

*Закрытое Акционерное Общество*

**«И В Э Н Е Р Г О С Е Р В И С»**

Юр. адрес: 153002, г. Иваново, ул. Шестернина, д. 3, тел/факс: (4932) 37-22-02

ИНН 3731028511, КПП 370201001, ОГРН 1033700079951

ОКПО 44753410, ОКОНХ 71100

e-mail: [office@ivenser.com](mailto:office@ivenser.com)

# **СХЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МО «ГОРОД ПЕНЗА» Актуализация на 2015 г.**



**Обосновывающие  
материалы к схеме  
теплоснабжения**

**Глава 9. Оценка надежности  
теплоснабжения**

**Книга 10. Оценка надежности  
теплоснабжения**

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер  
Филиала «Пензенский»  
ПАО «Т Плюс»

\_\_\_\_\_ А.Б. Постнов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

# **СХЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МО «ГОРОД ПЕНЗА» Актуализация на 2015 г.**

**Обосновывающие материалы  
к Схеме теплоснабжения г. Пенза**

**Глава 9. Оценка надежности теплоснабжения**

**Книга 10. Оценка надежности теплоснабжения**

Генеральный директор  
ЗАО «Ивэнергосервис»

\_\_\_\_\_ Е.В. Барочкин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

## Содержание

Введение .....	4
Раздел 1. Оценка надежности теплоснабжения на планируемый период .....	5
1.1. Описание показателей надежности (вероятность безотказной работы, коэффициент готовности, живучесть) .....	5
1.2. Методика определения надёжности работы теплосети .....	6
Раздел 2. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей Пензенского филиала ОАО «Волжская ТГК» .....	12
2.1. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей ТЭЦ-1 .....	12
2.2. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей ТЭЦ-2 .....	47
2.3. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей котельной «Арбеково» .....	61
Раздел 3. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей котельных ООО «СКМ Энергосервис», ОАО «Энергоснабжающее предприятие» .....	66
3.1. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от котельной «Западная» до ТК-209' .....	66
3.2. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от котельной «Южная» до ТК-31 .....	71
3.3. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от котельной ОАО «ЭСП» до УП-1 .....	78
Раздел 4. Перспективные показатели надёжности теплоснабжения .....	83
4.1. Перспективных показателей, определяемых приведенной продолжительностью прекращений подачи тепловой энергии .....	83
4.2. Перспективные показатели, определяемые приведенным объемом недоотпуска тепла в результате нарушений в подаче тепловой энергии .....	83
4.3. Перспективные показатели, определяемые средневзвешенной величиной отклонений температуры теплоносителя, соответствующих отклонениям параметров теплоносителя в результате нарушений в подаче тепловой энергии .....	85
Раздел 5. Мероприятия по повышению показателей надежности теплоснабжения .....	87
5.1.2. Резервирование в системе теплоснабжения .....	88
5.1.3. Установка баков-аккумуляторов горячей воды .....	92
5.1.4. Автоматизация управления технологическими процессами производства, транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии .....	93
5.1.5. Совершенствование эксплуатации системы теплоснабжения .....	94
5.2. Выводы .....	97
Список использованных источников .....	98

## Введение

Актуализация схемы теплоснабжения МО «Город Пенза» на период 2015 – 2029 гг. выполняется в соответствии с требованиями Технического задания, Федерального закона от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении», Постановления Правительства Российской Федерации от 22.02.2012 г. № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения» и других нормативных документов, Методических рекомендаций по разработке схем теплоснабжения, утвержденных приказом Минэнерго России и Минрегиона России 29 декабря 2012 г. № 565/667.

Основной целью Этапа № 3 является разработка обосновывающих материалов для схемы теплоснабжения г. Пенза. В Книге 10 Обосновывающих материалов к Схеме теплоснабжения рассмотрены следующие разделы:

- расчет вероятности безотказной работы нерезервированных тепломагистралей в системе теплоснабжения г. Пенза;

- определение участков тепловой сети с показателем безотказной работы ниже нормативных значений;

- расчет вероятности безотказной работы нерезервированных тепломагистралей с учетом предложений по реконструкции и новому строительству участков тепловой сети г. Пенза;

- оценка надежности теплоснабжения в аварийных режимах работы по результатам анализа значений показателей, полученных в ходе гидравлического расчета;

- анализ перспективных показателей надежности, определяемых приведенной продолжительностью прекращений подачи тепловой энергии;

- анализ перспективных показателей надежности, определяемые приведенным объемом недоотпуска тепла в результате нарушений в подаче тепловой энергии;

- анализ перспективных показателей надежности, определяемые средневзвешенной величиной отклонений температуры теплоносителя, соответствующих отклонениям параметров теплоносителя;

- разработка мероприятия по повышению показателей надежности теплоснабжения системы теплоснабжения.

## **Раздел 1. Оценка надежности теплоснабжения на планируемый период**

### **1.1. Описание показателей надежности (вероятность безотказной работы, коэффициент готовности, живучесть)**

Оценка надежности теплоснабжения разрабатывается в соответствии с подпунктом «и» пункта 19 и пункта 46 Постановления Правительства от 22 февраля 2012 г. №154 «Требования 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, коэффициент готовности и живучести.

Расчет показателей системы с учетом надежности должен производиться для конечного потребителя. При этом минимально допустимые показатели вероятности безотказной работы следует принимать для источника теплоты 0,97, для тепловых сетей 0,9, для потребителя теплоты 0,99.

Минимально допустимый показатель вероятности безотказной работы системы централизованного теплоснабжения в целом следует принимать равным 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 тепловых сетей, теплопроводов и конструкций 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 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 системы централизованного теплоснабжения к исправной работе принимается равным 0,97 (СНиП 41.02.2003 «Тепловые сети»).

Нормативные показатели готовности систем теплоснабжения обеспечиваются следующими мероприятиями:

- готовностью систем централизованного теплоснабжения к отопительному сезону;
- достаточностью установленной (располагаемой) тепловой мощности источника тепловой энергии для обеспечения исправного функционирования системы централизованного теплоснабжения при нерасчетных похолоданиях;
- способностью тепловых сетей обеспечить исправное функционирование системы централизованного теплоснабжения при нерасчетных похолоданиях;
- организационными и техническими мерами, необходимыми для обеспечения исправного функционирования системы централизованного теплоснабжения 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. 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 жилых и общественных зданий до 12 °С, промышленных зданий до - 8 °С.

## **1.2. Методика определения надёжности работы теплосети**

Расчёт надёжности работы теплосети от Пензенской ТЭЦ-1 выполняется в соответствии с «Методическими рекомендациями...» Минэнерго [34].

Расчет вероятность безотказной работы тепловой сети по отношению к каждому потребителю рекомендуется выполнять с применением приведённого ниже алгоритма.

1. Определить 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);

$\lambda_0$  - средневзвешенная частота (интенсивность) отказов для участков тепловой сети с продолжительностью эксплуатации от 1 до 3 лет, 1/(км·год);

$\lambda_0$  - средневзвешенная частота (интенсивность) отказов для участков тепловой сети с продолжительностью эксплуатации от 17 и более лет, 1/(км·год).

Частота (интенсивность) отказов каждого участка тепловой сети измеряется с помощью показателя  $\lambda_i$ , который имеет размерность 1/(км·год). 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:

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

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

$$\lambda_c = \lambda_1 L_1 + \lambda_2 L_2 + \dots + \lambda_n L_n, 1/\text{час},$$

где L - протяженность каждого участка, км.

Для описания параметрической зависимости интенсивности отказов рекомендуется использовать зависимость от срока эксплуатации, следующего вида, близкую по характеру к распределению Вейбулла:

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

где  $\tau$ - срок эксплуатации участка, лет.

Для распределения Вейбулла рекомендуется использовать следующие эмпирические коэффициенты:

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

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

Значения интенсивности отказов  $\lambda(t)$  в зависимости от продолжительности эксплуатации  $\tau$  при значении  $\lambda_0 = 0,05$  1/(год·км) представлены в таблице 1.1 и на рис. 1.1.

Таблица 1.1

Наименование показателя	Продолжительность работы участка теплосети, лет									
	1	3	4	5	10	15	20	25	30	35
Значение коэффициента $\alpha$ , ед	0,80	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,36	1,75	2,24	2,88
Интенсивность отказов $\lambda(t)$ , 1/(год·км)	0,079	0,0636	0,050	0,050	0,050	0,050	0,0641	0,0990	0,1954	0,525

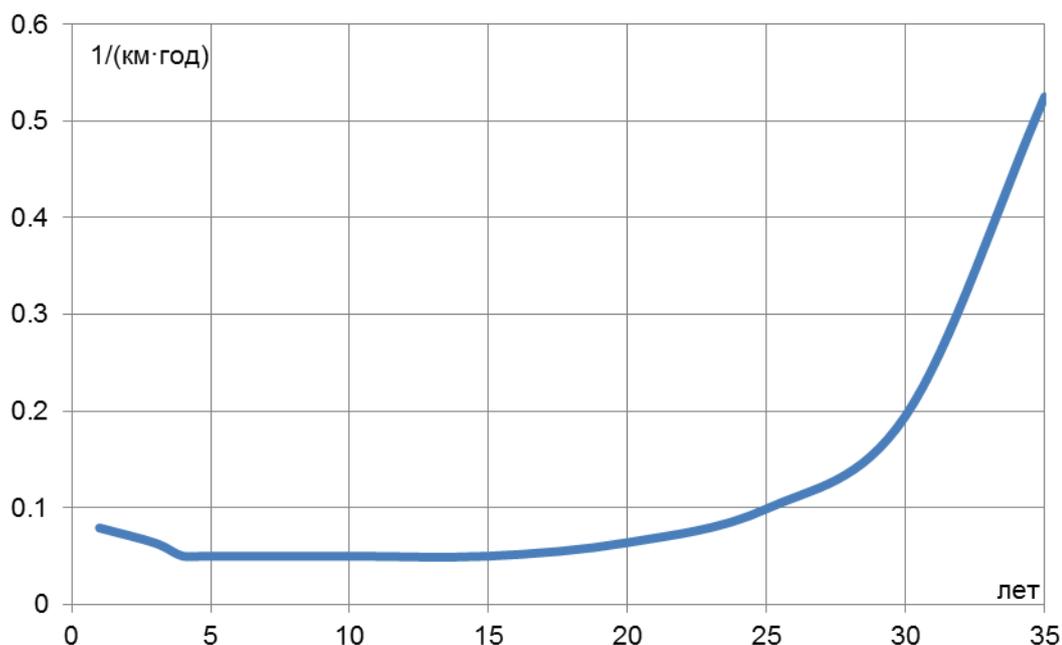


Рис. 1.1. Интенсивность отказов в зависимости от срока эксплуатации участка тепловой сети

При использовании данной зависимости следует помнить о некоторых допущениях, которые были сделаны при отборе данных:

- она применима только тогда, когда в тепловых сетях существует четкое разделение на эксплуатационный и ремонтный периоды;
- в ремонтный период выполняются гидравлические испытания тепловой сети после каждого отказа.

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 объектов теплопотребления (зданий) 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 отопи-

ваемых помещениях жилых и общественных зданий ниже +12 °С, в промышленных зданиях ниже +8 °С (СНиП 41-02-2003. Тепловые сети).

Для расчета времени снижения температуры в жилом здании используют формулу:

$$t_b = t_n + \frac{Q_o}{q_o V} + \frac{t'_b - t_n - \frac{Q_o}{q_o V}}{\exp(z / \beta)}$$

где  $t_b$  - внутренняя температура, которая устанавливается в помещении через время  $z$  в часах, после наступления исходного события, °С;  $z$  - время отсчитываемое после начала исходного события, ч;  $t'_b$  - 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 расчет времени снижения температуры в жилом здании до +12°С при внезапном прекращении теплоснабжения эта формула при  $\frac{Q_o}{q_o V} = 0$  имеет следующий вид:

$$z = \beta \times \ln \frac{(t_b - t_n)}{(t_{b,a} - t_n)}$$

где  $t_{b,a}$  – внутренняя температура, которая устанавливается критерием отказа теплоснабжения (+12 °С для жилых зданий).

Расчет проводится для каждой градации повторяемости температуры наружного воздуха.

Расчет времени снижения температуры внутри отапливаемого помещения для города Пенза при коэффициенте аккумуляции жилого здания  $\beta = 40$  часов приведён в таблице 1.2. Продолжительность отопительного периода составляет 4968 ч.

Таблица 1.2

Температура наружного воздуха, °С	Повторяемость температур наружного воздуха, ч	Время снижения температуры воздуха внутри отапливаемого помещения до +12 °С
8	1032	36,65
3	1032	20,43
-2	1128	14,27
-7	744	10,98
-12	576	8,93
-17	312	7,52
-22	120	6,50
-27	24	5,72
-29	0	5,46

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 рекомендуется использовать эмпирическую зависимость для времени, необходимым для ликвидации повреждения, предложенную Е.Я. Соколовым [33]:

$$z_p = a \left[ 1 + (b + c \times L_{c.3}) D^{1.2} \right],$$

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.

Согласно рекомендациям [33] для подземной прокладки теплопроводов в непроходных каналах значения постоянных коэффициентов равны:

$$a=6; b=0,5; c=0,0015.$$

Значения расстояний между секционирующими задвижками  $L_{c.3}$  берутся из соответствующей базы электронной модели. Если эти значения в базах модели не определены, тогда расчёт выполняется по значениям, определённым СНиП41-02-2003 «Тепловые сети»:

$$L_{c.3} = \begin{cases} \leq 1000 \text{ м при } D_i \geq 100 \text{ мм} \\ \leq 1500 \text{ м при } 400 < D_i \leq 500 \text{ мм} \\ \leq 3000 \text{ м при } D_i \geq 600 \text{ мм} \\ \leq 5000 \text{ м при } D_i \geq 900 \text{ мм} \end{cases}$$

Расчет выполняется для каждого участка, входящего в путь от источника до абонента:

- вычисляется время ликвидации повреждения на  $i$ -м участке;
- по каждой градации повторяемости температур 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 и поток отказов участка тепловой сети, способный привести к снижению температуры в отапливаемом помещении до температуры  $+12$  °С:

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

$$\bar{\omega} = \lambda_i \times L_i \times \sum_{j=1}^{j=N} \bar{z}_{i,j}.$$

- вычисляется вероятность безотказной работы участка тепловой сети относительно абонента

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

Расчёт резервируемых линий осуществляется следующим образом:

1. производится расчёт надёжности каждой из резервных линий в отдельности в соответствии с методикой, описанной в п. 9.2;

2. полученные вероятности безотказной работы каждой из резервных линий суммируются, а полученное значение (не более 1,0) используется для расчёта исследуемого участка теплосети от котельной до потребителя.

## Раздел 2. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей Пензенского филиала ОАО «Волжская ТГК»

### 2.1. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей ТЭЦ-1

#### 2.1.1. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от ТЭЦ-1 до ТК-1728

Расчетный участок от ТЭЦ-1 до ТК-1728 тепловой сети г. Пенза представлен на рис. 2.1. Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали на 2015 год приведены в табл. 2.1. На рис. 2.2 – 2.3 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути.

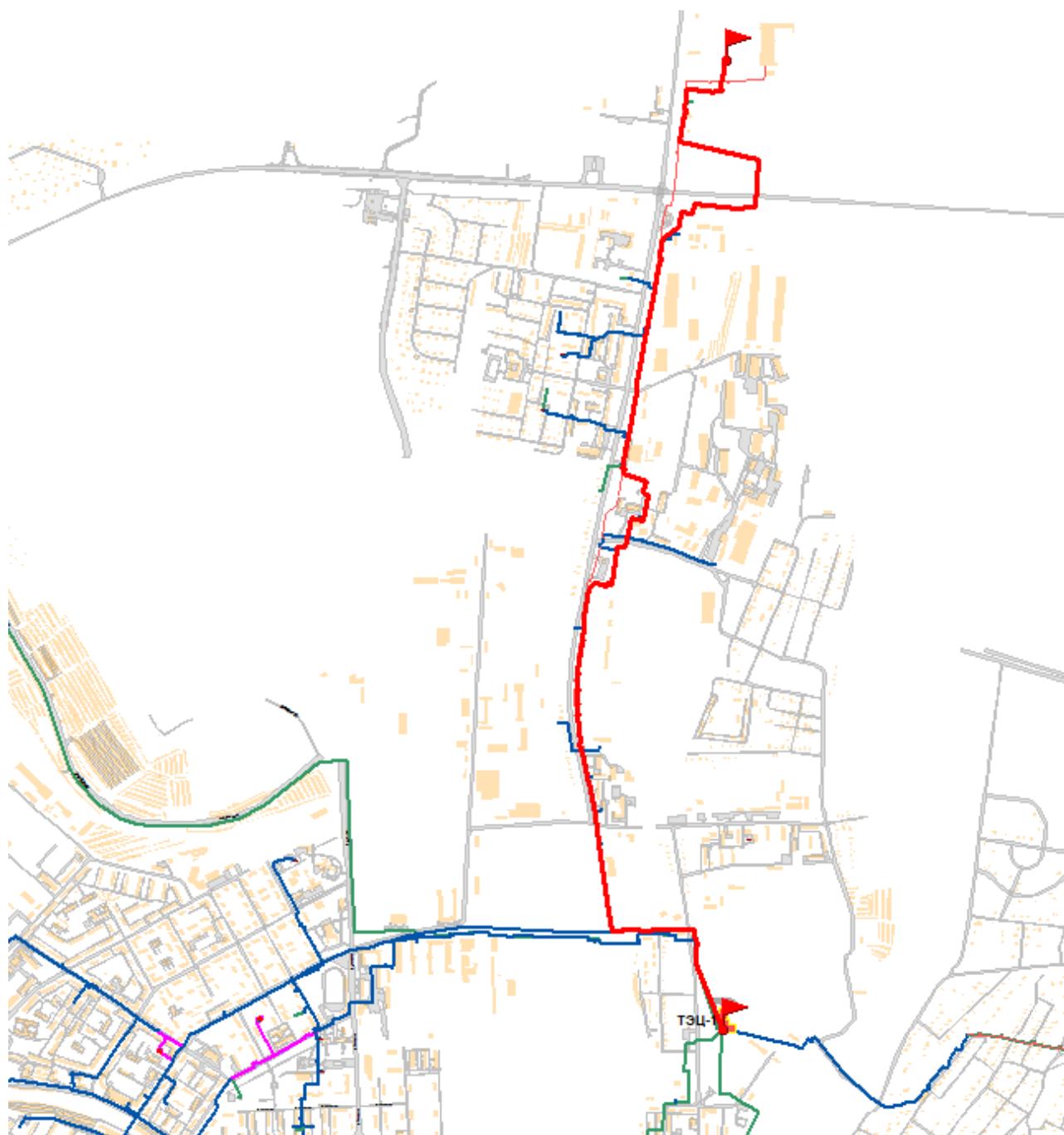
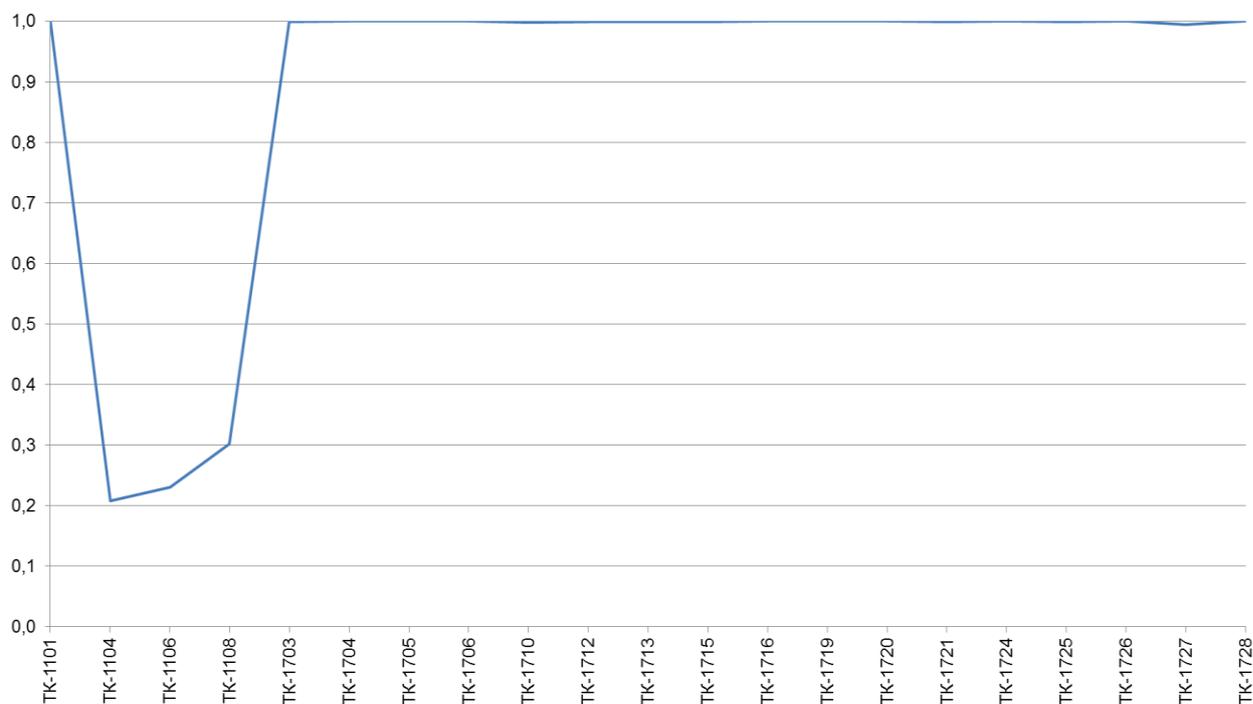


Рис. 2.1. Расчетный участок теплосети от ТЭЦ-1 до ТК-1728

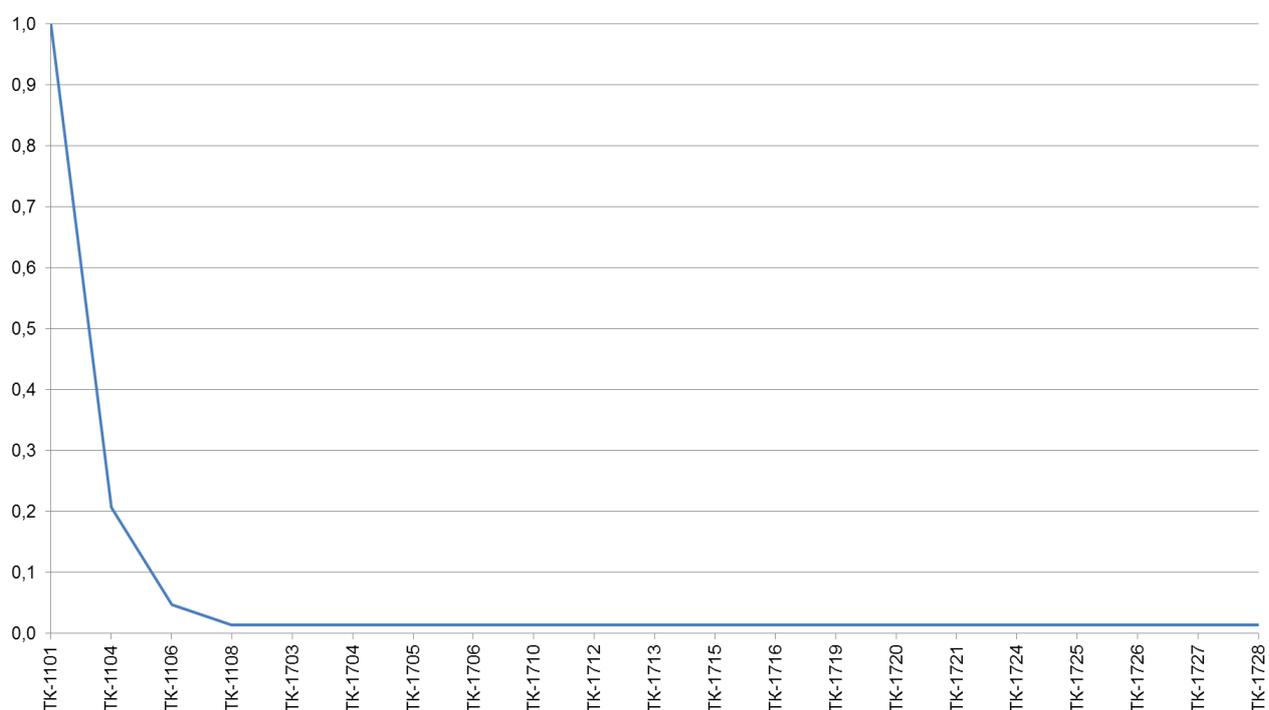
Таблица 2.1

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>у</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>р</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, PR
1	ТЭЦ-1	ТК-1101	1998	372,5	900	11,598	0,05	0,0013	0,9987	0,9987
2	ТК-1101	ТК-1104	1961	144,3	700	8,802	635,342	1,5728	0,2075	0,2072
3	ТК-1104	ТК-1106	1961	137,2	700	8,760	635,342	1,4643	0,2312	0,0479
4	ТК-1106	ТК-1108	1961	118,7	700	8,652	635,342	1,1962	0,3023	0,0145
5	ТК-1108	ТК-1703	2003	340,0	500	8,638	0,05	0,0003	0,9997	0,0145
6	ТК-1703	ТК-1704	2003	120,0	500	7,776	0,05	0,0000	1,0000	0,0145
7	ТК-1704	ТК-1705	2003	142,0	500	7,862	0,05	0,0001	0,9999	0,0145
8	ТК-1705	ТК-1706	2003	100,0	500	7,698	0,05	0,0000	1,0000	0,0145
9	ТК-1706	ТК-1710	1985	548,5	500	9,455	0,144	0,0023	0,9977	0,0144
10	ТК-1710	ТК-1712	1985	150,0	500	7,893	0,144	0,0002	0,9998	0,0144
11	ТК-1712	ТК-1713	1985	241,5	500	8,252	0,144	0,0004	0,9996	0,0144
12	ТК-1713	ТК-1715	1985	322,0	400	7,964	0,144	0,0004	0,9996	0,0144
13	ТК-1715	ТК-1716	1985	110,0	400	7,329	0,144	0,0001	0,9999	0,0144
14	ТК-1716	ТК-1719	1985	165,0	400	7,494	0,144	0,0001	0,9999	0,0144
15	ТК-1719	ТК-1720	1985	38,0	400	7,113	0,144	0,0000	1,0000	0,0144
16	ТК-1720	ТК-1721	1985	221,0	400	7,661	0,144	0,0002	0,9998	0,0144
17	ТК-1721	ТК-1724	1985	156,0	400	7,467	0,144	0,0001	0,9999	0,0144
18	ТК-1724	ТК-1725	1985	208,0	400	7,622	0,144	0,0002	0,9998	0,0144
19	ТК-1725	ТК-1726	1985	131,0	400	7,392	0,144	0,0001	0,9999	0,0144
20	ТК-1726	ТК-1727	1985	982,0	400	9,942	0,144	0,0053	0,9947	0,0143
21	ТК-1727	ТК-1728	1985	192,0	400	7,575	0,144	0,0001	0,9999	0,0143



**Рис. 2.2. Вероятности безаварийной работы каждого участка от ТЭС-1 до ТК-1728 на 2015 г.**

Из анализа рис. 2.2 следует, что наименьшими показателями надёжности тепломагистрали ТЭС-1 – ТК-1728 обладают участки ТК-1101 – ТК-1104, ТК-1104 – ТК-1106, ТК-1106 – ТК-1108 суммарной длиной 400,2 м и условным диаметром 700 мм. Это вызвано продолжительным сроком службы данных отрезков теплосети – более 50 лет.



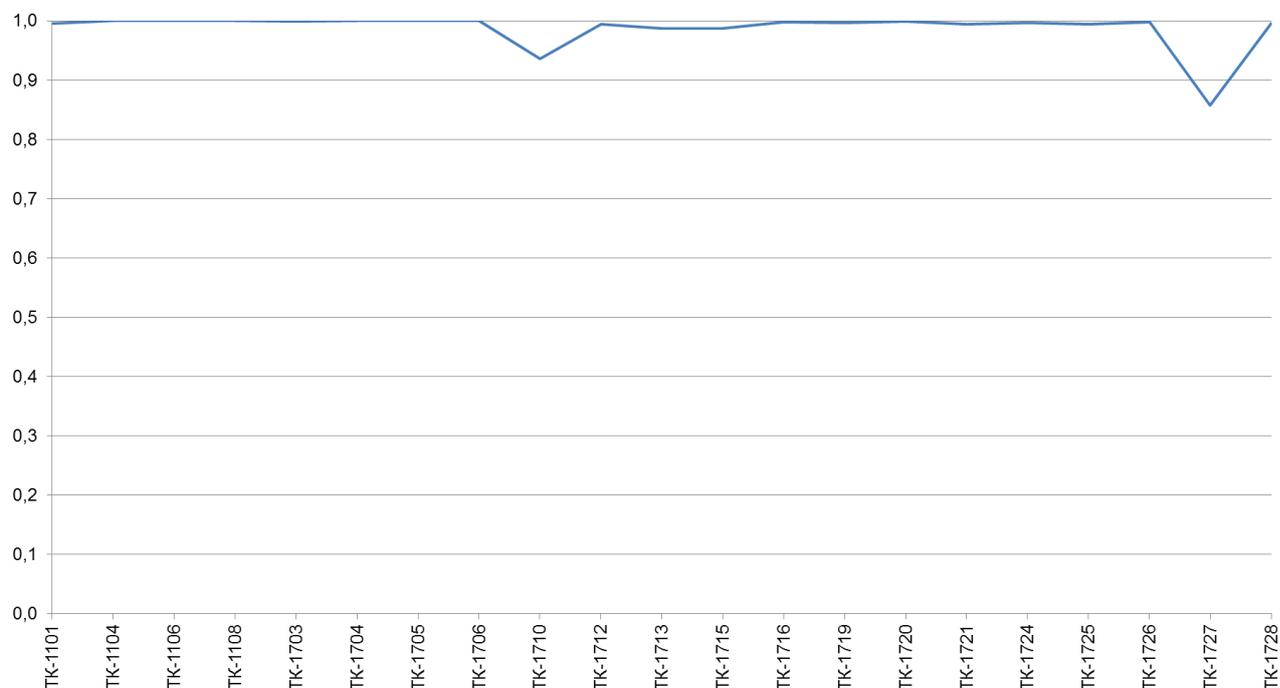
**Рис. 2.3. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭС-1 – ТК-1728 на 2015 г.**

Из анализа рис. 2.3 следует, что тепломагистраль обладает крайне низкими показателями безотказности работы ввиду наличия в начале расчетного пути участков с продолжительным сроком эксплуатации. Поэтому, рекомендуется в краткосрочной перспективе реконструкция указанных выше участков.

Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали в перспективе на 2029 год с учетом рекомендуемых переключений приведены в табл. 2.2. На рис. 2.4 – 2.5 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути в перспективе на 2029 г.

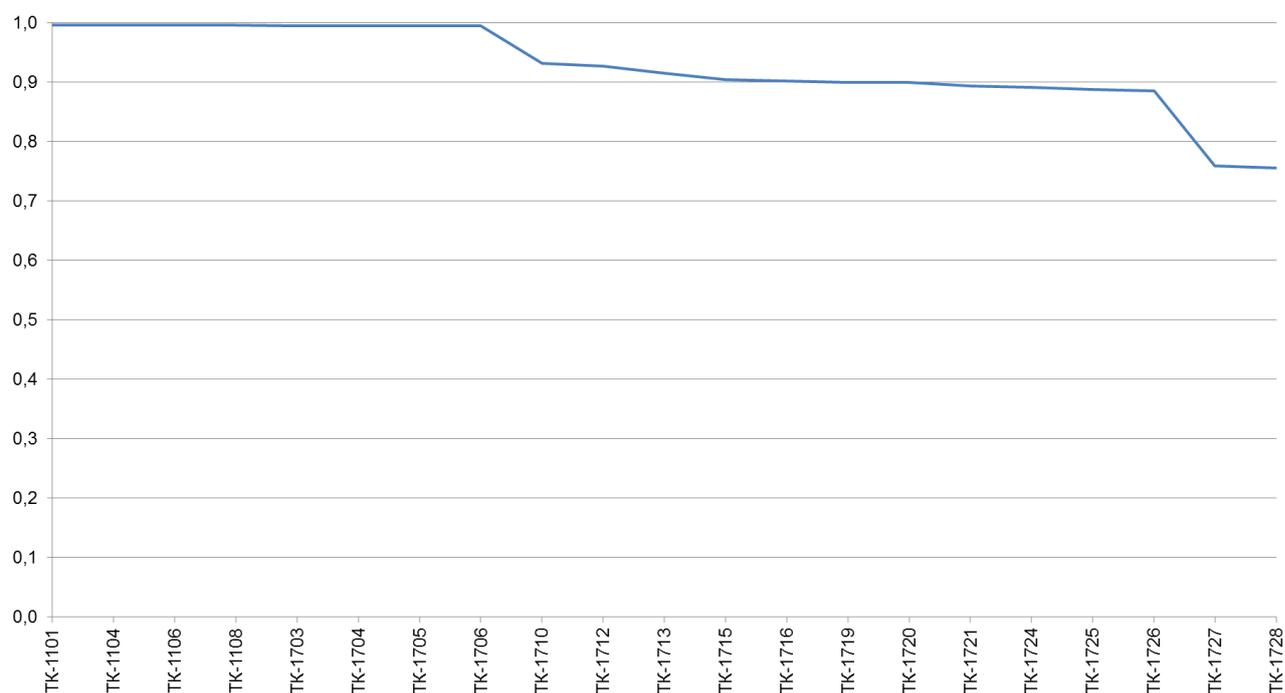
Таблица 2.2

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>у</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>р</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, PR
1	ТЭЦ-1	ТК-1101	1998	372,5	900	11,598	0,167	0,0043	0,9957	0,9957
2	ТК-1101	ТК-1104	2014	144,3	700	8,802	0,05	0,0001	0,9999	0,9956
3	ТК-1104	ТК-1106	2014	137,2	700	8,760	0,05	0,0001	0,9999	0,9955
4	ТК-1106	ТК-1108	2014	118,7	700	8,652	0,05	0,0001	0,9999	0,9954
5	ТК-1108	ТК-1703	2003	340,0	500	8,638	0,089	0,0005	0,9995	0,9949
6	ТК-1703	ТК-1704	2003	120,0	500	7,776	0,089	0,0001	0,9999	0,9948
7	ТК-1704	ТК-1705	2003	142,0	500	7,862	0,089	0,0001	0,9999	0,9947
8	ТК-1705	ТК-1706	2003	100,0	500	7,698	0,089	0,0001	0,9999	0,9946
9	ТК-1706	ТК-1710	1985	548,5	500	9,455	4,174	0,0658	0,9363	0,9312
10	ТК-1710	ТК-1712	1985	150,0	500	7,893	4,174	0,0054	0,9946	0,9262
11	ТК-1712	ТК-1713	1985	241,5	500	8,252	4,174	0,0123	0,9878	0,9149
12	ТК-1713	ТК-1715	1985	322,0	400	7,964	4,174	0,0125	0,9876	0,9036
13	ТК-1715	ТК-1716	1985	110,0	400	7,329	4,174	0,0017	0,9983	0,9020
14	ТК-1716	ТК-1719	1985	165,0	400	7,494	4,174	0,0030	0,9970	0,8993
15	ТК-1719	ТК-1720	1985	38,0	400	7,113	4,174	0,0005	0,9995	0,8989
16	ТК-1720	ТК-1721	1985	221,0	400	7,661	4,174	0,0056	0,9944	0,8938
17	ТК-1721	ТК-1724	1985	156,0	400	7,467	4,174	0,0028	0,9972	0,8913
18	ТК-1724	ТК-1725	1985	208,0	400	7,622	4,174	0,0049	0,9951	0,8870
19	ТК-1725	ТК-1726	1985	131,0	400	7,392	4,174	0,0022	0,9978	0,8850
20	ТК-1726	ТК-1727	1985	982,0	400	9,942	4,174	0,1538	0,8574	0,7588
21	ТК-1727	ТК-1728	1985	192,0	400	7,575	4,174	0,0041	0,9959	0,7557



**Рис. 2.4. Вероятности безаварийной работы каждого участка от ТЭЦ-1 до ТК-1728 на 2029 г.**

Из анализа рис. 2.4 следует, что наименьшими показателями надёжности тепломагистрали ТЭЦ-1 – ТК-1728 в 2029 г. будут обладать участки ТК-1706 – ТК-1710, ТК-1726 – ТК-1727.



**Рис. 2.5. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-1 – ТК-1728 на 2029 г.**

Из анализа рис. 2.5 следует, что конечный участок тепломагистрали в 2029 г. будет обладать показателями безотказности ниже допустимого.

Для повышения надёжности рекомендуется переложить трубопроводы в период 2015 – 2029 гг. со сроком ввода в эксплуатацию до 2005 г. (см. табл. 2.2).

## 2.1.2. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от ТЭЦ-1 до ТК-14186/9д

Расчетный участок от ТЭЦ-1 до ТК-14186/9д представлен на рис. 2.6. Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали на 2015 год приведены в табл. 2.3.

На рис. 2.7 – 2.8 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути.

