

# **РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ПЕНЗЫ**



**Книга 10**

**Оценка надежности теплоснабжения**

**Утверждаю**

Главный инженер  
Пензенского филиала ОАО «ТГК-6»

\_\_\_\_\_ А.Н. Заев  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

## **Книга 10**

# **Оценка надежности теплоснабжения**

ОАО «Ивэлектроналадка»  
Заместитель генерального директора

\_\_\_\_\_ В.С. Крашенинников  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

ЗАО «Ивэнергосервис»  
Генеральный директор

\_\_\_\_\_ Е.В. Барочкин  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

## Содержание

Введение .....	4
Часть 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
Часть 2. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей Пензенского филиала ОАО «ТГК-6» .....	11
2.1. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей ТЭЦ-1.....	11
2.2. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей ТЭЦ-2.....	45
2.3. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей котельной «Арбеково».....	59
Часть 3. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей котельных ООО «СКМ Энергосервис», ОАО «Энергоснабжающее предприятие» .....	65
3.1. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от котельной «Западная» до ТК-209' .....	65
3.2. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от котельной «Южная» до ТК-31 .....	70
3.3. Расчёт вероятности безотказной работы расчетного участка от котельной ОАО «ЭСП» до УП-1 .....	77
Список использованных источников .....	82

## **Введение**

Разработка схемы теплоснабжения г. Пенза на период 2012 – 2027 гг. выполняется в соответствии с требованиями Технического задания, Федерального закона от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении», Постановления Правительства Российской Федерации от 22.02.2012г. № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения» и других нормативных документов.

Основной целью Этапа № 3 является разработка обосновывающих материалов для схемы теплоснабжения г. Пенза. В Книге 10 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.

## **Часть 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 вероятности 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:

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

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.

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

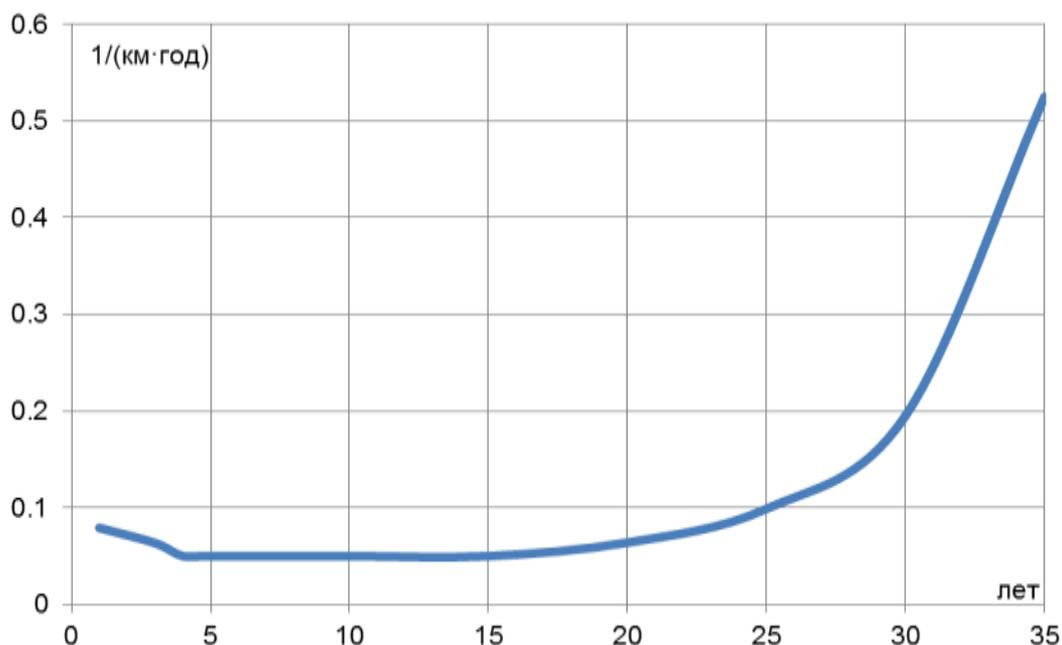


Рис. 1.1. Интенсивность отказов в зависимости от срока эксплуатации участка тепловой сети

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 отапливаемых

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:

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

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 теплоснаб-

жения потребителя.

В случае отсутствия достоверных данных о времени восстановления теплоснабжения потребителей рекомендуется использовать эмпирическую зависимость для времени, необходимом 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:

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

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

- 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.

## Часть 2. Расчёт вероятности безотказной работы тепломагистралей Пензенского филиала ОАО «ТГК-6»

### 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 за 2013 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.

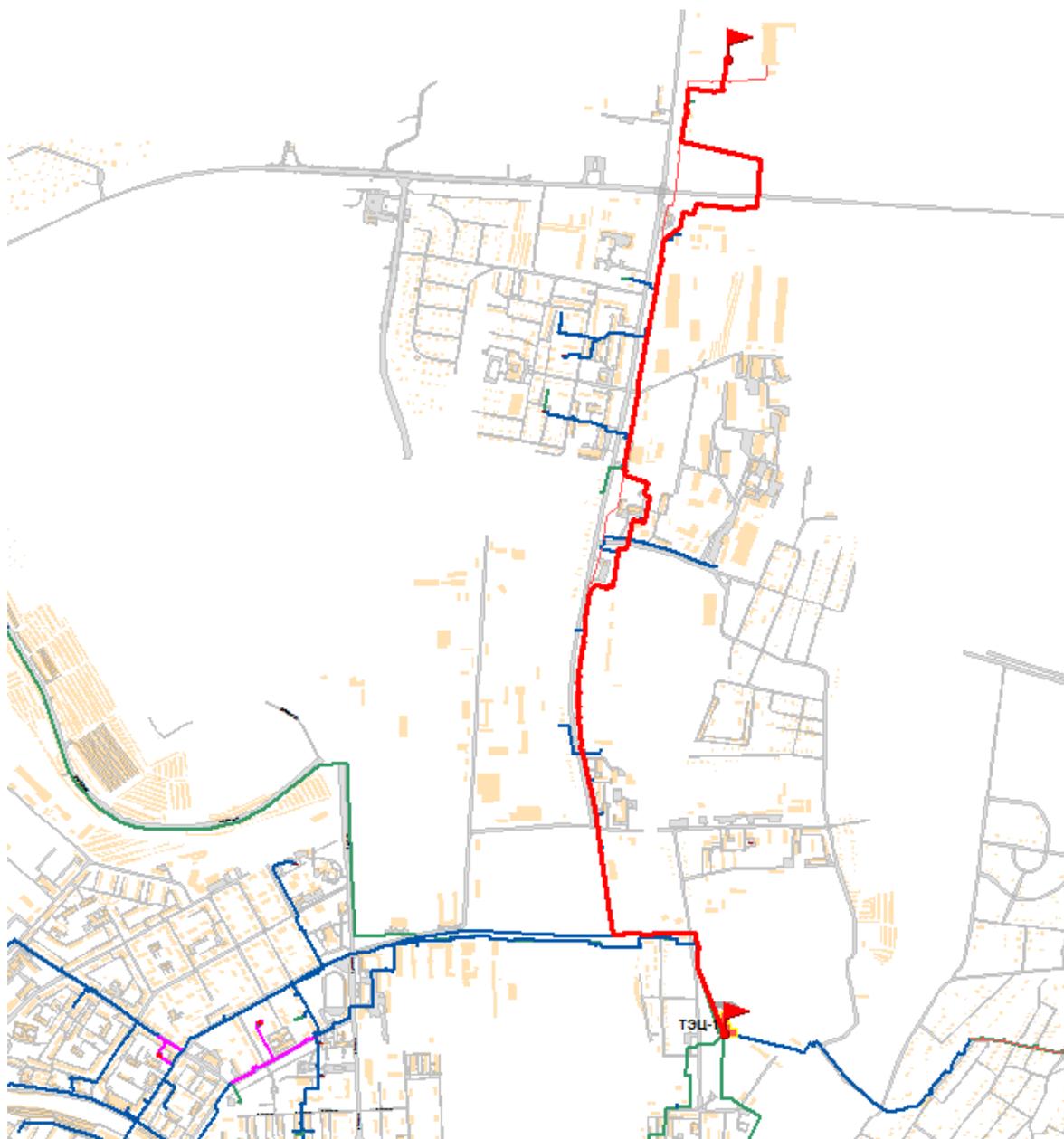
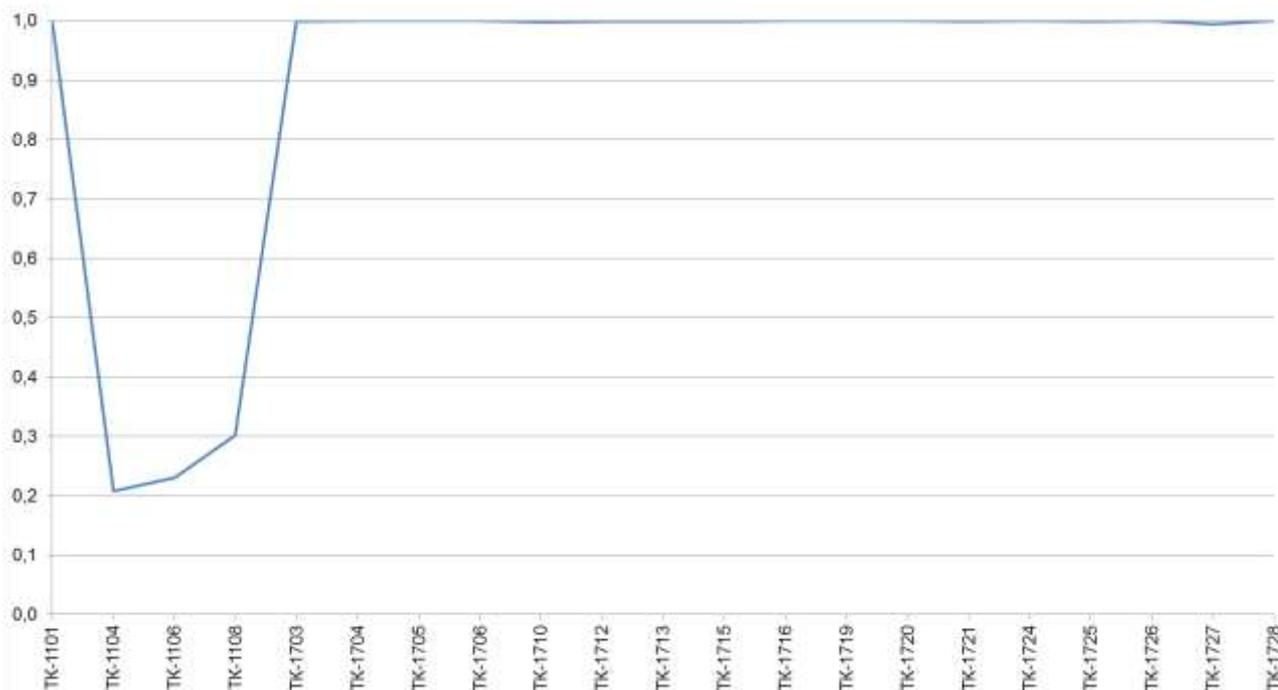


Рис. 2.1. Расчетный участок теплосети от ТЭЦ-1 до ТК-1728

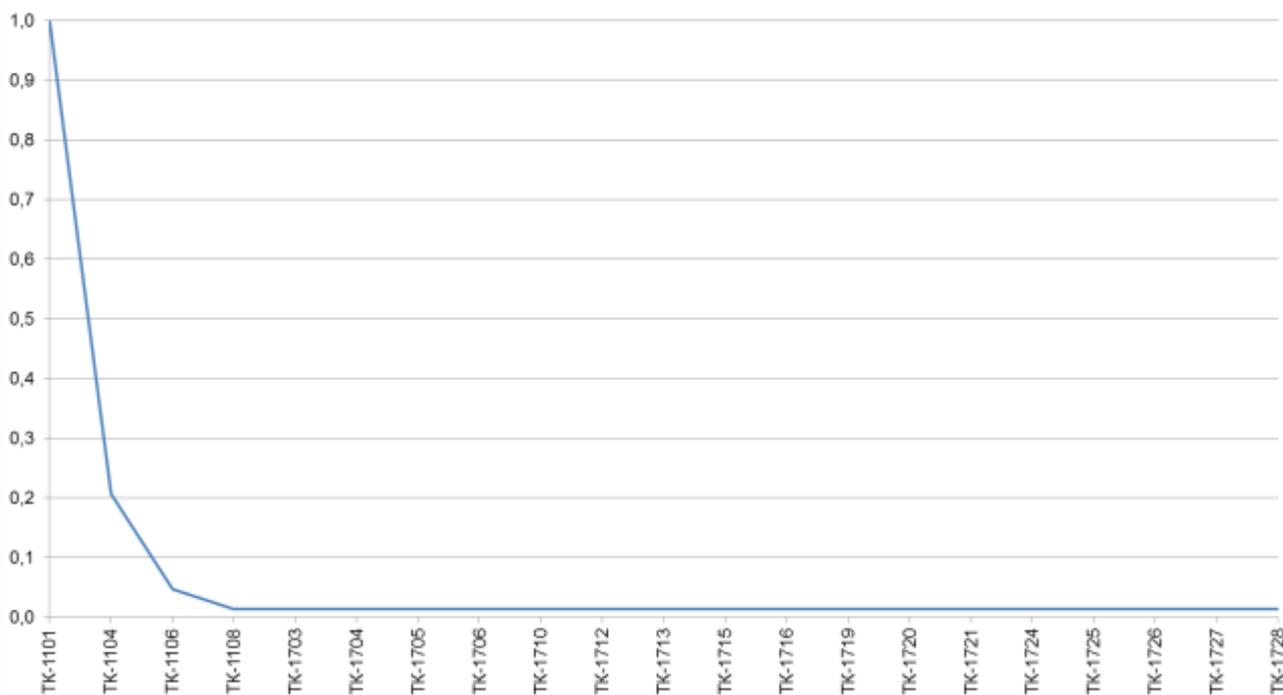
Таблица 2.1

№ 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, ПР
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 ТЭЦ-1 до ТК-1728 в 2013 г.**

Из анализа рис. 2.2 следует, что наименьшими показателями надёжности тепломагистрали ТЭЦ-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.



