0,02	1989	33	0,00000	9,50	0,00000441	0,00016415	0,999836

Таблица 4.6

Результаты расчета ВБР участка «Котельная № 2 - ТК-14» на 2027 год

Номер участка пути	Начальная камера участка	Конечная камера участка	Диаметр трубопровода на участке, м	Длина трубопровода на участке, км	Год прокладки трубопровода	Продолжительность эксплуатации участка без капитального ремонта (реконструкции), лет	Частота (интенсивность) отказа участка, 1/ч	Среднее время восстановления участка, час	Параметр потока отказов теплоснабжения при отказе участка, 1/ч	Параметр потока отказов теплоснабжения накопленным итогом, 1/ч	Вероятность безотказной работы пути относительно конечного потребителя
1	Котельная № 2	ТК-1	0,15	0,001	1989	38	0,00000	11,25	0,00000055	0,00000055	0,999999
2	ТК-1	ТК-3	0,15	0,038	1989	38	0,00003	11,25	0,00002088	0,00002143	0,999979
3	ТК-3	ТК-5	0,15	0,232	1989	38	0,00019	11,25	0,00012748	0,00014891	0,999851
4	ТК-5	У-5-1	0,15	0,017	1989	38	0,00001	11,25	0,00000934	0,00015825	0,999842
5	У-5-1	ТК-11	0,1	0,4	1989	38	0,00034	10,00	0,00027163	0,00042989	0,999570
6	ТК-11	ТК-12	0,08	0,055	1989	38	0,00005	9,50	0,00004082	0,00047070	0,999529
7	ТК-12	У-12-1	0,08	0,01	1989	38	0,00001	9,50	0,00000742	0,00047813	0,999522
8	У-12-1	ТК-13	0,07	0,08	1989	38	0,00007	9,50	0,00005937	0,00053750	0,999463
9	ТК-13	ТК-14	0,05	0,02	1989	38	0,00002	9,50	0,00001484	0,00055234	0,999448

5. Выводы и предложения по тепловым сетям

На основании данных по аварийности тепловых сетей села Москово, предоставленных заказчиком, надежность теплоснабжения потребителей соответствует требованиям, изложенным в СНиП 41-02-2003. По результатам расчетов, приведенных выше, к концу рассматриваемого периода показатели вероятности безотказной работы потребителей будут соответствовать величине не нормативной, требуемой в СНиП 41-02-2003 для сетей села Москово.