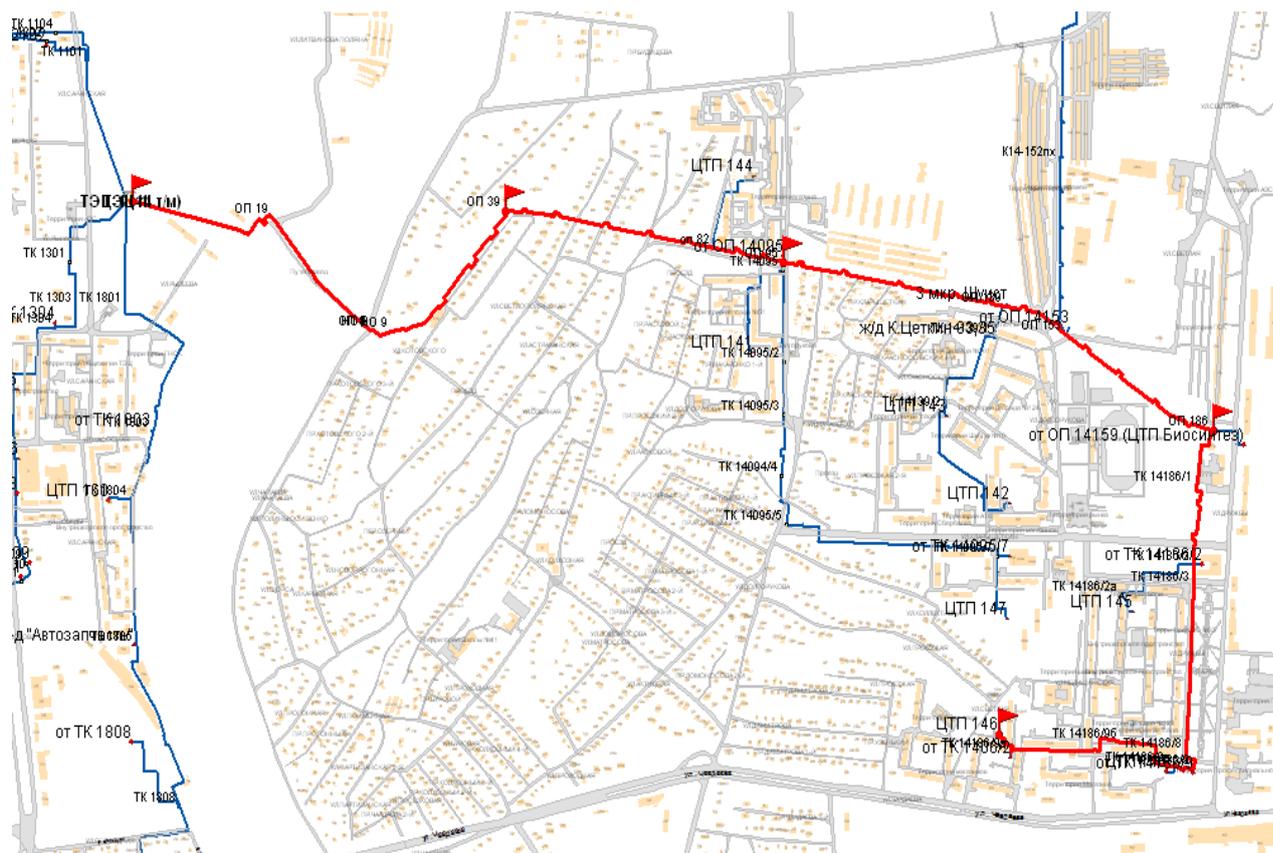
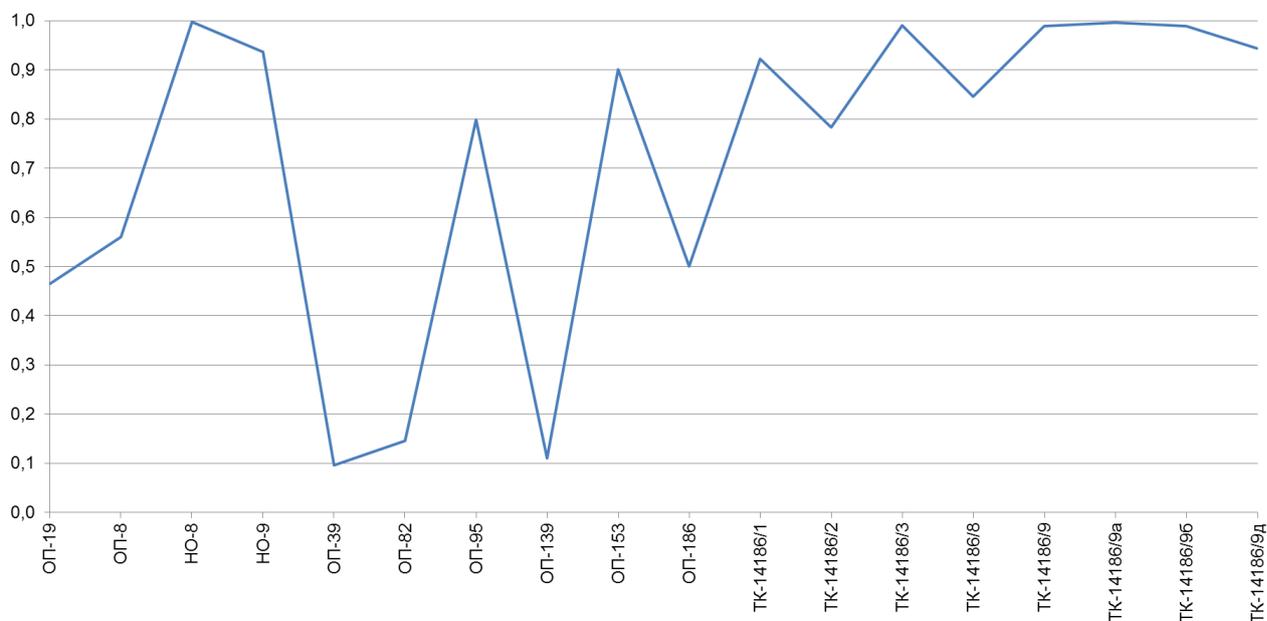


Рис. 2.6. Расчетный участок теплосети от ТЭЦ-1 до проекта ТК-14186/9д

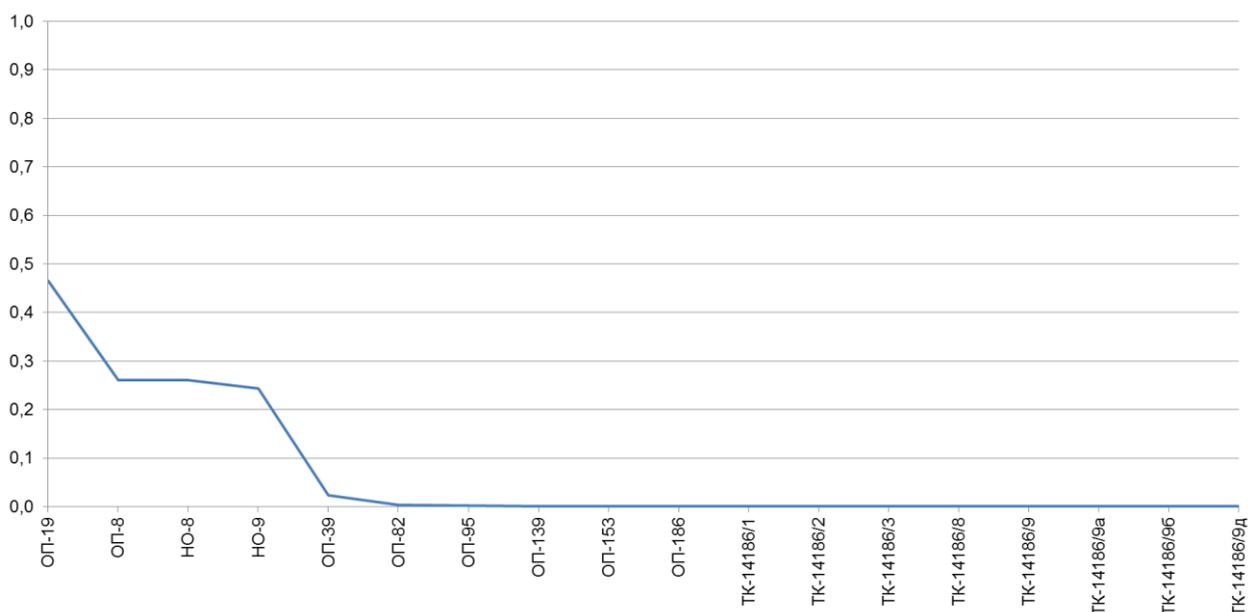
Таблица 2.3

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>у</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>р</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, PR
1	ТЭЦ-1	ОП-19	1964	413,0	500	8,924	101,833	0,7644	0,4656	0,4656
2	ОП-19	ОП-8	1964	352,0	500	8,685	101,833	0,5789	0,5605	0,2610
3	ОП-8	НО-8	1964	5,0	500	7,325	101,833	0,0019	0,9981	0,2605
4	НО-8	НО-9	1964	52,3	700	8,262	101,833	0,0654	0,9367	0,2440
5	НО-9	ОП-39	1964	466,6	700	10,693	101,833	2,3506	0,0953	0,0233
6	ОП-39	ОП-82	1964	593,0	500	9,629	101,833	1,9313	0,1450	0,0034
7	ОП-82	ОП-95	1964	205,0	500	8,109	101,833	0,2250	0,7985	0,0027
8	ОП-95	ОП-139	1964	628,0	500	9,766	101,833	2,2030	0,1105	0,0003
9	ОП-139	ОП-153	1964	195,8	400	7,586	101,833	0,1035	0,9017	0,0003
10	ОП-153	ОП-186	1964	484,2	400	8,450	101,833	0,6926	0,5003	0,0001
11	ОП-186	ТК-14186/1	1964	176,6	400	7,528	101,833	0,0814	0,9218	0,0001
12	ТК-14186/1	ТК-14186/2	1964	214,7	500	8,147	101,833	0,2439	0,7836	0,0001
13	ТК-14186/2	ТК-14186/3	1964	46,0	300	6,805	101,833	0,0087	0,9913	0,0001
14	ТК-14186/3	ТК-14186/8	1964	376,2	300	7,506	101,833	0,1681	0,8453	0,0001
15	ТК-14186/8	ТК-14186/9	1964	57,0	300	6,828	101,833	0,0113	0,9888	0,0001
16	ТК-14186/9	ТК-14186/9а	1964	59,3	200	6,512	101,833	0,0038	0,9962	0,0001
17	ТК-14186/9а	ТК-14186/9б	1964	182,2	150	6,476	101,833	0,0105	0,9896	0,0001
18	ТК-14186/9б	ТК-14186/9д	1964	294,5	200	6,819	101,833	0,0572	0,9444	0,0001



**Рис. 2.7. Вероятности безаварийной работы каждого участка от ТЭС-1 до ТК-14186/9д на 2015 г.**

Из анализа рис. 2.7 следует, что практически все участки тепломагистрالی ТЭС-1 – ТК 14186/9д обладают показателями надёжности ниже допустимых значений. Это вызвано продолжительным сроком службы теплосети - около 50 лет (см. табл. 2.3).



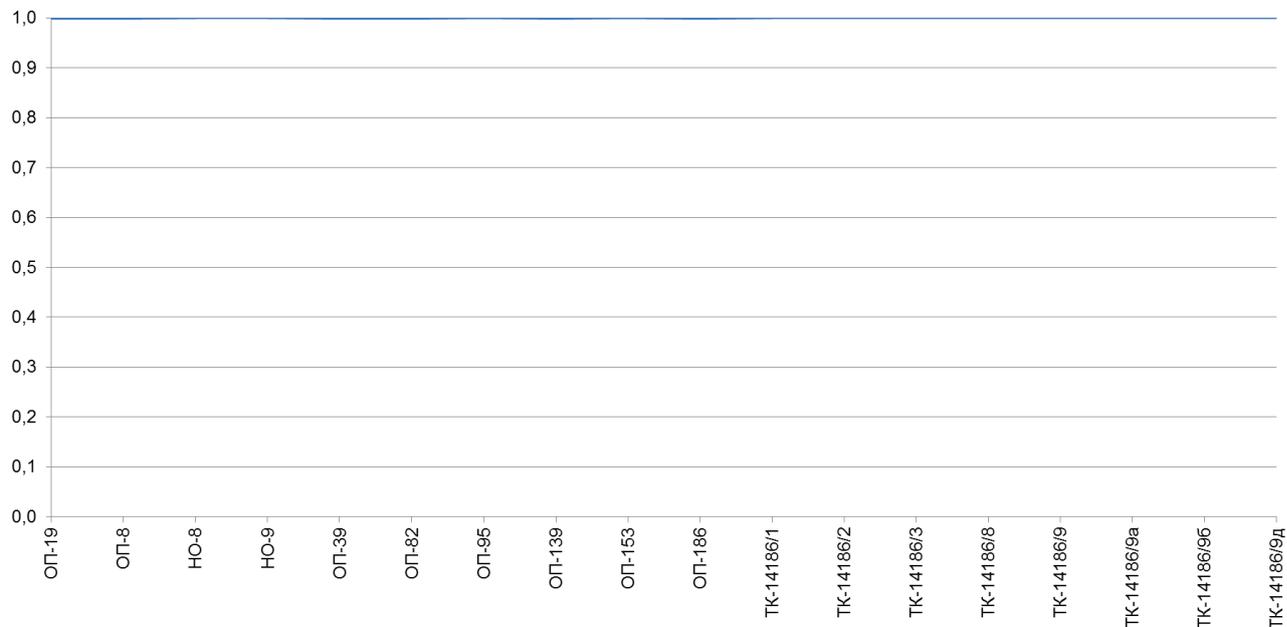
**Рис. 2.8. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭС-1 – ТК-14186/9д на 2015 г.**

Из анализа рис. 2.8 следует, что тепломагистраль обладает крайне низкими показателями безотказности работы ввиду значительного превышения расчётного срока службы тепловых сетей (30 лет). Поэтому, рекомендуется в краткосрочной перспективе реконструкция тепломагистрالی.

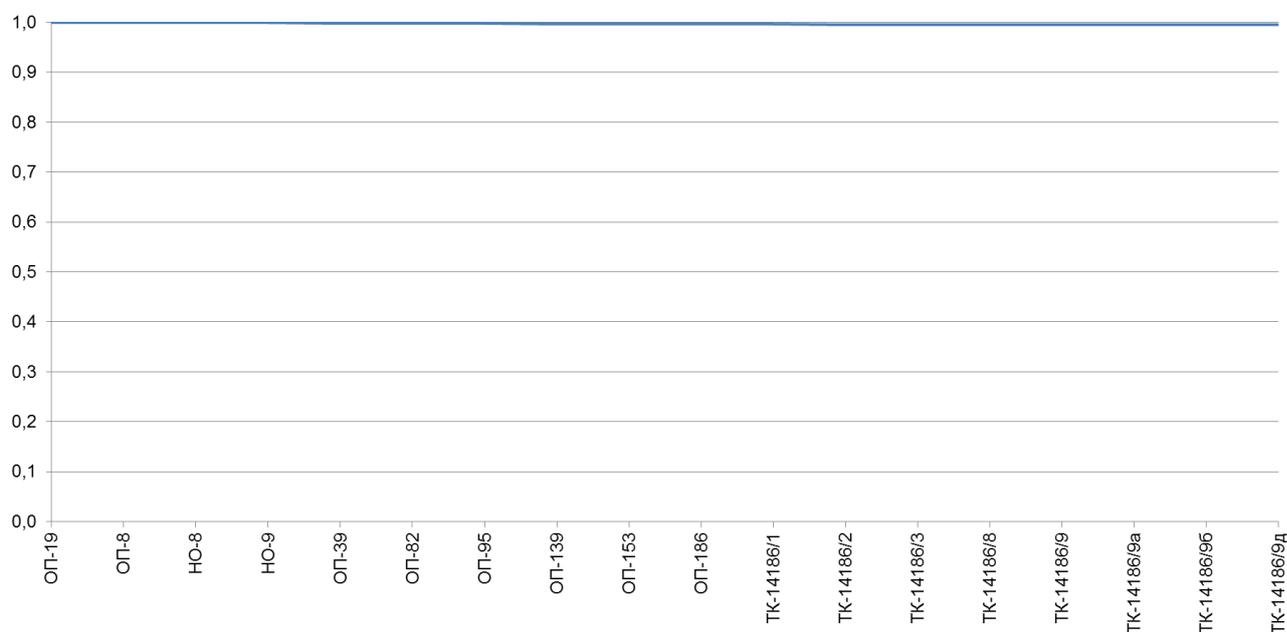
Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрالی в перспективе на 2029 год с учетом рекомендуемых переключений приведены в табл. 2.4. На рис. 2.9 – 2.10 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрالی вдоль рассматриваемого расчетного пути в перспективе на 2029 г.

Таблица 2.4

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>у</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>р</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, PR
1	ТЭЦ-1	ОП-19	2014	413,0	500	8,924	0,05	0,0004	0,9996	0,9996
2	ОП-19	ОП-8	2014	352,0	500	8,685	0,05	0,0003	0,9997	0,9993
3	ОП-8	НО-8	2014	5,0	500	7,325	0,05	0,0000	1,0000	0,9993
4	НО-8	НО-9	2014	52,3	700	8,262	0,05	0,0000	1,0000	0,9993
5	НО-9	ОП-39	2014	466,6	700	10,693	0,05	0,0012	0,9988	0,9981
6	ОП-39	ОП-82	2014	593,0	500	9,629	0,05	0,0009	0,9991	0,9972
7	ОП-82	ОП-95	2014	205,0	500	8,109	0,05	0,0001	0,9999	0,9971
8	ОП-95	ОП-139	2014	628,0	500	9,766	0,05	0,0011	0,9989	0,9960
9	ОП-139	ОП-153	2014	195,8	400	7,586	0,05	0,0001	0,9999	0,9959
10	ОП-153	ОП-186	2014	484,2	400	8,450	0,05	0,0003	0,9997	0,9956
11	ОП-186	ТК-14186/1	2014	176,6	400	7,528	0,05	0,0000	1,0000	0,9956
12	ТК-14186/1	ТК-14186/2	2014	214,7	500	8,147	0,05	0,0001	0,9999	0,9955
13	ТК-14186/2	ТК-14186/3	2014	46,0	300	6,805	0,05	0,0000	1,0000	0,9955
14	ТК-14186/3	ТК-14186/8	2014	376,2	300	7,506	0,05	0,0001	0,9999	0,9954
15	ТК-14186/8	ТК-14186/9	2014	57,0	300	6,828	0,05	0,0000	1,0000	0,9954
16	ТК-14186/9	ТК-14186/9а	2014	59,3	200	6,512	0,05	0,0000	1,0000	0,9954
17	ТК-14186/9а	ТК-14186/9б	2014	182,2	150	6,476	0,05	0,0000	1,0000	0,9954
18	ТК-14186/9б	ТК-14186/9д	2014	294,5	200	6,819	0,05	0,0000	1,0000	0,9954



**Рис. 2.9. Вероятности безаварийной работы каждого участка от ТЭС-1 до ТК-1728 на 2029 г.**



**Рис. 2.10. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭС-1 – ТК-1728 на 2029 г.**

Из анализа рис. 2.9 и 2.10 следует, что реконструкция тепломагистрали от ТЭС-1 до ТК-14186/9д в 2014 г. позволит обеспечить высокие показатели надежности вплоть до 2029 г.

### **2.1.3. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от ТЭЦ-1 до ТК-3617**

Расчетный участок от ТЭЦ-1 до ТК-3617 тепловой сети г. Пенза представлен на рис. 2.11. Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2015 год приведены в табл. 2.5.

На рис. 2.12 – 2.13 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути.

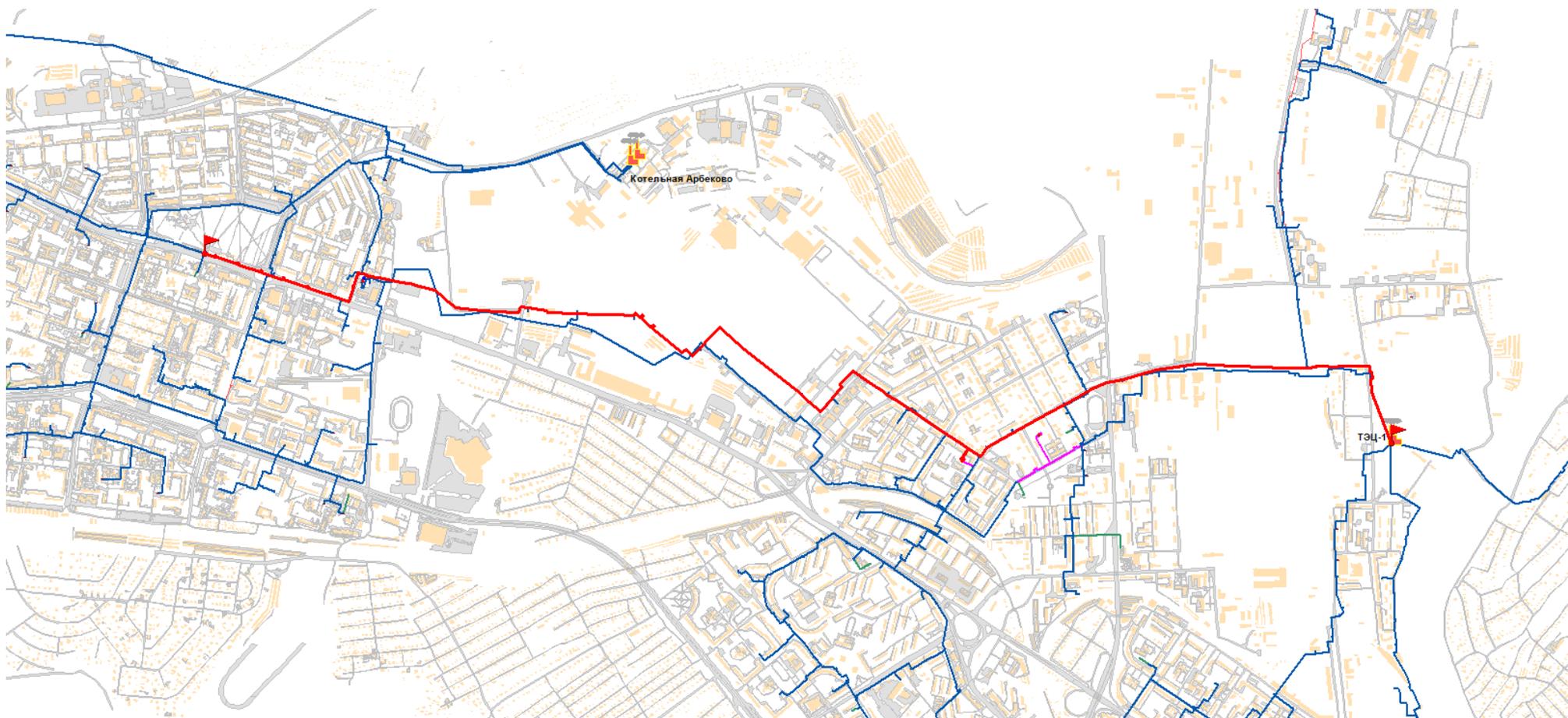


Рис. 2.11. Расчетный участок теплосети от ТЭЦ-1 до ТК-3617

Таблица 2.5

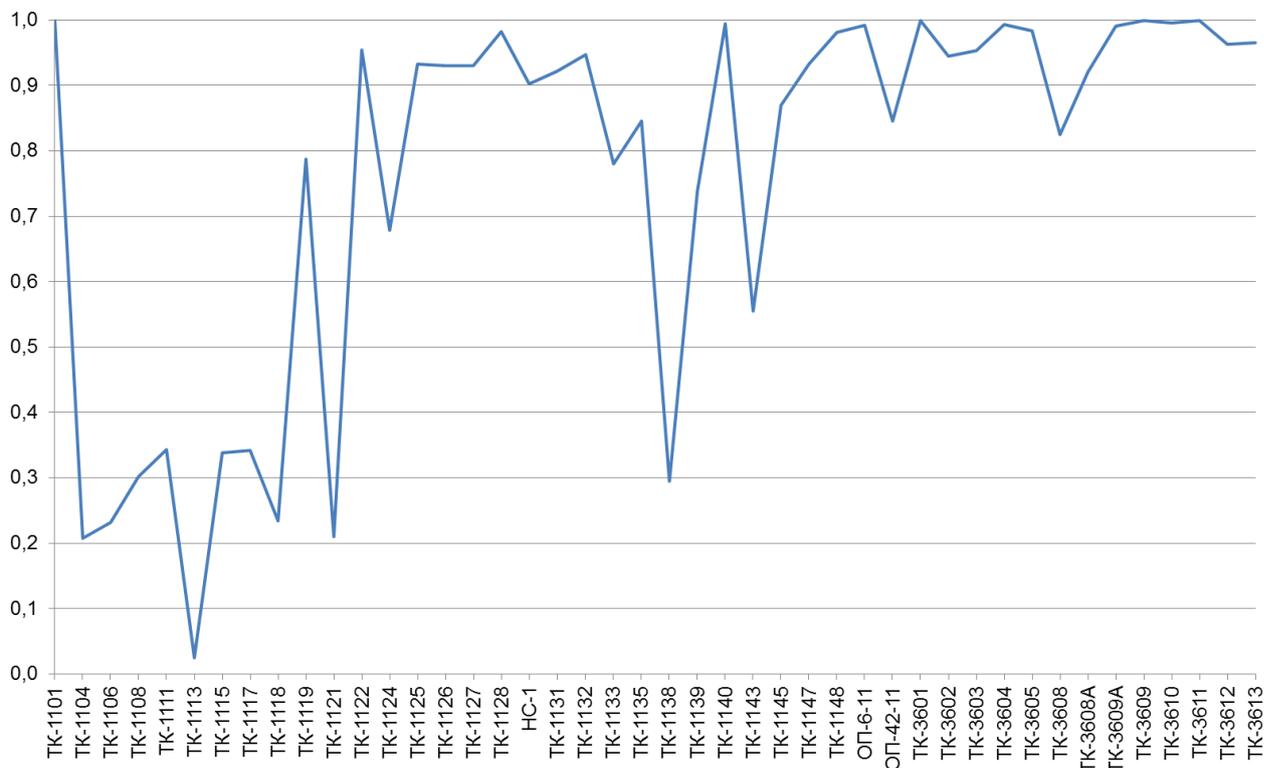
№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1	ТЭЦ-1	ТК-1101	1998	372,5	900	11,598	0,05	0,0013	0,9987	0,9987
2.1	Основная магистраль									
2.1.1	ТК-1101	ТК-1104	1961	144,3	700	8,802	635,342	1,5728	0,2075	0,2075
2.1.2	ТК-1104	ТК-1106	1961	137,2	700	8,760	635,342	1,4643	0,2312	0,0480
2.1.3	ТК-1106	ТК-1108	1961	118,7	700	8,652	635,342	1,1962	0,3023	0,0145
2.1.4	ТК-1108	ТК-1111	1961	109,6	700	8,598	635,342	1,0713	0,3426	0,0050
2.1.5	ТК-1111	ТК-1113	1961	228,5	700	9,296	635,342	3,7291	0,0240	0,0001
2.1.6	ТК-1113	ТК-1115	1961	110,5	700	8,604	635,342	1,0838	0,3383	0,0000
2.1.7	ТК-1115	ТК-1117	1961	135,2	600	8,284	635,342	1,0728	0,3420	0,0000
2.1.8	ТК-1117	ТК-1118	1961	165,0	600	8,430	635,342	1,4532	0,2338	0,0000
2.1.9	ТК-1118	ТК-1119	1961	33,5	700	8,152	635,342	0,2385	0,7878	0,0000
2.2	Резервная магистраль									
2.2.1	ТК-1101	ТК-1202	1986	138,3	900	9,741	0,126	0,0006	0,9994	0,9994
2.2.2	ТК-1202	ТК-1205	1986	331,5	800	10,578	0,126	0,0020	0,9980	0,9974
2.2.3	ТК-1205	ТК-1206	1986	10,0	800	8,364	0,126	0,0000	1,0000	0,9974
2.2.4	ТК-1206	ОП-11-12	1986	285,0	800	10,258	0,126	0,0015	0,9985	0,9959
2.2.5	ОП-11-12	ОП-32-12	1986	232,8	800	9,898	0,126	0,0011	0,9989	0,9948
2.2.6	ОП-32-12	ОП-38-12	1986	59,5	800	8,705	0,126	0,0001	0,9999	0,9947
2.2.7	ОП-38-12	ТК-1209	1986	140,0	800	9,259	0,126	0,0004	0,9996	0,9943
2.2.8	ТК-1209	ОН-60-12	1986	67,4	800	8,759	0,126	0,0001	0,9999	0,9942
Итого по участку 2										0,9942

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
3.1	Основная магистраль									
3.1.1.	ТК-1119	ТК-1121	1961	143,6	700	8,798	635,342	1,5621	0,2097	0,2097
3.1.2	ТК-1121	ТК-1122	1965	80,7	600	8,019	59,217	0,0472	0,9539	0,2000
3.1.3	ТК-1122	ТК-1124	1965	241,4	700	9,372	59,217	0,3883	0,6782	0,1357
3.2	Резервная магистраль									
3.2.1	ОН-60-12	ОП-80-12	1986	115,4	800	9,090	0,126	0,0003	0,9997	0,9997
3.2.2	ОП-80-12	ОП-83-12	1986	27,6	800	8,485	0,126	0,0000	1,0000	0,9997
3.2.3	ОП-83-12	ТК-1210	1986	68,5	800	8,767	0,126	0,0001	0,9999	0,9996
3.2.4	ТК-1210	ТК-1214	1986	403,7	800	11,075	0,126	0,0029	0,9971	0,9967
Итого по участку 3										1,0000
4.1	Основная магистраль									
4.1.1	ТК-1124	ТК-1125	1965	142,0	500	7,862	59,217	0,0692	0,9331	0,9331
4.1.2	ТК-1125	ТК-1126	1965	145,0	500	7,874	59,217	0,0718	0,9307	0,8684
4.1.3	ТК-1126	ТК-1127	1965	146,0	500	7,878	59,217	0,0726	0,9300	0,8076
4.1.4	ТК-1127	ТК-1128	1965	62,0	500	7,549	59,217	0,0175	0,9827	0,7937
4.2	Резервная магистраль									
4.2.1	ТК-1214	НС-6	1986	360,0	800	10,774	0,126	0,0023	0,9977	0,9977
4.2.2	НС-6	ТК-1219	1986	405,4	800	11,087	0,126	0,0029	0,9971	0,9948
4.2.3	ТК-1219	РПС-1221	1986	169,1	800	9,460	0,126	0,0006	0,9994	0,9942
4.2.4	РПС-1221	ТК-1224	1986	395,6	800	11,019	0,126	0,0027	0,9973	0,9915
Итого по участку 4										1,0000

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
5.1	Основная магистраль									
5.1.1	TK-1128	НС-1	1965	138,0	600	8,298	59,217	0,1032	0,9019	0,9019
5.1.2	НС-1	TK-1131	1965	118,0	600	8,201	59,217	0,0817	0,9215	0,8311
5.1.3	TK-1131	TK-1132	1964	88,7	500	7,653	101,833	0,0538	0,9476	0,7876
5.2	Резервная магистраль									
5.2.1	TK-1224	TK-1228	1986	269,7	800	10,152	0,126	0,0014	0,9986	0,9986
Итого по участку 5										1,0000
6.1	Основная магистраль									
6.1.1	TK-1132	TK-1133	1964	217,1	500	8,156	101,833	0,2486	0,7799	0,7799
6.1.2	TK-1133	TK-1135	1964	132,7	600	8,272	101,833	0,1672	0,8460	0,6598
6.1.3	TK-1135	TK-1138	1964	394,3	600	9,548	101,833	1,2243	0,2940	0,1940
6.1.4	TK-1138	TK-1139	1964	196,0	600	8,581	101,833	0,3041	0,7378	0,1431
6.1.5	TK-1139	TK-1140	1965	15,5	600	7,701	59,217	0,0060	0,9940	0,1423
6.1.6	TK-1140	TK-1143	1965	361,6	600	9,388	59,217	0,5882	0,5553	0,0790
6.1.7	TK-1143	TK-1145	1965	168,0	600	8,444	59,217	0,1392	0,8701	0,0687
6.1.8	TK-1145	TK-1147	1965	106,1	600	8,142	59,217	0,0698	0,9326	0,0641
6.2	Резервная магистраль									
6.2.1	TK-1224	TK-1228	1986	269,7	800	10,152	0,126	0,0014	0,9986	0,9986
6.2.2	TK-1228	TK-1234	1986	515,2	800	11,843	0,126	0,0049	0,9951	0,9951
6.2.3	TK-1234	TK-1236	1986	273,5	800	10,178	0,126	0,0014	0,9986	0,9986
6.2.4	TK-1236	TK-1238	1986	721,9	700	12,190	0,126	0,0076	0,9924	0,9924
Итого по участку 6										1,0000

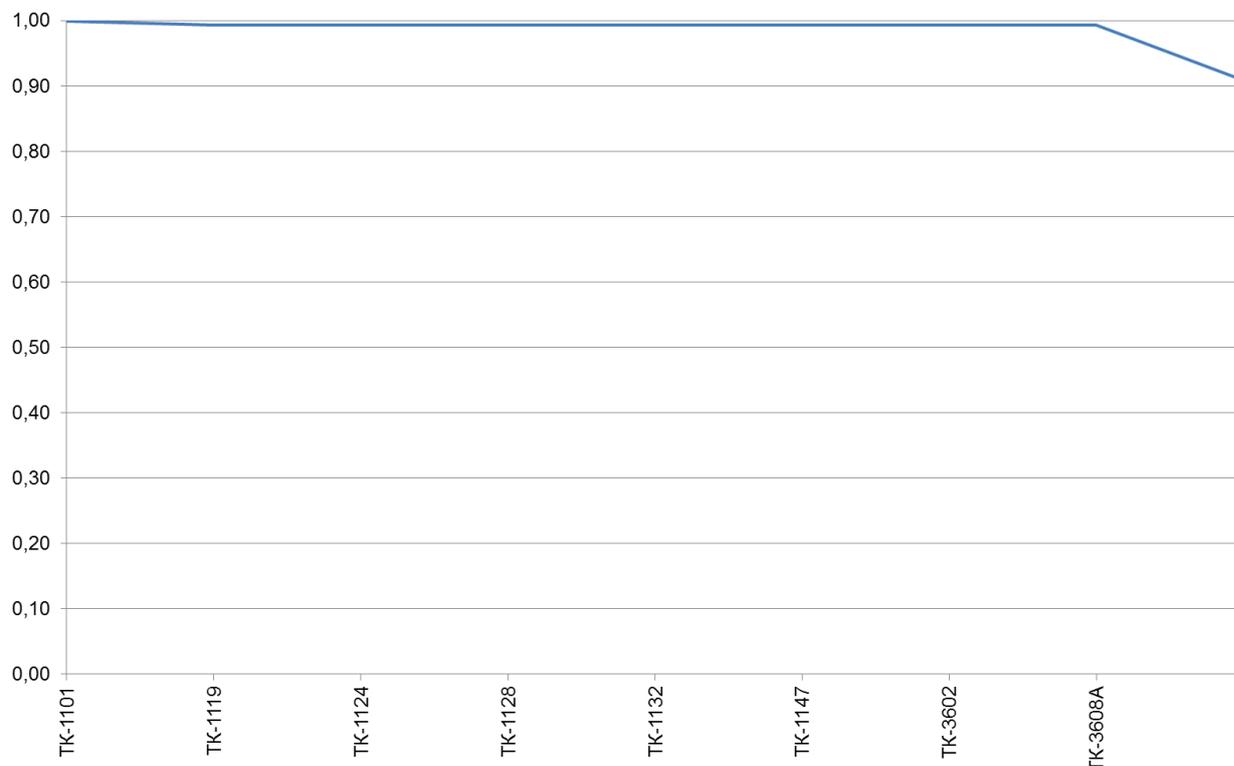
№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
7.1	Основная магистраль									
7.1.1	ТК-1147	ТК-1148	1965	41,9	600	7,829	59,217	0,0196	0,9806	0,9806
7.1.2	ТК-1148	ОП-6-11	1967	68,6	500	7,575	21,951	0,0076	0,9924	0,9731
7.1.3	ОП-6-11	ОП-42-11	1967	416,3	500	8,937	21,951	0,1679	0,8454	0,8227
7.1.4	ОП-42-11	ТК-3601	1968	16,0	500	7,369	13,948	0,0009	0,9991	0,8220
7.1.5	ТК-3601	ТК-3602	1968	290,0	500	8,442	13,948	0,0565	0,9451	0,7768
7.2	Резервная магистраль									
7.2.1	ТК-1238	ОП-11005	1986	674,0	700	11,909	0,126	0,0066	0,9934	0,9934
7.2.2	ОП-11005	ТК-1131	1986	117,0	700	8,642	0,126	0,0002	0,9998	0,9932
Итого по участку 7										1,0000
8.1	Основная магистраль									
8.1.1	ТК-3602	ТК-3603	1968	264,0	500	8,340	13,948	0,0479	0,9532	0,9532
8.1.2	ТК-3603	ТК-3604	1968	84,0	500	7,635	13,948	0,0067	0,9933	0,9468
8.1.3	ТК-3604	ТК-3605	1968	170,0	450	7,738	13,948	0,0163	0,9838	0,9315
8.1.4	ТК-3605	ТК-3608	1968	589,0	450	9,184	13,948	0,1928	0,8246	0,7681
8.1.5	ТК-3608	ТК-3608А	1968	400,0	450	8,532	13,948	0,0825	0,9208	0,7073
8.2	Резервная магистраль									
8.2.1	ТК-1131	ОП-11034	1986	287,0	700	9,639	0,126	0,0012	0,9988	0,9988
8.2.2	ОП-11034	ОП-289-12	1986	260,0	700	9,481	0,126	0,0010	0,9990	0,9978
8.2.3	ОП-289-12	ТК-1244	1986	437,8	700	10,524	0,126	0,0026	0,9974	0,9952
8.2.4	ТК-1244	ТК-3608А	1986	268,0	700	9,528	0,126	0,0010	0,9990	0,9942
Итого по участку 8										1,0000

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
9.1	Основная магистраль									
9.1.1	ТК-3608А	ТК-3609А	1968	55,0	700	8,278	13,948	0,0095	0,9905	0,9905
9.1.2	ТК-3609А	ТК-3609	1968	22,0	500	7,392	13,948	0,0012	0,9988	0,9893
9.1.3	ТК-3609	ТК-3610	1970	108,0	500	7,729	6,09	0,0045	0,9955	0,9849
9.1.4	ТК-3610	ТК-3611	1970	38,0	500	7,455	6,09	0,0010	0,9990	0,9839
9.1.5	ТК-3611	ТК-3612	1970	370,0	500	8,755	6,09	0,0378	0,9629	0,9474
9.1.6	ТК-3612	ТК-3613	1970	354,0	500	8,693	6,09	0,0350	0,9656	0,9148
Итого по участку 9										0,9148
<b>Итого по магистрали</b>										<b>0,9083</b>



**Рис. 2.12. Вероятности безаварийной работы каждого участка основной магистрали от ТЭЦ-1 до ТК-3613 на 2015 г.**

Из анализа рис. 2.12 следует, что практически все участки тепломагистрали ТЭЦ-1 – ТК-3617 обладают показателями надёжности ниже допустимых значений. Это вызвано продолжительным сроком службы большинства отрезков теплосети - около 50 лет (табл. 2.5). Поэтому, рекомендуется в краткосрочной перспективе реконструкция данных участков.