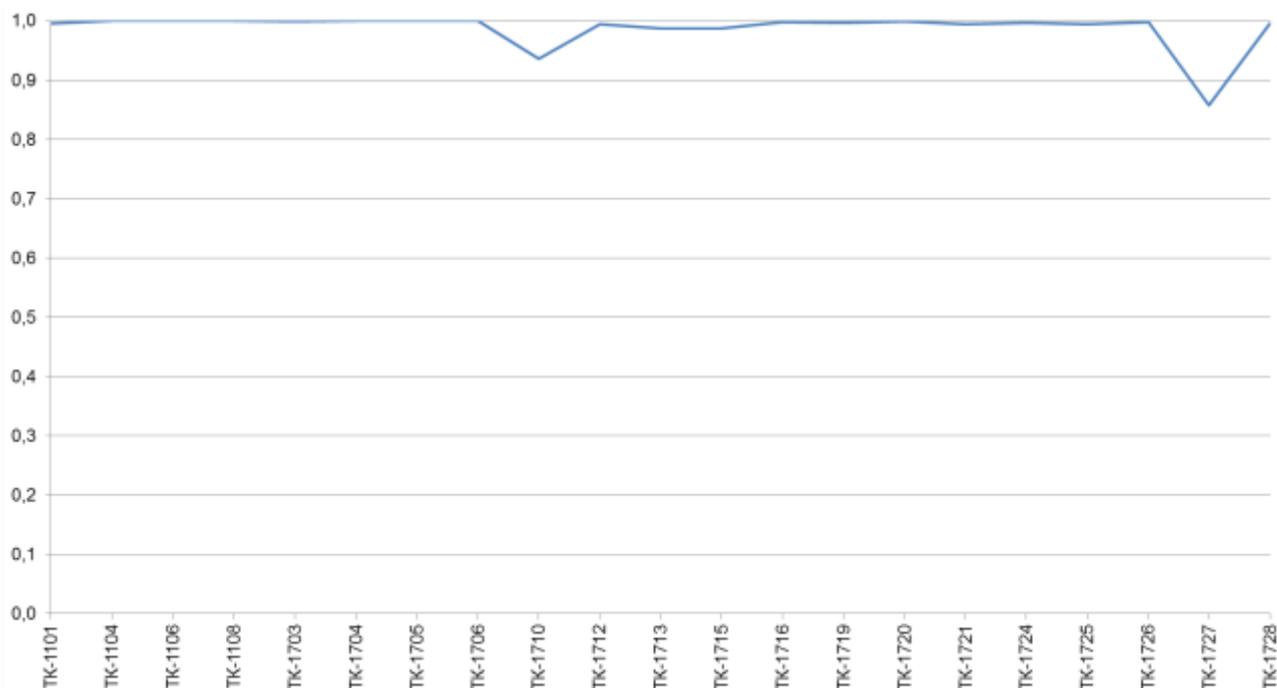
**Рис. 2.3. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-1 – ТК-1728 в 2013 г.**

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 тепломагистральной в перспективе на 2027 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 тепломагистральной вдоль рассматриваемого расчетного пути в перспективе на 2027 г.

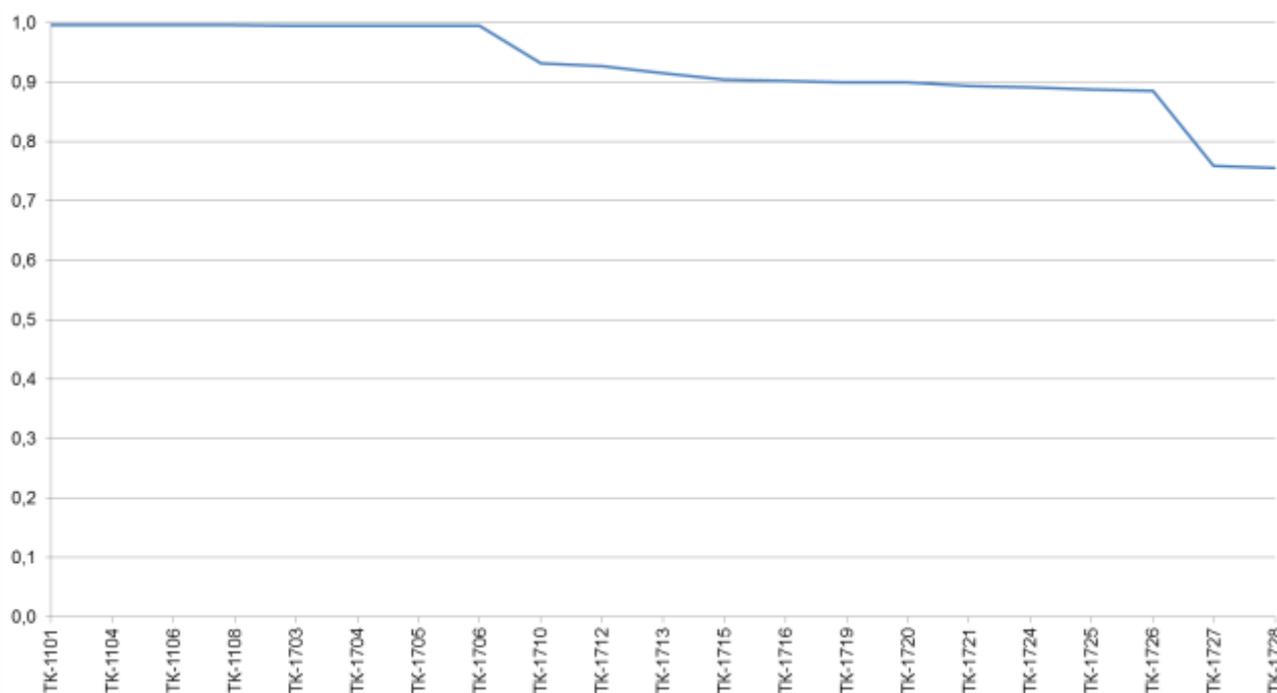
Таблица 2.2

№ 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, ПР
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 в 2027 г.**

Из анализа рис. 2.4 следует, что наименьшими показателями надёжности тепломагистрали ТЭЦ-1 – ТК-1728 в 2027 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 в 2027 г.**

Из анализа рис. 2.5 следует, что конечный участок тепломагистрали в 2027 г. будет обладать показателями безотказности ниже допустимого. Для повышения надёжности рекомендуется переложить трубопроводы со сроком ввода в эксплуатацию - 1985 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 тепломагистральной за 2013 год приведены в табл. 2.3. На рис. 2.7 – 2.8 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистральной вдоль рассматриваемого расчетного пути.

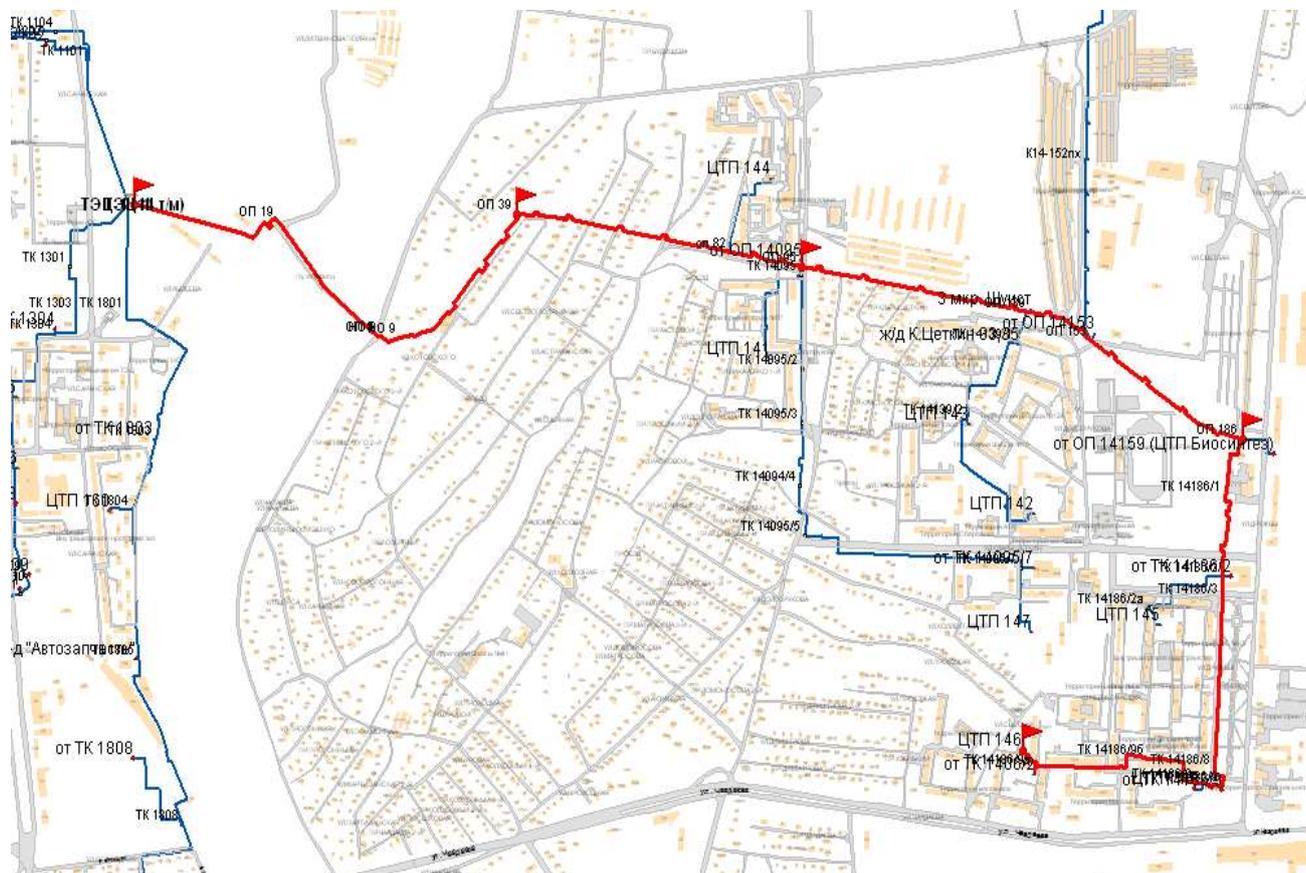
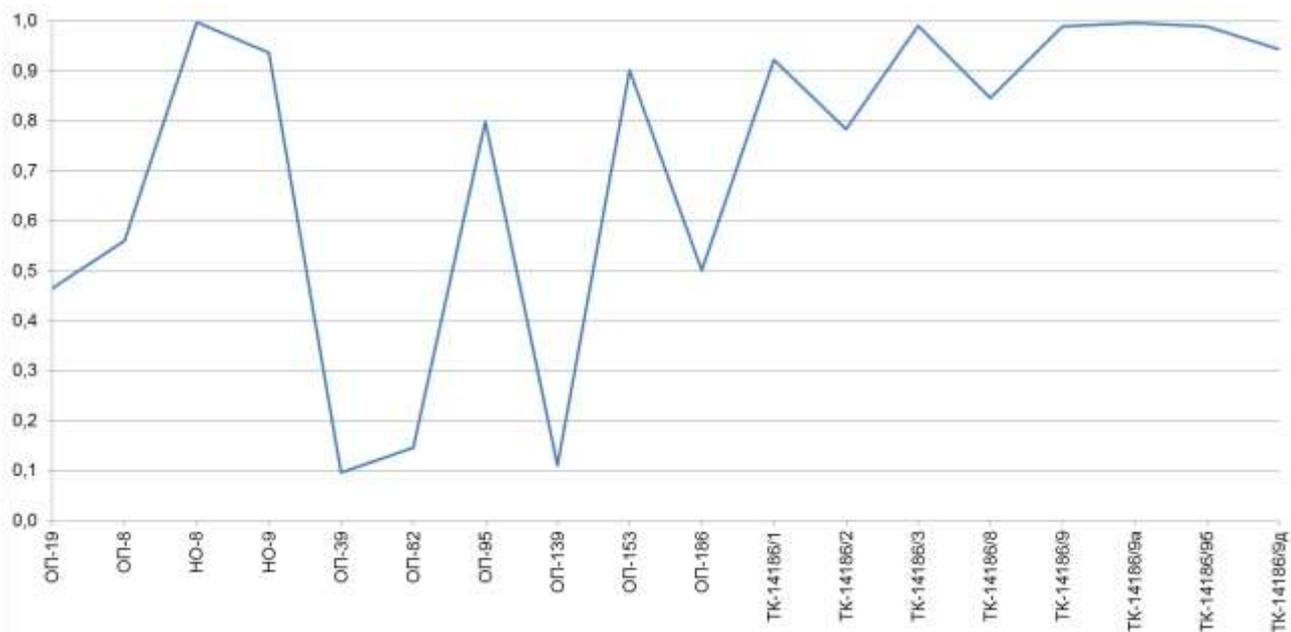


Рис. 2.6. Расчетный участок теплосети от ТЭЦ-1 до проекта ТК-14186/9д

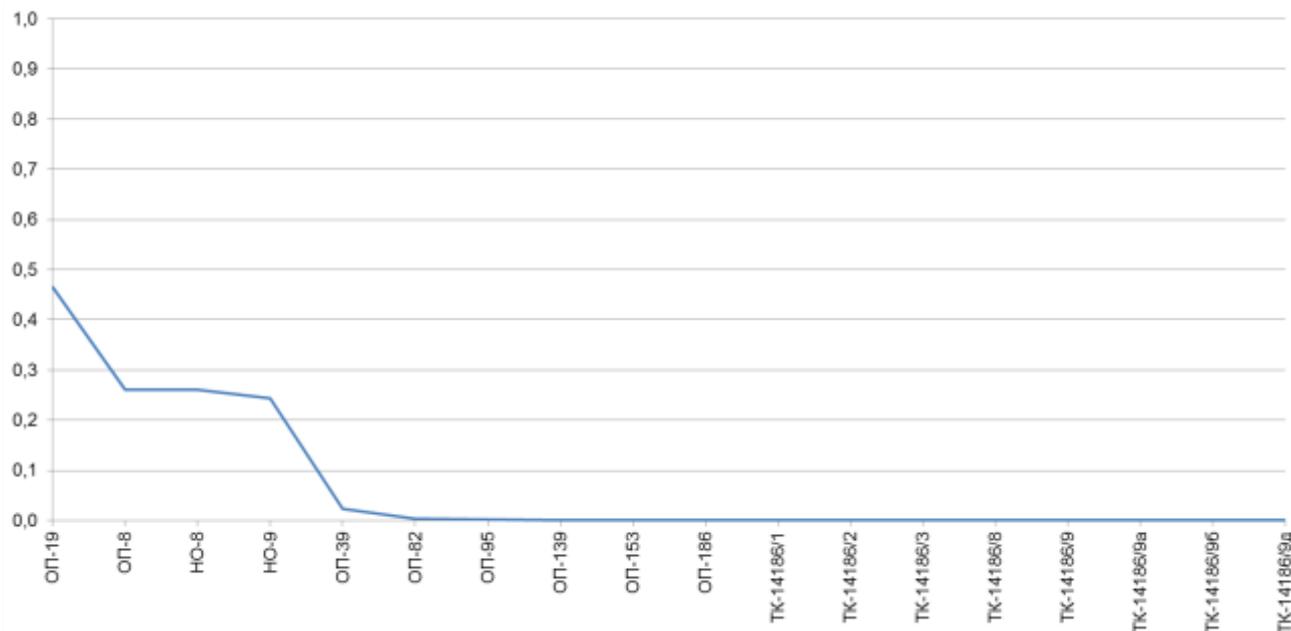
Таблица 2.3

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатац ию	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	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 в 2013 г.**

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



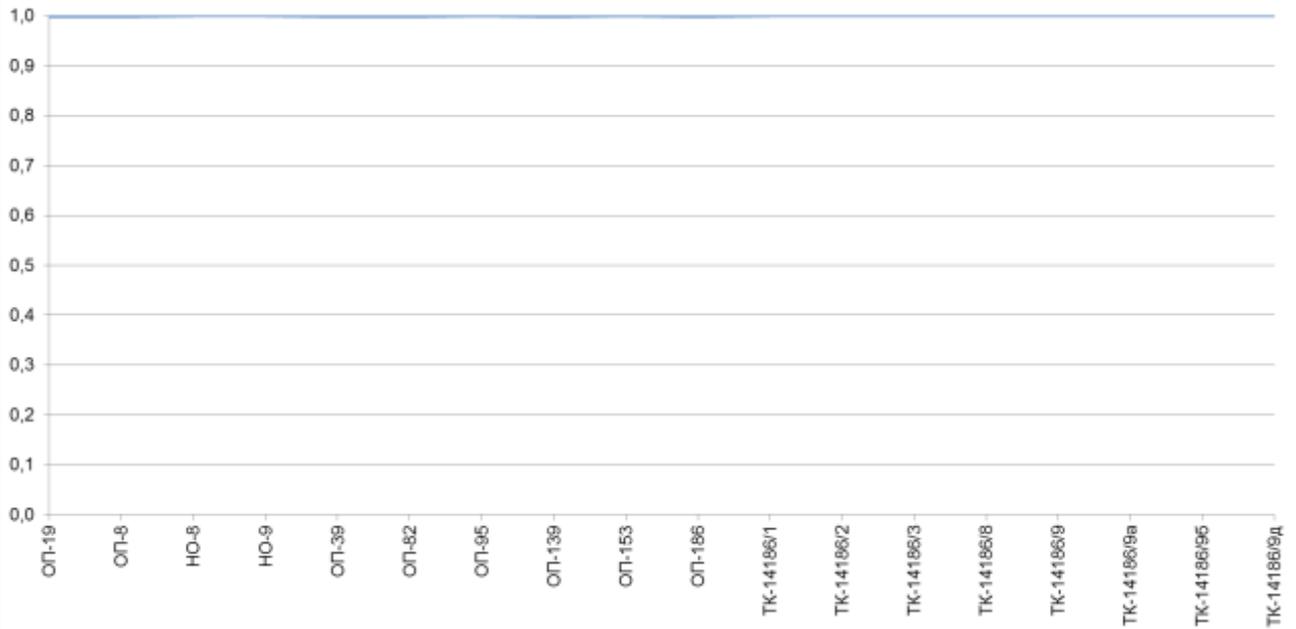
**Рис. 2.8. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭС-1 – ТК-14186/9д в 2013 г.**

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 тепломагистрали.

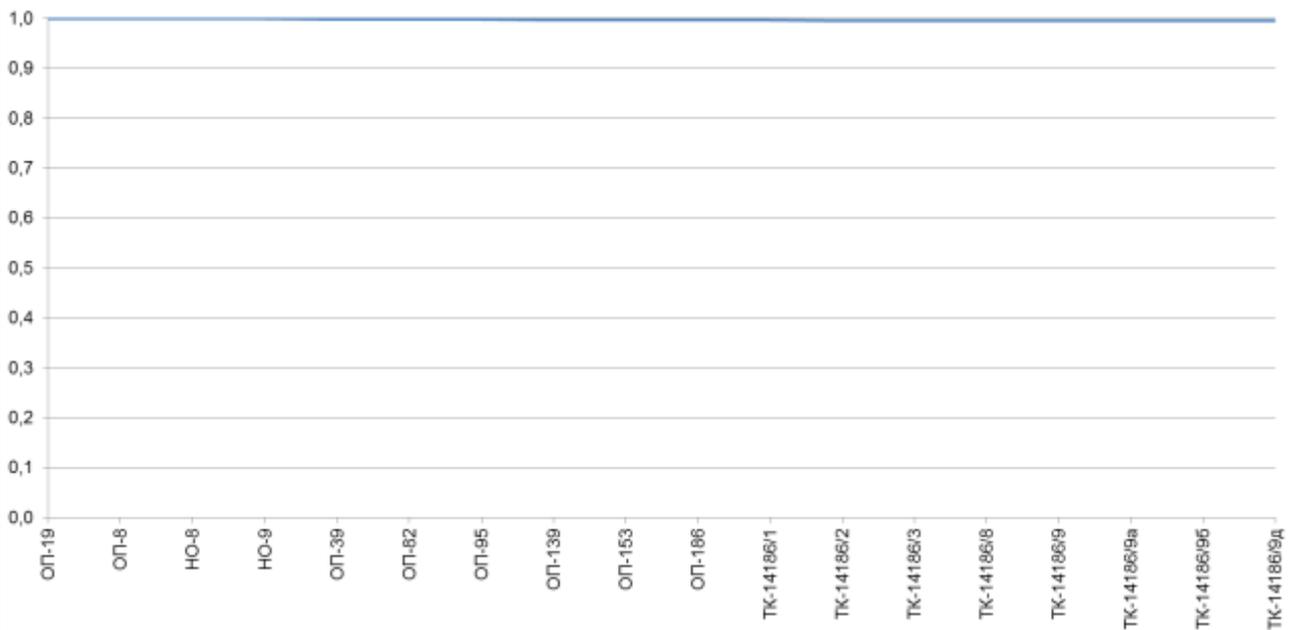
Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали в перспективе на 2027 год с учетом рекомендуемых переключений приведены в табл. 2.4. На рис. 2.9 – 2.10 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути в перспективе на 2027 г.

Таблица 2.4

№ 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	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 в 2027 г.**



**Рис. 2.10. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭС-1 – ТК-1728 в 2027 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 2027 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 2013 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.