**Рис. 2.13. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-1 – ТК-3613 на 2015 г.**

Из анализа рис. 2.13 следует, что тепломагистраль обладает допустимыми показателями безотказности работы ввиду наличия резервных трубопроводов.

Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали в перспективе на 2029 год с учетом рекомендуемых переключений приведены в табл. 2.6. На рис. 2.14 – 2.15 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути в перспективе на 2029 г.

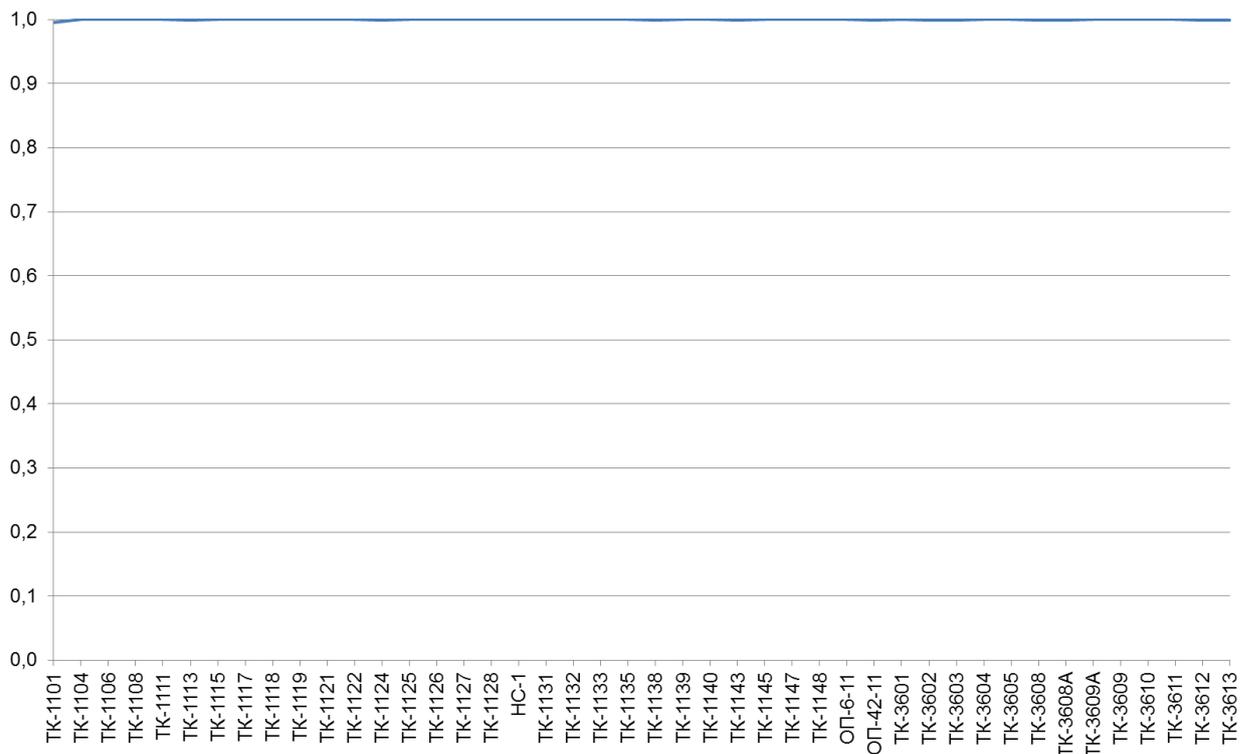
Таблица 2.6

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1	ТЭЦ-1	ТК-1101	1998	372,5	900	11,598	0,05	0,0013	0,9987	0,9987
2.1	Основная магистраль									
2.1.1	ТК-1101	ТК-1104	2014	144,3	700	8,802	0,05	0,0001	0,9999	0,9999
2.1.2	ТК-1104	ТК-1106	2014	137,2	700	8,760	0,05	0,0001	0,9999	0,9998
2.1.3	ТК-1106	ТК-1108	2014	118,7	700	8,652	0,05	0,0001	0,9999	0,9997
2.1.4	ТК-1108	ТК-1111	2014	109,6	700	8,598	0,05	0,0001	0,9999	0,9996
2.1.5	ТК-1111	ТК-1113	2014	228,5	700	9,296	0,05	0,0003	0,9997	0,9993
2.1.6	ТК-1113	ТК-1115	2014	110,5	700	8,604	0,05	0,0001	0,9999	0,9992
2.1.7	ТК-1115	ТК-1117	2014	135,2	600	8,284	0,05	0,0001	0,9999	0,9991
2.1.8	ТК-1117	ТК-1118	2014	165,0	600	8,430	0,05	0,0001	0,9999	0,9990
2.1.9	ТК-1118	ТК-1119	2014	33,5	700	8,152	0,05	0,0000	1,0000	0,9990
2.2	Резервная магистраль									
2.2.1	ТК-1101	ТК-1202	1986	138,3	900	9,741	0,126	0,0006	0,9994	0,9994
2.2.2	ТК-1202	ТК-1205	1986	331,5	800	10,578	0,126	0,0020	0,9980	0,9974
2.2.3	ТК-1205	ТК-1206	1986	10,0	800	8,364	0,126	0,0000	1,0000	0,9974
2.2.4	ТК-1206	ОП-11-12	1986	285,0	800	10,258	0,126	0,0015	0,9985	0,9959
2.2.5	ОП-11-12	ОП-32-12	1986	232,8	800	9,898	0,126	0,0011	0,9989	0,9948
2.2.6	ОП-32-12	ОП-38-12	1986	59,5	800	8,705	0,126	0,0001	0,9999	0,9947
2.2.7	ОП-38-12	ТК-1209	1986	140,0	800	9,259	0,126	0,0004	0,9996	0,9943
2.2.8	ТК-1209	ОН-60-12	1986	67,4	800	8,759	0,126	0,0001	0,9999	0,9942
Итого по участку 2										0,9942
3.1	Основная магистраль									

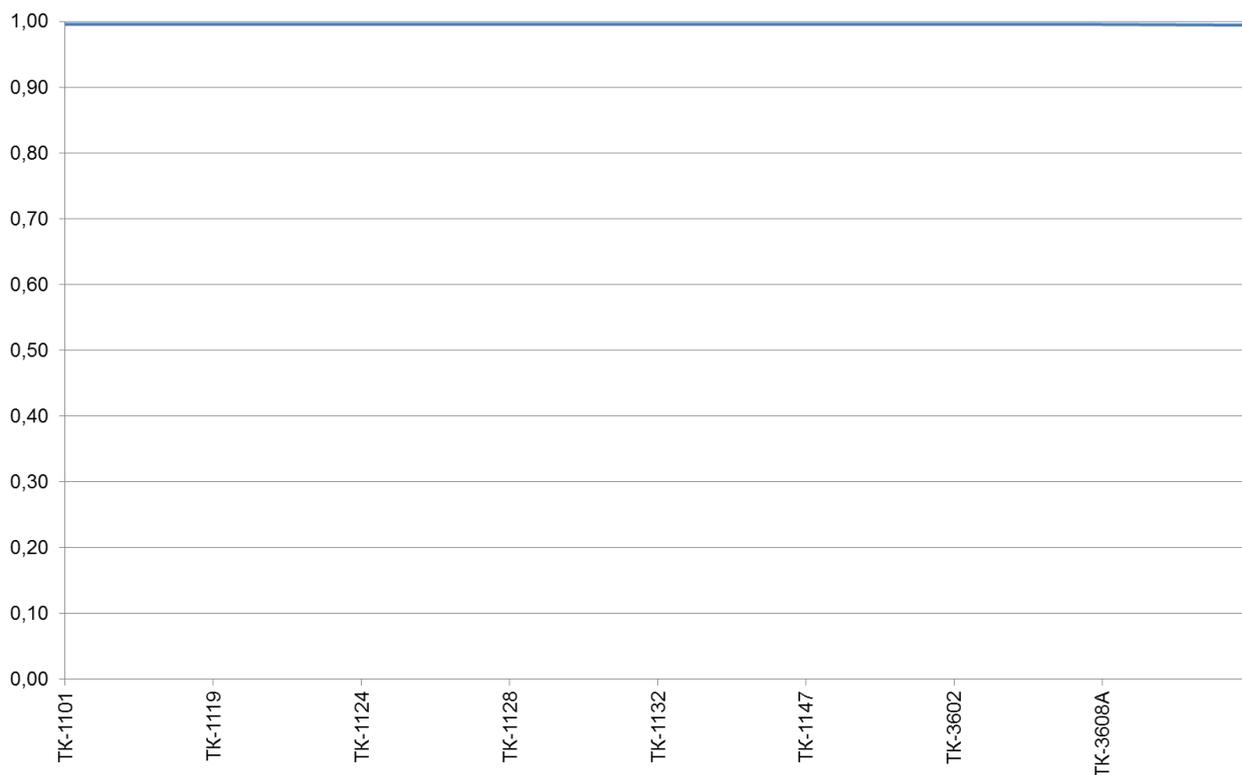
№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
3.1.1.	TK-1119	TK-1121	2014	143,6	700	8,798	0,05	0,0001	0,9999	0,9999
3.1.2	TK-1121	TK-1122	2014	80,7	600	8,019	0,05	0,0000	1,0000	0,9999
3.1.3	TK-1122	TK-1124	2014	241,4	700	9,372	0,05	0,0003	0,9997	0,9996
3.2	Резервная магистраль									
3.2.1	ОН-60-12	ОП-80-12	1986	115,4	800	9,090	0,126	0,0003	0,9997	0,9997
3.2.2	ОП-80-12	ОП-83-12	1986	27,6	800	8,485	0,126	0,0000	1,0000	0,9997
3.2.3	ОП-83-12	TK-1210	1986	68,5	800	8,767	0,126	0,0001	0,9999	0,9996
3.2.4	TK-1210	TK-1214	1986	403,7	800	11,075	0,126	0,0029	0,9971	0,9967
Итого по участку 3										1,0000
4.1	Основная магистраль									
4.1.1	TK-1124	TK-1125	2014	142,0	500	7,862	0,05	0,0001	0,9999	0,9999
4.1.2	TK-1125	TK-1126	2014	145,0	500	7,874	0,05	0,0001	0,9999	0,9998
4.1.3	TK-1126	TK-1127	2014	146,0	500	7,878	0,05	0,0001	0,9999	0,9997
4.1.4	TK-1127	TK-1128	2014	62,0	500	7,549	0,05	0,0000	1,0000	0,9997
4.2	Резервная магистраль									
4.2.1	TK-1214	НС-6	1986	360,0	800	10,774	0,126	0,0023	0,9977	0,9977
4.2.2	НС-6	TK-1219	1986	405,4	800	11,087	0,126	0,0029	0,9971	0,9948
4.2.3	TK-1219	РПС-1221	1986	169,1	800	9,460	0,126	0,0006	0,9994	0,9942
4.2.4	РПС-1221	TK-1224	1986	395,6	800	11,019	0,126	0,0027	0,9973	0,9915
Итого по участку 4										1,0000
5.1	Основная магистраль									
5.1.1	TK-1128	НС-1	2014	138,0	600	8,298	0,05	0,0001	0,9999	0,9999
5.1.2	НС-1	TK-1131	2014	118,0	600	8,201	0,05	0,0001	0,9999	0,9998
5.1.3	TK-1131	TK-1132	2014	88,7	500	7,653	0,05	0,0000	1,0000	0,9998

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
5.2	Резервная магистраль									
5.2.1	TK-1224	TK-1228	1986	269,7	800	10,152	0,126	0,0014	0,9986	0,9986
Итого по участку 5										1,0000
6.1	Основная магистраль									
6.1.1	TK-1132	TK-1133	2014	217,1	500	8,156	0,05	0,0001	0,9999	0,9999
6.1.2	TK-1133	TK-1135	2014	132,7	600	8,272	0,05	0,0001	0,9999	0,9998
6.1.3	TK-1135	TK-1138	2014	394,3	600	9,548	0,05	0,0006	0,9994	0,9992
6.1.4	TK-1138	TK-1139	2014	196,0	600	8,581	0,05	0,0001	0,9999	0,9991
6.1.5	TK-1139	TK-1140	2014	15,5	600	7,701	0,05	0,0000	1,0000	0,9991
6.1.6	TK-1140	TK-1143	2014	361,6	600	9,388	0,05	0,0005	0,9995	0,9986
6.1.7	TK-1143	TK-1145	2014	168,0	600	8,444	0,05	0,0001	0,9999	0,9985
6.1.8	TK-1145	TK-1147	2014	106,1	600	8,142	0,05	0,0001	0,9999	0,9984
6.2	Резервная магистраль									
6.2.1	TK-1224	TK-1228	1986	269,7	800	10,152	0,126	0,0014	0,9986	0,9986
6.2.2	TK-1228	TK-1234	1986	515,2	800	11,843	0,126	0,0049	0,9951	0,9951
6.2.3	TK-1234	TK-1236	1986	273,5	800	10,178	0,126	0,0014	0,9986	0,9986
6.2.4	TK-1236	TK-1238	1986	721,9	700	12,190	0,126	0,0076	0,9924	0,9924
Итого по участку 6										1,0000
7.1	Основная магистраль									
7.1.1	TK-1147	TK-1148	2014	41,9	600	7,829	0,05	0,0000	1,0000	1,0000
7.1.2	TK-1148	ОП-6-11	2014	68,6	500	7,575	0,05	0,0000	1,0000	1,0000
7.1.3	ОП-6-11	ОП-42-11	2014	416,3	500	8,937	0,05	0,0004	0,9996	0,9996
7.1.4	ОП-42-11	TK-3601	2014	16,0	500	7,369	0,05	0,0000	1,0000	0,9996
7.1.5	TK-3601	TK-3602	2014	290,0	500	8,442	0,05	0,0002	0,9998	0,9994

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
7.2	Резервная магистраль									
7.2.1	TK-1238	ОП-11005	1986	674,0	700	11,909	0,126	0,0066	0,9934	0,9934
7.2.2	ОП-11005	TK-1131	1986	117,0	700	8,642	0,126	0,0002	0,9998	0,9932
Итого по участку 7										1,0000
8.1	Основная магистраль									
8.1.1	TK-3602	TK-3603	2014	264,0	500	8,340	0,05	0,0002	0,9998	0,9998
8.1.2	TK-3603	TK-3604	2014	84,0	500	7,635	0,05	0,0000	1,0000	0,9998
8.1.3	TK-3604	TK-3605	2014	170,0	450	7,738	0,05	0,0001	0,9999	0,9997
8.1.4	TK-3605	TK-3608	2014	589,0	450	9,184	0,05	0,0007	0,9993	0,9990
8.1.5	TK-3608	TK-3608A	2014	400,0	450	8,532	0,05	0,0003	0,9997	0,9987
8.2	Резервная магистраль									
8.2.1	TK-1131	ОП-11034	1986	287,0	700	9,639	0,126	0,0012	0,9988	0,9988
8.2.2	ОП-11034	ОП-289-12	1986	260,0	700	9,481	0,126	0,0010	0,9990	0,9978
8.2.3	ОП-289-12	TK-1244	1986	437,8	700	10,524	0,126	0,0026	0,9974	0,9952
8.2.4	TK-1244	TK-3608A	1986	268,0	700	9,528	0,126	0,0010	0,9990	0,9942
Итого по участку 8										1,0000
9.1	Основная магистраль									
9.1.1	TK-3608A	TK-3609A	2014	55,0	700	8,278	0,05	0,0000	1,0000	1,0000
9.1.2	TK-3609A	TK-3609	2014	22,0	500	7,392	0,05	0,0000	1,0000	1,0000
9.1.3	TK-3609	TK-3610	2014	108,0	500	7,729	0,05	0,0000	1,0000	1,0000
9.1.4	TK-3610	TK-3611	2014	38,0	500	7,455	0,05	0,0000	1,0000	1,0000
9.1.5	TK-3611	TK-3612	2014	370,0	500	8,755	0,05	0,0003	0,9997	0,9997
9.1.6	TK-3612	TK-3613	2014	354,0	500	8,693	0,05	0,0003	0,9997	0,9994
Итого по участку 9										0,9994
<b>Итого по магистрали</b>										<b>0,9951</b>



**Рис. 2.14. Вероятности безаварийной работы каждого участка основной магистрали от ТЭЦ-1 до ТК-3617 на 2029 г.**



**Рис. 2.15. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-1 – ТК-3617 на 2029 г.**

Из анализа рис. 2.14 и 2.15 следует, что реконструкция тепломагистрали от ТЭЦ-1 до ТК-3617 в 2015 г. позволит обеспечить высокие показатели надежности вплоть до 2029 г.

#### 2.1.4. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от ТЭЦ-1 до ТК-1837

Расчетный участок от ТЭЦ-1 до ТК-1837 тепловой сети г. Пенза представлен на рис. 2.16. Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2015 год приведены в табл. 2.7. На рис. 2.17 – 2.18 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути.

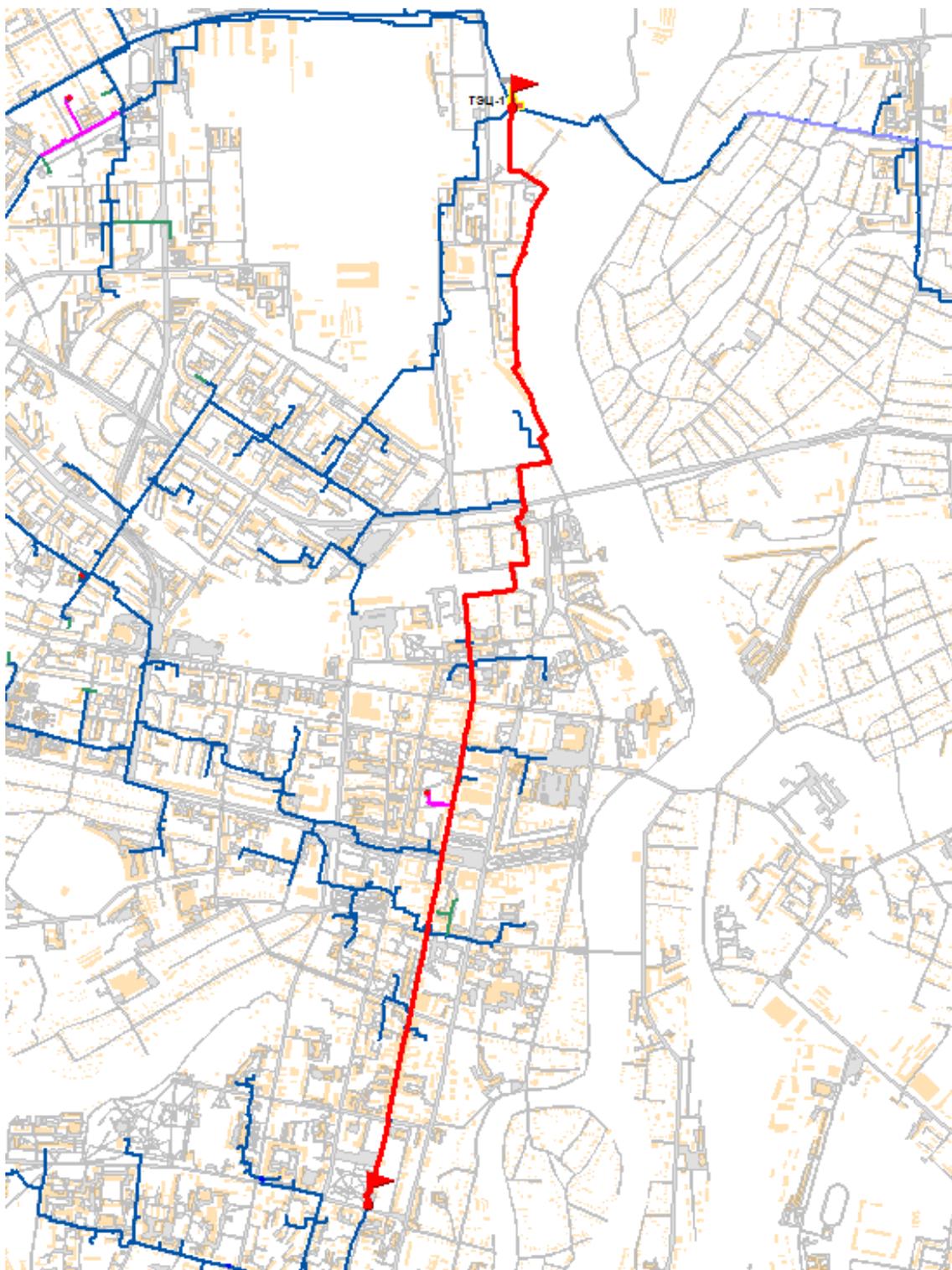
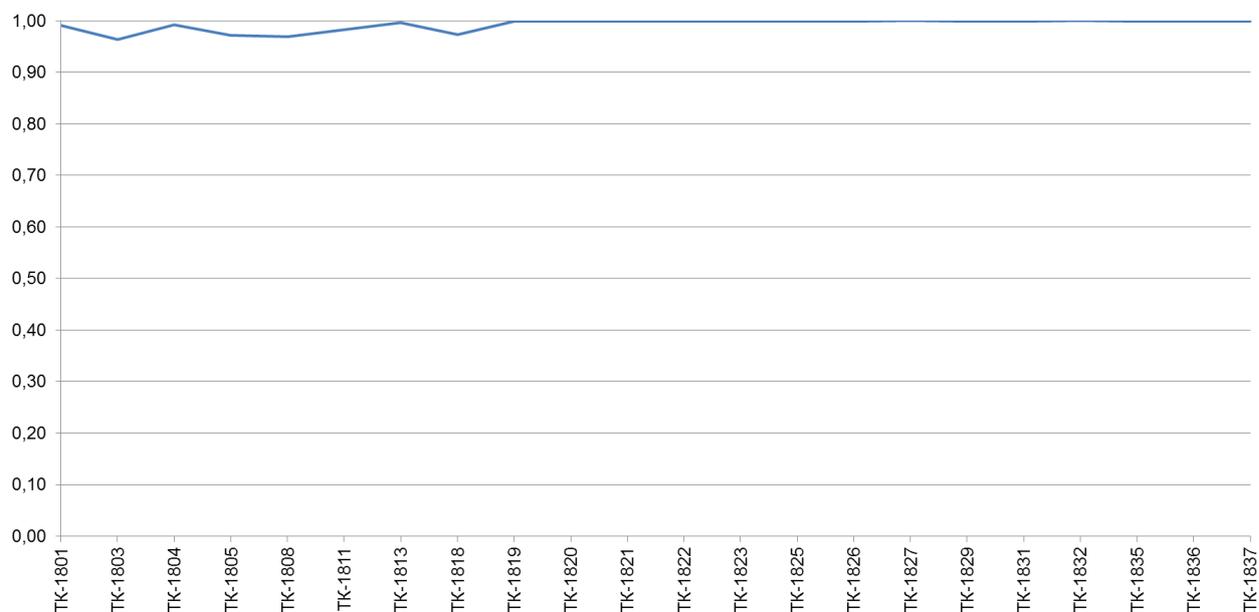


Рис. 2.16. Расчетный участок теплосети от ТЭЦ-1 до ТК-1837

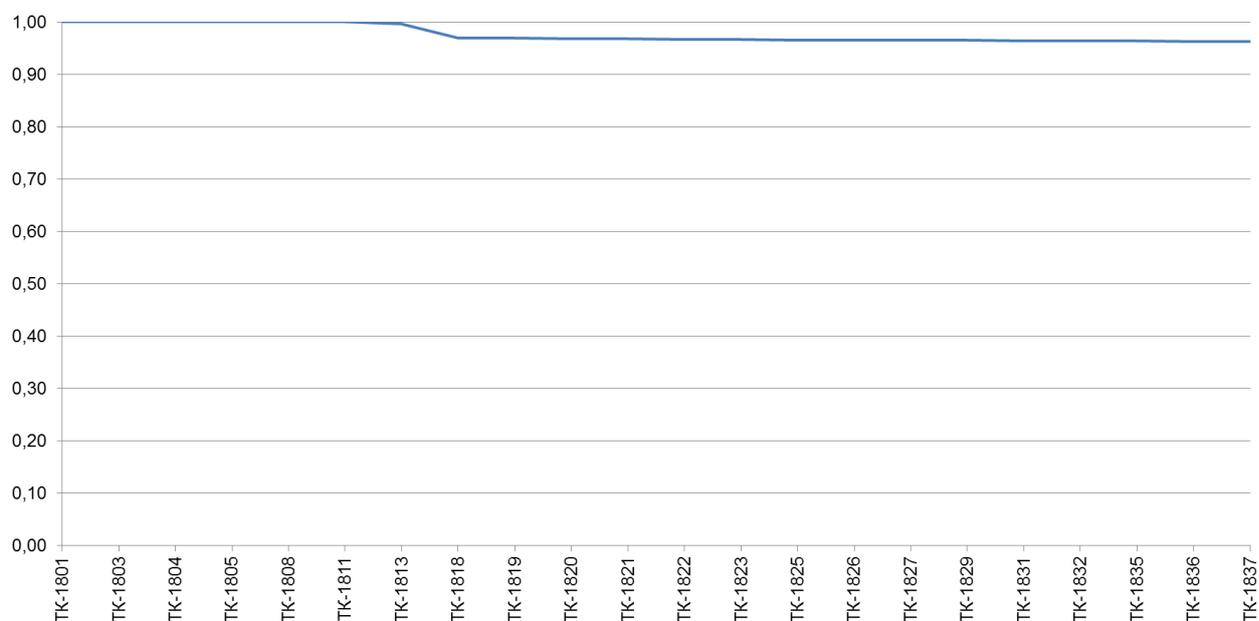
Таблица 2.7

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1	Основная магистраль									
1.1.1	ТЭЦ-1	TK-1801	1973	200,0	700	9,129	2,095	0,0094	0,9906	0,9906
1.1.2	TK-1801	TK-1803	1973	402,5	700	10,317	2,095	0,0369	0,9638	0,9547
1.1.3	TK-1803	TK-1804	1973	174,4	700	8,978	2,095	0,0070	0,9930	0,9481
1.1.4	TK-1804	TK-1805	1973	346,7	700	9,989	2,095	0,0278	0,9726	0,9221
1.1.5	TK-1805	TK-1808	1974	441,0	700	10,542	1,531	0,0319	0,9686	0,8931
1.1.6	TK-1808	TK-1811	1974	321,4	700	9,841	1,531	0,0176	0,9826	0,8776
1.2	Резервная магистраль									
1.2.1	ТЭЦ-1	TK-1301	1974	242,0	800	9,962	1,531	0,0140	0,9861	0,9861
1.2.2	TK-1301	TK-1303	1974	113,2	800	9,075	1,531	0,0037	0,9963	0,9825
1.2.3	TK-1303	TK-1304	1974	95,0	800	8,949	1,531	0,0027	0,9973	0,9798
1.2.4	TK-1304	TK-1305	1974	233,3	800	9,902	1,531	0,0132	0,9869	0,9670
1.2.5	TK-1305	TK-1306	1974	156,5	800	9,373	1,531	0,0065	0,9935	0,9607
1.2.6	TK-1306	TK-1308	1974	80,0	800	8,846	1,531	0,0021	0,9979	0,9587
1.2.7	TK-1308	TK-1309	1974	160,0	800	9,397	1,531	0,0068	0,9932	0,9521
1.2.8	TK-1309	TK-1310	1974	23,5	800	8,457	1,531	0,0005	0,9995	0,9517
1.2.9	TK-1310	TK-1311	1974	28,5	800	8,491	1,531	0,0006	0,9994	0,9511
1.2.10	TK-1311	TK-1312	1974	137,0	800	9,239	1,531	0,0052	0,9948	0,9461
1.2.11	TK-1312	TK-1313	1974	171,0	800	9,473	1,531	0,0076	0,9924	0,9390
1.2.12	TK-1313	TK-1314	1974	300,0	800	10,361	1,531	0,0204	0,9798	0,9200
1.2.13	TK-1314	TK-1315	1974	122,8	800	9,141	1,531	0,0042	0,9958	0,9161
1.2.14	TK-1315	TK-1315A	1974	94,2	800	8,944	1,531	0,0027	0,9973	0,9137
1.2.15	TK-1315A	TK-1381	1979	93,5	700	8,504	0,419	0,0006	0,9994	0,9131
1.2.16	TK-1381	TK-1382	1979	216,6	700	9,226	0,419	0,0022	0,9978	0,9111
1.2.17	TK-1382	TK-1811	1979	621,6	700	11,602	0,419	0,0182	0,9820	0,8947
Итого по участку 1										1,0000

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
2.1	Основная магистраль									
2.1.1	TK-1811	TK-1813	1974	137,0	700	8,759	1,531	0,0035	0,9965	0,9965
2.1.2	TK-1813	TK-1818	1977	711,1	600	11,092	0,669	0,0270	0,9734	0,9700
2.1.3	TK-1818	TK-1819	1978	109,4	600	8,159	0,525	0,0006	0,9994	0,9694
2.1.4	TK-1819	TK-1820	1978	122,7	600	8,223	0,525	0,0008	0,9992	0,9686
2.1.5	TK-1820	TK-1821	1978	158,0	600	8,396	0,525	0,0011	0,9989	0,9676
2.1.6	TK-1821	TK-1822	1978	50,0	600	7,869	0,525	0,0002	0,9998	0,9674
2.1.7	TK-1822	TK-1823	1979	142,2	600	8,318	0,419	0,0008	0,9992	0,9666
2.1.8	TK-1823	TK-1825	1979	160,0	600	8,405	0,419	0,0009	0,9991	0,9657
2.1.9	TK-1825	TK-1826	1983	130,0	600	8,259	0,195	0,0003	0,9997	0,9654
2.1.10	TK-1826	TK-1827	1983	66,6	500	7,567	0,195	0,0001	0,9999	0,9653
2.1.11	TK-1827	TK-1829	1983	231,0	500	8,211	0,195	0,0005	0,9995	0,9649
2.1.12	TK-1829	TK-1831	1986	351,9	500	8,684	0,126	0,0007	0,9993	0,9642
2.1.13	TK-1831	TK-1832	1987	60,0	500	7,541	0,111	0,0000	1,0000	0,9642
2.1.14	TK-1832	TK-1835	1987	379,8	500	8,794	0,111	0,0007	0,9993	0,9635
2.1.15	TK-1835	TK-1836	1986	198,3	500	8,083	0,126	0,0003	0,9997	0,9632
2.1.16	TK-1836	TK-1837	1986	167,5	500	7,962	0,126	0,0002	0,9998	0,9630



**Рис. 2.17. Вероятности безаварийной работы каждого участка основной магистрали от ТЭЦ-1 до ТК-1837 на 2015 г.**



**Рис. 2.18. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-1 – ТК-1837 на 2015 г.**

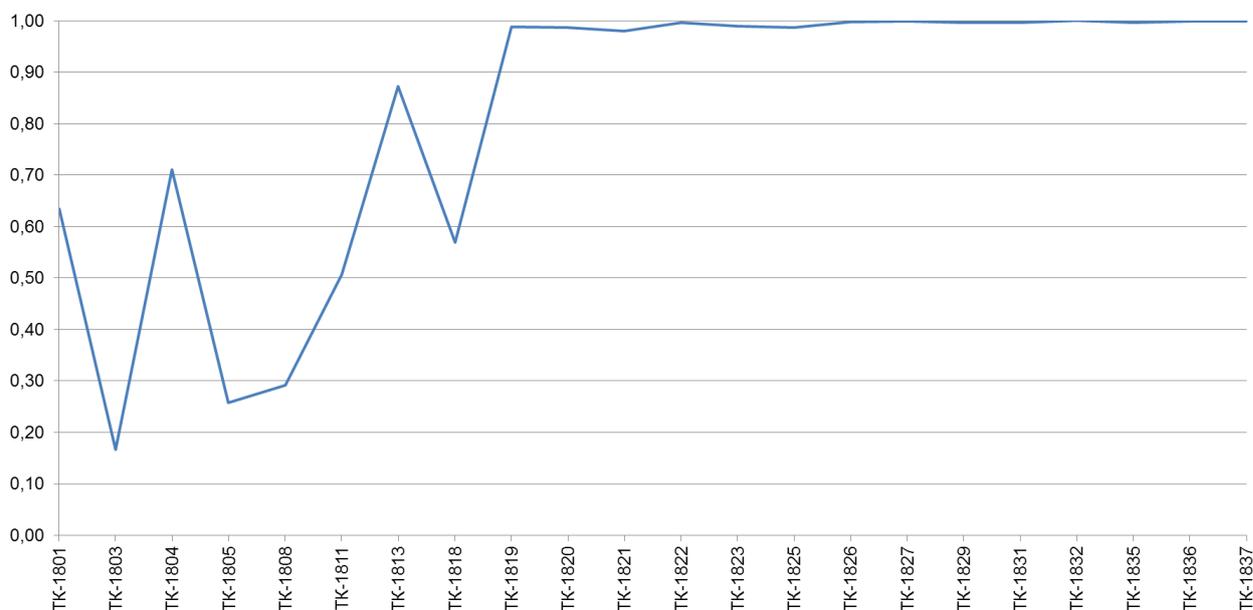
Из анализа рис. 2.17 и 2.18 следует, что все участки тепломатриалы от ТЭЦ-1 до ТК-1837 обладают допустимыми значениями показателями надёжности.

Показатели работы расчетного участка тепловой сети от ТЭЦ-1 до ТК-1837 к окончанию к 2024 г. представлены в табл. 2.8 и на рис. 2.19 – 2.20.