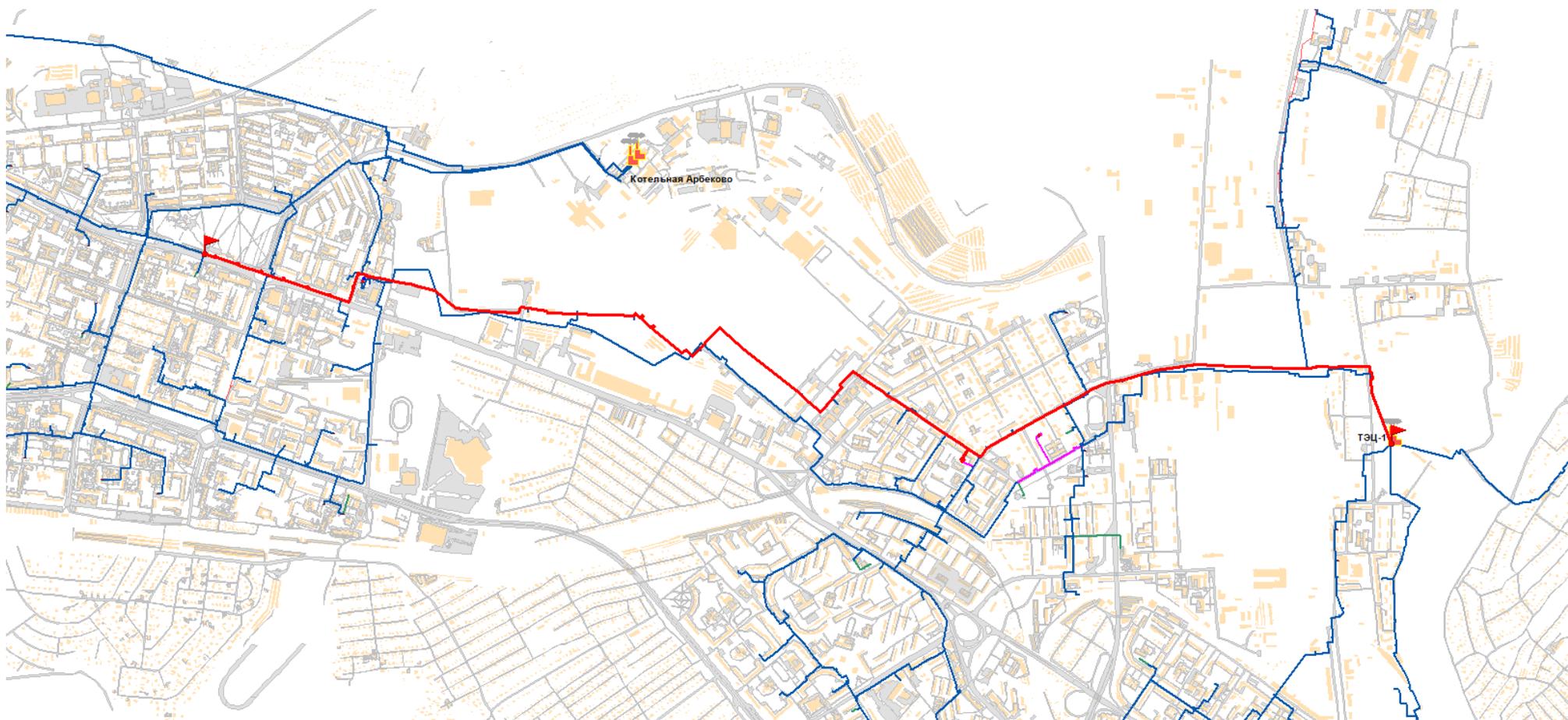


Рис. 2.11. Расчетный участок теплосети от ТЭЦ-1 до ТК-3617

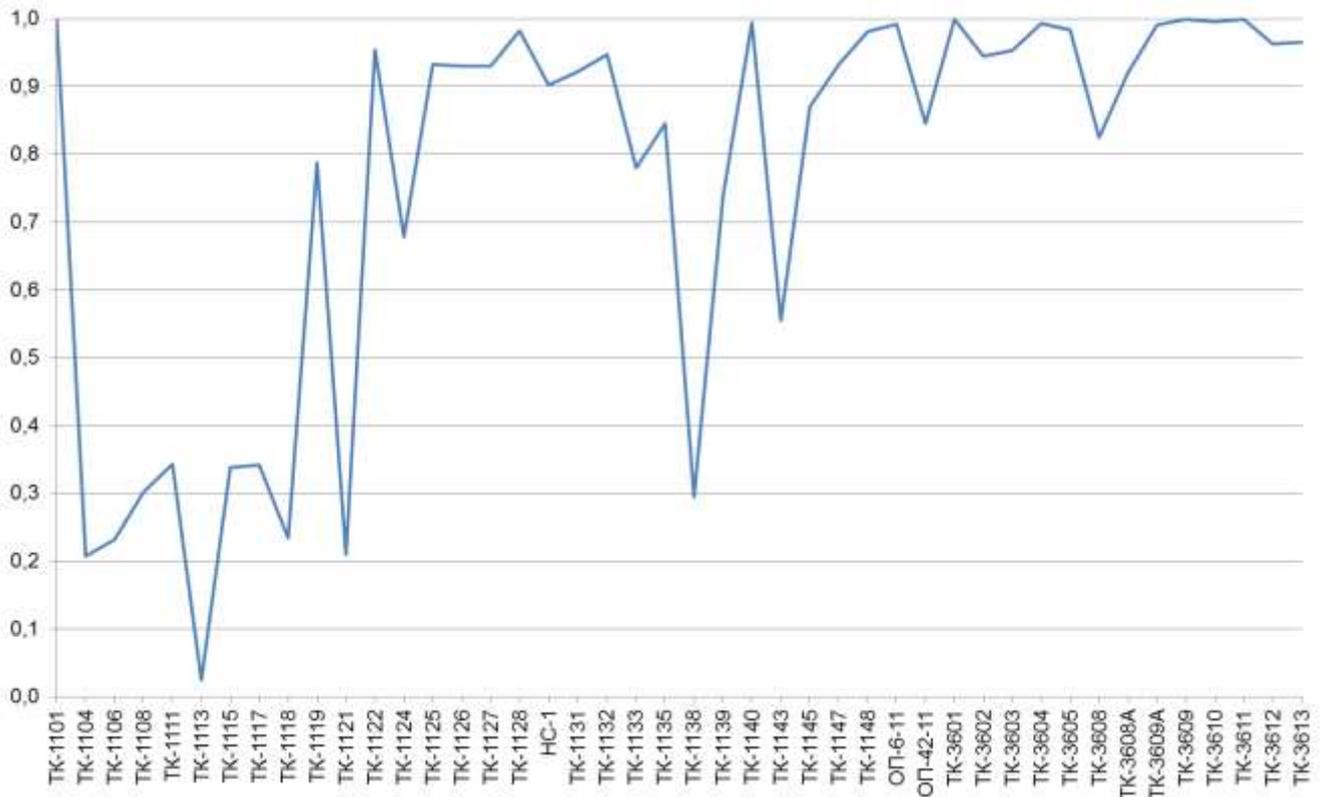
Таблица 2.5

№ 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
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

№ 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
3.2.2	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
5.1	Основная магистраль									
5.1.1	ТК-1128	НС-1	1965	138,0	600	8,298	59,217	0,1032	0,9019	0,9019
5.1.2	НС-1	ТК-1131	1965	118,0	600	8,201	59,217	0,0817	0,9215	0,8311
5.1.3	ТК-1131	ТК-1132	1964	88,7	500	7,653	101,833	0,0538	0,9476	0,7876
5.2	Резервная магистраль									
5.2.1	ТК-1224	ТК-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	ТК-1132	ТК-1133	1964	217,1	500	8,156	101,833	0,2486	0,7799	0,7799
6.1.2	ТК-1133	ТК-1135	1964	132,7	600	8,272	101,833	0,1672	0,8460	0,6598
6.1.3	ТК-1135	ТК-1138	1964	394,3	600	9,548	101,833	1,2243	0,2940	0,1940
6.1.4	ТК-1138	ТК-1139	1964	196,0	600	8,581	101,833	0,3041	0,7378	0,1431
6.1.5	ТК-1139	ТК-1140	1965	15,5	600	7,701	59,217	0,0060	0,9940	0,1423
6.1.6	ТК-1140	ТК-1143	1965	361,6	600	9,388	59,217	0,5882	0,5553	0,0790

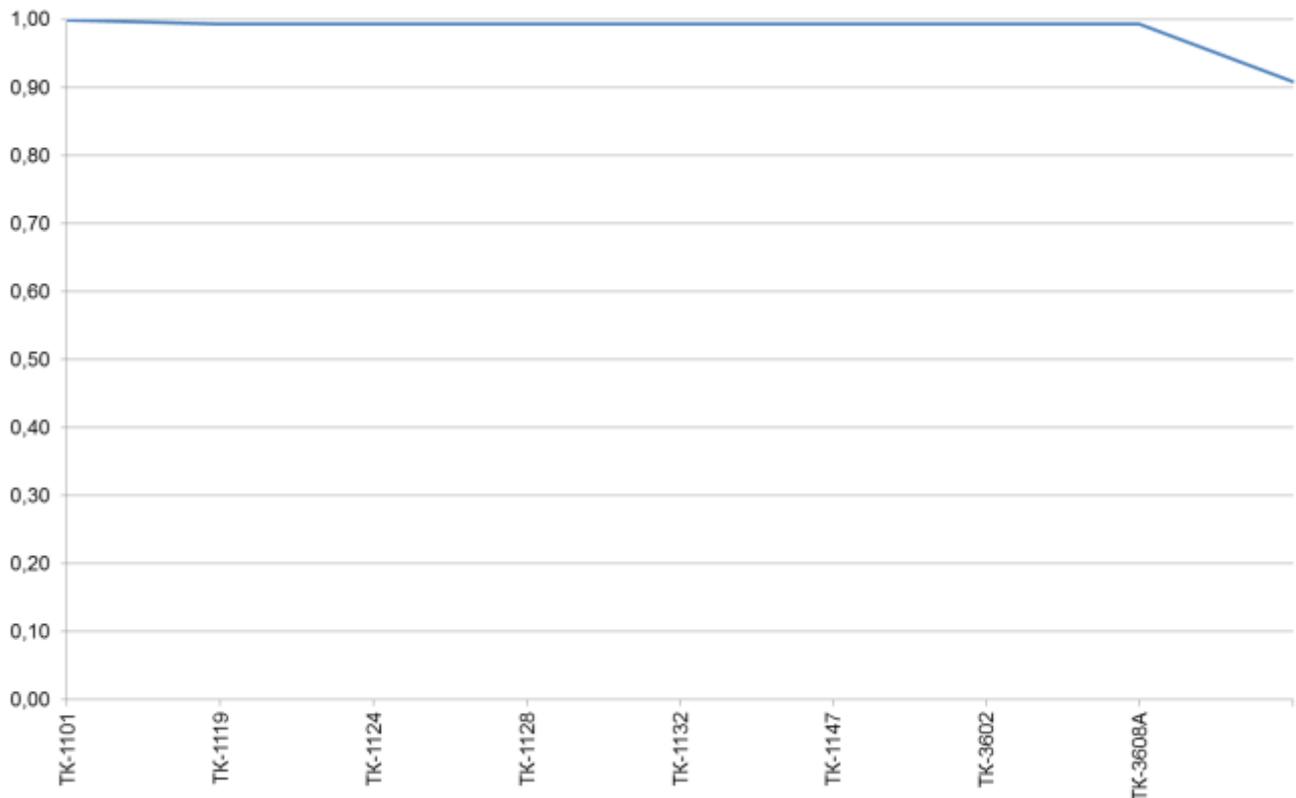
№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
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
7.1	Основная магистраль									
7.1.1	TK-1147	TK-1148	1965	41,9	600	7,829	59,217	0,0196	0,9806	0,9806
7.1.2	TK-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	TK-3601	1968	16,0	500	7,369	13,948	0,0009	0,9991	0,8220
7.1.5	TK-3601	TK-3602	1968	290,0	500	8,442	13,948	0,0565	0,9451	0,7768
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	1968	264,0	500	8,340	13,948	0,0479	0,9532	0,9532
8.1.2	TK-3603	TK-3604	1968	84,0	500	7,635	13,948	0,0067	0,9933	0,9468
8.1.3	TK-3604	TK-3605	1968	170,0	450	7,738	13,948	0,0163	0,9838	0,9315
8.1.4	TK-3605	TK-3608	1968	589,0	450	9,184	13,948	0,1928	0,8246	0,7681
8.1.5	TK-3608	TK-3608A	1968	400,0	450	8,532	13,948	0,0825	0,9208	0,7073
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

№ 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
Итого по участку 8										1,0000
9.1	Основная магистраль									
9.1.1	TK-3608A	TK-3609A	1968	55,0	700	8,278	13,948	0,0095	0,9905	0,9905
9.1.2	TK-3609A	TK-3609	1968	22,0	500	7,392	13,948	0,0012	0,9988	0,9893
9.1.3	TK-3609	TK-3610	1970	108,0	500	7,729	6,09	0,0045	0,9955	0,9849
9.1.4	TK-3610	TK-3611	1970	38,0	500	7,455	6,09	0,0010	0,9990	0,9839
9.1.5	TK-3611	TK-3612	1970	370,0	500	8,755	6,09	0,0378	0,9629	0,9474
9.1.6	TK-3612	TK-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 в 2013 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 (см. 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 в 2013 г.**

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

Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистральной в перспективе на 2027 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 тепломагистральной вдоль рассматриваемого расчетного пути в перспективе на 2027 г.