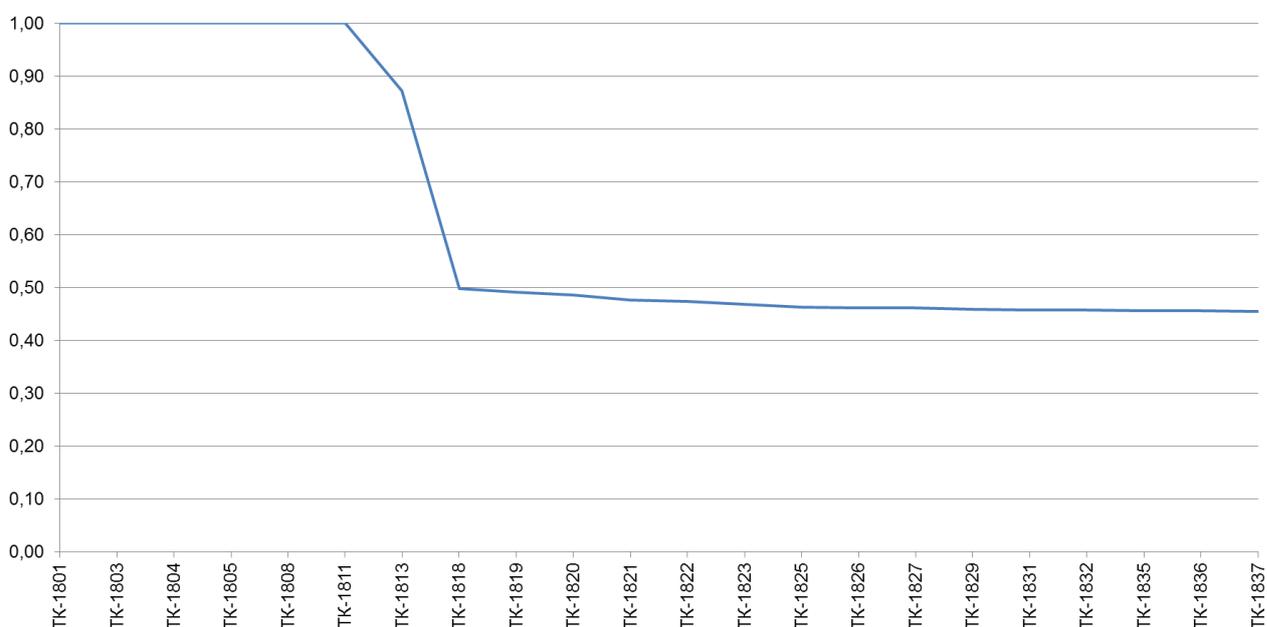
Таблица 2.8

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>у</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>р</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1	Основная магистраль									
1.1.1	ТЭЦ-1	TK-1801	1973	200,0	700	9,129	101,833	0,4553	0,6343	0,6343
1.1.2	TK-1801	TK-1803	1973	402,5	700	10,317	101,833	1,7913	0,1667	0,1057
1.1.3	TK-1803	TK-1804	1973	174,4	700	8,978	101,833	0,3417	0,7106	0,0751
1.1.4	TK-1804	TK-1805	1973	346,7	700	9,989	101,833	1,3528	0,2585	0,0194
1.1.5	TK-1805	TK-1808	1974	441,0	700	10,542	59,217	1,2327	0,2915	0,0057
1.1.6	TK-1808	TK-1811	1974	321,4	700	9,841	59,217	0,6808	0,5062	0,0029
1.2	Резервная магистраль									
1.2.1	ТЭЦ-1	TK-1301	1974	242,0	800	9,962	59,217	0,5425	0,5813	0,5813
1.2.2	TK-1301	TK-1303	1974	113,2	800	9,075	59,217	0,1425	0,8672	0,5041
1.2.3	TK-1303	TK-1304	1974	95,0	800	8,949	59,217	0,1048	0,9005	0,4539
1.2.4	TK-1304	TK-1305	1974	233,3	800	9,902	59,217	0,5088	0,6012	0,2729
1.2.5	TK-1305	TK-1306	1974	156,5	800	9,373	59,217	0,2519	0,7773	0,2121
1.2.6	TK-1306	TK-1308	1974	80,0	800	8,846	59,217	0,0830	0,9204	0,1952
1.2.7	TK-1308	TK-1309	1974	160,0	800	9,397	59,217	0,2619	0,7696	0,1503
1.2.8	TK-1309	TK-1310	1974	23,5	800	8,457	59,217	0,0196	0,9806	0,1473
1.2.9	TK-1310	TK-1311	1974	28,5	800	8,491	59,217	0,0243	0,9760	0,1438
1.2.10	TK-1311	TK-1312	1974	137,0	800	9,239	59,217	0,1993	0,8193	0,1178
1.2.11	TK-1312	TK-1313	1974	171,0	800	9,473	59,217	0,2945	0,7449	0,0878
1.2.12	TK-1313	TK-1314	1974	300,0	800	10,361	59,217	0,7887	0,4544	0,0399
1.2.13	TK-1314	TK-1315	1974	122,8	800	9,141	59,217	0,1643	0,8485	0,0338
1.2.14	TK-1315	TK-1315A	1974	94,2	800	8,944	59,217	0,1033	0,9019	0,0305
1.2.15	TK-1315A	TK-1381	1979	93,5	700	8,504	6,09	0,0083	0,9917	0,0303
1.2.16	TK-1381	TK-1382	1979	216,6	700	9,226	6,09	0,0321	0,9684	0,0293
1.2.17	TK-1382	TK-1811	1979	621,6	700	11,602	6,09	0,2646	0,7675	0,0225
Итого по участку 1										0,0254

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
2.1	Основная магистраль									
2.1.1	TK-1811	TK-1813	1974	137,0	700	8,759	59,217	0,1362	0,8727	0,8727
2.1.2	TK-1813	TK-1818	1977	711,1	600	11,092	13,948	0,5621	0,5700	0,4974
2.1.3	TK-1818	TK-1819	1978	109,4	600	8,159	9,101	0,0112	0,9889	0,4919
2.1.4	TK-1819	TK-1820	1978	122,7	600	8,223	9,101	0,0133	0,9868	0,4854
2.1.5	TK-1820	TK-1821	1978	158,0	600	8,396	9,101	0,0195	0,9807	0,4761
2.1.6	TK-1821	TK-1822	1978	50,0	600	7,869	9,101	0,0038	0,9962	0,4742
2.1.7	TK-1822	TK-1823	1979	142,2	600	8,318	6,09	0,0111	0,9890	0,4690
2.1.8	TK-1823	TK-1825	1979	160,0	600	8,405	6,09	0,0133	0,9868	0,4628
2.1.9	TK-1825	TK-1826	1983	130,0	600	8,259	1,531	0,0024	0,9976	0,4617
2.1.10	TK-1826	TK-1827	1983	66,6	500	7,567	1,531	0,0005	0,9995	0,4615
2.1.11	TK-1827	TK-1829	1983	231,0	500	8,211	1,531	0,0042	0,9958	0,4596
2.1.12	TK-1829	TK-1831	1986	351,9	500	8,684	0,669	0,0038	0,9962	0,4578
2.1.13	TK-1831	TK-1832	1987	60,0	500	7,541	0,525	0,0001	0,9999	0,4578
2.1.14	TK-1832	TK-1835	1987	379,8	500	8,794	0,525	0,0034	0,9966	0,4562
2.1.15	TK-1835	TK-1836	1986	198,3	500	8,083	0,669	0,0014	0,9986	0,4556
2.1.16	TK-1836	TK-1837	1986	167,5	500	7,962	0,669	0,0010	0,9990	0,4551



**Рис. 2.19. Вероятности безаварийной работы каждого участка основной магистрали от ТЭЦ-1 до ТК-1837 в конце 2024 г.**



**Рис. 2.20. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-1 – ТК-1837 в конце 2024 г.**

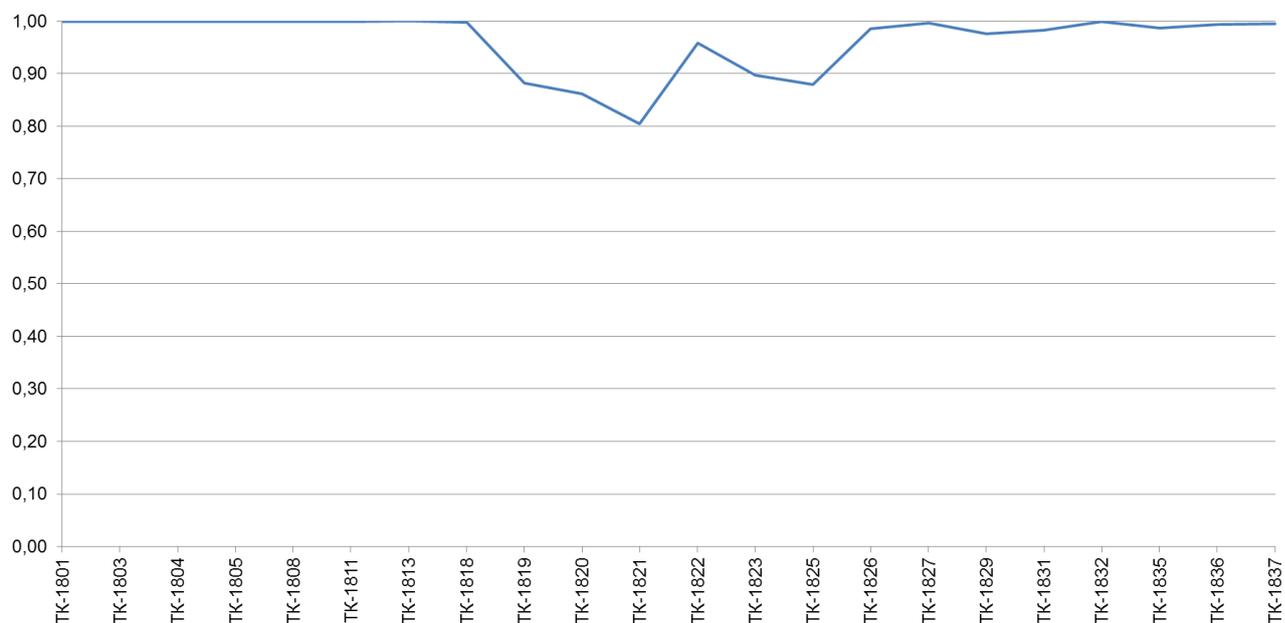
Из анализа рис. 2.19 – 2.20 следует, что к 2024 г. тепломagистраль будет обладать низкими показателями безотказности работы. Для увеличения показателей необходимо выполнить перекладки трубопроводов ТК-1801 – ТК-1819 в период с 2020 по 2024 гг.

Показатели работы расчетного участка тепловой сети от ТЭЦ-1 до ТК-1837 к окончанию к 2029 г. с учетом рекомендуемых реконструкций представлены в табл.2.9 и на рис. 2.21 – 2.22.

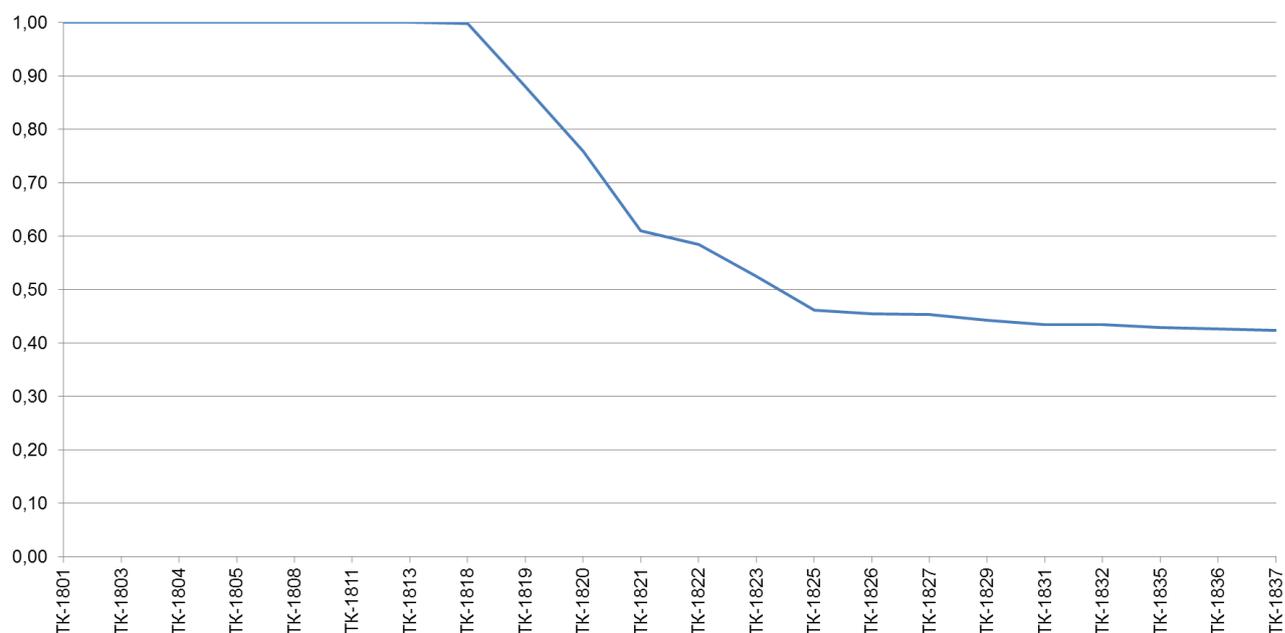
Таблица 2.9

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1	Основная магистраль									
1.1.1	ТЭЦ-1	TK-1801	1973	200,0	700	9,129	0,05	0,0002	0,9998	0,9998
1.1.2	TK-1801	TK-1803	1973	402,5	700	10,317	0,05	0,0009	0,9991	0,9989
1.1.3	TK-1803	TK-1804	1973	174,4	700	8,978	0,05	0,0002	0,9998	0,9987
1.1.4	TK-1804	TK-1805	1973	346,7	700	9,989	0,05	0,0007	0,9993	0,9980
1.1.5	TK-1805	TK-1808	1974	441,0	700	10,542	0,05	0,0010	0,9990	0,9970
1.1.6	TK-1808	TK-1811	1974	321,4	700	9,841	0,05	0,0006	0,9994	0,9964
1.2	Резервная магистраль									
1.2.1	ТЭЦ-1	TK-1301	1974	242,0	800	9,962	0,05	0,0005	0,9995	0,9995
1.2.2	TK-1301	TK-1303	1974	113,2	800	9,075	0,05	0,0001	0,9999	0,9994
1.2.3	TK-1303	TK-1304	1974	95,0	800	8,949	0,05	0,0001	0,9999	0,9993
1.2.4	TK-1304	TK-1305	1974	233,3	800	9,902	0,05	0,0004	0,9996	0,9989
1.2.5	TK-1305	TK-1306	1974	156,5	800	9,373	0,05	0,0002	0,9998	0,9987
1.2.6	TK-1306	TK-1308	1974	80,0	800	8,846	0,05	0,0001	0,9999	0,9986
1.2.7	TK-1308	TK-1309	1974	160,0	800	9,397	0,05	0,0002	0,9998	0,9984
1.2.8	TK-1309	TK-1310	1974	23,5	800	8,457	0,05	0,0000	1,0000	0,9984
1.2.9	TK-1310	TK-1311	1974	28,5	800	8,491	0,05	0,0000	1,0000	0,9984
1.2.10	TK-1311	TK-1312	1974	137,0	800	9,239	0,05	0,0002	0,9998	0,9982
1.2.11	TK-1312	TK-1313	1974	171,0	800	9,473	0,05	0,0002	0,9998	0,9980
1.2.12	TK-1313	TK-1314	1974	300,0	800	10,361	0,05	0,0007	0,9993	0,9973
1.2.13	TK-1314	TK-1315	1974	122,8	800	9,141	0,05	0,0001	0,9999	0,9972
1.2.14	TK-1315	TK-1315A	1974	94,2	800	8,944	0,05	0,0001	0,9999	0,9971
1.2.15	TK-1315A	TK-1381	1979	93,5	700	8,504	0,05	0,0001	0,9999	0,9970
1.2.16	TK-1381	TK-1382	1979	216,6	700	9,226	0,05	0,0003	0,9997	0,9967
1.2.17	TK-1382	TK-1811	1979	621,6	700	11,602	0,05	0,0022	0,9978	0,9945
Итого по участку 1										1,0000

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
2.1	Основная магистраль									
2.1.1	TK-1811	TK-1813	1974	137,0	700	8,759	0,05	0,0001	0,9999	0,9999
2.1.2	TK-1813	TK-1818	1977	711,1	600	11,092	0,05	0,0020	0,9980	0,9979
2.1.3	TK-1818	TK-1819	1978	109,4	600	8,159	101,833	0,1256	0,8820	0,8801
2.1.4	TK-1819	TK-1820	1978	122,7	600	8,223	101,833	0,1487	0,8618	0,7585
2.1.5	TK-1820	TK-1821	1978	158,0	600	8,396	101,833	0,2180	0,8041	0,6099
2.1.6	TK-1821	TK-1822	1978	50,0	600	7,869	101,833	0,0423	0,9586	0,5847
2.1.7	TK-1822	TK-1823	1979	142,2	600	8,318	59,217	0,1079	0,8977	0,5249
2.1.8	TK-1823	TK-1825	1979	160,0	600	8,405	59,217	0,1291	0,8789	0,4613
2.1.9	TK-1825	TK-1826	1983	130,0	600	8,259	9,101	0,0145	0,9856	0,4547
2.1.10	TK-1826	TK-1827	1983	66,6	500	7,567	9,101	0,0030	0,9970	0,4533
2.1.11	TK-1827	TK-1829	1983	231,0	500	8,211	9,101	0,0248	0,9755	0,4422
2.1.12	TK-1829	TK-1831	1986	351,9	500	8,684	2,926	0,0166	0,9835	0,4349
2.1.13	TK-1831	TK-1832	1987	60,0	500	7,541	2,095	0,0006	0,9994	0,4346
2.1.14	TK-1832	TK-1835	1987	379,8	500	8,794	2,095	0,0136	0,9865	0,4288
2.1.15	TK-1835	TK-1836	1986	198,3	500	8,083	2,926	0,0061	0,9939	0,4261
2.1.16	TK-1836	TK-1837	1986	167,5	500	7,962	2,926	0,0045	0,9955	0,4242



**Рис. 2.21. Вероятности безаварийной работы каждого участка основной магистрали от ТЭЦ-1 до ТК-1837 в конце 2029 г.**



**Рис. 2.22. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-1 – ТК-1837 в конце 2029 г.**

Из анализа рис. 2.21 – 2.22 следует, что к 2029 г. тепломагистраль будет обладать низкими показателями безотказности работы ввиду наличия трубопроводов со сроком службы более 40 лет и отсутствия резервирующих трубопроводов в конце участка.

Для увеличения показателей необходимо выполнить перекладки трубопроводов от ТК-1818 до ТК-1826 в период с 2025 до 2029 гг.

## 2.2. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей ТЭЦ-2

### 2.2.1. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от ТЭЦ-2 до ТК-2420/3

Расчетный участок от ТЭЦ-2 до ТК-2420/3 тепловой сети г. Пенза представлен на рис. 2.23. Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2015 год приведены в табл. 2.10.

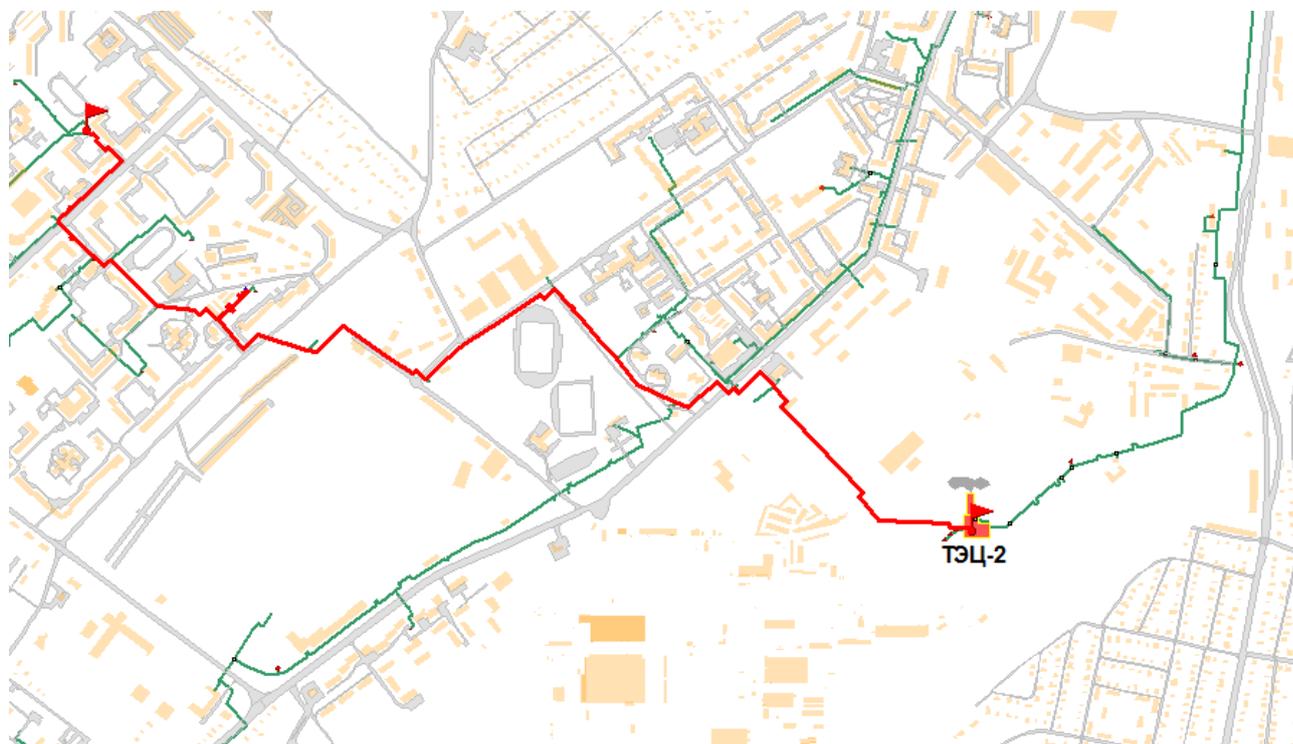
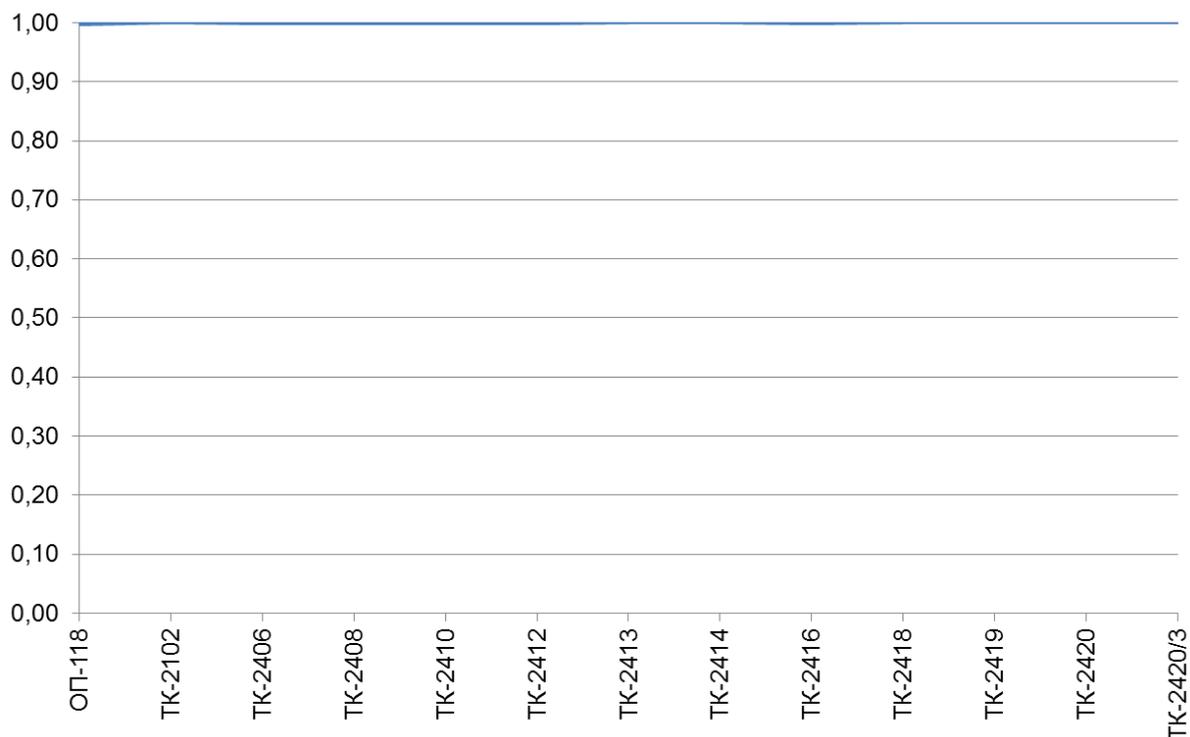


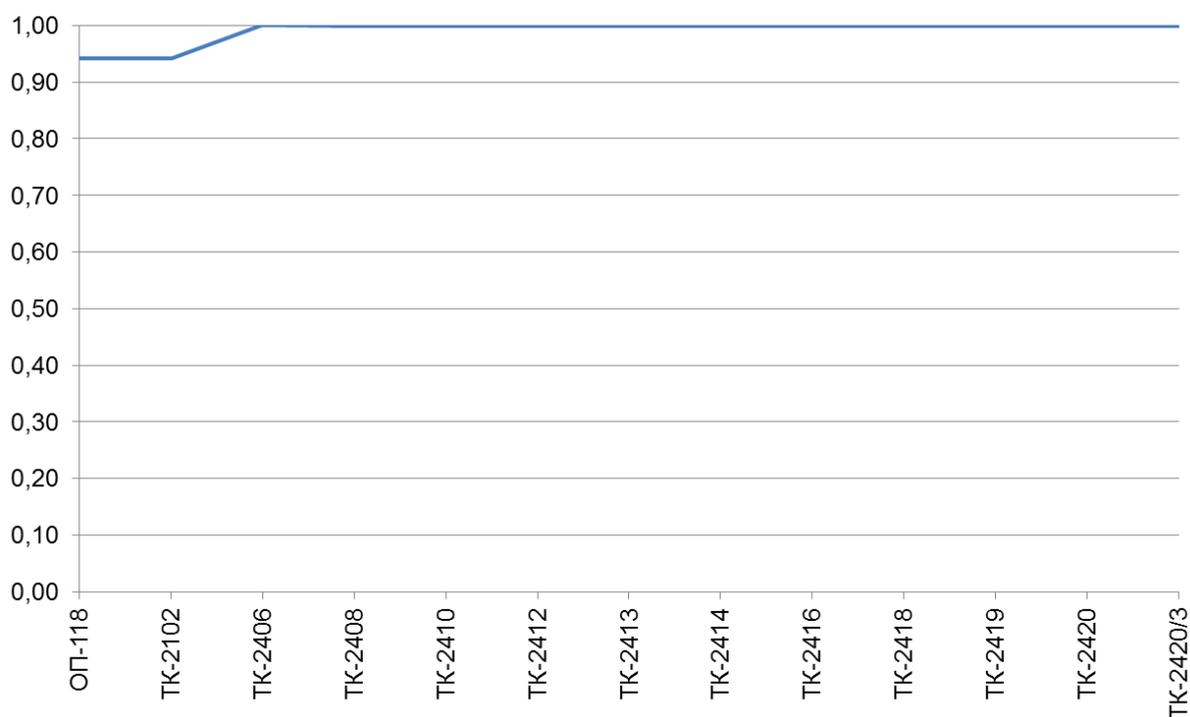
Рис. 2.23. Расчетный участок теплосети от ТЭЦ-2 до ТК-2420/3

Таблица 2.10

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1	ТЭЦ-2	ОП-118	1995	600,0	700	11,475	0,057	0,0023	0,9977	0,9423
1.2	ОП-118	ТК-2102	1995	143,0	700	8,794	0,057	0,0001	0,9999	0,9422
2.1	Основная магистраль									
2.1.1	ТК-2102	ТК-2403	1979	168,5	500	7,966	0,419	0,0007	0,9993	0,9993
2.1.2	ТК-2403	ТК-2404	1979	161,0	400	7,482	0,419	0,0003	0,9997	0,9990
2.2	Резервная магистраль									
2.2.1	ТК-2102	ТК-2103	1984	31,0	500	7,427	0,167	0,0000	1,0000	1,0000
2.2.2	ТК-2103	ТК-2103 6/0	1968	61,0	300	6,837	13,948	0,0017	0,9983	0,9983
2.2.3	ТК-2103 6/0	ТК-2103 8/0	1968	70,0	300	6,856	13,948	0,0020	0,9980	0,9963
2.2.4	ТК-2103 8/0	ТК-2103 10/0	1968	89,0	300	6,896	13,948	0,0027	0,9973	0,9936
2.2.5	ТК-2103 10/0	ТК-2404 1/0	1968	35,0	300	6,782	13,948	0,0009	0,9991	0,9927
2.2.6	ТК-2401 1/0	ТК-2404	1968	105,0	300	6,930	13,948	0,0034	0,9966	0,9893
3.1	Основная магистраль									
3.1.1	ТК-2404	ТК-2406	1979	209,0	400	7,625	0,419	0,0005	0,9995	0,9995
3.1.2	ТК-2406	ТК-2408	1979	240,0	400	7,718	0,419	0,0007	0,9993	0,9988
3.1.3	ТК-2408	ТК-2410	1979	117,5	400	7,351	0,419	0,0002	0,9998	0,9986
3.1.4	ТК-2410	ТК-2412	1986	322,0	400	7,964	0,126	0,0004	0,9996	0,9982
3.1.5	ТК-2412	ТК-2413	1986	180,0	400	7,539	0,126	0,0001	0,9999	0,9981
3.1.6	ТК-2413	ТК-2414	1986	170,0	400	7,509	0,126	0,0001	0,9999	0,9980
3.1.7	ТК-2414	ТК-2416	1986	240,0	400	7,718	0,126	0,0002	0,9998	0,9978
3.1.8	ТК-2416	ТК-2418	1986	143,0	400	7,428	0,126	0,0001	0,9999	0,9977
3.1.9	ТК-2418	ТК-2419	1986	48,0	300	6,809	0,126	0,0000	1,0000	0,9977
3.1.10	ТК-2419	ТК-2420	1986	125,0	300	6,973	0,126	0,0000	1,0000	0,9977
3.1.11	ТК-2420	ТК-2420/3	1986	236,0	200	6,743	0,126	0,0000	1,0000	0,9977



**Рис. 2.24. Вероятности безаварийной работы каждого участка от ТЭЦ-2 до ТК-2420/3 на 2015 г.**



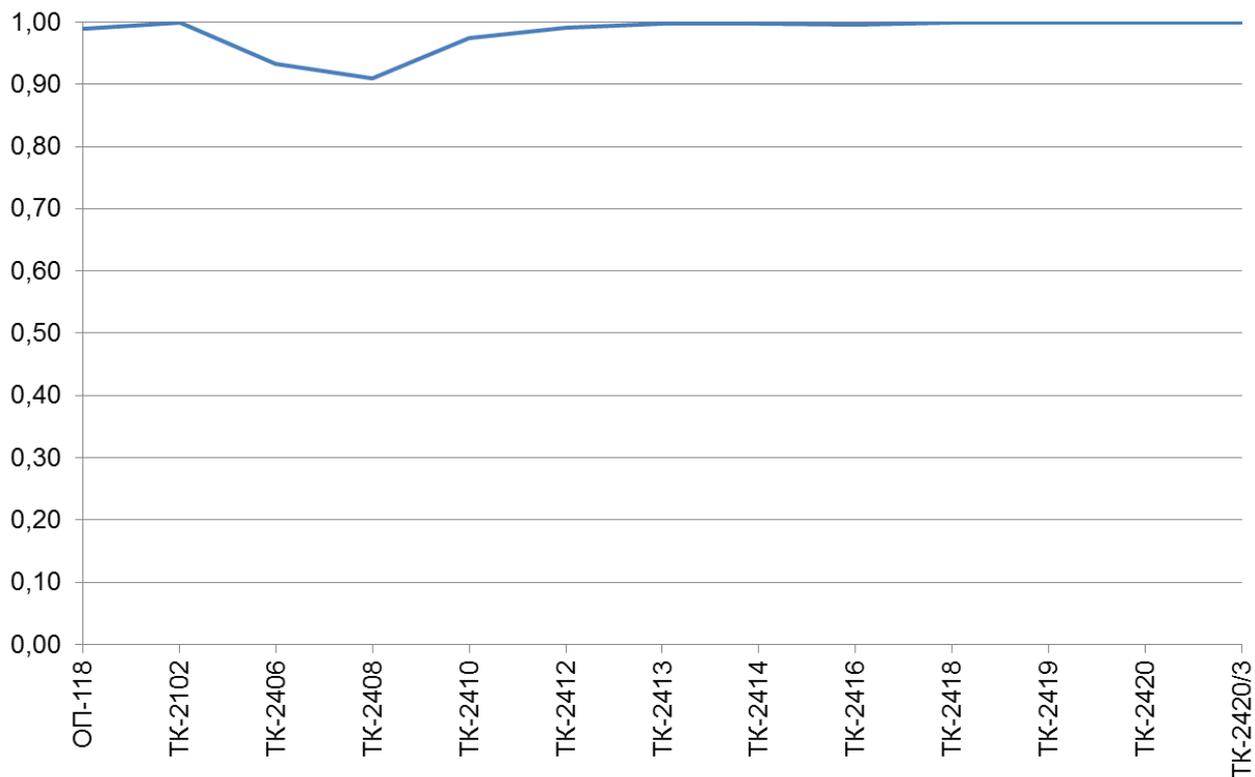
**Рис. 2.25. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-2 – ТК-2420/3 на 2015 г.**

Из анализа рис. 2.24 и 2.25 следует, что все участки тепломагистрали от ТЭЦ-2 до ТК-2420/3 обладают допустимыми значениями показателями надёжности.

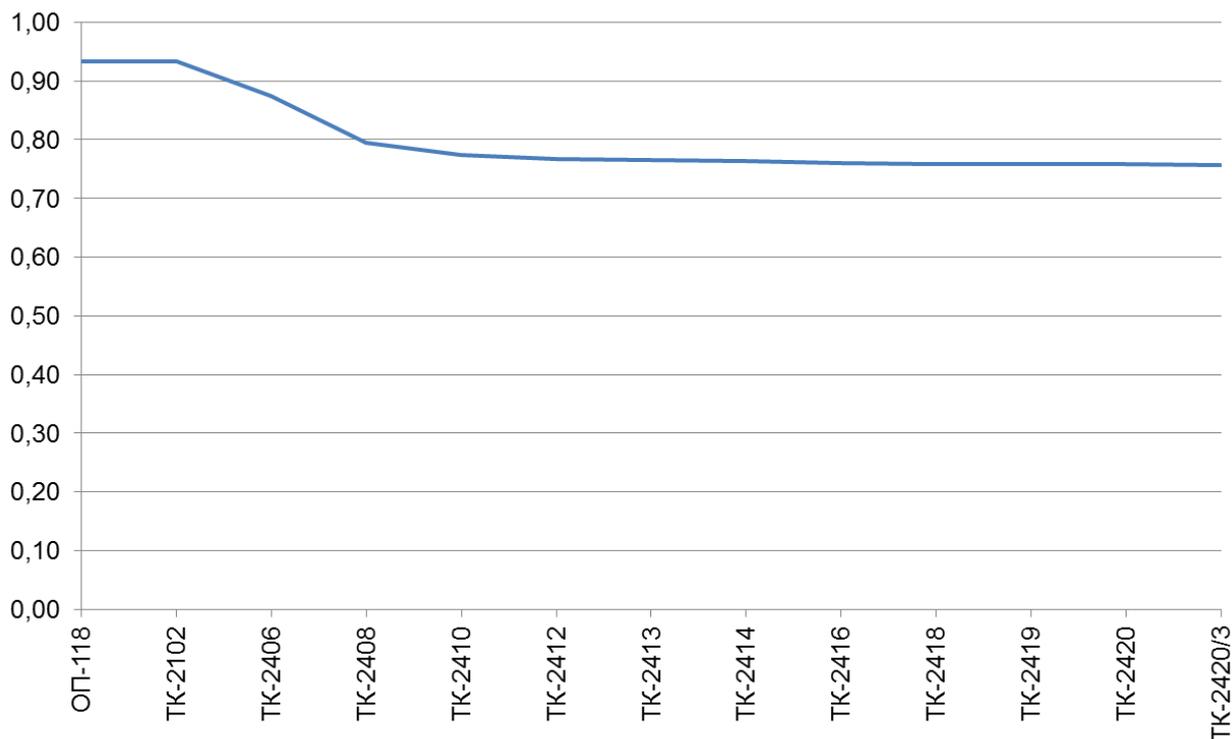
На рис. 2.24 – 2.25 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути. Показатели работы расчетного участка тепловой сети от ТЭЦ-2 до ТК-2420/3 к окончанию планируемого периода (к 2029 г.) представлены в табл. 2.11 на рис. 2.26 – 2.27.

Таблица 2.11

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1	ТЭЦ-2	ОП-118	1995	600,0	700	11,475	0,279	0,0112	0,9889	0,9340
1.2	ОП-118	ТК-2102	1995	143,0	700	8,794	0,279	0,0007	0,9993	0,9334
2.1	Основная магистраль									
2.1.1	ТК-2102	ТК-2403	1979	168,5	500	7,966	59,217	0,0930	0,9112	0,9112
2.1.2	ТК-2403	ТК-2404	1979	161,0	400	7,482	59,217	0,0411	0,9597	0,8745
2.2	Резервная магистраль									
2.2.1	ТК-2102	ТК-2103	1984	31,0	500	7,427	6,09	0,0008	0,9992	0,9992
2.2.2	ТК-2103	ТК-2103 6/0	1968	61,0	300	6,837	195906,762	23,6598	0,0000	0,0000
2.2.3	ТК-2103 6/0	ТК-2103 8/0	1968	70,0	300	6,856	195906,762	28,1769	0,0000	0,0000
2.2.4	ТК-2103 8/0	ТК-2103 10/0	1968	89,0	300	6,896	195906,762	38,5486	0,0000	0,0000
2.2.5	ТК-2103 10/0	ТК-2404 1/0	1968	35,0	300	6,782	195906,762	12,0736	0,0000	0,0000
2.2.6	ТК-2401 1/0	ТК-2404	1968	105,0	300	6,930	195906,762	48,1808	0,0000	0,0000
3.1	Основная магистраль									
3.1.1	ТК-2404	ТК-2406	1979	209,0	400	7,625	59,217	0,0697	0,9327	0,9327
3.1.2	ТК-2406	ТК-2408	1979	240,0	400	7,718	59,217	0,0948	0,9096	0,8484
3.1.3	ТК-2408	ТК-2410	1979	117,5	400	7,351	59,217	0,0269	0,9735	0,8259
3.1.4	ТК-2410	ТК-2412	1986	322,0	400	7,964	2,926	0,0088	0,9912	0,8186
3.1.5	ТК-2412	ТК-2413	1986	180,0	400	7,539	2,926	0,0025	0,9975	0,8166
3.1.6	ТК-2413	ТК-2414	1986	170,0	400	7,509	2,926	0,0022	0,9978	0,8148
3.1.7	ТК-2414	ТК-2416	1986	240,0	400	7,718	2,926	0,0047	0,9953	0,8110
3.1.8	ТК-2416	ТК-2418	1986	143,0	400	7,428	2,926	0,0017	0,9983	0,8096
3.1.9	ТК-2418	ТК-2419	1986	48,0	300	6,809	2,926	0,0003	0,9997	0,8093
3.1.10	ТК-2419	ТК-2420	1986	125,0	300	6,973	2,926	0,0009	0,9991	0,8086
3.1.11	ТК-2420	ТК-2420/3	1986	236,0	200	6,743	2,926	0,0011	0,9989	0,8077



**Рис. 2.26. Вероятности безаварийной работы каждого участка от ТЭЦ-2 до ТК-2420/3 на 2029 г.**



**Рис. 2.27. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-2 – ТК-2420/3 в конце 2029 г.**

Исходя из анализа табл. 2.11 и рис. 2.26 – 2.27 следует, что ввиду снижения показателей безаварийной работы участка ТК-2102 – ТК-2410 и отсутствия резервирующих трубопроводов в конце расчетного участка показатели безотказности работы всей тепломагистрали уменьшается ниже допустимого значения 0,9. Поэтому, рекомендуется реконструкция указанных выше трубопроводов и создание резервного трубопровода в период 2020 – 2024 гг.