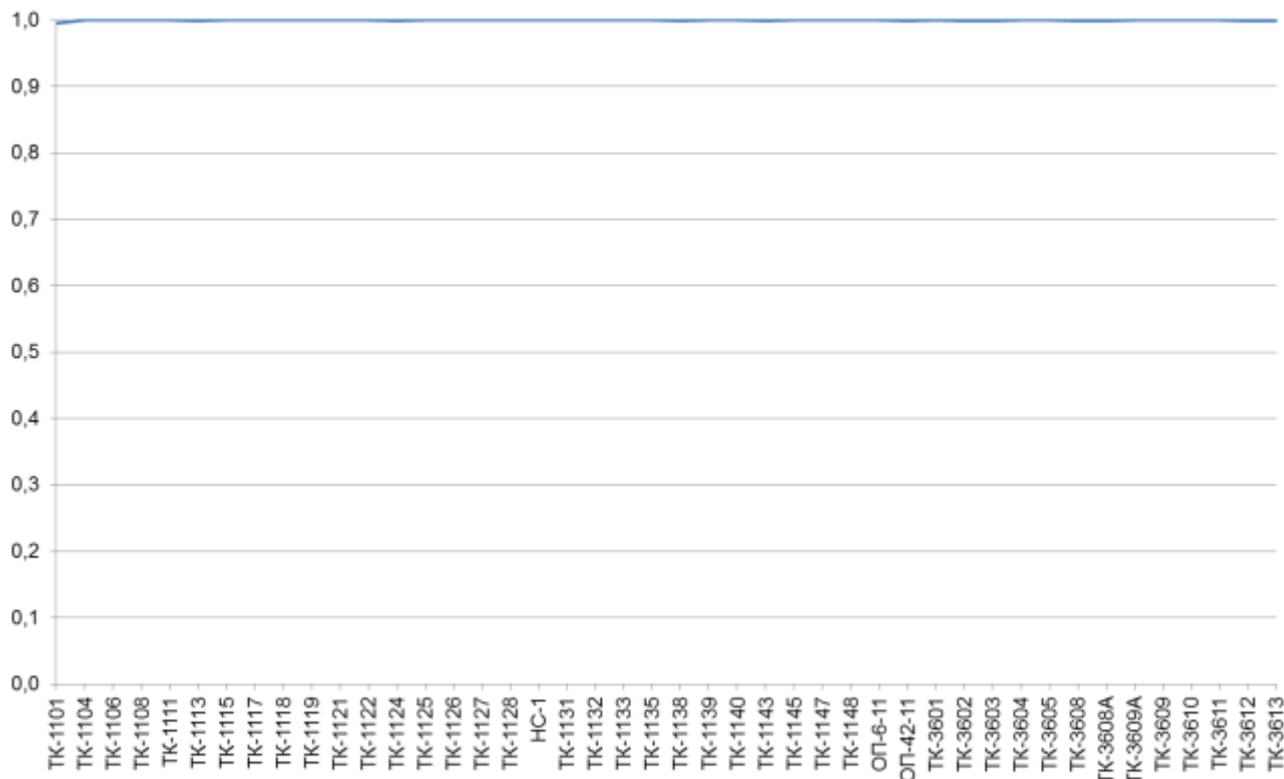
Таблица 2.6

№ 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									
3.1.1.	ТК-1119	ТК-1121	2014	143,6	700	8,798	0,05	0,0001	0,9999	0,9999
3.1.2	ТК-1121	ТК-1122	2014	80,7	600	8,019	0,05	0,0000	1,0000	0,9999
3.1.3	ТК-1122	ТК-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

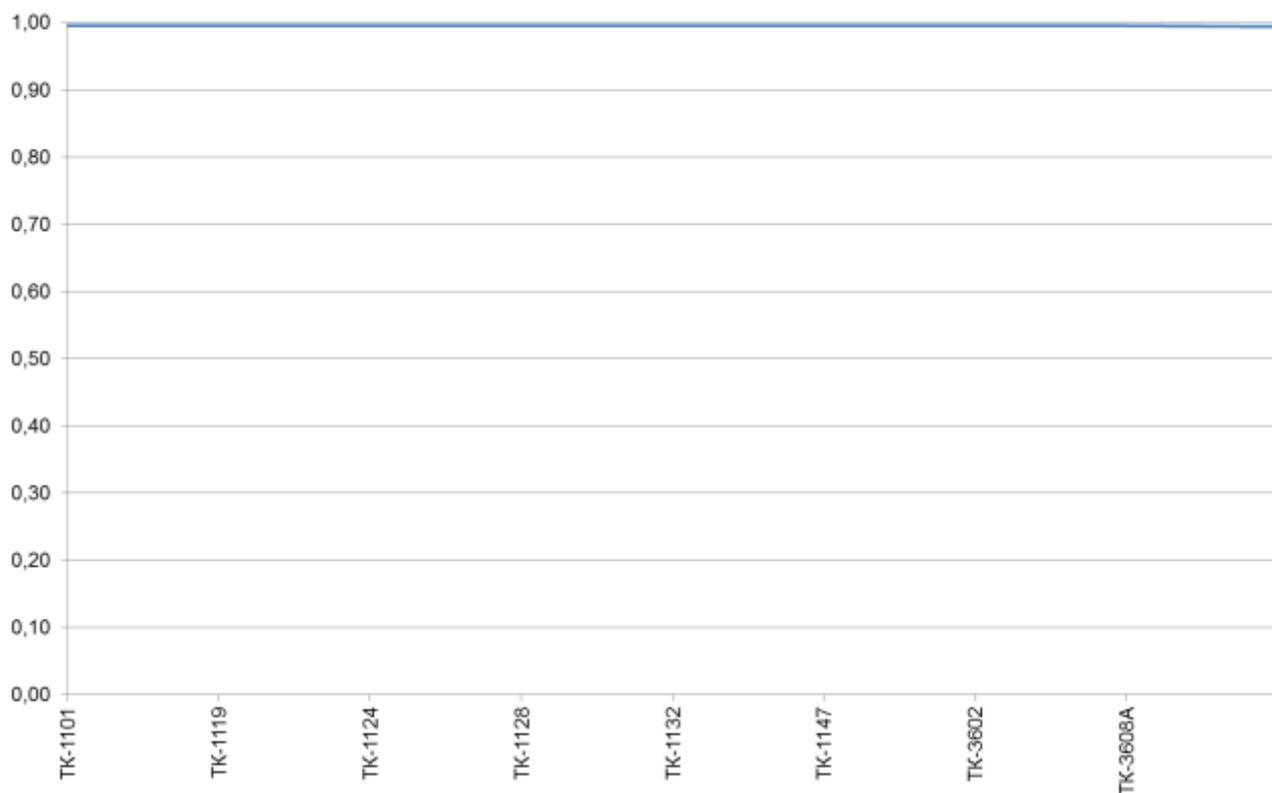
№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год-км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, ω	Вероятность безотказной работы участка тепловой сети, P	Средняя вероятность безотказной работы системы, ПР
3.2.2	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	2014	142,0	500	7,862	0,05	0,0001	0,9999	0,9999
4.1.2	ТК-1125	ТК-1126	2014	145,0	500	7,874	0,05	0,0001	0,9999	0,9998
4.1.3	ТК-1126	ТК-1127	2014	146,0	500	7,878	0,05	0,0001	0,9999	0,9997
4.1.4	ТК-1127	ТК-1128	2014	62,0	500	7,549	0,05	0,0000	1,0000	0,9997
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
5.1	Основная магистраль									
5.1.1	ТК-1128	НС-1	2014	138,0	600	8,298	0,05	0,0001	0,9999	0,9999
5.1.2	НС-1	ТК-1131	2014	118,0	600	8,201	0,05	0,0001	0,9999	0,9998
5.1.3	ТК-1131	ТК-1132	2014	88,7	500	7,653	0,05	0,0000	1,0000	0,9998
5.2	Резервная магистраль									
5.2.1	ТК-1224	ТК-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	ТК-1132	ТК-1133	2014	217,1	500	8,156	0,05	0,0001	0,9999	0,9999
6.1.2	ТК-1133	ТК-1135	2014	132,7	600	8,272	0,05	0,0001	0,9999	0,9998
6.1.3	ТК-1135	ТК-1138	2014	394,3	600	9,548	0,05	0,0006	0,9994	0,9992
6.1.4	ТК-1138	ТК-1139	2014	196,0	600	8,581	0,05	0,0001	0,9999	0,9991
6.1.5	ТК-1139	ТК-1140	2014	15,5	600	7,701	0,05	0,0000	1,0000	0,9991
6.1.6	ТК-1140	ТК-1143	2014	361,6	600	9,388	0,05	0,0005	0,9995	0,9986

№ 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
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
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

№ 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
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 в 2027 г.**



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

Из анализа рис. 2.14 и 2.15 следует, что реконструкция тепломагистрали от ТЭЦ-1 до ТК-3617 в 2014 г. позволит обеспечить высокие показатели надежности вплоть до 2027 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 2013 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.

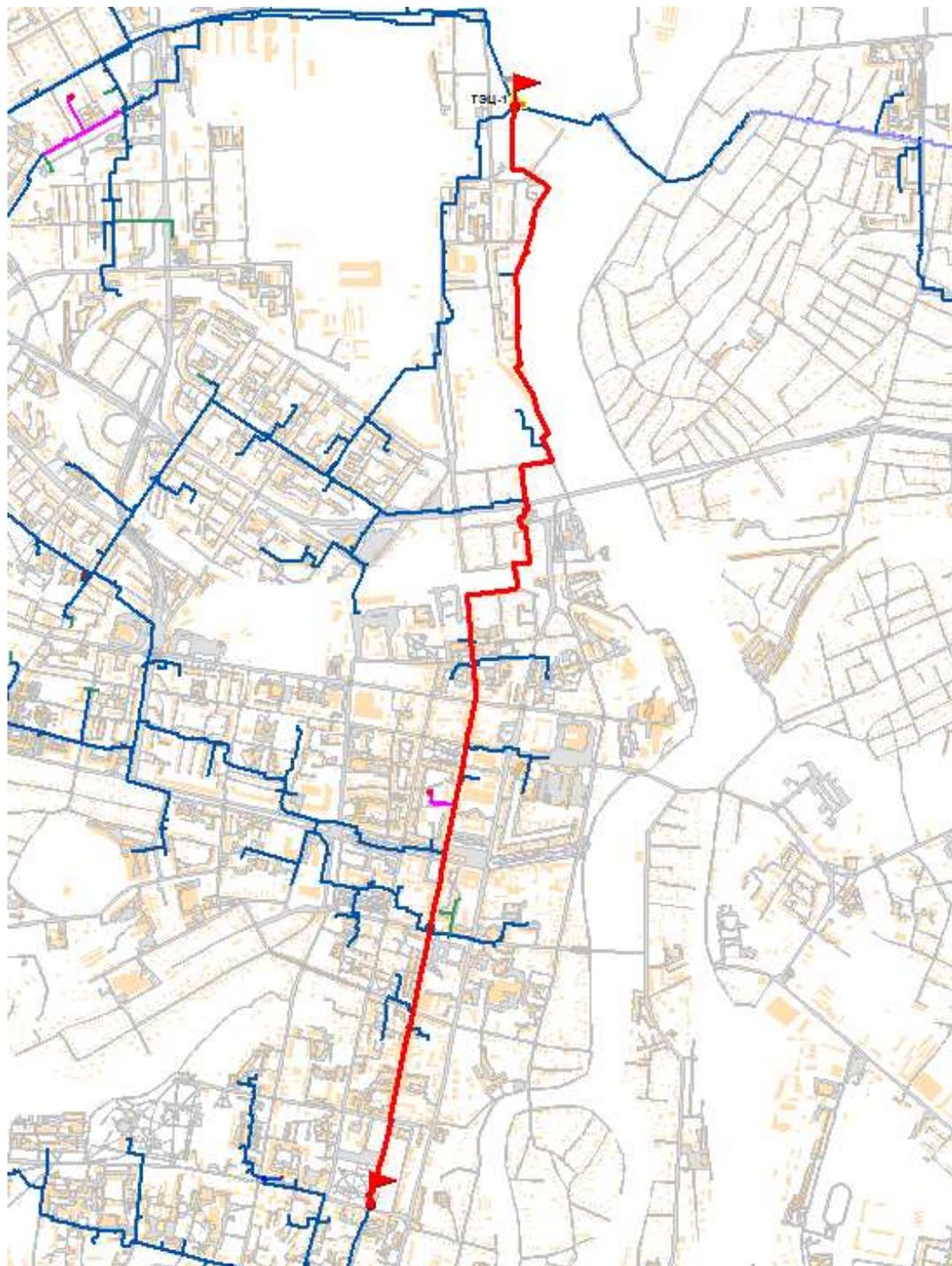
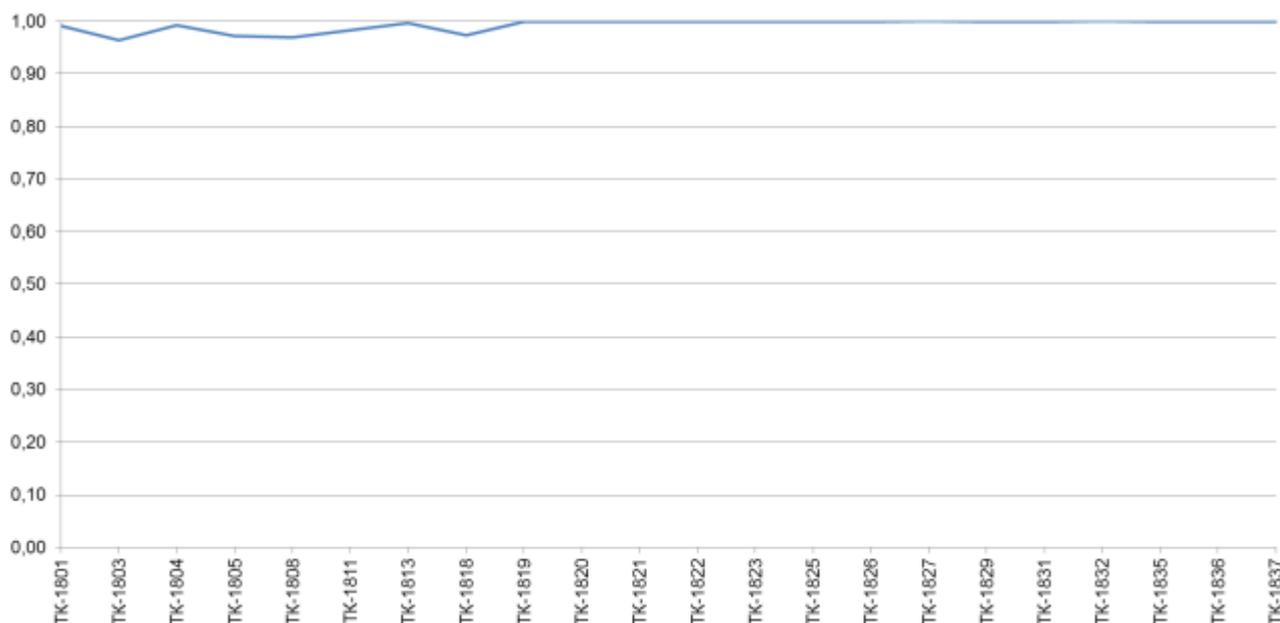


Рис. 2.16. Расчетный участок теплосети от ТЭЦ-1 до ТК-1837

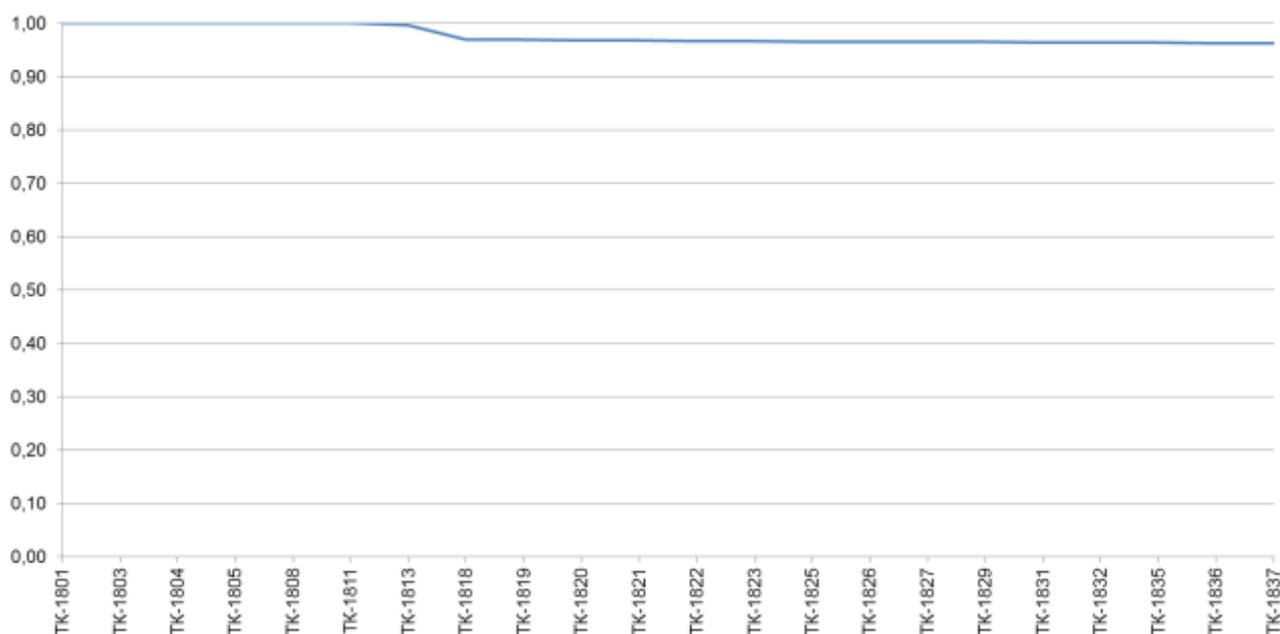
Таблица 2.7

№ 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 ТЭС-1 до ТК-1837 в 2013 г.**



**Рис. 2.18. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭС-1 – ТК-1837 в 2013 г.**

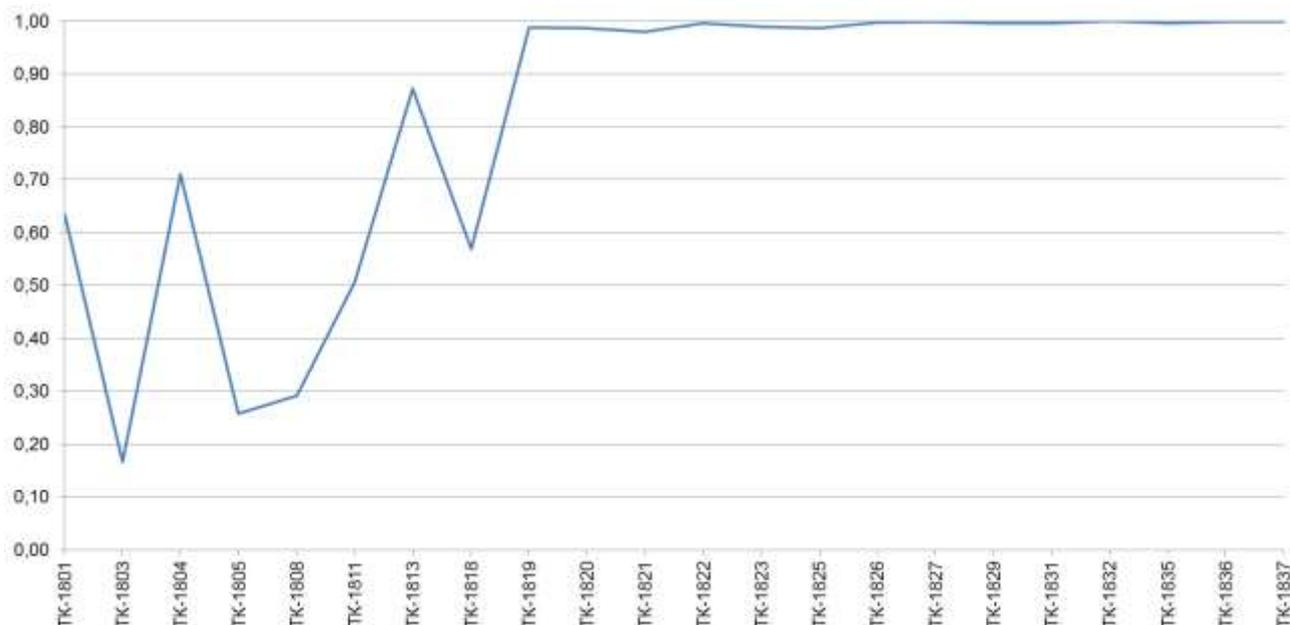
Из анализа рис. 2.17 и 2.18 следует, что все участки тепломатриалы от ТЭС-1 до ТК-1837 обладают допустимыми значениями показателями надёжности.

Показатели работы расчетного участка тепловой сети от ТЭС-1 до ТК-1837 к окончанию к 2022 г. представлены в табл. 2.8 и на рис. 2.19 – 2.20.

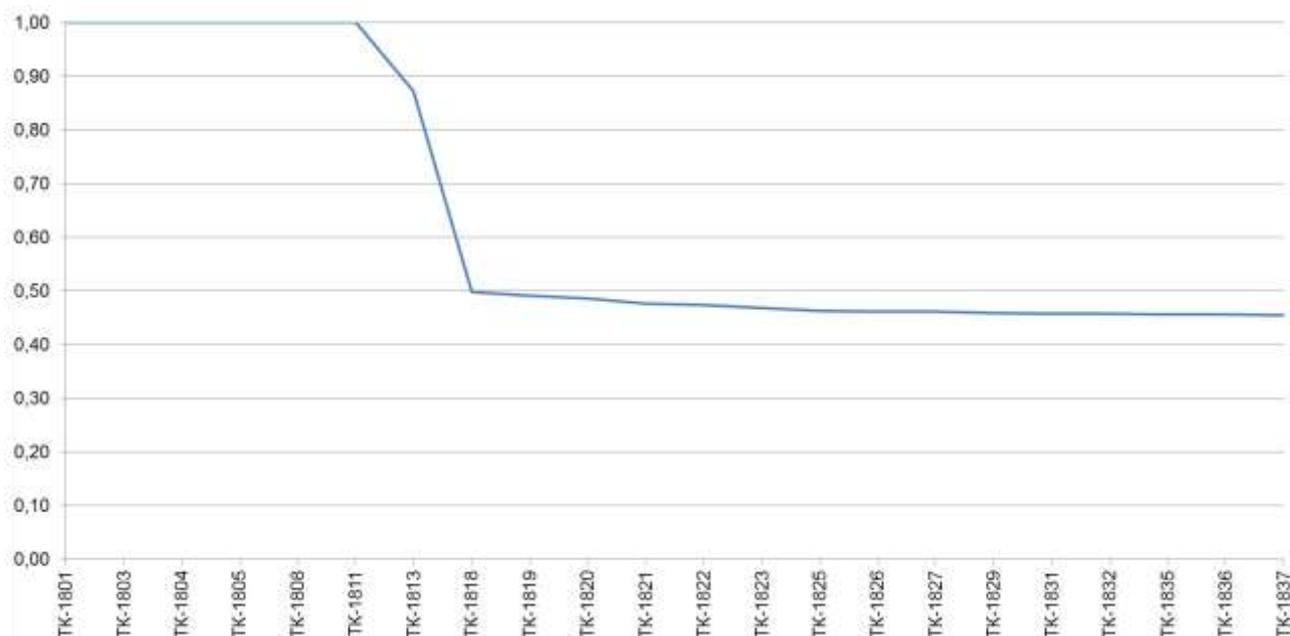
Таблица 2.8

№ 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 2022 г.**



**Рис. 2.20. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-1 – ТК-1837 в конце 2022 г.**

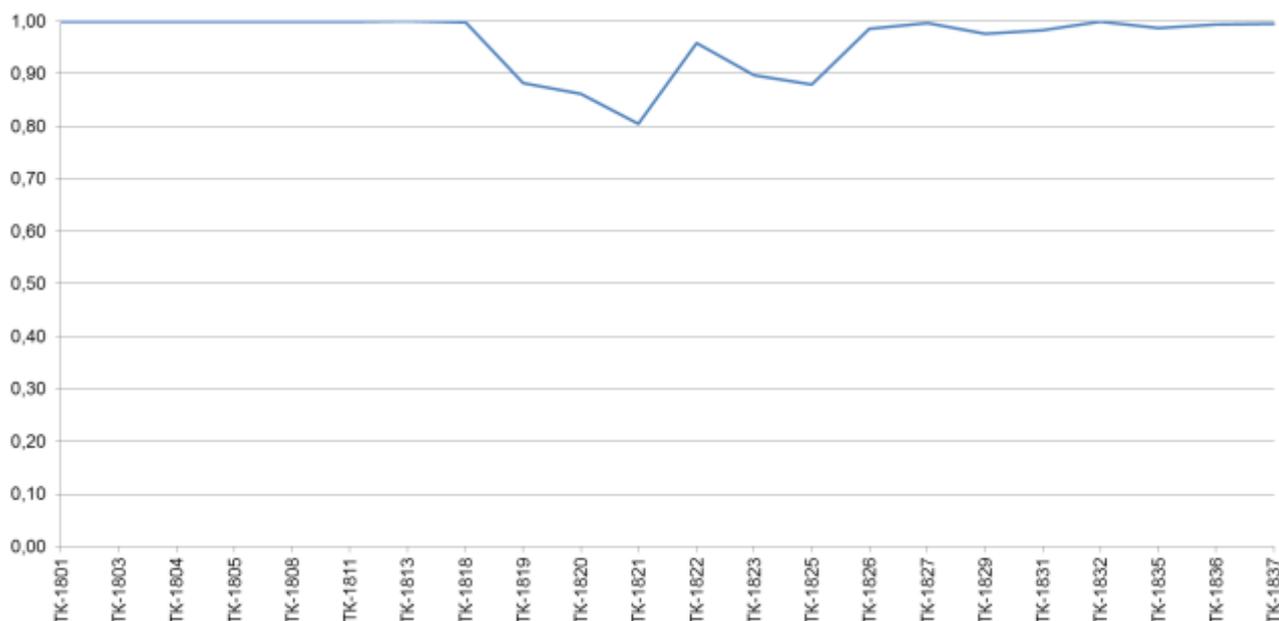
Из анализа рис. 2.19 – 2.20 следует, что к 2022 г. тепломагистраль будет обладать низкими показателями безотказности работы. Для увеличения показателей необходимо выполнить перекладки трубопроводов ТК-1801 – ТК-1819 в период с 2018 по 2022 гг.