### 2.2.2. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от ТЭЦ-2 до ТК-2239

Расчетный участок от ТЭЦ-2 до ТК-2239 тепловой сети г. Пенза представлен на рис. 2.28. Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали на 2015 год приведены в табл. 2.12. На рис. 2.29 – 2.30 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути.

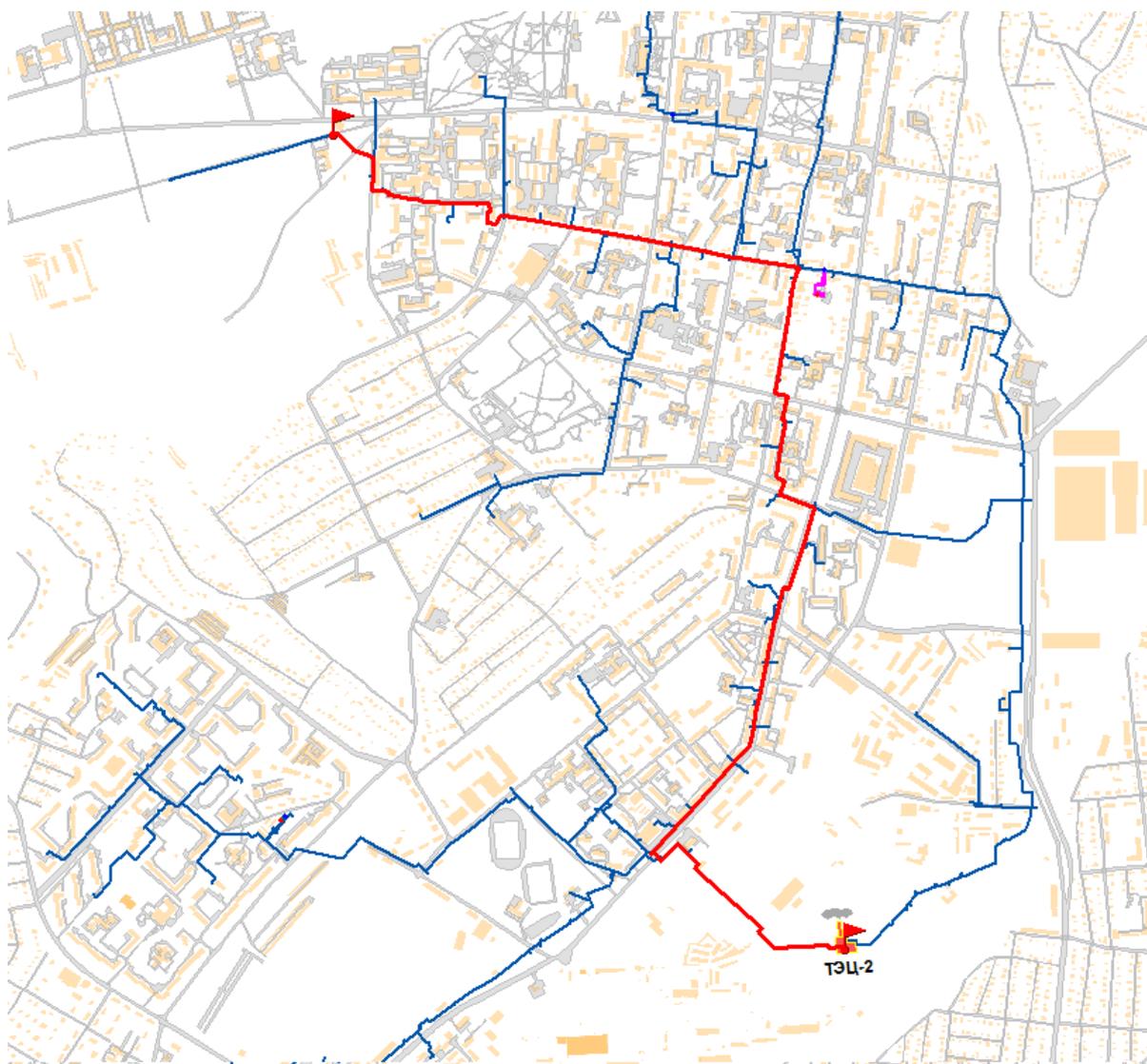


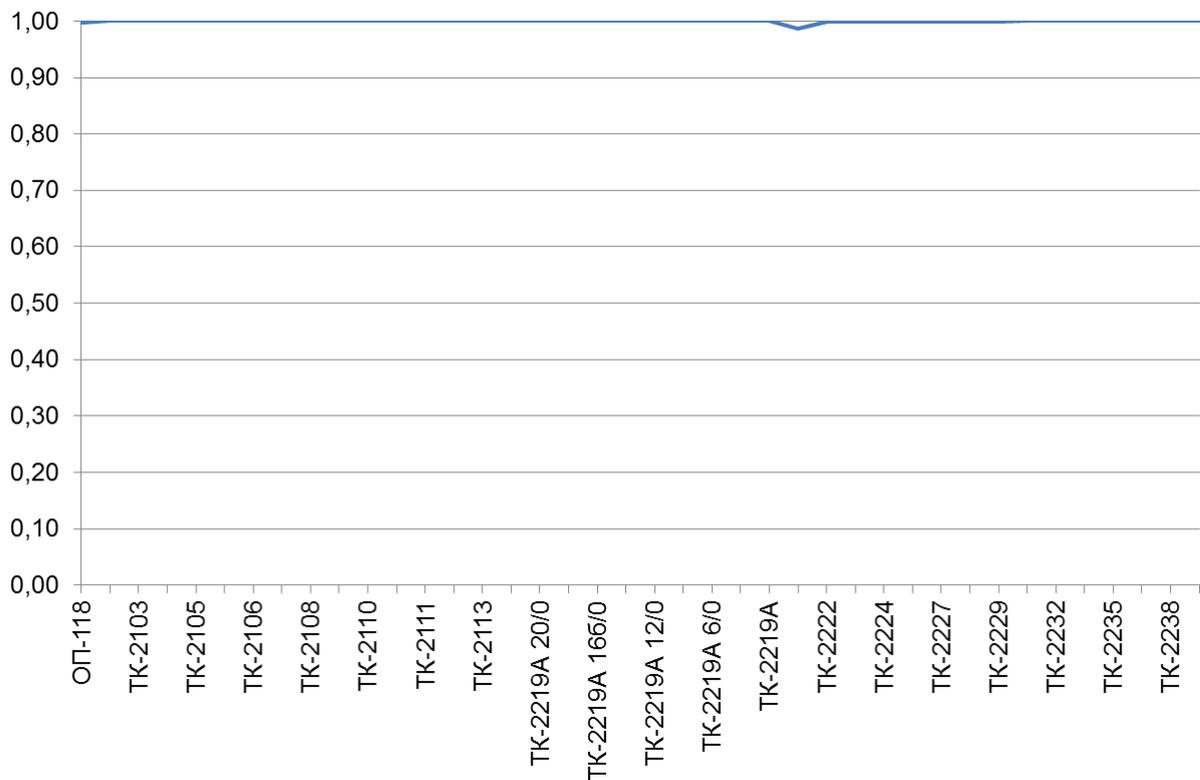
Рис. 2.28. Расчетный участок теплосети от ТЭЦ-2 до ТК-2239

Таблица 2.12

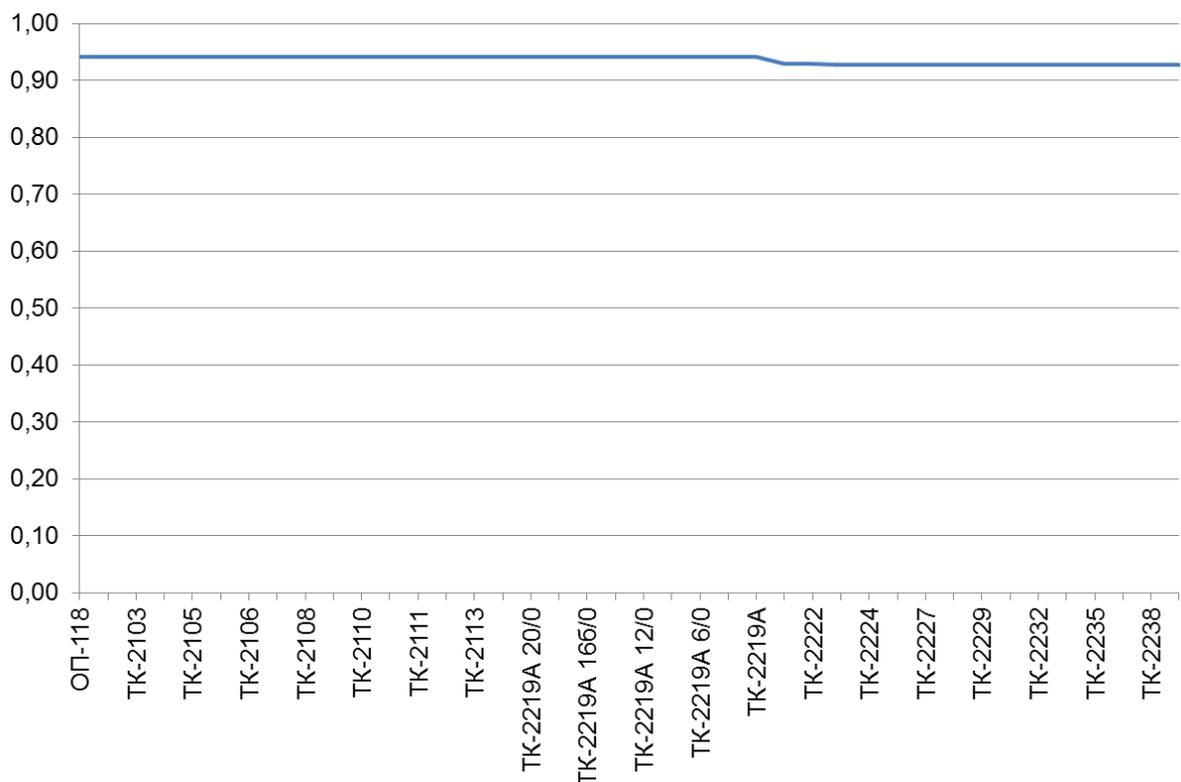
№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, PR
1.1	Основная магистраль									
1.1.1	ТЭЦ-2	ОП-118	1995	600,0	700	11,475	0,057	0,0023	0,9977	0,9423
1.1.2	ОП-118	ТК-2102	1995	143,0	700	8,794	0,057	0,0001	0,9999	0,9422
1.1.3	ТК-2102	ТК-2103	1984	31,0	500	7,427	0,167	0,0000	1,0000	0,9422
1.1.4	ТК-2103	ТК-2104	1984	105,0	500	7,717	0,167	0,0001	0,9999	0,9421
1.1.5	ТК-2104	ТК-2105	1984	74,0	400	7,221	0,167	0,0000	1,0000	0,9421
1.1.6	ТК-2105	ТК-2106пх	1984	99,0	400	7,296	0,167	0,0001	0,9999	0,9420
1.1.7	ТК-2106пх	ТК-2106	1984	88,0	400	7,263	0,167	0,0001	0,9999	0,9420
1.1.8	ТК-2106	ТК-2107	1984	120,0	400	7,359	0,167	0,0001	0,9999	0,9419
1.1.9	ТК-2107	ТК-2108	1984	74,0	400	7,221	0,167	0,0000	1,0000	0,9419
1.1.10	ТК-2108	ТК-2109	1984	34,0	400	7,101	0,167	0,0000	1,0000	0,9419
1.1.11	ТК-2109	ТК-2110	1984	82,0	400	7,245	0,167	0,0000	1,0000	0,9419
1.1.12	ТК-2110	ТК-2110п	1984	70,0	400	7,209	0,167	0,0000	1,0000	0,9419
1.1.13	ТК-2110п	ТК-2111	1984	104,0	300	6,928	0,167	0,0000	1,0000	0,9419
1.1.14	ТК-2111	ТК-2112	1984	23,0	300	6,756	0,167	0,0000	1,0000	0,9419
1.1.15	ТК-2112	ТК-2113	1984	180,0	300	7,089	0,167	0,0001	0,9999	0,9418
1.1.16	ТК-2113	ТК-2114	1984	122,0	300	6,966	0,167	0,0001	0,9999	0,9417
1.1.17	ТК-2114	ТК-2219А 20/0	1984	108,0	250	6,753	0,167	0,0000	1,0000	0,9417
1.1.18	ТК-2219А 20/0	ТК-2219А 18/0	1986	155,0	250	6,833	0,126	0,0000	1,0000	0,9417
1.1.19	ТК-2219А 18/0	ТК-2219А 166/0	1986	66,0	250	6,681	0,126	0,0000	1,0000	0,9417
1.1.20	ТК-2219А 166/0	ТК-2219А 14/0	1986	172,0	250	6,862	0,126	0,0000	1,0000	0,9417
1.1.21	ТК-2219А	ТК-2219А 12/0	1986	75,0	250	6,696	0,126	0,0000	1,0000	0,9417

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
	14/0									
1.1.22	ТК-2219А 12/0	ТК-2219А 8/0	1986	100,0	250	6,739	0,126	0,0000	1,0000	0,9417
1.1.23	ТК-2219А 8/0	ТК-2219А 6/0	1986	80,0	250	6,705	0,126	0,0000	1,0000	0,9417
1.1.24	ТК-2219А 6/0	ТК-2219А 2/0	1986	43,0	250	6,642	0,126	0,0000	1,0000	0,9417
1.1.25	ТК-2219А 2/0	ТК-2219А	1986	33,5	250	6,626	0,126	0,0000	1,0000	0,9417
1.2	Резервная магистраль									
1.2.1	ТЭЦ-2	ОП-205	1991	61,0	600	7,923	0,074	0,0000	1,0000	0,9445
1.2.2	ОП-205	ОП-210	1991	43,0	600	7,835	0,074	0,0000	1,0000	0,9445
1.2.3	ОП-210	ОП-2228	1985	181,0	600	8,508	0,144	0,0004	0,9996	0,9441
1.2.4	ОП-2228	ОП-2231	1985	33,0	600	7,786	0,144	0,0000	1,0000	0,9441
1.2.5	ОП-2231	ОП-2235	1985	116,5	600	8,193	0,144	0,0002	0,9998	0,9439
1.2.6	ОП-2235	ТК-2201	1985	392,0	600	9,536	0,144	0,0017	0,9983	0,9423
1.2.7	ТК-2201	ТК-2203	1985	259,0	700	9,475	0,144	0,0011	0,9989	0,9413
1.2.8	ТК-2203	ТК-2205	1985	70,0	700	8,366	0,144	0,0001	0,9999	0,9412
1.2.9	ТК-2205	ТК-2205/19	1985	209,0	700	9,181	0,144	0,0007	0,9993	0,9405
1.2.10	ТК-2205/19	ТК-2213	1985	435,0	700	10,507	0,144	0,0029	0,9971	0,9378
1.2.11	ТК-2213	ТК-2215	1985	500,0	700	10,889	0,144	0,0038	0,9962	0,9342
1.2.12	ТК-2215	ТК-2215/17	1985	53,0	500	7,513	0,144	0,0000	1,0000	0,9342
1.2.13	ТК-2215/17	ТК-2215/24	1985	15,0	500	7,365	0,144	0,0000	1,0000	0,9342
1.2.14	ТК-2215/24	ТК-2215/ОП-40	1985	66,0	500	7,564	0,144	0,0000	1,0000	0,9342
1.2.15	ТК-2215/ОП-40	ТК-2217	1985	152,0	500	7,901	0,144	0,0002	0,9998	0,9341
1.2.16	ТК-2217	ТК-2218	1985	200,0	500	8,089	0,144	0,0003	0,9997	0,9338
1.2.17	ТК-2218	ТК-2219	1985	187,0	500	8,038	0,144	0,0003	0,9997	0,9335

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.2.18	TK-2219	НС-2	1968	23,0	400	7,068	13,948	0,0009	0,9991	0,9327
1.2.19	НС-2	TK-2219А	1968	74,0	400	7,221	13,948	0,0035	0,9965	0,9294
2.1	Основная магистраль									
2.1.1	TK-2219А	TK-2221	1968	192,0	400	7,575	13,948	0,0136	0,9865	0,9290
2.1.2	TK-2221	TK-2222	1976	89,0	400	7,266	0,866	0,0003	0,9997	0,9287
2.1.3	TK-2222	TK-2223	1976	92,0	400	7,275	0,866	0,0003	0,9997	0,9284
2.1.4	TK-2223	TK-2224	1976	104,5	400	7,312	0,866	0,0003	0,9997	0,9281
2.1.5	TK-2224	TK-2226	1976	94,5	400	7,282	0,866	0,0003	0,9997	0,9278
2.1.6	TK-2226	TK-2227	1976	97,0	400	7,290	0,866	0,0003	0,9997	0,9276
2.1.7	TK-2227	TK-2228	1976	91,0	400	7,272	0,866	0,0003	0,9997	0,9273
2.1.8	TK-2228	TK-2229	1976	105,0	400	7,314	0,866	0,0003	0,9997	0,9270
2.1.9	TK-2229	TK-2231	1984	68,0	350	7,025	0,167	0,0000	1,0000	0,9270
2.1.10	TK-2231	TK-2232	1984	160,0	350	7,260	0,167	0,0001	0,9999	0,9269
2.1.11	TK-2232	TK-2233	1984	129,0	350	7,181	0,167	0,0001	0,9999	0,9268
2.1.12	TK-2233	TK-2235	1984	84,0	350	7,066	0,167	0,0000	1,0000	0,9268
2.1.13	TK-2235	TK-2237	1984	77,0	350	7,048	0,167	0,0000	1,0000	0,9268
2.1.14	TK-2237	TK-2238	1984	65,0	350	7,017	0,167	0,0000	1,0000	0,9268
2.1.15	TK-2238	TK-2239	1984	131,0	350	7,186	0,167	0,0001	0,9999	0,9267



**Рис. 2.29. Вероятности безаварийной работы каждого участка от ТЭЦ-2 до ТК-2239 на 2015 г.**



**Рис. 2.30. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-2 – ТК-2239 на 2015 г.**

Из анализа табл. 2.12 и рис. 2.29 – 2.30 следует, что все участки тепломагистрали от ТЭЦ-2 до ТК-2239 обладают допустимыми значениями показателями надёжности.

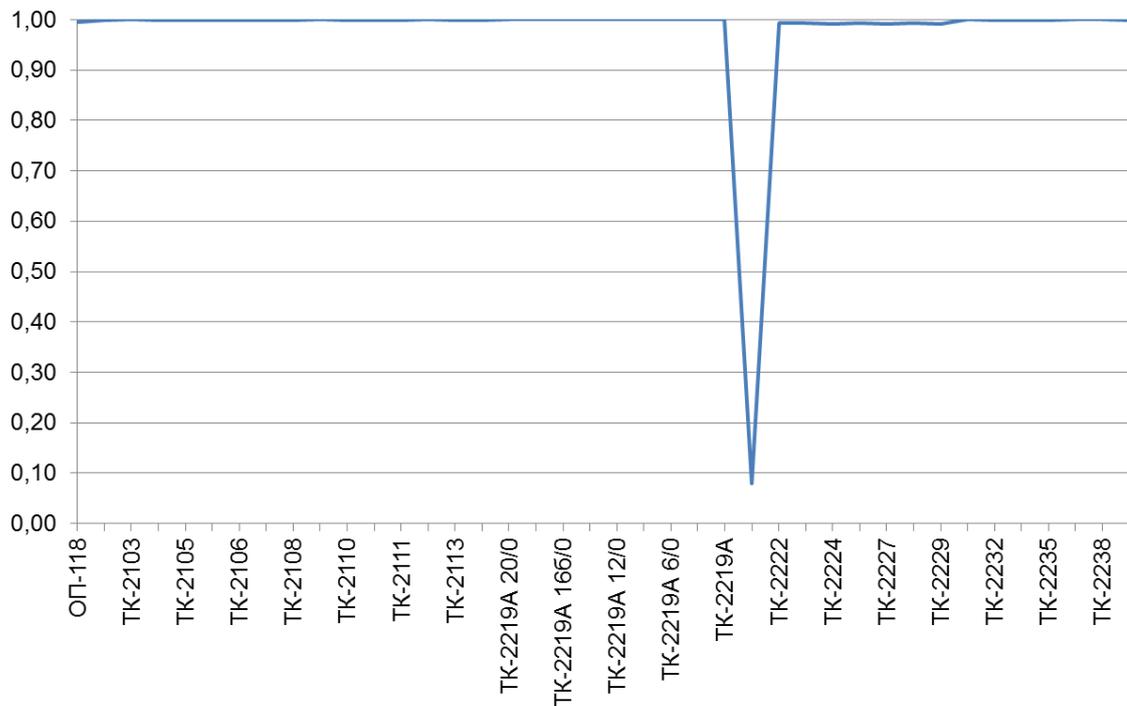
Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали на 2024 год приведены в табл. 2.13. На рис. 2.31 – 2.32 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути.

Таблица 2.13

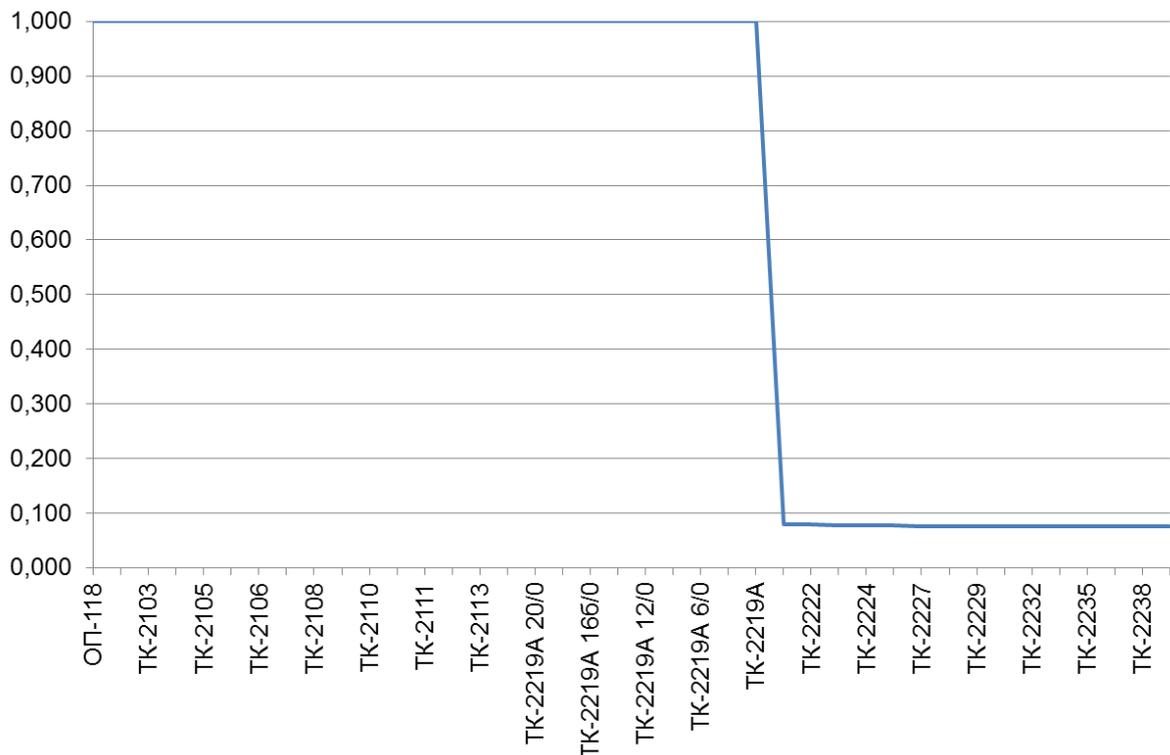
№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1	Основная магистраль									
1.1.1	ТЭЦ-2	ОП-118	1995	600,0	700	11,475	0,126	0,0050	0,9950	0,9950
1.1.2	ОП-118	ТК-2102	1995	143,0	700	8,794	0,126	0,0003	0,9997	0,9947
1.1.3	ТК-2102	ТК-2103	1984	31,0	500	7,427	1,141	0,0001	0,9999	0,9946
1.1.4	ТК-2103	ТК-2104	1984	105,0	500	7,717	1,141	0,0008	0,9992	0,9938
1.1.5	ТК-2104	ТК-2105	1984	74,0	400	7,221	1,141	0,0003	0,9997	0,9935
1.1.6	ТК-2105	ТК-2106пх	1984	99,0	400	7,296	1,141	0,0004	0,9996	0,9931
1.1.7	ТК-2106пх	ТК-2106	1984	88,0	400	7,263	1,141	0,0004	0,9996	0,9927
1.1.8	ТК-2106	ТК-2107	1984	120,0	400	7,359	1,141	0,0005	0,9995	0,9922
1.1.9	ТК-2107	ТК-2108	1984	74,0	400	7,221	1,141	0,0003	0,9997	0,9919
1.1.10	ТК-2108	ТК-2109	1984	34,0	400	7,101	1,141	0,0001	0,9999	0,9918
1.1.11	ТК-2109	ТК-2110	1984	82,0	400	7,245	1,141	0,0003	0,9997	0,9915
1.1.12	ТК-2110	ТК-2110п	1984	70,0	400	7,209	1,141	0,0003	0,9997	0,9912
1.1.13	ТК-2110п	ТК-2111	1984	104,0	300	6,928	1,141	0,0003	0,9997	0,9909
1.1.14	ТК-2111	ТК-2112	1984	23,0	300	6,756	1,141	0,0000	1,0000	0,9909
1.1.15	ТК-2112	ТК-2113	1984	180,0	300	7,089	1,141	0,0006	0,9994	0,9903
1.1.16	ТК-2113	ТК-2114	1984	122,0	300	6,966	1,141	0,0003	0,9997	0,9900
1.1.17	ТК-2114	ТК-2219А 20/0	1984	108,0	250	6,753	1,141	0,0002	0,9998	0,9898
1.1.18	ТК-2219А 20/0	ТК-2219А 18/0	1986	155,0	250	6,833	0,669	0,0002	0,9998	0,9896
1.1.19	ТК-2219А 18/0	ТК-2219А 166/0	1986	66,0	250	6,681	0,669	0,0001	0,9999	0,9895
1.1.20	ТК-2219А 166/0	ТК-2219А 14/0	1986	172,0	250	6,862	0,669	0,0002	0,9998	0,9893
1.1.21	ТК-2219А 14/0	ТК-2219А 12/0	1986	75,0	250	6,696	0,669	0,0001	0,9999	0,9892

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1.22	ТК-2219А 12/0	ТК-2219А 8/0	1986	100,0	250	6,739	0,669	0,0001	0,9999	0,9891
1.1.23	ТК-2219А 8/0	ТК-2219А 6/0	1986	80,0	250	6,705	0,669	0,0001	0,9999	0,9890
1.1.24	ТК-2219А 6/0	ТК-2219А 2/0	1986	43,0	250	6,642	0,669	0,0000	1,0000	0,9890
1.1.25	ТК-2219А 2/0	ТК-2219А	1986	33,5	250	6,626	0,669	0,0000	1,0000	0,9890
1.2	Резервная магистраль									
1.2.1	ТЭЦ-2	ОП-205	1991	61,0	600	7,923	0,232	0,0001	0,9999	0,9999
1.2.2	ОП-205	ОП-210	1991	43,0	600	7,835	0,232	0,0001	0,9999	0,9998
1.2.3	ОП-210	ОП-2228	1985	181,0	600	8,508	0,866	0,0023	0,9977	0,9975
1.2.4	ОП-2228	ОП-2231	1985	33,0	600	7,786	0,866	0,0002	0,9998	0,9973
1.2.5	ОП-2231	ОП-2235	1985	116,5	600	8,193	0,866	0,0012	0,9988	0,9961
1.2.6	ОП-2235	ТК-2201	1985	392,0	600	9,536	0,866	0,0103	0,9898	0,9859
1.2.7	ТК-2201	ТК-2203	1985	259,0	700	9,475	0,866	0,0065	0,9935	0,9795
1.2.8	ТК-2203	ТК-2205	1985	70,0	700	8,366	0,866	0,0008	0,9992	0,9788
1.2.9	ТК-2205	ТК-2205/19	1985	209,0	700	9,181	0,866	0,0042	0,9958	0,9746
1.2.10	ТК-2205/19	ТК-2213	1985	435,0	700	10,507	0,866	0,0176	0,9826	0,9577
1.2.11	ТК-2213	ТК-2215	1985	500,0	700	10,889	0,866	0,0227	0,9776	0,9362
1.2.12	ТК-2215	ТК-2215/17	1985	53,0	500	7,513	0,866	0,0002	0,9998	0,9360
1.2.13	ТК-2215/17	ТК-2215/24	1985	15,0	500	7,365	0,866	0,0001	0,9999	0,9359
1.2.14	ТК-2215/24	ТК-2215/ОП-40	1985	66,0	500	7,564	0,866	0,0003	0,9997	0,9357
1.2.15	ТК-2215/ОП-40	ТК-2217	1985	152,0	500	7,901	0,866	0,0011	0,9989	0,9346
1.2.16	ТК-2217	ТК-2218	1985	200,0	500	8,089	0,866	0,0018	0,9982	0,9330
1.2.17	ТК-2218	ТК-2219	1985	187,0	500	8,038	0,866	0,0016	0,9984	0,9315
1.2.18	ТК-2219	НС-2	1968	23,0	400	7,068	2603,08	0,1714	0,8425	0,7848

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.2.19	НС-2	TK-2219A	1968	74,0	400	7,221	2603,08	0,6580	0,5179	0,4064
2.1	Основная магистраль									
2.1.1	TK-2219A	TK-2221	1968	192,0	400	7,575	2603,08	2,5324	0,0795	0,0786
2.1.2	TK-2221	TK-2222	1976	89,0	400	7,266	21,951	0,0070	0,9930	0,0781
2.1.3	TK-2222	TK-2223	1976	92,0	400	7,275	21,951	0,0073	0,9927	0,0775
2.1.4	TK-2223	TK-2224	1976	104,5	400	7,312	21,951	0,0086	0,9914	0,0768
2.1.5	TK-2224	TK-2226	1976	94,5	400	7,282	21,951	0,0075	0,9925	0,0763
2.1.6	TK-2226	TK-2227	1976	97,0	400	7,290	21,951	0,0078	0,9922	0,0757
2.1.7	TK-2227	TK-2228	1976	91,0	400	7,272	21,951	0,0072	0,9928	0,0751
2.1.8	TK-2228	TK-2229	1976	105,0	400	7,314	21,951	0,0086	0,9914	0,0745
2.1.9	TK-2229	TK-2231	1984	68,0	350	7,025	1,141	0,0002	0,9998	0,0745
2.1.10	TK-2231	TK-2232	1984	160,0	350	7,260	1,141	0,0006	0,9994	0,0744
2.1.11	TK-2232	TK-2233	1984	129,0	350	7,181	1,141	0,0005	0,9995	0,0744
2.1.12	TK-2233	TK-2235	1984	84,0	350	7,066	1,141	0,0003	0,9997	0,0744
2.1.13	TK-2235	TK-2237	1984	77,0	350	7,048	1,141	0,0002	0,9998	0,0743
2.1.14	TK-2237	TK-2238	1984	65,0	350	7,017	1,141	0,0002	0,9998	0,0743
2.1.15	TK-2238	TK-2239	1984	131,0	350	7,186	1,141	0,0005	0,9995	0,0743



**Рис. 2.31. Вероятности безаварийной работы каждого участка от ТЭЦ-2 до ТК-2239 на 2024 г.**



**Рис. 2.32. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-2 – ТК-2239 на 2024 г.**

Из анализа данных в табл. 2.13 и рис. 2.31 – 2.32 следует, что к 2024 г. из-за снижения показателей безаварийной работы участка ТК-2219А – ТК-2222 и отсутствия резервирующих трубопроводов показатели безотказности работы тепломагистрالي будут иметь крайне низкие показатели. Рекомендуется в период 2020 – 2024 гг. произвести перекладку указанного трубопровода и рассмотреть варианты строительства резервирующего трубопровода.

Поскольку 22-я и 24-я тепломагистрالي от ТЭЦ-2 обладают низкими показателями надёжности, то рекомендуется строительство резервирующего трубопровода, соединяющего 22-ю и 24-ю тепломагистрالي.

## **2.3. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей котельной «Арбеково»**

### **2.3.1. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от котельной «Арбеково» до ЦТП-339**

Расчетный участок от котельной «Арбеково» до ЦТП-339 тепловой сети г. Пенза представлен на рис. 2.33.

Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистралей за 2029 год приведены в табл. 2.14.

На рис. 2.34 – 2.35 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистралей вдоль рассматриваемого расчетного пути.