Показатели работы расчетного участка тепловой сети от ТЭЦ-1 до ТК-1837 к окончанию к 2027 г. с учетом рекомендуемых реконструкций представлены в табл.2.9 и на рис. 2.21 – 2.22.

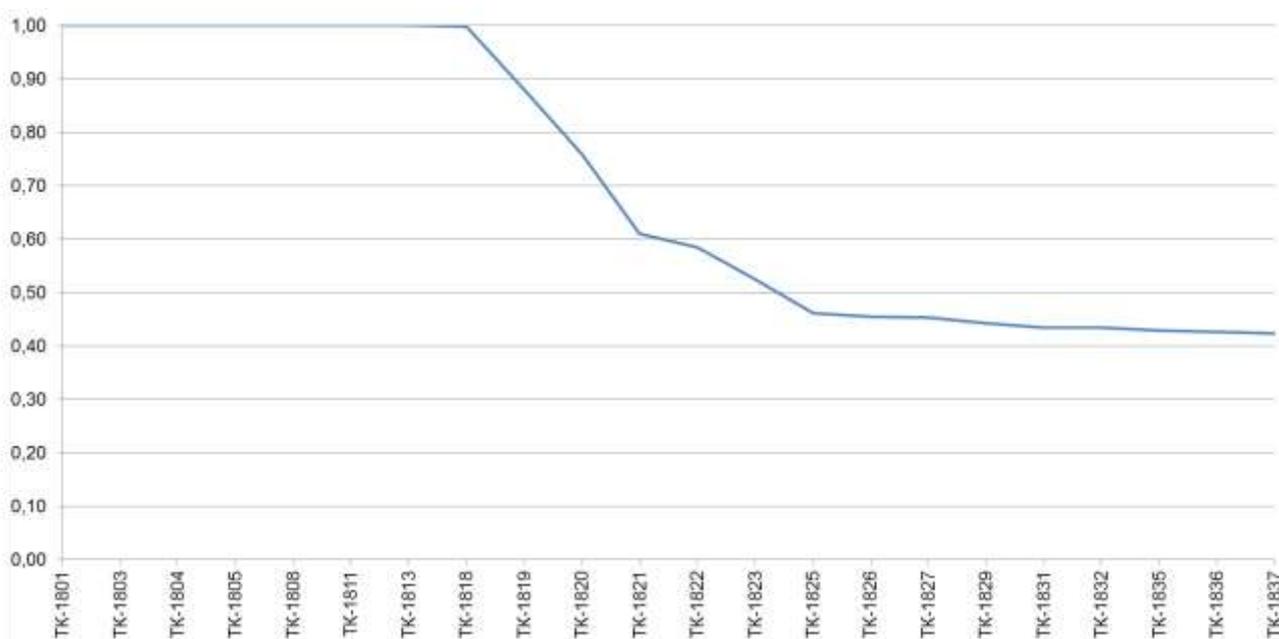
Таблица 2.9

№ 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 ТЭС-1 до ТК-1837 в конце 2027 г.**



**Рис. 2.22. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭС-1 – ТК-1837 в конце 2027 г.**

Из анализа рис. 2.21 – 2.22 следует, что к 2027 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 2022 до 2027 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 2013 год приведены в табл. 2.10.

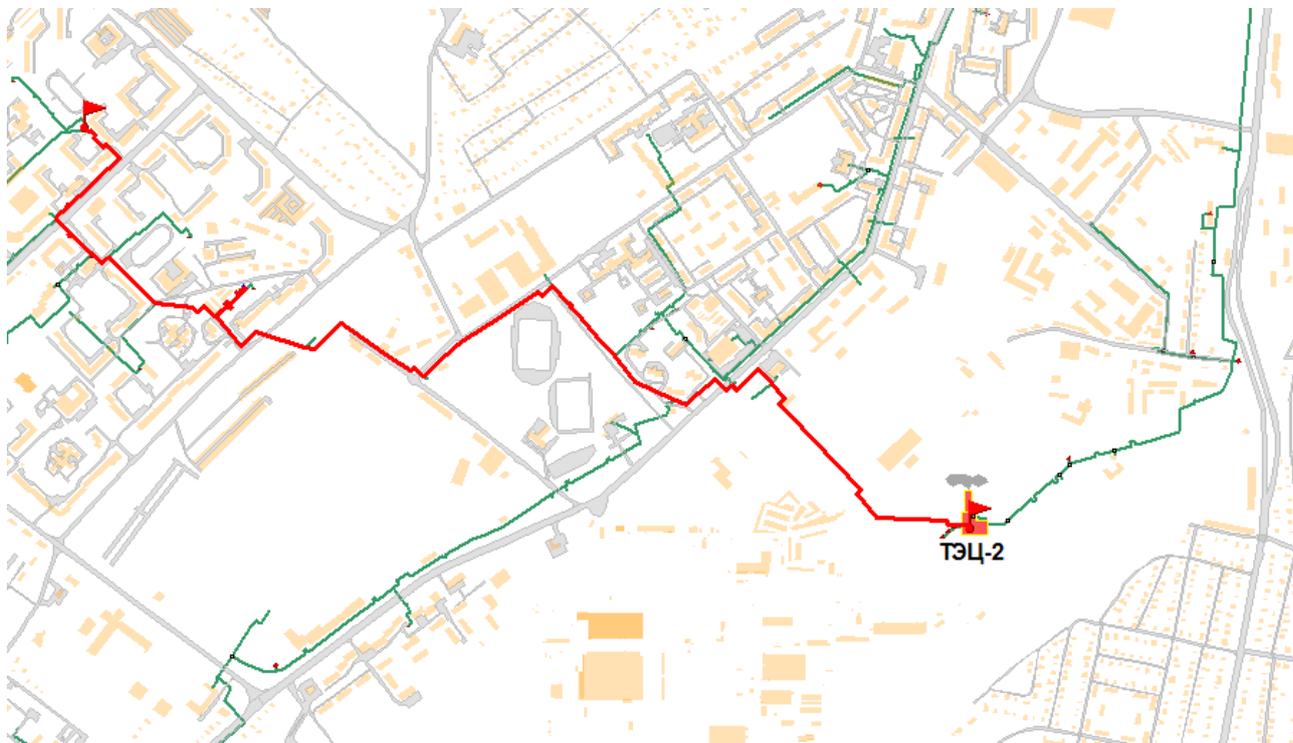


Рис. 2.23. Расчетный участок теплосети от ТЭЦ-2 до ТК-2420/3

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, PR
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

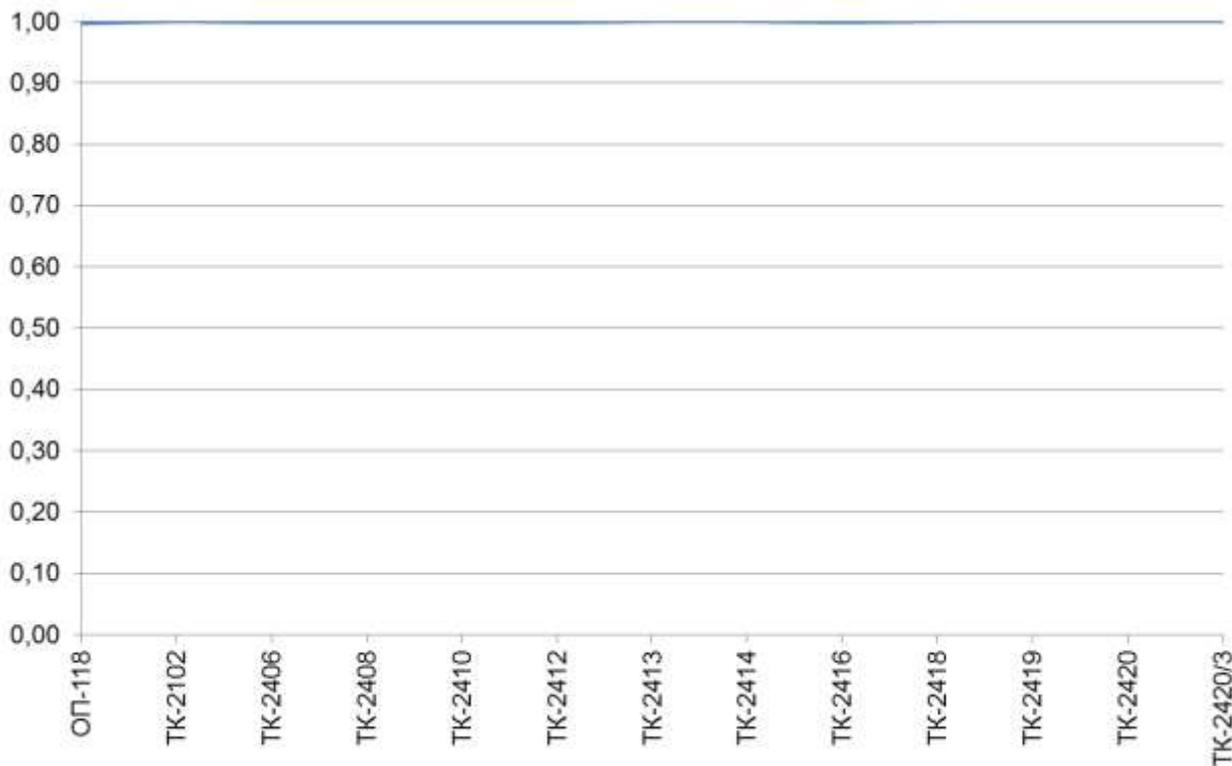


Рис. 2.24. Вероятности безаварийной работы каждого участка от ТЭЦ-2 до ТК-2420/3 в 2013 г.

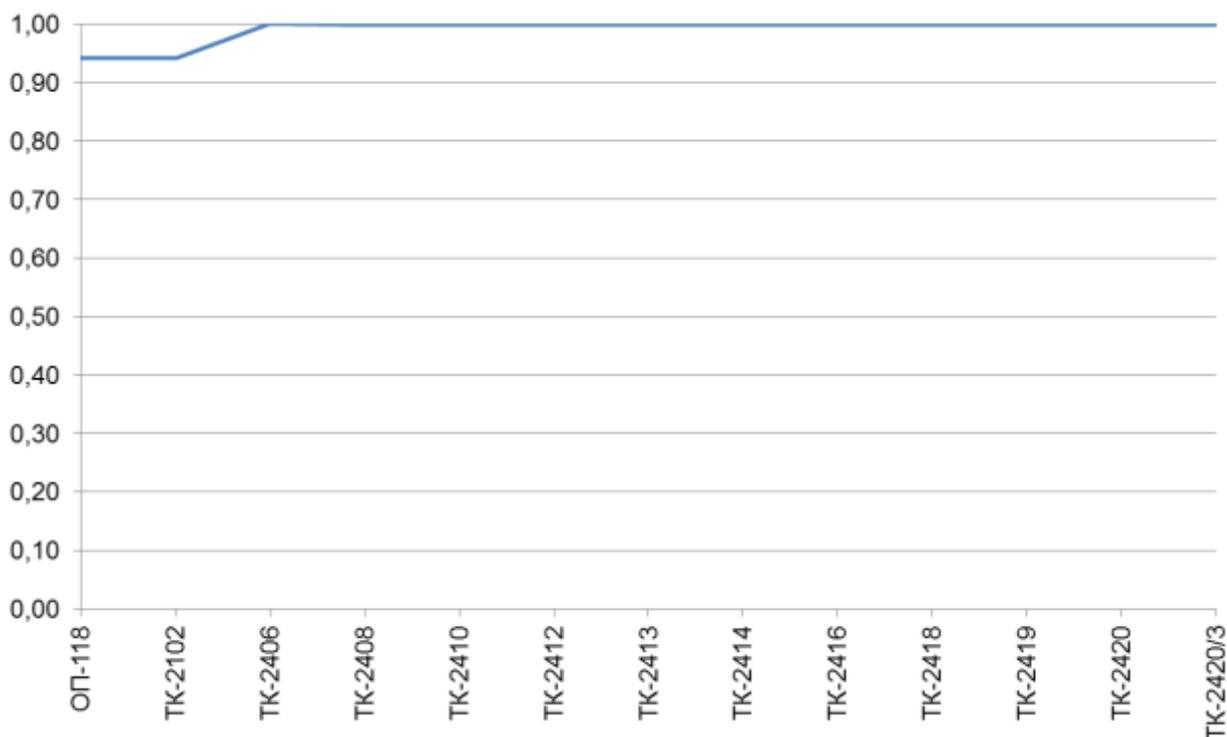


Рис. 2.25. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-2 – ТК-2420/3 в 2013 г.