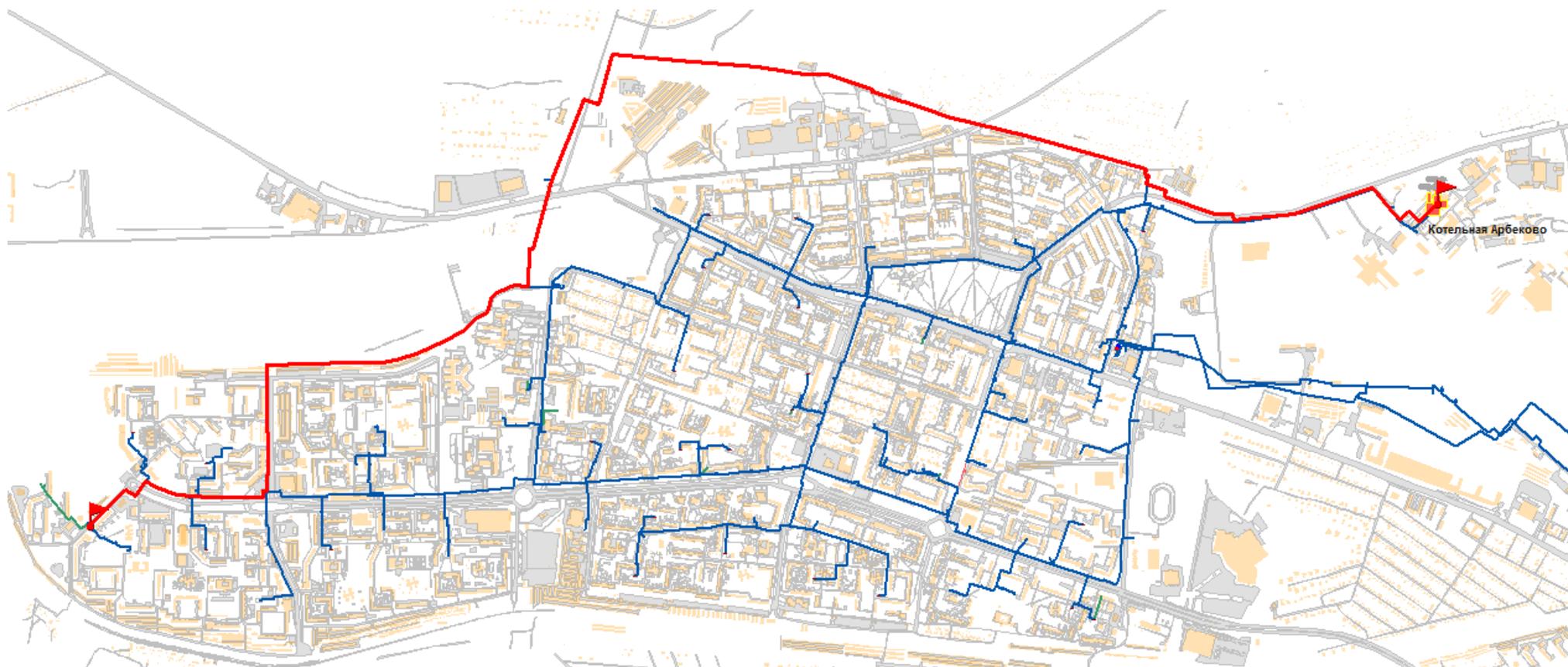


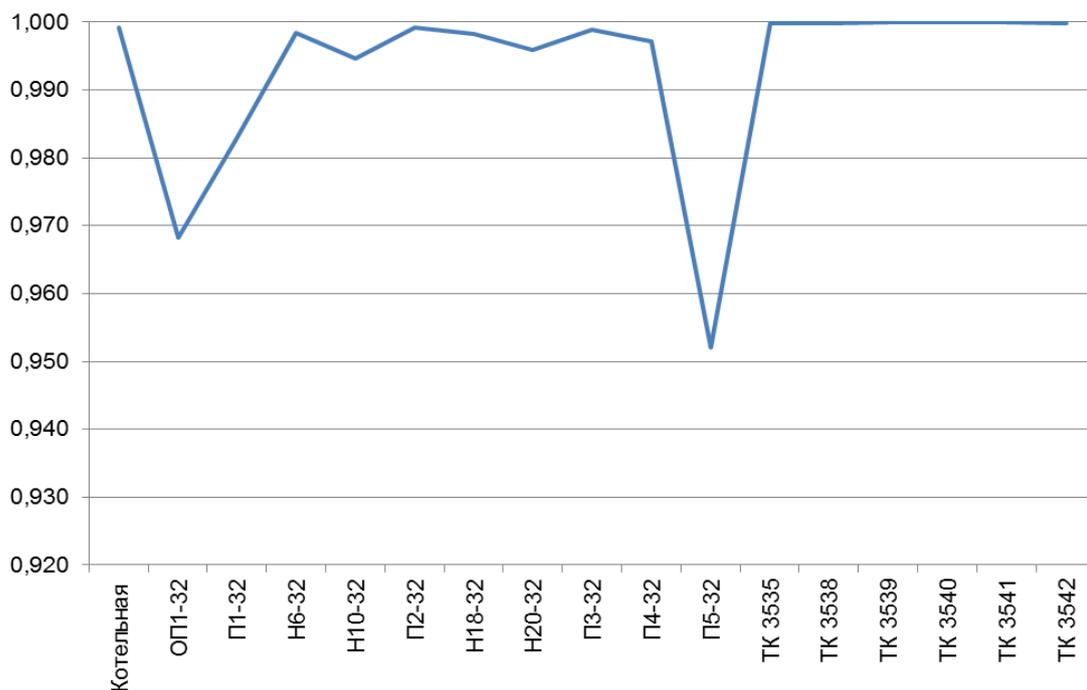
Рис. 2.33. Расчетный участок теплосети от котельной Арбеково до ЦТП-339

Таблица 2.14

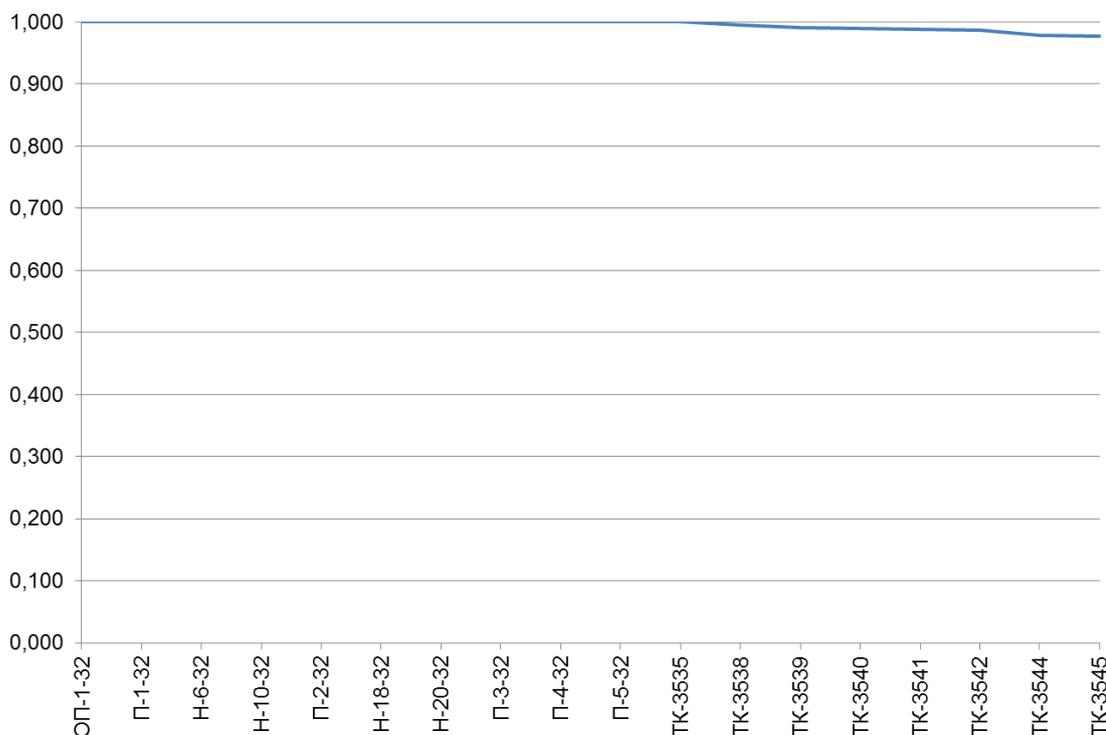
№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Длина участка, L, м	Год ввода в эксплуатацию	Диаметр условный, D <sub>у</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>р</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1	Основная линия									
1.1.1	Котельная «Арбеково»	ОП1-32	239,0	800	1986	9,941	0,0990	0,0009	0,9991	0,9991
1.1.2	ОП1-32	П1-32	1451,0	800	1986	18,286	0,0990	0,0323	0,9682	0,9674
1.1.3	П1-32	Н6-32	1064,0	800	1986	15,622	0,0990	0,0172	0,9829	0,9508
1.1.4	Н6-32	Н10-32	339,0	800	1986	10,630	0,0990	0,0016	0,9984	0,9493
1.1.5	Н10-32	П2-32	610,0	800	1986	12,496	0,0990	0,0055	0,9946	0,9441
1.1.6	П2-32	Н18-32	236,0	800	1986	9,920	0,0990	0,0009	0,9991	0,9433
1.1.7	Н18-32	Н20-32	344,0	800	1986	10,664	0,0990	0,0017	0,9983	0,9417
1.1.8	Н20-32	П3-32	610,0	700	1986	11,534	0,0990	0,0041	0,9959	0,9378
1.1.9	П3-32	П4-32	324,0	700	1986	9,856	0,0990	0,0012	0,9988	0,9368
1.1.10	П4-32	П5-32	519,0	700	1986	11,000	0,0990	0,0028	0,9972	0,9341
1.1.11	П5-32	ТК 3535	1867,0	700	1985	18,908	0,1110	0,0491	0,9521	0,8894
1.2	Резервная линия									
1.2.1	Котельная «Арбеково»	ТК 3101	45,0	500	1981	7,4821	0,19544	0,00004	0,9999	0,9999
1.2.2	ТК 3101	ТК 3102	58,0	700	1982	8,2957	0,16680	0,00012	0,9999	0,9998
1.2.3	ТК 3102	ТК 3108	1086,0	700	1983	14,326	0,14404	0,01964	0,9805	0,9804
1.2.4	ТК 3108	ТК 3109	178,0	700	1984	8,9996	0,12577	0,00044	0,9996	0,9800
1.2.5	ТК 3109	ТК 3110	89,0	700	1985	8,4775	0,11100	0,00014	0,9999	0,9798
1.2.6	ТК 3110	ТК 3113	471,0	700	1986	10,718	0,09897	0,00232	0,9977	0,9775
1.2.7	ТК 3113	ТК 3114	820,0	700	1987	12,765	0,08911	0,00703	0,9930	0,9707
1.2.8	ТК 3114	ТК3614	55,0	500	1988	7,5213	0,08099	0,00002	0,9999	0,9707
1.2.9	ТК3614	ТК 3402	600,0	500	1989	9,6563	0,07428	0,00145	0,9986	0,9693
1.2.10	ТК 3402	ТК 3403	284,0	400	1990	7,8503	0,06873	0,00016	0,9998	0,9691
1.2.11	ТК 3403	ТК 3519	32,0	500	1991	7,4312	0,06413	0,00001	0,9999	0,9691
1.2.12	ТК 3519	ТК 3520	420,0	500	1992	8,9512	0,06034	0,00047	0,9995	0,9687
1.2.13	ТК 3520	ТК 3521	153,1	500	1993	7,906	0,0572	0,00008	0,9999	0,9686

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Длина участка, L, м	Год ввода в эксплуатацию	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.2.14	TK 3521	TK 3522	276,9	500	1994	8,391	0,0500	0,00019	0,9998	0,9684
1.2.15	TK 3522	TK 3523	62,0	500	1995	7,549	0,0500	0,00001	0,9999	0,9684
1.2.16	TK 3523	TK 3524	130,5	400	1996	7,390	0,0500	0,00003	0,9999	0,9684
1.2.17	TK 3524	TK 3525	132,3	400	1997	7,396	0,0500	0,00003	0,9999	0,9683
1.2.18	TK 3525	TK 3526	66,9	400	1998	7,200	0,0500	0,00001	0,9999	0,9683
1.2.19	TK 3526	TK 3527	217,0	400	1999	7,649	0,0500	0,00006	0,9999	0,9683
1.2.20	TK 3527	TK 3528	138,2	400	2000	7,413	0,0500	0,00003	0,9999	0,9682
1.2.21	TK 3528	TK 3529	129,1	400	2001	7,386	0,0500	0,00003	0,9999	0,9682
1.2.22	TK 3529	TK 3530	129,6	400	2002	7,388	0,0500	0,00003	0,9999	0,9682
1.2.23	TK 3530	TK 3531	173,0	400	2003	7,518	0,0500	0,00004	0,9999	0,9681
1.2.24	TK 3531	TK 3532	110,5	400	2004	7,330	0,0500	0,00002	0,9999	0,9681
1.2.25	TK 3532	TK 3535	252,0	400	2005	7,754	0,0500	0,00009	0,9999	0,9680
Итого по участку 1										1,0000
2.1	Основная линия									
2.1.1	TK 3535	TK 3538	172,0	500	1985	7,980	0,1110	0,00018	0,9998	0,9998
2.1.2	TK 3538	TK 3539	174,0	500	1985	7,987	0,1110	0,00018	0,9998	0,9996
2.1.3	TK 3539	TK 3540	66,0	500	1985	7,564	0,1110	0,00004	0,9999	0,9996
2.1.4	TK 3540	TK 3541	77,0	500	1985	7,607	0,1110	0,00005	0,9999	0,9996
2.1.5	TK 3541	TK 3542	69,0	500	1985	7,576	0,1110	0,00004	0,9999	0,9995
2.1.6	TK 3542	ЦТП 339	300,0	250	1981	7,080	0,1954	0,00017	0,9998	0,9993

По результатам расчёта надёжности участка теплосети от котельной «Арбеково», представленного в таблице 2.14, вероятность безаварийной работы участка Котельная – П1-32 – П5-32 – ТК 3535 – ЦТП 339 составляет 0,9993. Показатель надёжности участка теплосети выше нормативного значения.



**Рис. 2.34. Вероятности безаварийной работы каждого участка от котельной Арбеково до ЦТП-339 на 2029 г.**



**Рис. 2.35. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной Арбеково до ЦТП-339 на 2029 г.**

Из анализа данных в табл. 2.14 и рис. 2.34 – 2.35 следует, что к окончанию планируемого периода (2029 г.) тепломагистраль будет иметь высокие показатели надёжности ввиду наличия резервных трубопроводов.

### Раздел 3. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей котельных ООО «СКМ Энергосервис», ОАО «Энергоснабжающее предприятие»

#### 3.1. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от котельной «Западная» до ТК-209'

Расчетный участок от котельной Западная до ТК-209' г. Пенза представлен на рис. 3.1. Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали на 2019 год приведены в табл. 3.1.

На рис. 3.2 – 3.3 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути.

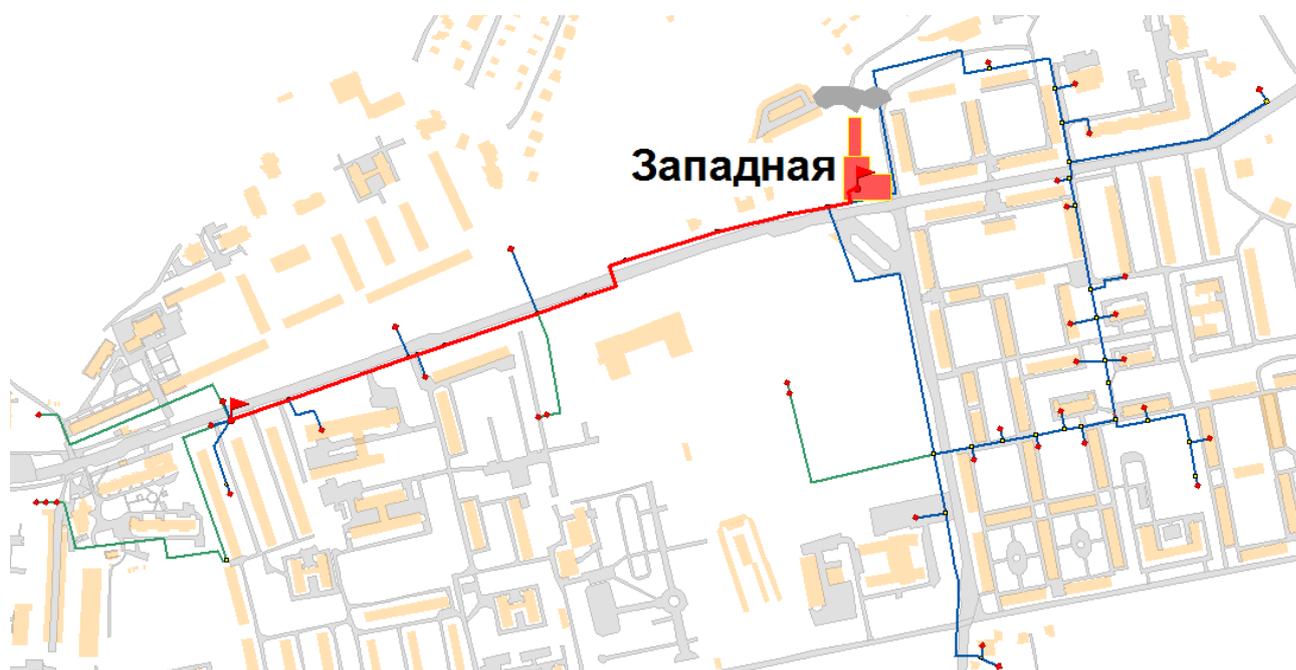
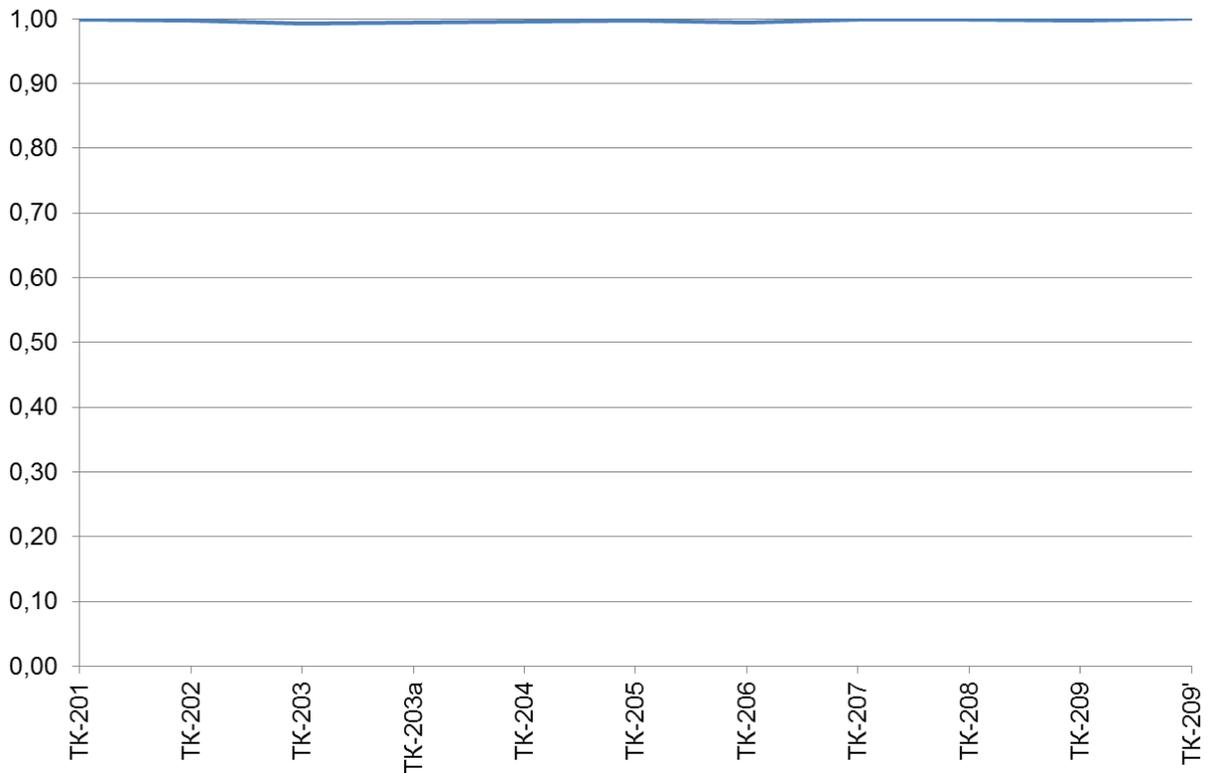


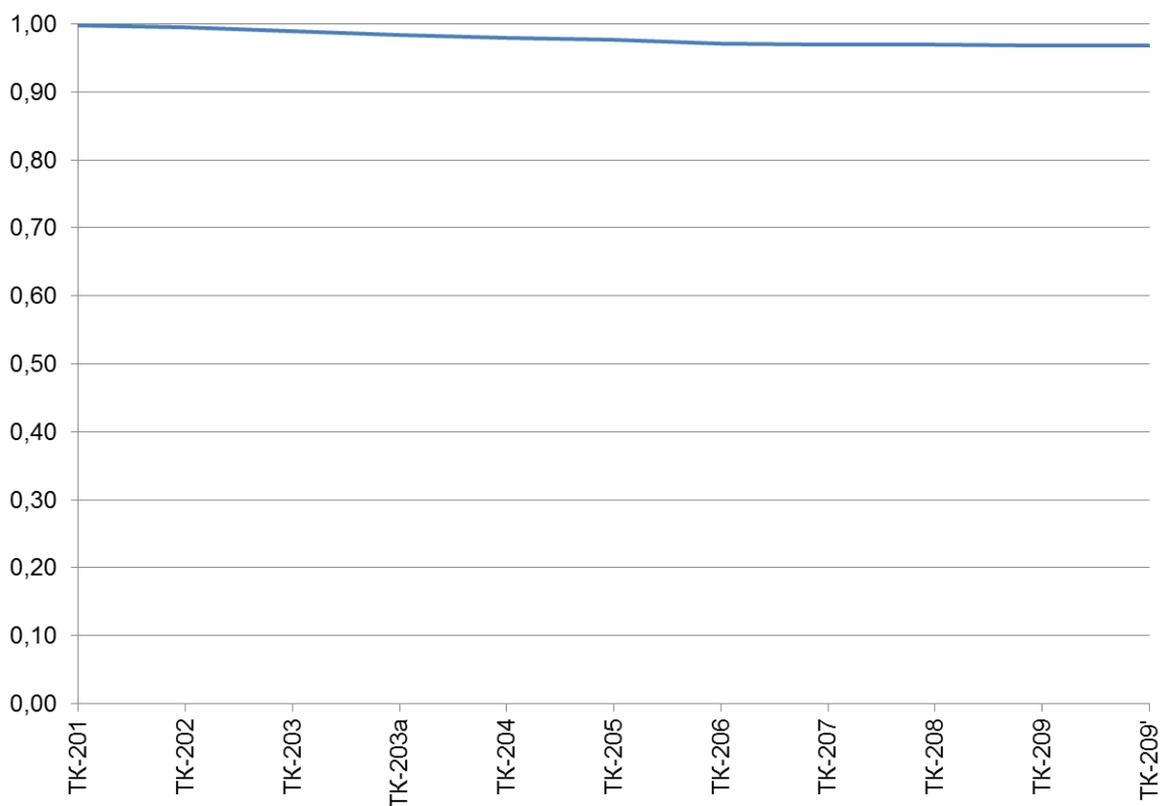
Рис. 3.1. Расчетный участок теплосети от котельной «Западная» до ТК-209'

Таблица 3.1

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>у</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>р</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1.1	Котельная	TK-201	1971	20,0	500	7,384	21,951	0,0017	0,9983	0,9983
1.1.2	TK-201	TK-202	1971	45,0	400	7,134	21,951	0,0031	0,9969	0,9952
1.1.3	TK-202	TK-203	1971	85,0	400	7,254	21,951	0,0066	0,9934	0,9886
1.1.4	TK-203	TK-203а	1971	110,0	300	6,941	21,951	0,0058	0,9942	0,9829
1.1.5	TK-203а	TK-204	1971	80,0	300	6,877	21,951	0,0038	0,9962	0,9792
1.1.6	TK-204	TK-205	1971	60,0	300	6,835	21,951	0,0026	0,9974	0,9766
1.1.7	TK-205	TK-206	1971	112,0	300	6,945	21,951	0,0059	0,9941	0,9709
1.1.8	TK-206	TK-207	1971	33,0	250	6,625	21,951	0,0008	0,9992	0,9701
1.1.9	TK-207	TK-208	1971	10,0	250	6,585	21,951	0,0002	0,9998	0,9699
1.1.10	TK-208	TK-209	1971	70,0	250	6,688	21,951	0,0021	0,9979	0,9679
1.1.11	TK-209	TK-209'	2013	315,0	200	6,846	0,05	0,0000	1,0000	0,9679



**Рис. 3.2. Вероятности безаварийной работы каждого участка от котельной «Западная» до ТК-209' на 2019 г.**



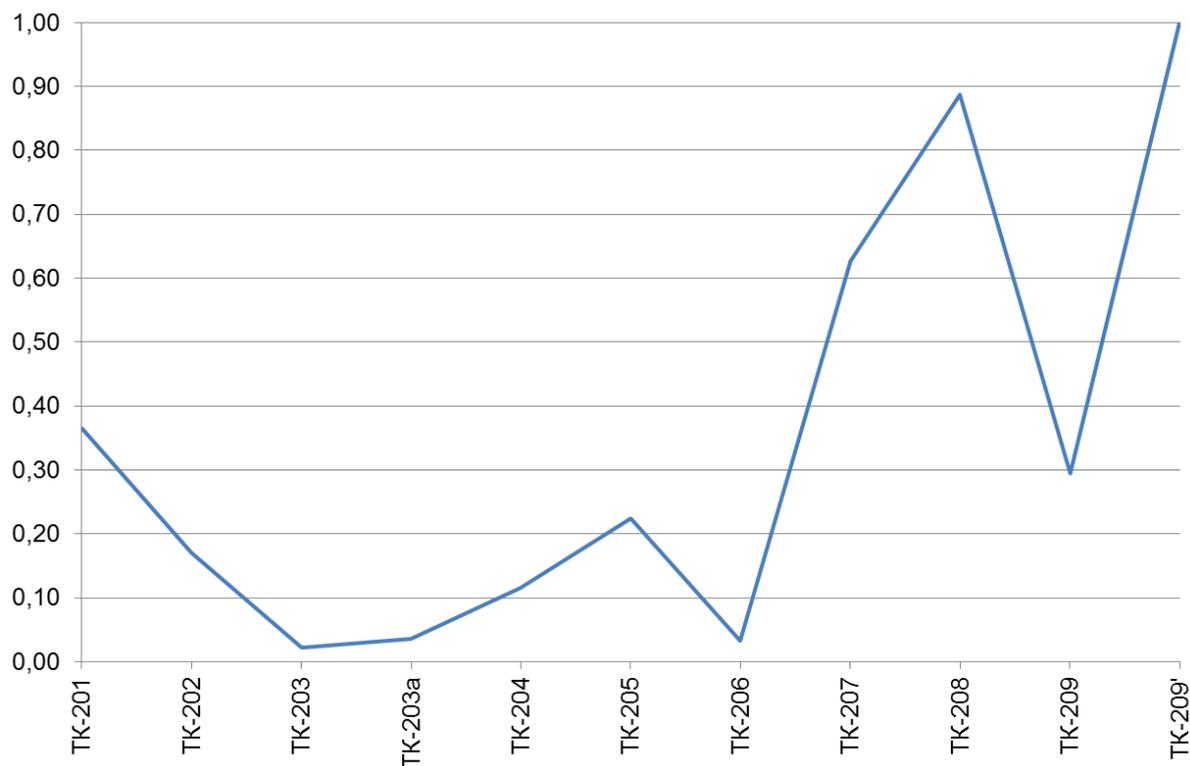
**Рис. 3.3. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной «Западная» до ТК-209' на 2019 г.**

Из анализа табл. 3.1 и рис. 3.2– 3.3 следует, что в 2019 г. расчетный участок будет обладать высокими показателями надежности.

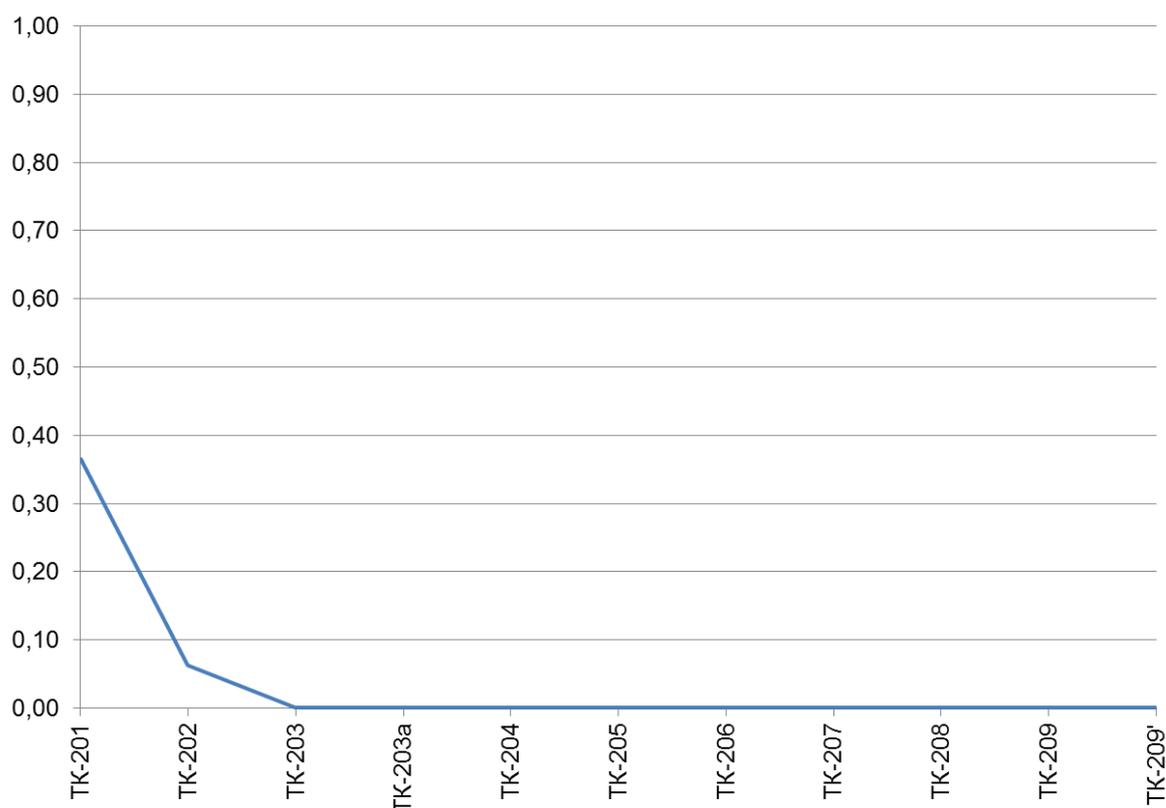
Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2029 год приведены в табл. 3.2 и на рис. 3.4 – 3.5.

Таблица 3.2

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1.1	Западная	ТК-201	1971	20,0	500	7,384	21,951	0,0017	0,9983	0,9983
1.1.2	ТК-201	ТК-202	1971	45,0	400	7,134	21,951	0,0031	0,9969	0,9952
1.1.3	ТК-202	ТК-203	1971	85,0	400	7,254	21,951	0,0066	0,9934	0,9886
1.1.4	ТК-203	ТК-203a	1971	110,0	300	6,941	21,951	0,0058	0,9942	0,9829
1.1.5	ТК-203a	ТК-204	1971	80,0	300	6,877	21,951	0,0038	0,9962	0,9792
1.1.6	ТК-204	ТК-205	1971	60,0	300	6,835	21,951	0,0026	0,9974	0,9766
1.1.7	ТК-205	ТК-206	1971	112,0	300	6,945	21,951	0,0059	0,9941	0,9709
1.1.8	ТК-206	ТК-207	1971	33,0	250	6,625	21,951	0,0008	0,9992	0,9701
1.1.9	ТК-207	ТК-208	1971	10,0	250	6,585	21,951	0,0002	0,9998	0,9699
1.1.10	ТК-208	ТК-209	1971	70,0	250	6,688	21,951	0,0021	0,9979	0,9679
1.1.11	ТК-209	ТК-209'	2013	315,0	200	6,846	0,05	0,0000	1,0000	0,9679
1.1.1	Западная	ТК-201	1971	20,0	500	7,384	21,951	0,0017	0,9983	0,9983



**Рис. 3.4. Вероятности безаварийной работы каждого участка от котельной Западная до ТК-209' на 2029 г.**



**Рис. 3.5. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной «Западная» до ТК-209' на 2029 г.**

Из анализа результатов расчетов за 2029 г. следует, что к этому периоду расчетный участок будет обладать крайне низкими показателями безотказной работы из-за продолжительного срока эксплуатации тепловых сетей. Поэтому, рекомендуется осуществить перекладки участков со сроком службы более 40 лет.

### 3.2. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от котельной «Южная» до ТК-31

Расчетный участок от котельной «Южная» до ТК-31 г. Пенза представлен на рис. 3.6. Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2019 год приведены в табл. 3.3. На рис. 3.7 – 3.8 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути.

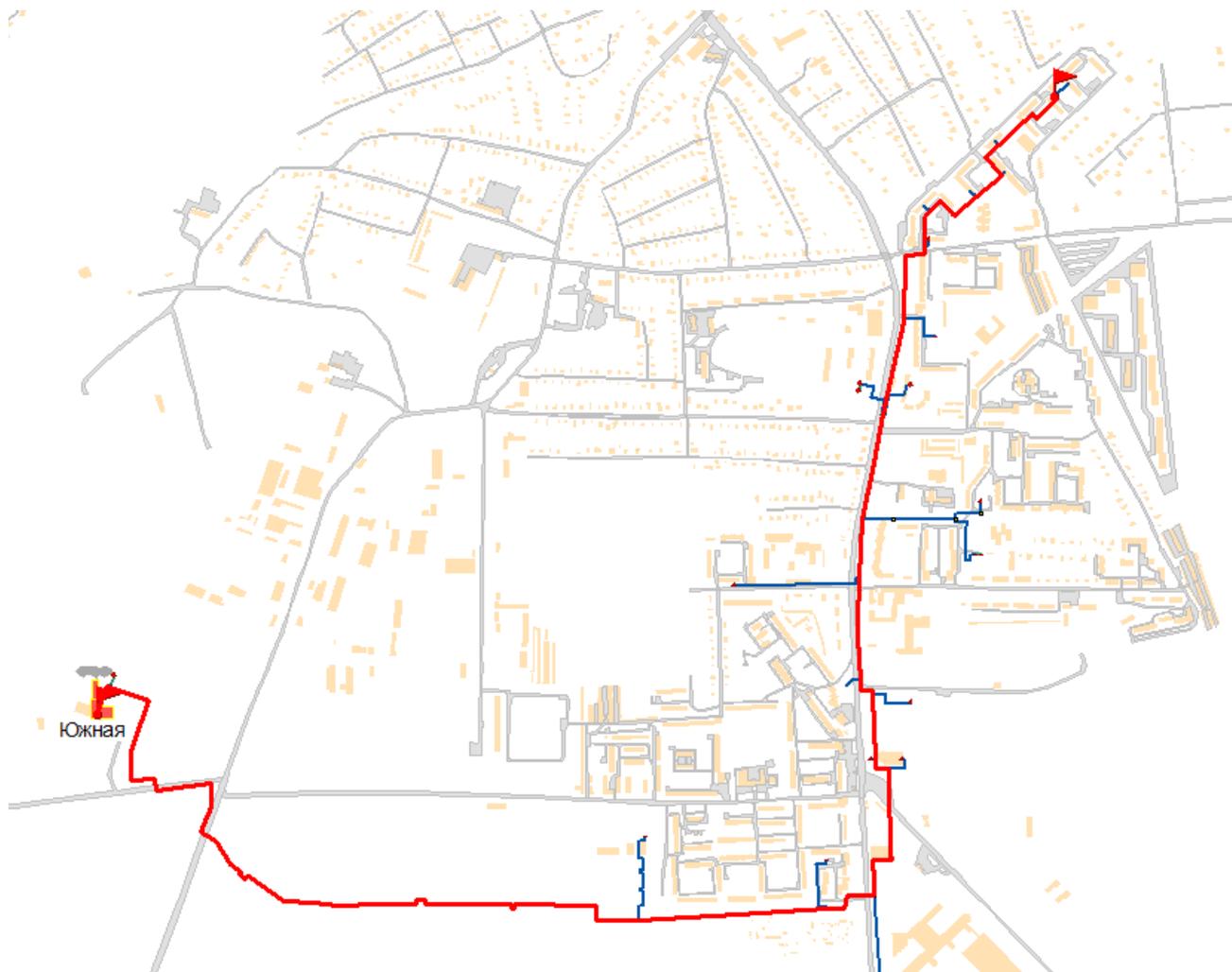


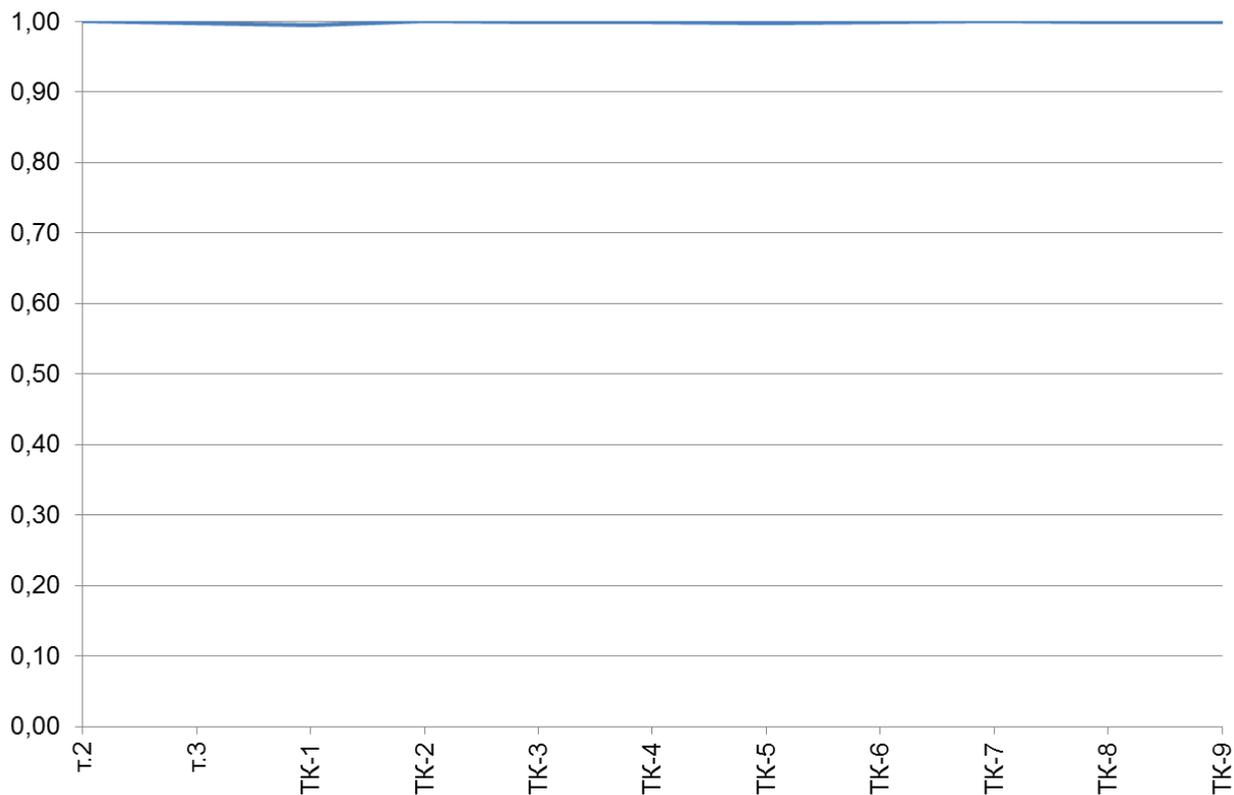
Рис. 3.6. Расчетный участок теплосети от котельной «Южная» до ТК-31

Из анализа табл. 3.3 и рис. 3.7 – 3.8 следует, что в 2019 г. расчетный участок будет обладать высокими показателями надежности.

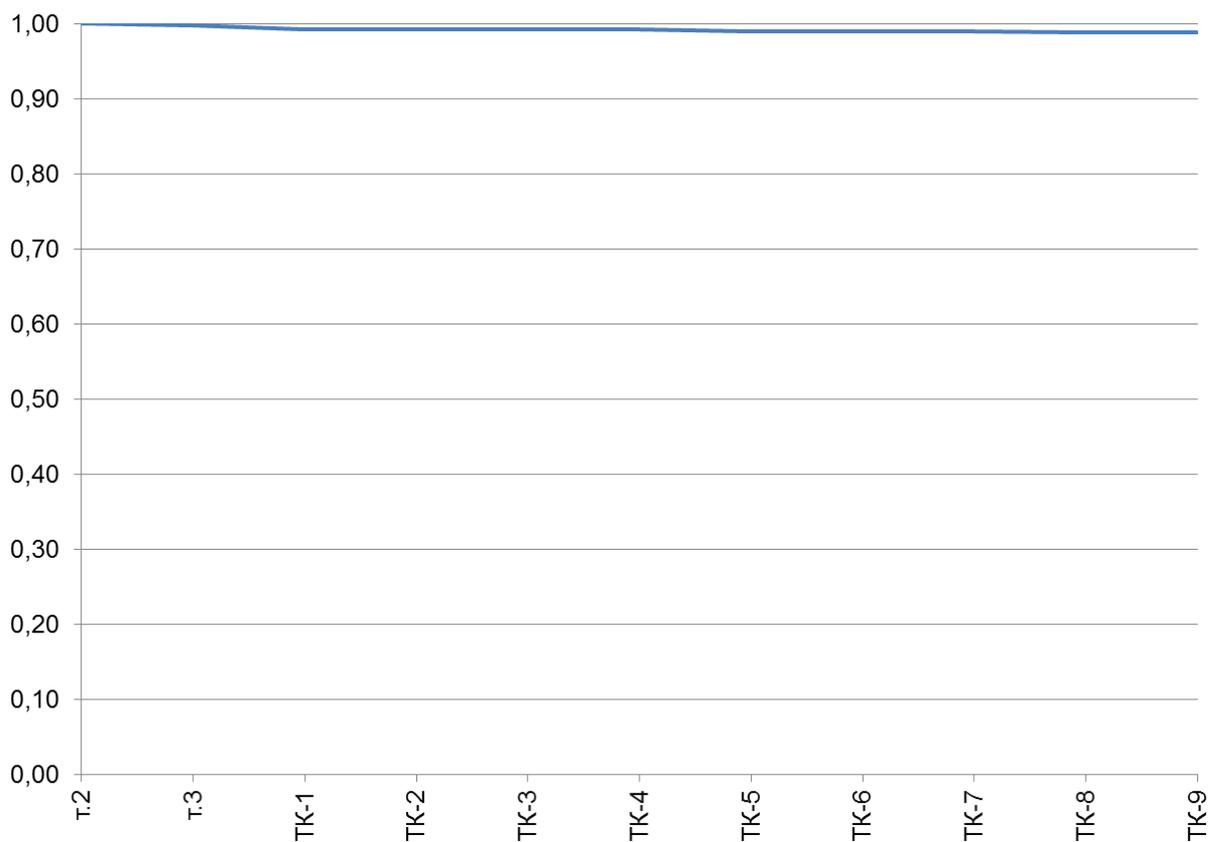
Таблица 3.3

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>у</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>р</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1.1	Южная	т.2	1986	87,0	500	7,647	0,232	0,0001	0,9999	0,9999
1.1.2	т.2	т.3	1986	187,0	900	10,127	0,232	0,0018	0,9982	0,9981
1.1.3	т.3	ТК-1	1986	1911,0	800	21,454	0,232	0,1276	0,8802	0,9929
1.1.4	ТК-1	ТК-2	1986	15,0	800	8,399	0,232	0,0000	1,0000	0,9929
1.1.5	ТК-2	ТК-3	1986	85,0	800	8,881	0,232	0,0004	0,9996	0,9925
1.1.6	ТК-3	ТК-4	1986	88,0	800	8,901	0,232	0,0004	0,9996	0,9921
1.1.7	ТК-4	ТК-5	1986	256,0	700	9,457	0,232	0,0017	0,9983	0,9904
1.1.8	ТК-5	ТК-6	1986	162,0	700	8,906	0,232	0,0007	0,9993	0,9897
1.1.9	ТК-6	ТК-7	1986	49,0	700	8,243	0,232	0,0001	0,9999	0,9896
1.1.10	ТК-7	ТК-8	1986	241,0	700	9,369	0,232	0,0015	0,9985	0,9882
1.1.11	ТК-8	ТК-9	1986	71,0	700	8,372	0,232	0,0002	0,9998	0,9880
1.1.12	ТК-9	ТК-10	1986	88,0	700	8,472	0,232	0,0003	0,9997	0,9877
1.1.13	ТК-10	ТК-11	1986	76,0	700	8,401	0,232	0,0002	0,9998	0,9875
1.1.14	ТК-11	ТК-12	1986	93,0	500	7,670	0,232	0,0001	0,9999	0,9874
1.1.15	ТК-12	ТК-13	1986	83,0	500	7,631	0,232	0,0001	0,9999	0,9873
1.1.16	ТК-13	ТК-14	1986	45,0	500	7,482	0,232	0,0000	1,0000	0,9873
1.1.17	ТК-14	ТК-15	1986	26,0	500	7,408	0,232	0,0000	1,0000	0,9873
1.1.18	ТК-15	ТК-16	1986	115,0	500	7,756	0,232	0,0002	0,9998	0,9871

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1.19	TK-16	TK-17	1986	35,0	500	7,443	0,232	0,0000	1,0000	0,9871
1.1.20	TK-17	TK-18	1986	122,0	500	7,784	0,232	0,0002	0,9998	0,9869
1.1.21	TK-18	TK-19	1986	147,0	500	7,882	0,232	0,0003	0,9997	0,9866
1.1.22	TK-19	TK-20	1986	123,0	500	7,788	0,232	0,0002	0,9998	0,9864
1.1.23	TK-20	TK-21	1986	115,0	500	7,756	0,232	0,0002	0,9998	0,9862
1.1.24	TK-21	TK-22	1986	134,0	500	7,831	0,232	0,0002	0,9998	0,9860
1.1.25	TK-22	TK-23	1986	118,0	500	7,768	0,232	0,0002	0,9998	0,9858
1.1.26	TK-23	TK-24	1986	161,0	500	7,937	0,232	0,0003	0,9997	0,9855
1.1.27	TK-24	TK-25	1986	68,0	300	6,852	0,232	0,0000	1,0000	0,9855
1.1.28	TK-25	TK-26	1986	82,0	300	6,881	0,232	0,0000	1,0000	0,9855
1.1.29	TK-26	TK-27	1998	173,0	250	6,863	0,06	0,0000	1,0000	0,9855
1.1.30	TK-27	TK-28	2004	78,0	250	6,701	0,05	0,0000	1,0000	0,9855
1.1.31	TK-28	TK-29	2004	105,0	200	6,572	0,05	0,0000	1,0000	0,9855
1.1.32	TK-29	TK-30	2004	151,0	200	6,632	0,05	0,0000	1,0000	0,9855
1.1.33	TK-30	TK-31	2004	89,0	200	6,551	0,05	0,0000	1,0000	0,9855



**Рис. 3.7. Вероятности безаварийной работы каждого участка от котельной «Южная» до ТК-31 на 2019 г.**



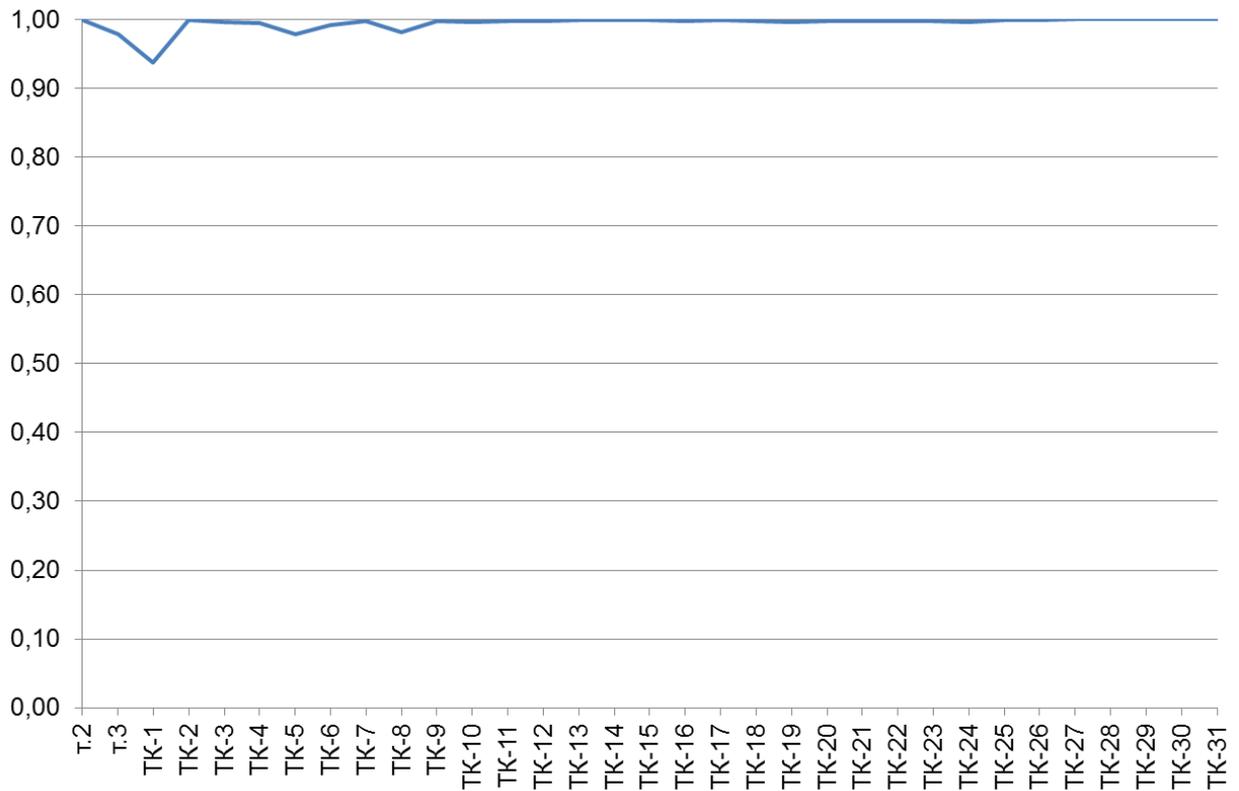
**Рис. 3.8. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной «Южная» до ТК-31 на 2019 г.**

Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2029 год приведены в табл. 3.4 и на рис. 3.9 – 3.10.

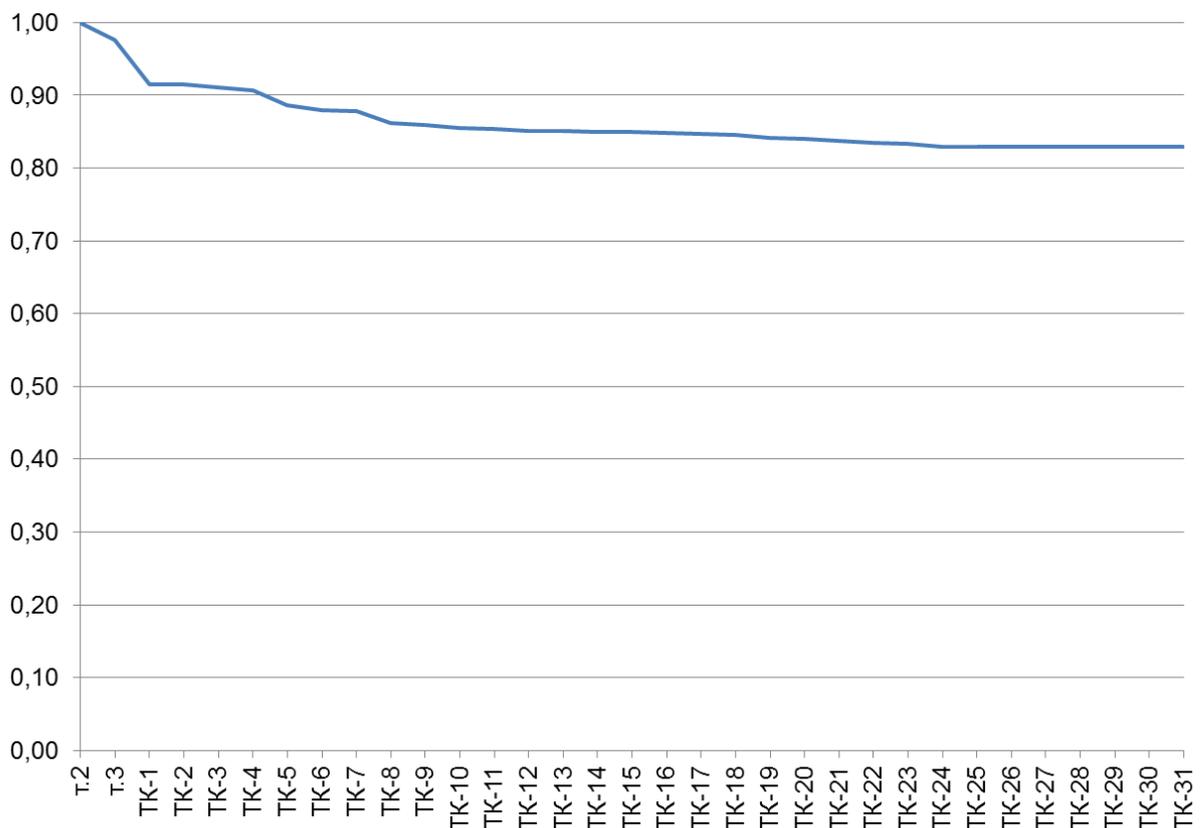
Таблица 3.4

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1.1	Котельная	т.2	1986	87,0	500	7,647	2,926	0,0015	0,9985	0,9985
1.1.2	т.2	т.3	1986	187,0	900	10,127	2,926	0,0222	0,9780	0,9765
1.1.3	т.3	ТК-1	1986	1911,0	800	21,454	2,926	1,6099	0,9371	0,9151
1.1.4	ТК-1	ТК-2	1986	15,0	800	8,399	2,926	0,0006	0,9994	0,9146
1.1.5	ТК-2	ТК-3	1986	85,0	800	8,881	2,926	0,0044	0,9956	0,9105
1.1.6	ТК-3	ТК-4	1986	88,0	800	8,901	2,926	0,0046	0,9954	0,9063
1.1.7	ТК-4	ТК-5	1986	256,0	700	9,457	2,926	0,0216	0,9786	0,8870
1.1.8	ТК-5	ТК-6	1986	162,0	700	8,906	2,926	0,0085	0,9915	0,8794
1.1.9	ТК-6	ТК-7	1986	49,0	700	8,243	2,926	0,0017	0,9983	0,8779
1.1.10	ТК-7	ТК-8	1986	241,0	700	9,369	2,926	0,0191	0,9811	0,8613
1.1.11	ТК-8	ТК-9	1986	71,0	700	8,372	2,926	0,0028	0,9972	0,8589
1.1.12	ТК-9	ТК-10	1986	88,0	700	8,472	2,926	0,0037	0,9963	0,8557
1.1.13	ТК-10	ТК-11	1986	76,0	700	8,401	2,926	0,0030	0,9970	0,8532
1.1.14	ТК-11	ТК-12	1986	93,0	500	7,670	2,926	0,0017	0,9983	0,8517
1.1.15	ТК-12	ТК-13	1986	83,0	500	7,631	2,926	0,0014	0,9986	0,8505
1.1.16	ТК-13	ТК-14	1986	45,0	500	7,482	2,926	0,0006	0,9994	0,8500
1.1.17	ТК-14	ТК-15	1986	26,0	500	7,408	2,926	0,0003	0,9997	0,8498
1.1.18	ТК-15	ТК-16	1986	115,0	500	7,756	2,926	0,0024	0,9976	0,8477

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1.19	TK-16	TK-17	1986	35,0	500	7,443	2,926	0,0004	0,9996	0,8474
1.1.20	TK-17	TK-18	1986	122,0	500	7,784	2,926	0,0026	0,9974	0,8452
1.1.21	TK-18	TK-19	1986	147,0	500	7,882	2,926	0,0036	0,9964	0,8421
1.1.22	TK-19	TK-20	1986	123,0	500	7,788	2,926	0,0027	0,9973	0,8399
1.1.23	TK-20	TK-21	1986	115,0	500	7,756	2,926	0,0024	0,9976	0,8378
1.1.24	TK-21	TK-22	1986	134,0	500	7,831	2,926	0,0031	0,9969	0,8352
1.1.25	TK-22	TK-23	1986	118,0	500	7,768	2,926	0,0025	0,9975	0,8332
1.1.26	TK-23	TK-24	1986	161,0	500	7,937	2,926	0,0043	0,9957	0,8296
1.1.27	TK-24	TK-25	1986	68,0	300	6,852	2,926	0,0004	0,9996	0,8292
1.1.28	TK-25	TK-26	1986	82,0	300	6,881	2,926	0,0005	0,9995	0,8288
1.1.29	TK-26	TK-27	1998	173,0	250	6,863	0,167	0,0001	0,9999	0,8287
1.1.30	TK-27	TK-28	2004	78,0	250	6,701	0,081	0,0000	1,0000	0,8287
1.1.31	TK-28	TK-29	2004	105,0	200	6,572	0,081	0,0000	1,0000	0,8287
1.1.32	TK-29	TK-30	2004	151,0	200	6,632	0,081	0,0000	1,0000	0,8287
1.1.33	TK-30	TK-31	2004	89,0	200	6,551	0,081	0,0000	1,0000	0,8287



**Рис. 3.9. Вероятности безаварийной работы каждого участка от котельной «Южная» до ТК-31 на 2029 г.**



**Рис. 3.10. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной «Южная» до ТК-31 на 2029 г.**

Из анализа результатов за 2029 г. следует, что к этому периоду расчетный участок будет обладать показателями надежности ниже допустимых значений. Поэтому рекомендуется перекладка трубопроводов со сроком службы выше расчетного, а также строительство резервной тепломагистрали.

### 3.3. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от котельной ОАО «ЭСП» до УП-1

Расчетный участок от котельной ОАО «ЭСП» до УП-1 представлен на рис. 3.11.

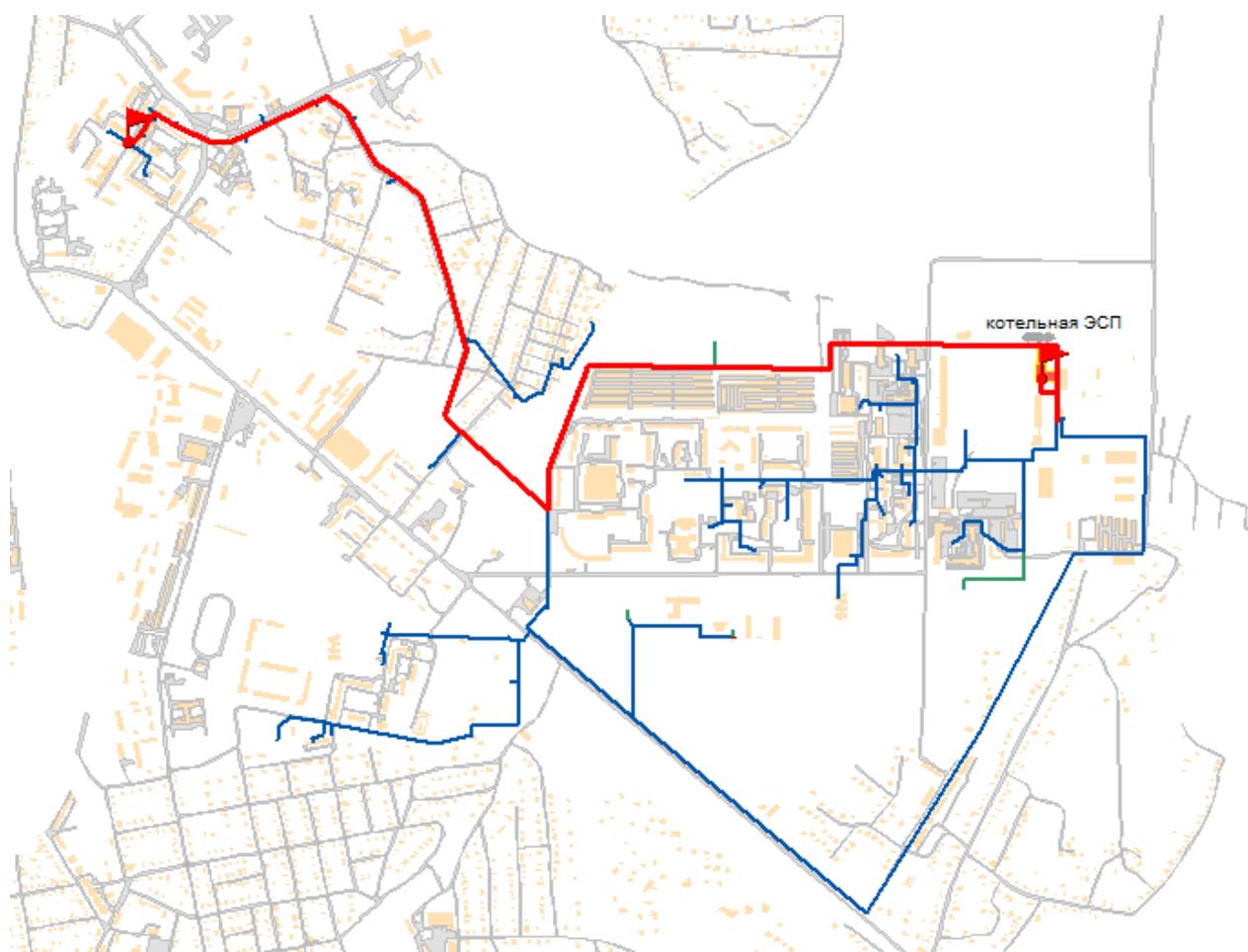
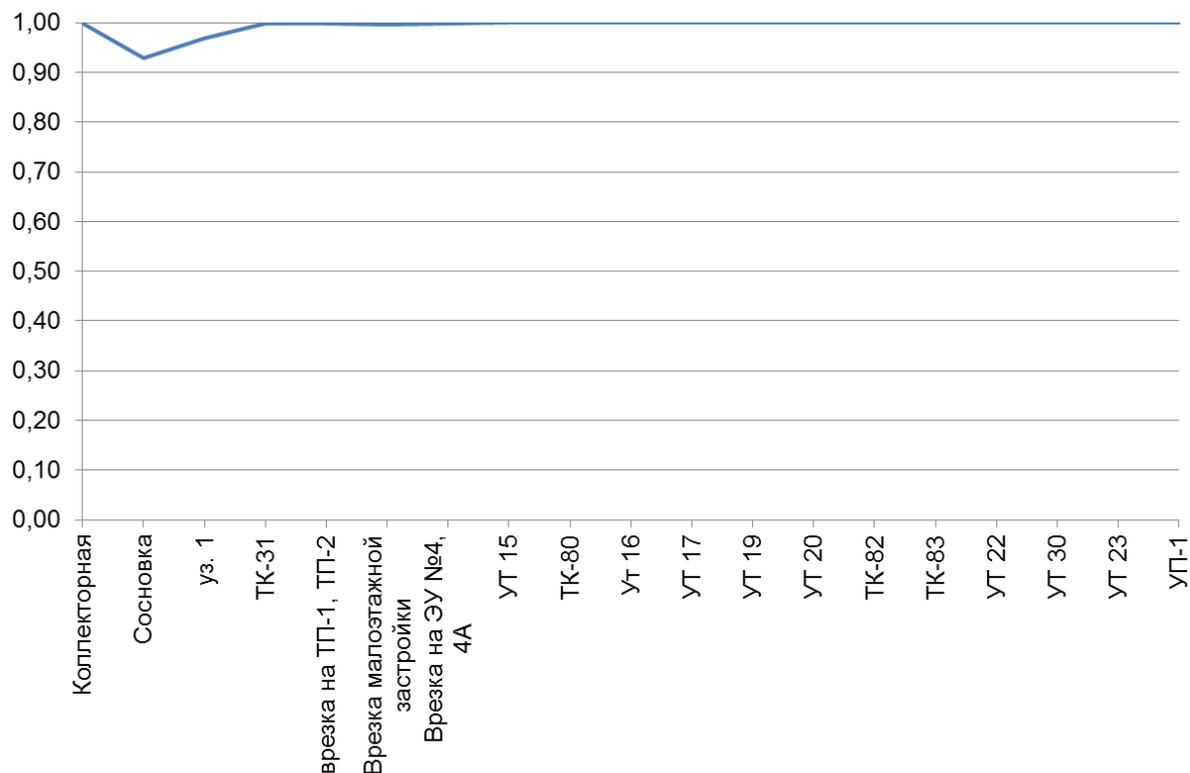


Рис. 3.11. Расчетный участок теплосети от котельной ОАО «ЭСП» до УП-1

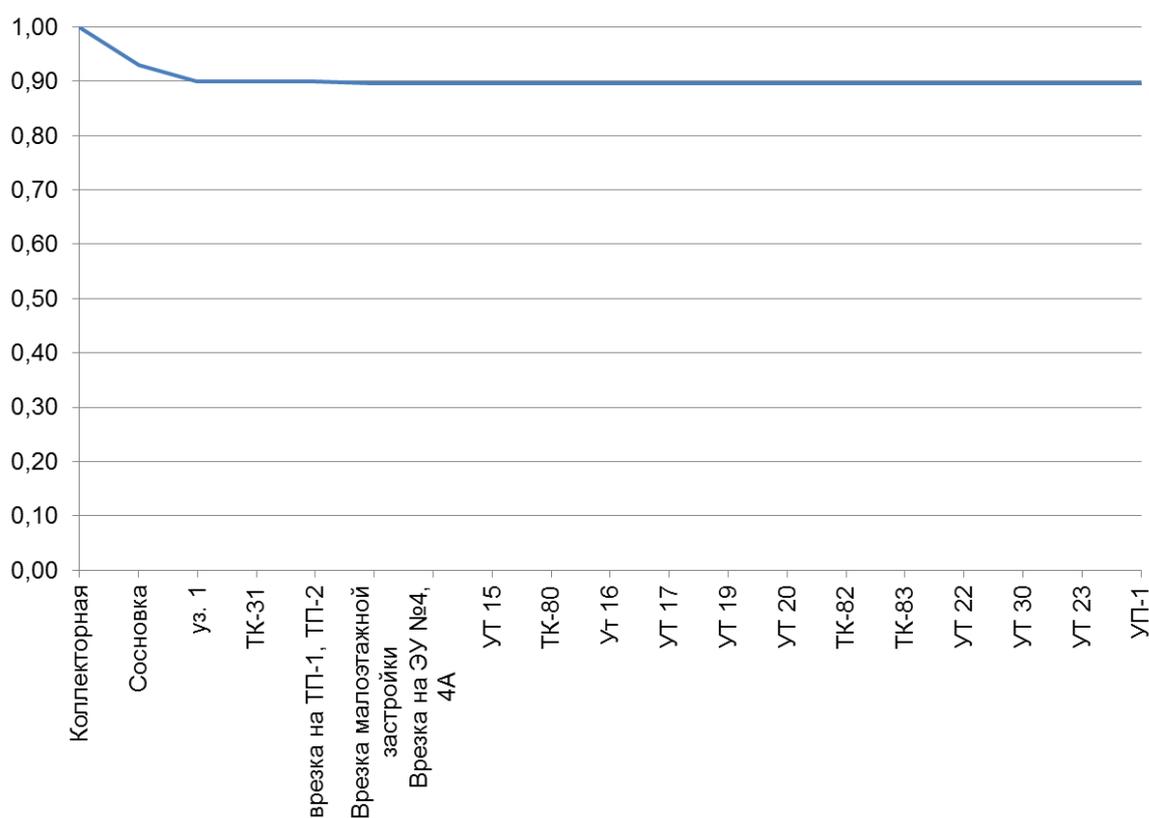
Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2019 год приведены в табл. 3.5. На рис. 3.12 – 3.13 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути.

Таблица 3.5

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1.1	ЭСП	Коллекторная	1983	50,0	700	8,249	0,419	0,0003	0,9997	0,9997
1.1.2	Коллекторная	Сосновка	1983	1200,0	700	14,995	0,419	0,0734	0,9292	0,9289
1.1.3	Сосновка	уз. 1	1983	800,0	700	12,648	0,419	0,0314	0,9691	0,9002
1.1.4	уз. 1	ТК-31	1983	300,0	300	7,344	0,419	0,0005	0,9995	0,8998
1.1.5	ТК-31	врезка на ТП-1, ТП-2	1983	360,0	300	7,471	0,419	0,0006	0,9994	0,8992
1.1.6	врезка на ТП-1, ТП-2	Врезка малоэтажной застройки	1983	680,0	300	8,151	0,419	0,0032	0,9968	0,8964
1.1.7	Врезка малоэтажной застройки	Врезка на ЭУ №4, 4А	1983	295,0	300	7,333	0,419	0,0005	0,9995	0,8959
1.1.8	Врезка на ЭУ №4, 4А	УТ 15	1983	69,0	300	6,854	0,419	0,0001	0,9999	0,8958
1.1.9	УТ 15	ТК-80	1983	15,0	300	6,739	0,419	0,0000	1,0000	0,8958
1.1.10	ТК-80	Ут 16	1983	29,0	300	6,769	0,419	0,0000	1,0000	0,8958
1.1.11	Ут 16	УТ 17	1983	110,0	300	6,941	0,419	0,0001	0,9999	0,8957
1.1.12	УТ 17	УТ 19	1983	72,0	300	6,860	0,419	0,0001	0,9999	0,8956
1.1.13	УТ 19	УТ 20	1983	100,0	300	6,920	0,419	0,0001	0,9999	0,8955
1.1.14	УТ 20	ТК-82	1983	60,0	350	7,004	0,419	0,0001	0,9999	0,8955
1.1.15	ТК-82	ТК-83	1983	186,0	250	6,886	0,419	0,0002	0,9998	0,8953
1.1.16	ТК-83	УТ 22	1983	22,0	200	6,464	0,419	0,0000	1,0000	0,8953
1.1.17	УТ 22	УТ 30	1983	22,0	200	6,464	0,419	0,0000	1,0000	0,8953
1.1.18	УТ 30	УТ 23	1983	32,0	200	6,477	0,419	0,0000	1,0000	0,8953
1.1.19	УТ 23	УП-1	1983	23,0	207	6,484	0,419	0,0000	1,0000	0,8953



**Рис. 3.12. Вероятности безаварийной работы каждого участка от котельной ОАО «ЭСП» до УП-1 на 2019 г.**



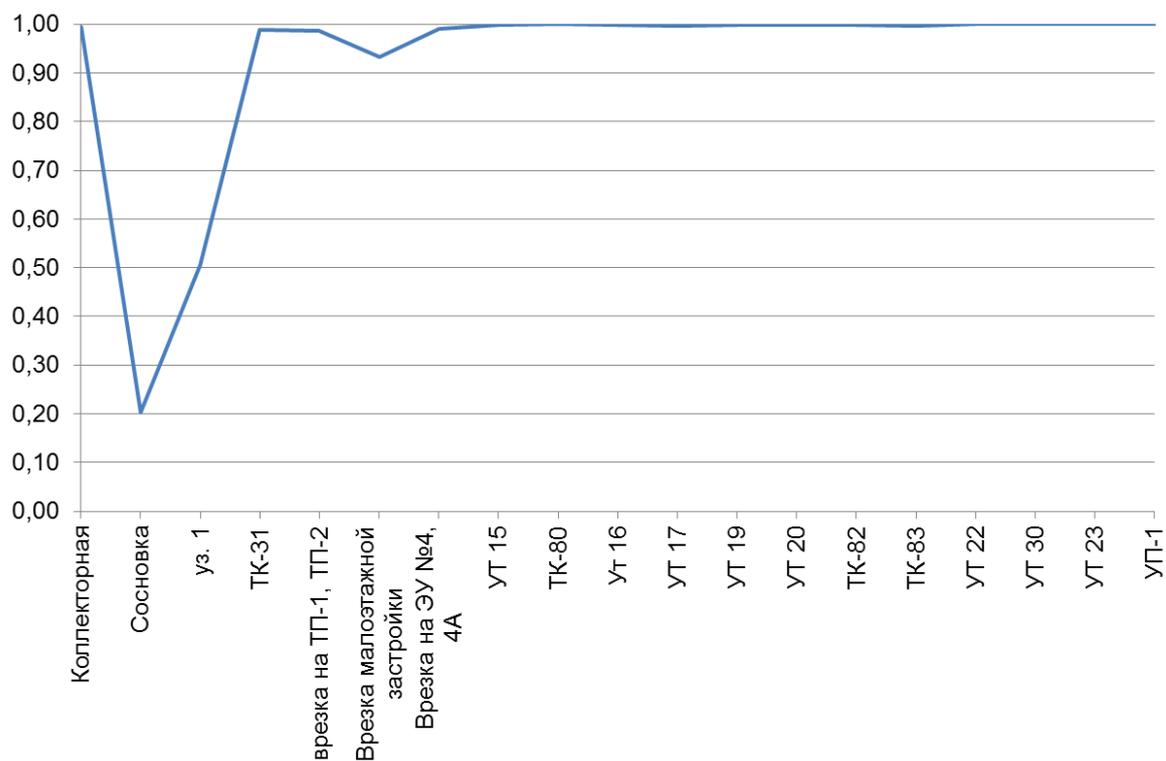
**Рис. 3.13. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной ОАО «ЭСП» до УП-1 на 2019 г.**

Из анализа табл. 3.5 и рис. 3.12 – 3.13 следует, что в 2019 г. расчетный участок будет обладать высокими показателями надежности.

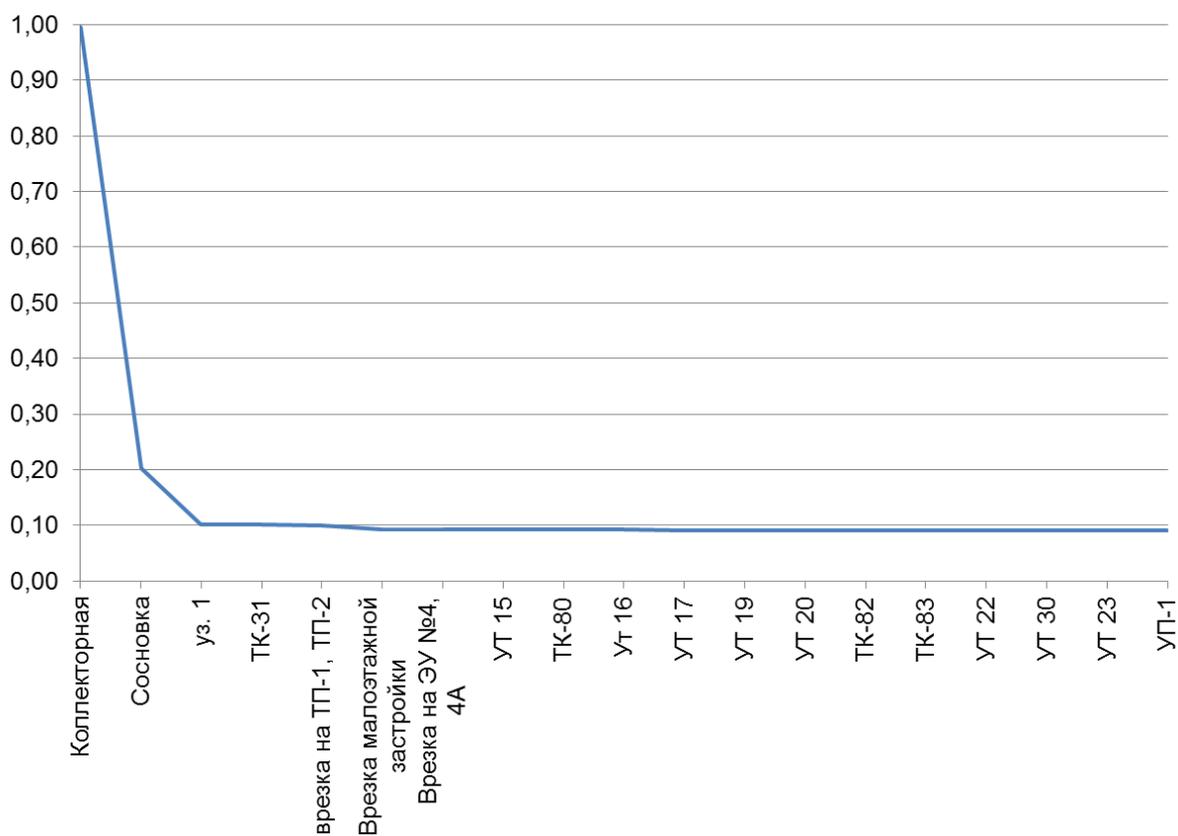
Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2029 год приведены в табл. 3.6 и на рис. 3.14 – 3.15.

Таблица 3.6

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
1.1.1	ЭСП	Коллекторная	1983	50,0	700	8,249	9,101	0,0055	0,9945	0,9945
1.1.2	Коллекторная	Сосновка	1983	1200,0	700	14,995	9,101	1,5940	0,2031	0,2020
1.1.3	Сосновка	уз. 1	1983	800,0	700	12,648	9,101	0,6821	0,5056	0,1021
1.1.4	уз. 1	ТК-31	1983	300,0	300	7,344	9,101	0,0105	0,9896	0,1011
1.1.5	ТК-31	врезка на ТП-1, ТП-2	1983	360,0	300	7,471	9,101	0,0140	0,9861	0,0997
1.1.6	врезка на ТП-1, ТП-2	Врезка малоэтажной застройки	1983	680,0	300	8,151	9,101	0,0693	0,9330	0,0930
1.1.7	Врезка малоэтажной застройки	Врезка на ЭУ №4, 4А	1983	295,0	300	7,333	9,101	0,0102	0,9899	0,0920
1.1.8	Врезка на ЭУ №4, 4А	УТ 15	1983	69,0	300	6,854	9,101	0,0013	0,9987	0,0919
1.1.9	УТ 15	ТК-80	1983	15,0	300	6,739	9,101	0,0002	0,9998	0,0919
1.1.10	ТК-80	Ут 16	1983	29,0	300	6,769	9,101	0,0005	0,9995	0,0919
1.1.11	Ут 16	УТ 17	1983	110,0	300	6,941	9,101	0,0024	0,9976	0,0916
1.1.12	УТ 17	УТ 19	1983	72,0	300	6,860	9,101	0,0014	0,9986	0,0915
1.1.13	УТ 19	УТ 20	1983	100,0	300	6,920	9,101	0,0021	0,9979	0,0913
1.1.14	УТ 20	ТК-82	1983	60,0	350	7,004	9,101	0,0014	0,9986	0,0912
1.1.15	ТК-82	ТК-83	1983	186,0	250	6,886	9,101	0,0037	0,9963	0,0908
1.1.16	ТК-83	УТ 22	1983	22,0	200	6,464	9,101	0,0001	0,9999	0,0908
1.1.17	УТ 22	УТ 30	1983	22,0	200	6,464	9,101	0,0001	0,9999	0,0908
1.1.18	УТ 30	УТ 23	1983	32,0	200	6,477	9,101	0,0002	0,9998	0,0908
1.1.19	УТ 23	УП-1	1983	23,0	207	6,484	9,101	0,0001	0,9999	0,0908



**Рис. 3.14. Вероятности безаварийной работы каждого участка от котельной ОАО «ЭСП» до УП-1 на 2029 г.**



**Рис. 3.15. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной ОАО «ЭСП» до УП-1 на 2029 г.**

Из анализа результатов за 2029 г. следует, что к этому периоду расчетный участок будет обладать крайне низкими величинами показателей надежности. Для увеличения показателей рекомендуется переложить участок тепловой сети от коллекторной до т. «Сосновка».

## Раздел 4. Перспективные показатели надёжности теплоснабжения

Поскольку отказ событие случайное и зависит от множества факторов, то прогнозировать показатели, определяемые отказами на перспективу достаточно сложно. Однако, пользуясь нормативными документами, можно определить перспективные нормативные показатели надёжности. Реализация мероприятий по повышению надёжности системы теплоснабжения, предложенных в схеме теплоснабжения, позволяет обеспечить соблюдение указанных ниже нормативных показателей надёжности в течение расчетного периода схемы теплоснабжения.

### 4.1. Перспективных показателей, определяемых приведенной продолжительностью прекращения подачи тепловой энергии

Согласно СНИП 41-02-2003 «Тепловые сети» вероятность безотказной работы системы (P) – это способность системы не допускать отказов, приводящих к падению температуры в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий ниже +12 °С, в промышленных зданиях – ниже + 8 °С, более числа раз, установленного нормативами. Значит, нормативная продолжительность прекращения подачи тепловой энергии не должна превышать время снижения температуры в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий ниже + 12 °С. Нормативное время снижения температуры в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий ниже + 12 °С при различных температурах наружного воздуха приведено в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Температура наружного воздуха, °С	Повторяемость температур наружного воздуха, ч	Время снижения температуры воздуха внутри отапливаемого помещения до +12 °С
8	1032	36,65
3	1032	20,43
-2	1128	14,27
-7	744	10,98
-12	576	8,93
-17	312	7,52
-22	120	6,50
-27	24	5,72
-29	0	5,46

### 4.2. Перспективные показатели, определяемые приведенным объемом недоотпуска тепла в результате нарушений в подаче тепловой энергии

Согласно СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» авариях (отказах) на источнике теплоты на его выходных коллекторах в течение всего ремонтно-восстановительного периода допустимое снижение теплоты при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления  $t_0 = -29$  °С составляет 87 % (см. табл. 4.2).

Таблица 4.2

Наименование показателя	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления $t_o$ , °С			
	Минус 10	Минус 20	Минус 30	Минус 40
Допустимое снижение подачи теплоты в %	78	84	87	89
Примечание – таблица соответствует температуре наружного воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92				

Среднее значение температуры наружного воздуха в отопительном периоде принято равным минус 2,1 °С и определено на основании соответствующих фактических данных, полученных за последние 5 лет для г. Пензы. По средней температуре наружного воздуха минус 2,1 °С в табл. 4.1 находим время снижения температуры воздуха внутри отапливаемого помещения до +12 °С, которое составляет 14,14 ч.

Расчет величины перспективного недоотпуска тепловой энергии вследствие нарушений в подаче тепла приведен в табл. 4.3.

Таблица 4.3

№ п/п	Источник теплоснабжения	Расчётный год						
		2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020-2024 гг.	2025-2029 гг.
Прогнозируемая нагрузка потребителей по годам, Гкал/ч								
1	ТЭЦ-1	535,5	588,79	600,28	602,06	605,01	614,67	633,33
2	ТЭЦ-2	180,79	181,91	187,2	187,98	174,27	175,03	201,26
3	Котельная «Арбекова»	282,45	237,56	241,81	246,35	252,87	258,68	276,27
4	Котельная «Западная»	56,7	59,14	62,53	64,98	67,55	69,81	73,71
5	Котельная «Южная»	51,99	53,9	54,67	61,75	62,35	63,01	64,11
6	Котельная ОАО «ЭСР»	67,5	74	79,95	87,02	93,97	101,08	109,9
Недоотпуск тепла потребителям за 14,14 ч, Гкал								
1	ТЭЦ-1	7572,0	8325,5	8488,0	8513,1	8554,8	8691,4	8955,3
2	ТЭЦ-2	2556,4	2572,2	2647,0	2658,0	2464,2	2474,9	2845,8
3	Котельная «Арбекова»	3993,843	3359,098	3419,193	3483,389	3575,582	3657,735	3906,458
4	Котельная «Западная»	801,738	836,2396	884,1742	918,8172	955,157	987,1134	1042,259
5	Котельная «Южная»	735,1386	762,146	773,0338	873,145	881,629	890,9614	906,5154
6	Котельная ОАО «ЭСР»	954,45	1046,36	1130,493	1230,463	1328,736	1429,271	1553,986
Допустимый недоотпуск тепла потребителям (при снижении подачи тепла на 87 %), Гкал								
1	ТЭЦ-1	984,4	1082,3	1103,4	1106,7	1112,1	1129,9	1164,2
2	ТЭЦ-2	332,3	334,4	344,1	345,5	320,3	321,7	370,0
3	Котельная «Арбекова»	519,2	436,7	444,5	452,8	464,8	475,5	507,8
4	Котельная «Западная»	104,2	108,7	114,9	119,4	124,2	128,3	135,5
5	Котельная «Южная»	95,6	99,1	100,5	113,5	114,6	115,8	117,8
6	Котельная ОАО «ЭСР»	124,1	136,0	147,0	160,0	172,7	185,8	202,0

### **4.3. Перспективные показатели, определяемые средневзвешенной величиной отклонений температуры теплоносителя, соответствующих отклонениям параметров теплоносителя в результате нарушений в подаче тепловой энергии**

Согласно постановлению Правительства РФ от 8 августа 2012 г. № 808 «Об организации теплоснабжения в Российской Федерации и о внесении изменений в некоторые акты правительства Российской Федерации» частичное ограничение режима потребления влечет за собой снижение объема или температуры теплоносителя, подаваемого потребителю, по сравнению с объемом или температурой, определенными в договоре теплоснабжения, или фактической потребностью (для граждан-потребителей) либо прекращение подачи тепловой энергии или теплоносителя потребителю в определенные периоды в течение суток, недели или месяца.

Поставщик освобождается от обязанности поставить объем тепловой энергии, недопоставленный в период ограничения режима потребления, введенного в случае нарушения потребителем своих обязательств, после возобновления (восстановления до прежнего уровня) подачи тепловой энергии.

Поскольку параметры поставляемого теплоносителя потребителю определяются договором теплоснабжения, то имеет смысл говорить о качестве теплоносителя отпускаемого с источника тепловой энергии.

Согласно СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» ограничение в подаче тепловой энергии на отопление и вентиляцию при расчетной температуре принятой для проектирования систем отопления города Пенза составляет 87 %.

В аварийной ситуации при качественном регулировании, используемое в системах теплоснабжения города Пенза, возможно снижение температуры теплоносителя при расчетных расходах сетевой воды в системах теплоснабжения в пределах, позволяющих при том же расходе теплоносителя достичь минимально необходимого количества отпускаемой тепловой энергии. Для этого необходимо рассмотреть возможный температурный график отпуска тепловой энергии при увеличенном расчетном удельном расходе сетевой воды на передачу тепловой энергии.

При существующем температурном графике отпуска тепловой энергии с горячей водой от ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 и котельной «Арбеково» 150/70 °С со срезкой на 110 °С (у ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2) и 115 °С (у котельной «Арбеково») удельный расход теплоносителя на передачу тепловой энергии на нужды отопления равен 12,5 т/Гкал. При увеличении данного показателя на 13 % температурный график изменится при условии сохранения температуры обратной сетевой воды на 105/70 °С (для ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2) и на 110/70 °С (для котельной «Арбеково»). Таким образом, максимальное отклонение температуры теплоносителя, принятой по утвержденному температурному графику составит 5 °С.

При температурном графике регулирования отпуска тепловой энергии 130/70°С со срезкой на 105 °С для крупных котельных ООО «СКМ Энергосервис» в аварийной ситуации максимальное отклонение температуры теплоносителя составит 4 °С.

Для малых котельных величина отклонения температуры теплоносителя в зависимости от температурного графика составит:

- |                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| - график 90/70 °С                     | 2,3 °С; |
| - график 105/70 °С                    | 4,0 °С; |
| - график 85/70 °С со срезкой на 80 °С | 1,0 °С; |

## **Раздел 5. Мероприятия по повышению показателей надежности теплоснабжения**

### **5.1. Основные элементы, определяющие надежность систем теплоснабжения**

Надежность систем теплоснабжения определяется:

- качеством элементов теплоснабжения;
- структурным, временным, нагрузочным и функциональным резервированием в системе теплоснабжения;
- уровнем автоматизации управления технологическими процессами производства, транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии;
- качеством выполнения строительно-монтажных и ремонтных работ.

#### **5.1.1. Качество элементов системы теплоснабжения**

Статистические данные о причинах технологических нарушений в системах теплоснабжения объектов ЖКХ г. Пенза свидетельствуют об удовлетворительном качестве элементов систем и, прежде всего, элементов тепловых сетей: металла труб, тепловой изоляции, запорной арматуры, конструкций теплопроводов и каналов, защиты теплопроводов от внутренней и наружной коррозии.

Защита труб от внутренней коррозии, как известно, выполняется путем повышения рН в пределах рекомендаций ПТЭ, уменьшения содержания кислорода в сетевой воде, покрытия внутренней поверхности стальных труб антикоррозионными составами или применения коррозионностойких сталей, применения безреагентного электрохимического способа обработки воды, применения водоподготовки и де-аэрации подпиточной воды, применения ингибиторов коррозии. Для контроля за внутренней коррозией на подающих и обратных трубопроводах водяных тепловых сетей на выводах с источника теплоты и в наиболее характерных местах предусматривается установка индикаторов коррозии. Многофакторность коррозионных процессов не позволяет сформировать единые рекомендации. Конкретные мероприятия определяются на основе аудита систем с выявлением причин интенсивной коррозии и способов их предотвращения.

При защите труб от наружной коррозии предусматриваются конструктивные решения в соответствии с требованиями РД 153-34.0-20.518 [7]. Так, для конструкций теплопроводов в пенополиуретановой теплоизоляции с герметичной наружной оболочкой нанесение антикоррозионного покрытия на стальные трубы не требуется, но обязательно устанавливается устройство системы оперативного дистанционного контроля, сигнализирующее о проникновении влаги в теплоизоляционный шов, при использовании труб из ВЧШГ, теплопроводов в пенополимерминеральной теплоизоляции независимо от способов прокладки защита от наружной коррозии металла труб не требуется. Для конструкций теплопроводов с другими теплоизоляционными материалами независимо от способов прокладки применяются антикоррозионные покрытия, наносимые непосредственно на наружную поверхность стальной трубы. Неизолированные в заводских условиях концы

трубных секций, отводов, тройника и других металлоконструкций покрываются антикоррозионным слоем на транзитных участках тепловых сетей, а также в камерах с ответвлениями труб устанавливаются поперечные токопроводящие перемычки. На сальниковых компенсаторах токопроводящие перемычки выполняются из многожильного медного провода, кабеля, стального троса. В остальных случаях применяется прутковая или полосовая сталь. Сечение перемычек определяется расчетным путем и принимается не менее 50 мм<sup>2</sup> (по меди). Длина перемычек определяется с учетом максимального теплового удлинения трубопровода. Стальные перемычки обеспечиваются защитным покрытием от коррозии.

В ходе эксплуатации многочисленных тепловых сетей установлено, что при температуре 70÷80°С протекает интенсивный процесс наружной коррозии, имеющий язвенный характер, приводящий к значительному коррозионному повреждению металлических поверхностей, контактирующих с увлажненной тепловой изоляцией. Одним из возможных способов снижения отказов тепловой сети в результате коррозионных повреждений теплопроводов с канальной и бесканальной прокладкой может стать ввод режима работы тепловой сети при повышенной температуре в подающем трубопроводе в летний период. Целесообразность мероприятия требует технико-экономического обоснования для конкретных условий.

### **5.1.2. Резервирование в системе теплоснабжения**

В соответствии со СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» в системах теплоснабжения используются следующие способы резервирования [5]:

- на источниках теплоты применяются рациональные тепловые схем, обеспечивающие заданный уровень готовности энергетического оборудования;
- на источниках теплоты устанавливается необходимое резервное оборудование;
- организуется совместная работа нескольких источников теплоты в единой системе транспортирования теплоты;
- прокладываются резервные трубопроводные связи, как в тепловых сетях одного района теплоснабжения, так и смежных теплосетевых районов города;
- устанавливаются резервные насосы и насосные станции;
- устанавливаются баки-аккумуляторы.

Применение рациональных тепловых схем, обеспечивающих заданный уровень готовности энергетического оборудования источников теплоты, выполняется на этапе их проектирования. При этом топливо-, электро- и водоснабжение источников теплоты, обеспечивающих теплоснабжение потребителей первой категории, предусматривается по двум независимым вводам от разных источников, а также использование запасов резервного топлива. Источники теплоты, обеспечивающие теплоснабжение потребителей второй и третьей категории, обеспечиваются электро- и водоснабжением по двум независимым вводам от разных источников и запасами резервного топлива. Кроме того, для теплоснабжения потребителей первой категории устанавливаются местные резервные

(аварийные) источники теплоты (стационарные или передвижные). При этом допускается резервирование, обеспечивающее в аварийных ситуациях 100%-ную подачу теплоты от других тепловых сетей. При резервировании теплоснабжения промышленных предприятий, как правило, используются местные резервные (аварийные) источники теплоты.

При реализации плана ликвидации мелких котельных, замене их крупными источниками теплоты мелкие котельные, находящиеся в технически исправном состоянии, как правило, оставляются в резерве.

Повышение надежности систем теплоснабжения может быть достигнуто путем использования передвижных котельных, которые при аварии на тепловой сети должны применяться в качестве резервных (аварийных) источников теплоты, обеспечивая подачу тепла как целым кварталам (через центральные тепловые пункты), так и отдельным зданиям, в первую очередь потребителям первой категории. Для целей аварийного теплоснабжения каждая теплоснабжающая организация должна иметь как минимум одну передвижную котельную. Подключение передвижной котельной к центральному тепловому пункту или тепловому пункту здания (потребителя первой категории] осуществляется через специальные вводы с фланцами, выведенными за пределы здания и отключаемыми от основной системы теплоснабжения задвижками, установленными внутри здания.

Кроме этого, указанные объекты оборудуются вводами для подключения передвижных котельных к источнику электроэнергии мощностью 10÷50 кВт (в зависимости от типа котельной).

При авариях в системе электроснабжения надежность теплоснабжения потребителей значительно повышается при использовании в качестве резервных и аварийных источников передвижных электрических станций. Электрическая мощность станций соответствует мощности электрооборудования, включенного для обеспечения рабочего режима котельной и тепловой сети.

Для обеспечения требуемых температурных условий в зданиях при недостаточной подаче тепла от внешней сети либо при перерывах в подаче, вызванных аварийными ситуациями или плановой остановкой сети на профилактический ремонт, в тепловых пунктах могут устанавливаться пиковые теплоисточники. Используются следующие способы их подключения:

- подключение в тепловых пунктах зданий пиковых газовых котлов, догревающих воду, подаваемую в систему отопления,

- установка в тепловых пунктах зданий пиковых электрических емкостных (теплоаккумулирующих) водоподогревателей, потребляющих электроэнергию в ночные часы (при сниженном тарифе на электроэнергию). Тепловая энергия, накапливаемая в аккумуляторе, выдается в систему отопления в нужное время, обеспечивая дополнительный нагрев теплоносителя. Такое включение способствует выравниванию суточного режима электропотребления;

- установка непосредственно в отапливаемых помещениях электрических теплоинерционных доводчиков, потребляющих электроэнергию в ночные часы (при сниженном тарифе на электроэнергию);

- установка в тепловых пунктах тепловых насосов, повышающих температуру подаваемого теплоносителя за счет охлаждения теплоносителя, возвращаемого из абонентской установки.

Однако, возникают сложности с размещением газовых котлов в существующих зданиях. Наиболее приемлемый вариант технического решения - крышные котельные, меняющие архитектурный облик здания. Массовое внедрение данной схемы ограничивается лимитом пропускной возможности газовых сетей.

Использование проточных водоподогревательных установок сдерживается отсутствием резервных мощностей электроэнергии. Применение емкостных электроподогревателей влечет за собой увеличение потребления электроэнергии на 5÷10% за счёт увеличения теплопотерь. Также резервы аккумулирования тепла ограничены размерами самого аккумулятора. Применение схем с тепловыми насосами (по сравнению с прямым электроподогревом) снижает потребление электроэнергии, но в этом случае наступает ограничение по теплосъему (температуре обратной воды тепловой сети) и по режимам работы тепловых насосов.

Нарушения в снабжении энергоносителями или нарушение работоспособности технологического оборудования приводят, как правило, только к частичным отказам источников теплоты, которые проявляются в виде снижения температуры или расхода теплоносителя. В случае снижения температуры теплоносителя гидравлические режимы тепловых сетей не изменяются (при условии отсутствия управляющих воздействий со стороны обслуживающего персонала и отсутствии внешних возмущающих воздействий на систему со стороны населения). При этом пропорционально недоотпуску тепла снижается температура в отапливаемых помещениях всех потребителей. Уменьшение же расхода теплоносителя приводит к разрегулировке тепловой сети.

Для предотвращения разрегулировки тепловой сети в аварийных ситуациях устанавливается лимитированная подача теплоносителя всем взаимно резервируемым потребителям. Лимиты подачи теплоносителя определяются по результатам сопоставления трех параметров: времени остывания представительного помещения здания до допустимой температуры, величины допустимого снижения температуры и длительности ремонта головного элемента тепловой сети - теплопровода, поскольку он имеет наибольшую длительность восстановления. При отказе элемента магистральной сети на всех ЦТП, гидравлически связанных с аварийным участком, автоматические регуляторы расхода, установленные на входных тепломагистралях, перестраивают подачу теплоносителя в сеть на лимитированную. Кроме того, для предотвращения гидравлической разрегулировки распределительных тепловых сетей и систем отопления на ЦТП включаются подмешивающие насосы, которые при снижении температуры теплоносителя доводят его расход в этих сетях до расчетного значения. В этот период отключение нагрузки горячего

водоснабжения в ЦТП может поддерживать температуру теплоносителя на расчетном или близком к нему уровне. Для потребителей первой категории предусматривается индивидуальная регулировка в их местных тепловых пунктах.

Организация совместной работы нескольких источников теплоты на единую тепловую сеть позволяет в случае аварии на одном из источников частично обеспечивать единые тепловые нагрузки за счет других источников теплоты. Расчет тепловых и гидравлических аварийных режимов тепловой сети выполняется разработчиком Схемы теплоснабжения, а их реализация - теплоснабжающими организациями.

Прокладка резервных трубопроводных связей как в тепловых сетях одного района теплоснабжения, так и смежных теплосетевых районов города обеспечивает непрерывное теплоснабжение потребителей со значительным снижением недоотпуска теплоты во время аварий. Количество и диаметры перемычек определяются, исходя из нормальных и аварийных режимов работы сети, с учетом снижения расхода теплоносителя в соответствии с данными, представленными в табл. 5.1. Места размещения резервных трубопроводных соединений между смежными теплопроводами и их количество определяется расчетным путем с использованием в качестве критерия такого показателя надежности как вероятность безотказной работы [5].

Таблица 5.1. **Допустимое снижение подачи теплоты в аварийных режимах**

Показатель	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, °С				
	-10	-20	-30	-40	-50
Допустимое снижение подачи теплоты, %, до	78	84	87	89	91

Примечание: таблица соответствует температуре наружного воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

При обеспечении безотказности тепловых сетей определяются:

- предельно допустимые длины нерезервированных участков теплопроводов (тупиковых, радиальных, транзитных) до каждого потребителя или теплового пункта;
- места размещения резервных трубопроводных связей между радиальными теплопроводами;
- достаточность диаметров, выбираемых при проектировании новых или реконструируемых существующих теплопроводов, для обеспечения резервной подачи теплоты потребителям при отказах.

Структурное резервирование разветвленных тупиковых тепловых сетей осуществляется делением последовательно соединенных участков теплопроводов секционированными задвижками. К полному отказу тупиковой тепловой сети приводят лишь отказы головного участка и головной задвижки теплосети. Отказы других элементов основного ствола иголовных элементов основных ответвлений теплосети приводят к существенным нарушениям ее работы, но при этом остальная часть потребителей получает тепло в необходимых количествах. Отказы на участках небольших ответвлений приводят только к незначительным нарушениям теплоснабжения, и отражается на обеспечении теплом

небольшого количества потребителей. Возможность подачи тепла неотключенным потребителям в аварийных ситуациях обеспечивается использованием секционирующих задвижек. Задвижки устанавливаются по ходу теплоносителя в начале участка после ответвления к потребителю. Такое расположение позволяет подавать теплоноситель потребителю по этому ответвлению при отказе последующего участка теплопровода.

### **5.1.3. Установка баков-аккумуляторов горячей воды**

Повышению надежности функционирования систем теплоснабжения в определенной мере способствует применение теплогидроаккумулирующих установок, наличие которых позволяет оптимизировать тепловые и гидравлические режимы тепловых сетей, а также использовать аккумулирующие свойства отапливаемых зданий. Теплоинерционные свойства зданий учитываются МДС 41-6.2000 «Организационно-методические рекомендации по подготовке к проведению отопительного периода и повышению надежности систем коммунального теплоснабжения в городах и населенных пунктах РФ» при определении расчетных расходов на горячее водоснабжение при проектировании систем теплоснабжения из условий темпов остывания зданий при авариях [8].

Размещение баков-аккумуляторов горячей воды возможно как на источнике теплоты, так и в районах теплоснабжения. При этом на источнике теплоты предусматриваются баки-аккумуляторы вместимостью не менее 25 % общей расчетной вместимости системы. Внутренняя поверхность баков защищается от коррозии, а вода в них – от аэрации, при этом предусматривается непрерывное обновление воды в баках.

Для открытых систем теплоснабжения, а также при отдельных тепловых сетях на горячее водоснабжение предусматриваются баки-аккумуляторы химически обработанной и деаэрированной подпиточной воды расчетной вместимостью, равной десятикратной величине среднечасового расхода воды на горячее водоснабжение.

В закрытых системах теплоснабжения на источниках теплоты мощностью 100 МВт и более предусматривается установка баков запаса химически обработанной и деаэрированной подпиточной воды вместимостью 3% объема воды в системе теплоснабжения, при этом обеспечивается обновление воды в баках.

Число баков независимо от системы теплоснабжения принимается не менее двух по 50% рабочего объема.

В системах центрального теплоснабжения (СЦТ) с теплопроводами любой протяженности от источника теплоты до районов теплоснабжения допускается использование теплопроводов в качестве аккумулирующих емкостей.

Таким образом, структура систем теплоснабжения должна соответствовать их масштабности и сложности. Если надежность небольших систем обеспечивается при радиальных схемах тепловых сетей, не имеющих резервирования и узлов управления, то тепловые сети крупных систем теплоснабжения должны быть резервированными, а в местах сопряжения резервируемой и нерезервируемой частей тепловых сетей должны иметь автоматизированные узлы управления. Это позволяет преодолеть противоречие

между «ненадежной» структурой тепловых сетей и требованиями к их надежности и обеспечить управляемость системы в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах, а также подачу потребителям необходимых количеств тепловой энергии во время аварийных ситуаций.

#### **5.1.4. Автоматизация управления технологическими процессами производства, транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии**

Структура систем автоматического управления обеспечивает реализацию многоступенчатого регулирования отпуска тепловой энергии, необходимость которого определяется особенностями системы, а также автоматическое обнаружение мест отказов в тепловых сетях и их локализацию, переход от нормального режима к послеаварийному и затем опять к нормальному, защиту от повышения давления и гидравлического удара. Выполнение этих функций возможно лишь при ликвидации характерного для современных систем теплоснабжения недостатка в средствах автоматического регулирования, который становится особенно ощутимым с ростом единичных мощностей источников теплоты и систем. Наибольшая эффективность может быть достигнута в условиях комплексной автоматизации в рамках АСУ ТП и реализации АСДУ.

Основной задачей автоматизации регулирования отпуска теплоты на отопление и горячее водоснабжение в тепловых пунктах зданий (ЦТП, ИТП) является обеспечение комфортных условий в отапливаемых помещениях при существенной экономии теплоты и, соответственно, топлива. Одновременно с решением главной задачи автоматизация тепловых пунктов повышает надежность систем теплоснабжения и позволяет:

- улучшить состояние изоляции трубопроводов и снизить коррозионную повреждаемость тепловых сетей;
- обеспечить подачу теплоты потребителям в требуемом количестве (соответствующем температуре наружного воздуха) при ликвидации аварий в сетях с резервированием;
- обеспечить устойчивость гидравлических режимов работы систем отопления зданий при снижении температуры сетевой воды относительно требуемой по графику;
- обеспечить автономную циркуляцию в местных системах отопления при аварийном падении давления в тепловых сетях, позволяющую снизить вероятность повреждений систем отопления потребителей.

Улучшение состояния изоляции трубопроводов и улучшение условий работы компенсаторных устройств обеспечивается осуществлением центрального регулирования отпуска теплоты на источнике теплоты по ступенчатому температурному графику регулирования при постоянной температуре.

Наличие автоматизации отпуска теплоты в тепловых пунктах тепловых сетей с резервированием (путем устройства перемычек между тепловыми сетями смежных районов) позволяет осуществить широкое маневрирование температурой сетевой воды.

При ликвидации аварий на отдельных участках сети можно, повысив температуру теплоносителя, подать всем потребителям теплоту на отопление в полном объеме

(соответствующую температуре наружного воздуха) при сниженном расходе сетевой воды на отопление. Значение этого расхода определяется расчетом для каждой конкретной сети с учетом имеющихся перемычек и места аварии.

Гидравлический режим работы автоматизированных систем отопления здания ухудшается при снижении температуры теплоносителя относительно графика температуры сетевой воды, в том числе при аварии на источнике теплоты. При этом регулирующие клапаны авторегуляторов отпуска теплоты на отопление полностью открываются, и возможна разрегулировка тепловой сети, так как головные потребители отберут из сети больший расход, чем концевые потребители. Чем ниже гидравлическая устойчивость сети, тем больше величина указанной разрегулировки и тем больше снижается надежность теплоснабжения. Устранить этот недостаток возможно путем установки дополнительных регуляторов давления (перепада давления). Однако, это приводит, во-первых, к усложнению работы средств автоматизации в тепловых пунктах из-за взаимного влияния авторегуляторов отпуска теплоты и гидравлического режима, а во-вторых, к удорожанию системы автоматизации.

Снизить вероятность повреждений систем отопления зданий от замораживания при аварийном прекращении подачи теплоносителя из сети (например, в результате падения давления в тепловой сети) позволяет организация автономной циркуляции воды в местных системах отопления. При наличии циркуляции воды, кроме того, увеличивается временной диапазон для выполнения необходимого слива воды из систем отопления. В получивших наибольшее распространение ЦТП с корректирующими насосами смешения указанная циркуляция обеспечивается установкой на подающем трубопроводе на входе в ЦТП электроконтактных манометров (ЭКМ), которые приводят в действие насос смешения (или оба насоса, если подача каждого составляет 50% от расчетного расхода воды на отопление).

#### **5.1.5. Совершенствование эксплуатации системы теплоснабжения**

Надежность системы теплоснабжения в значительной степени определяется организацией эксплуатации системы, взаимодействия поставщиков тепловой энергии и их потребителями, своевременным проведением ремонтов, заменой изношенного оборудования, наличием аварийно-восстановительной службы и организацией аварийных ремонтов. Последнее является особенно важным при наличии значительной доли ветхих теплопроводов и их высокой повреждаемости.

Организация аварийно-восстановительной службы, ее численности и технической оснащенности в каждом конкретном случае решается на основе технико-экономического обоснования с учетом оптимального сочетания структурного резерва системы теплоснабжения и временного резерва путем использования аккумулирующей способности зданий. Процесс восстановления отказавших теплопроводов совершенствуется нормированием продолжительности ликвидации аварий и определением оптимального состава аварийно-восстановительной службы.

Классификация повреждений в системах теплоснабжения регламентируется МДК 4-01.2001 «Методические рекомендации по техническому расследованию и учету технологических нарушений в системах коммунального энергоснабжения и работе энергетических организаций жилищно-коммунального комплекса» (утверждены приказом Госстроя России от 20.08.01 № 191) [96]. Нормы времени на восстановление должны определяться с учетом требований данного документа и местных условий.

Для качественного выполнения ремонтных работ в составе СЦТ предусматриваются:

- аварийно-восстановительные службы (АВС), численность персонала и техническая оснащенность которых обеспечивает полное восстановление теплоснабжения при отказах на тепловых сетях в регламентированные сроки;

- собственные ремонтно-эксплуатационные базы (РЭБ) - для районов тепловых сетей с объемом эксплуатации 1000 условных единиц и более. Численность персонала и техническая оснащенность РЭБ определяются с учетом состава оборудования, применяемых конструкций теплопроводов, тепловой изоляции и т.д.;

- механические мастерские - для участков (цехов) тепловых сетей с объемом эксплуатации менее 1000 условных единиц;

- единые ремонтно-эксплуатационные базы - для тепловых сетей, которые входят в состав подразделений тепловых электростанций, районных котельных или промышленных предприятий.

При подземной прокладке тепловых сетей в непроходных каналах и бесканальной прокладке величина подачи теплоты (%) для обеспечения внутренней температуры воздуха в отапливаемых помещениях не ниже 12°C в течение ремонтно-восстановительного периода после отказов принимается в соответствии с табл. 4.2 [5].

**Таблица 4.2. Допускаемое снижение подачи теплоты в зависимости от диаметра трубопроводов и расчетной температуры наружного воздуха**

Диаметр труб тепловых сетей, мм	Время восстановления теплоснабжения, ч	Расчетная температура наружного воздуха, °С				
		-10	-20	-30	-40	-50
		Допускаемое снижение подачи теплоты, %, до				
300	15	32	50	60	59	64
400	18	41	56	65	63	68
500	22	49	63	70	69	73
600	26	52	68	75	73	77
700	29	59	70	76	75	78
800-1000	40	66	75	80	79	82
1200-1400	до 54	71	79	83	82	85

Время ликвидации аварий в значительной мере зависит от наличия запасных частей и материалов. Поэтому особое внимание уделяется поддержанию необходимого запаса материалов, деталей, узлов и оборудования.

Основой надежной, бесперебойной и экономичной работы систем теплоснабжения является выполнение правил эксплуатации, а также своевременное и качественное проведение профилактических ремонтов.

Подготовка системы теплоснабжения к отопительному сезону проводится в соответствии с [8]. Выполнение в полном объеме перечня работ по подготовке источников, тепловых сетей и потребителей к отопительному сезону в значительной степени обеспечит надежное и качественное теплоснабжение потребителей.

С целью определения состояния строительно-изоляционных конструкций, тепловой изоляции и трубопроводов производятся шурфовки, которые в настоящее время являются наиболее достоверным способом оценки состояния элементов подземных прокладок тепловых сетей. Для проведения шурфовок ежегодно составляются планы. Количество проводимых шурфовок устанавливается предприятием тепловых сетей и зависит от протяженности тепловой сети, ее состояния, вида изоляционных конструкций. Результаты шурфовок учитываются при составлении плана ремонтов тепловых сетей.

Тепловые сети от источника теплоснабжения до тепловых пунктов, включая магистральные, разводящие трубопроводы и абонентские ответвления, подвергаются испытаниям на расчетную температуру теплоносителя не реже одного раза в год. Целью испытаний водяных тепловых сетей на расчетную температуру теплоносителя является проверка тепловой сети на прочность в условиях температурных деформаций, вызванных повышением температуры до расчетных значений, а также проверка в этих условиях компенсирующей способности элементов тепловой сети.

Тепловые сети, находящиеся в эксплуатации, подвергаются испытаниям на гидравлическую плотность ежегодно после окончания отопительного периода для выявления дефектов, подлежащих устранению при капитальном ремонте и после окончания ремонта перед включением сетей в эксплуатацию. Испытания проводятся по отдельным, отходящим от источника тепла магистралям при отключенных водо-подогревательных установках, системах теплоснабжения и открытых воздушниках у потребителей. При испытании на гидравлическую плотность давление в самых высоких точках сети доводится до пробного (1,25 рабочего), но не ниже 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>). Температура воды в трубопроводах при испытаниях не превышает 45°С.

Для дистанционного обнаружения мест повреждения трубопроводов тепловых сетей канальной и бесканальной прокладки под слоем фунта на глубине до 3 - 4 м в зависимости от типа грунта и вида дефекта используются течеискатели.

В процессе эксплуатации особое внимание уделяется выполнению всех требований нормативных документов, что существенно уменьшает число отказов в период отопительного сезона.

## 5.2. Выводы

1. Выполнен расчет вероятности безотказной работы нерезервируемых участков тепломагистралей от источников тепловой энергии системы теплоснабжения г. Пензы. Для каждого из таких участков выполнен расчет надежности на прогнозируемый период. Прогнозные расчеты выполнены с учетом рекомендуемых переключений, необходимых для увеличения показателей безотказности работы теплосети.

2. Для каждого из источников составлены сводные таблицы реконструкций, необходимых для поддержания допустимых показателей надежности работы теплосети в зависимости от периода переключений и способа прокладки.

3. Установлено, что достаточно большое количество тепломагистралей г. Пензы имеют запас вероятности безотказной работы не только по состоянию на отчетный период, но и на конец прогнозируемого периода.

Низкий показатель вероятности безотказной работы отдельных участков тепловых сетей г. Пензы является прямым следствием высокого износа как магистральных, так и внутриквартальных трубопроводов.

В рамках реализации мероприятий схемы теплоснабжения предусматривается переключений тепловых сетей в связи с исчерпанием эксплуатационного ресурса.

По результатам расчета вероятности безотказной работы тепловых сетей были выбраны участки трубопроводов, наиболее пагубно влияющие на надежность теплоснабжения, и включены в приоритетный перечень состава проектов по реконструкции тепловых сетей.

На основе расчета вероятности безотказной работы тепловых сетей и исходных данных о годах ввода в эксплуатацию магистральных тепловых сетей была сформирована программа переключений участков трубопроводов на 2015 - 2029 годы, которая приведена для Пензенского филиала ОАО «Волжская ТГК» в п. 1.5.1 тома 1 Книги 7, а для прочих теплоснабжающих и теплосетевых организаций в п. 1.5 тома 2 Книги 7 Обосновывающих материалов к Схеме теплоснабжения.

## Список использованных источников

1. Федеральный закон от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении».
2. Федеральный Закон Российской Федерации от 23.11.2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 22.02.2012 г. № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения».
4. Методические рекомендации по разработке схем теплоснабжения, утверждены приказом Минэнерго России и Минрегиона России от 29 декабря 2012 г. № 565/667.
5. СНиП 41-02-2003. Тепловые сети. – Введ. 2003-01-03. – М.: Госстрой России.
6. Свод правил СП 124.13330.2012 «СНиП 41-02-2003. Тепловые сети» (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. № 280).
7. Методические указания по расчету уровня надежности и качества поставляемых товаров, оказываемых услуг для организаций, осуществляющих деятельность по производству и (или) передаче тепловой энергии. Утв. Приказом Министра регионального развития РФ.
8. РД 153-34.0-20.518-2003 «Типовая инструкция по защите трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии».
9. МДС 41-6.2000 «Организационно-методические рекомендации по подготовке к проведению отопительного периода и повышению надежности систем коммунального теплоснабжения в городах и населенных пунктах РФ», разработанные РАО «Роскоммунэнерго».
10. МДК 4-01.2001 «Методические рекомендации по техническому расследованию и учету технологических нарушений в системах коммунального энергоснабжения и работе энергетических организаций жилищно-коммунального комплекса» (утверждены приказом Госстроя России от 20.08.01 № 191).
11. Постановление Правительства РФ от 8 августа 2012 г. № 808 «Об организации теплоснабжения в Российской Федерации и о внесении изменений в некоторые акты правительства Российской Федерации».
12. МДС 41-6.2000 «Организационно-методические рекомендации по подготовке к проведению отопительного периода и повышению надежности систем коммунального теплоснабжения в городах и населенных пунктах РФ»