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 2027 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

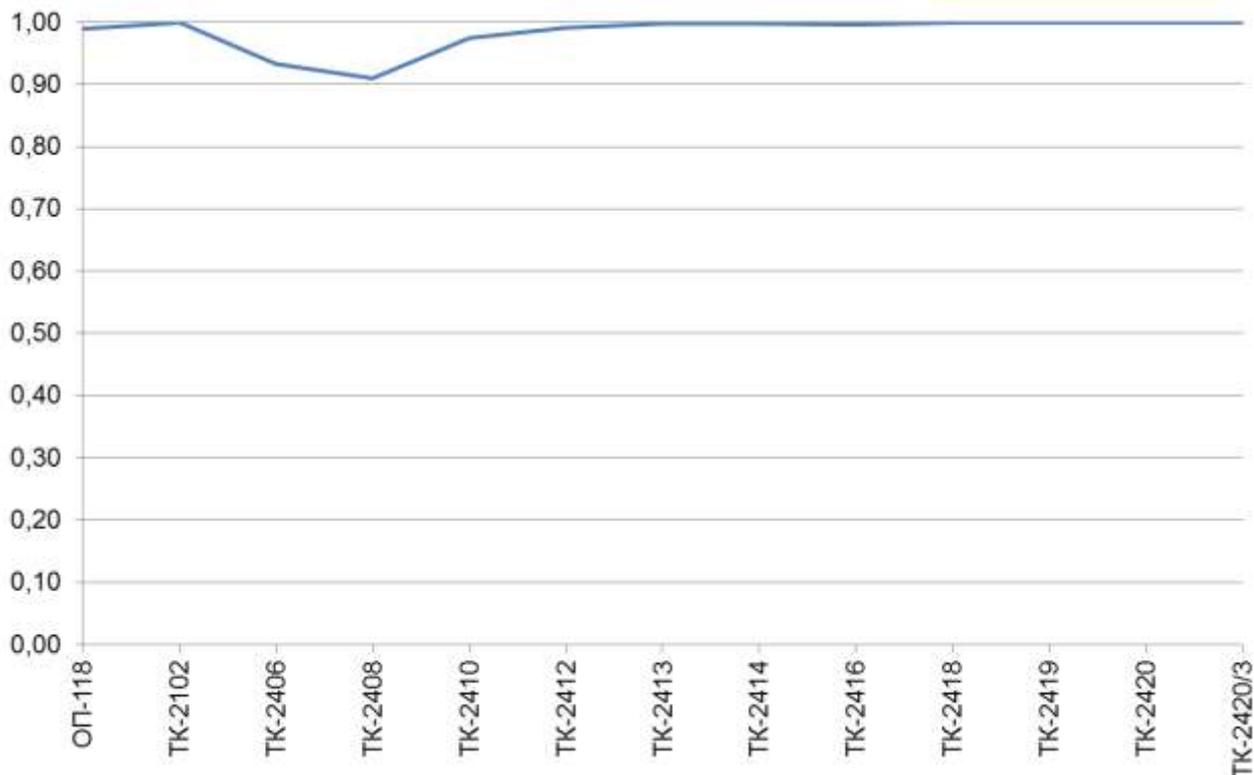


Рис. 2.26. Вероятности безаварийной работы каждого участка от ТЭЦ-2 до ТК-2420/3 в 2027 г.

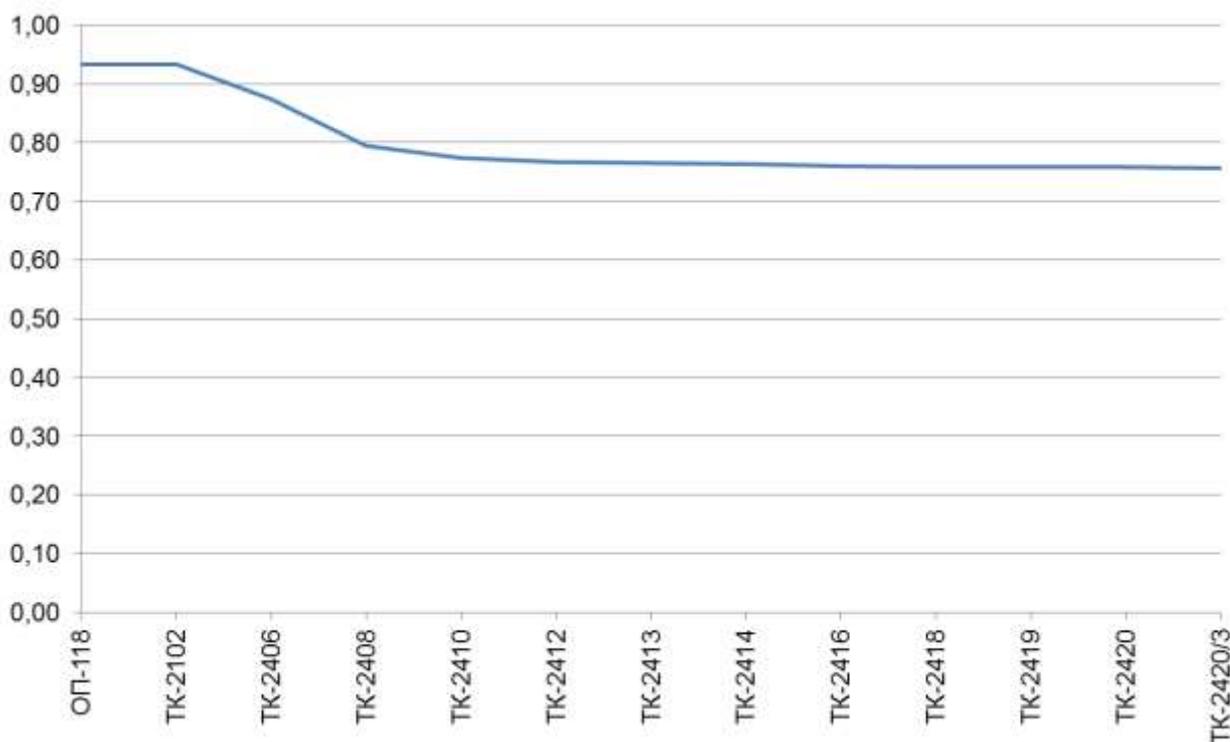


Рис. 2.27. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-2 – ТК-2420/3 в конце 2027 г.

Исходя из анализа табл. 2.11 и рис. 2.26 – 2.27 следует, что ввиду снижения показателей безаварийной работы участка ТК-2102 – ТК-2410 (год строительства 1979) 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.

### 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 тепломагистрالی за 2013 год приведены в табл. 2.12. На рис. 2.29 – 2.30 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрالی вдоль рассматриваемого расчетного пути.

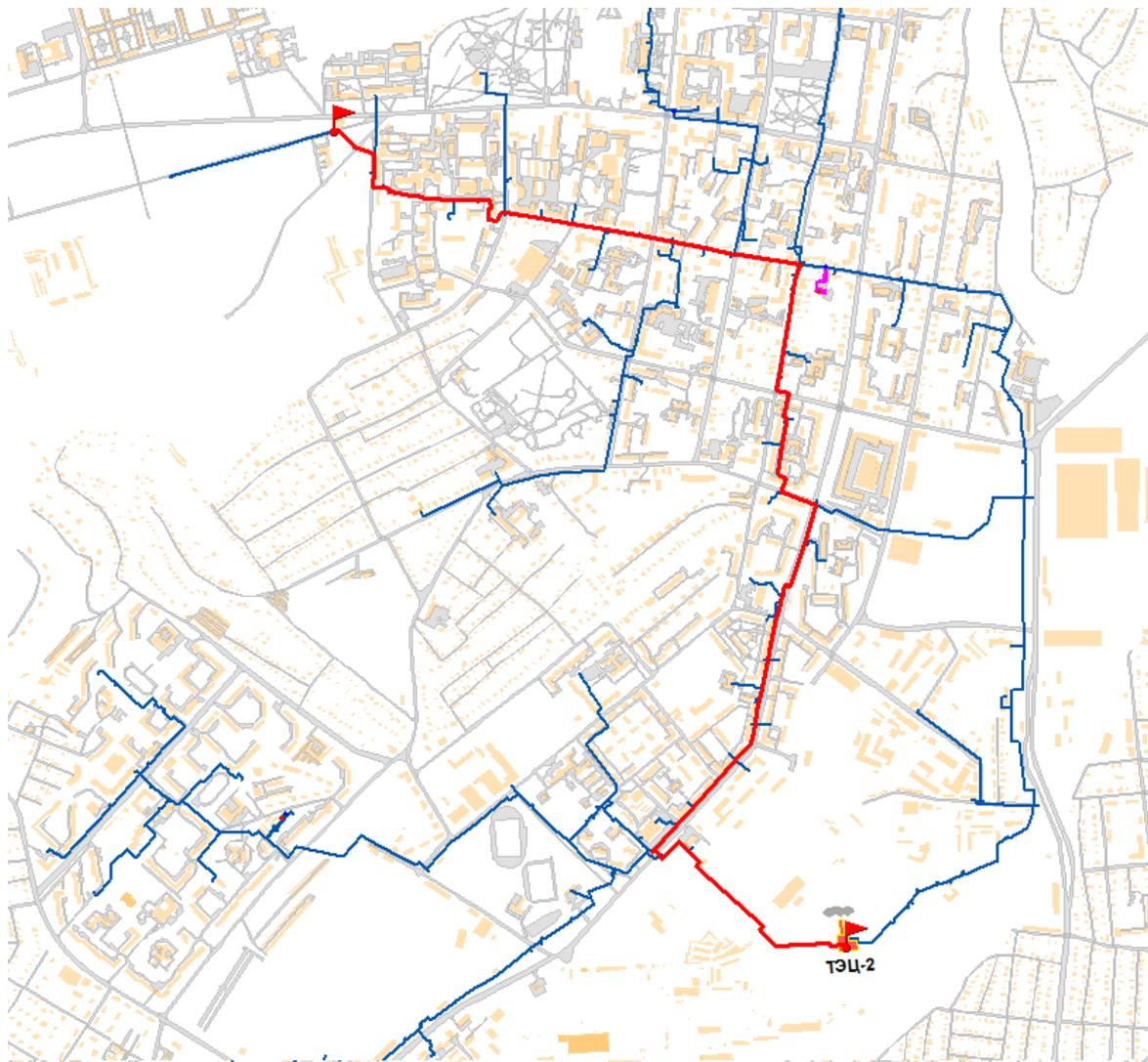


Рис. 2.28. Расчетный участок теплосети от ТЭЦ-2 до ТК-2239

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, ПР
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 14/0	ТК-2219А 12/0	1986	75,0	250	6,696	0,126	0,0000	1,0000	0,9417
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

№ 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
1.1.24	TK-2219A 6/0	TK-2219A 2/0	1986	43,0	250	6,642	0,126	0,0000	1,0000	0,9417
1.1.25	TK-2219A 2/0	TK-2219A	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	TK-2201	1985	392,0	600	9,536	0,144	0,0017	0,9983	0,9423
1.2.7	TK-2201	TK-2203	1985	259,0	700	9,475	0,144	0,0011	0,9989	0,9413
1.2.8	TK-2203	TK-2205	1985	70,0	700	8,366	0,144	0,0001	0,9999	0,9412
1.2.9	TK-2205	TK-2205/19	1985	209,0	700	9,181	0,144	0,0007	0,9993	0,9405
1.2.10	TK-2205/19	TK-2213	1985	435,0	700	10,507	0,144	0,0029	0,9971	0,9378
1.2.11	TK-2213	TK-2215	1985	500,0	700	10,889	0,144	0,0038	0,9962	0,9342
1.2.12	TK-2215	TK-2215/17	1985	53,0	500	7,513	0,144	0,0000	1,0000	0,9342
1.2.13	TK-2215/17	TK-2215/24	1985	15,0	500	7,365	0,144	0,0000	1,0000	0,9342
1.2.14	TK-2215/24	TK-2215/ОП-40	1985	66,0	500	7,564	0,144	0,0000	1,0000	0,9342
1.2.15	TK-2215/ОП-40	TK-2217	1985	152,0	500	7,901	0,144	0,0002	0,9998	0,9341
1.2.16	TK-2217	TK-2218	1985	200,0	500	8,089	0,144	0,0003	0,9997	0,9338
1.2.17	TK-2218	TK-2219	1985	187,0	500	8,038	0,144	0,0003	0,9997	0,9335
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-2219A	1968	74,0	400	7,221	13,948	0,0035	0,9965	0,9294
2.1	Основная магистраль									
2.1.1	TK-2219A	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

№ 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
2.1.5	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

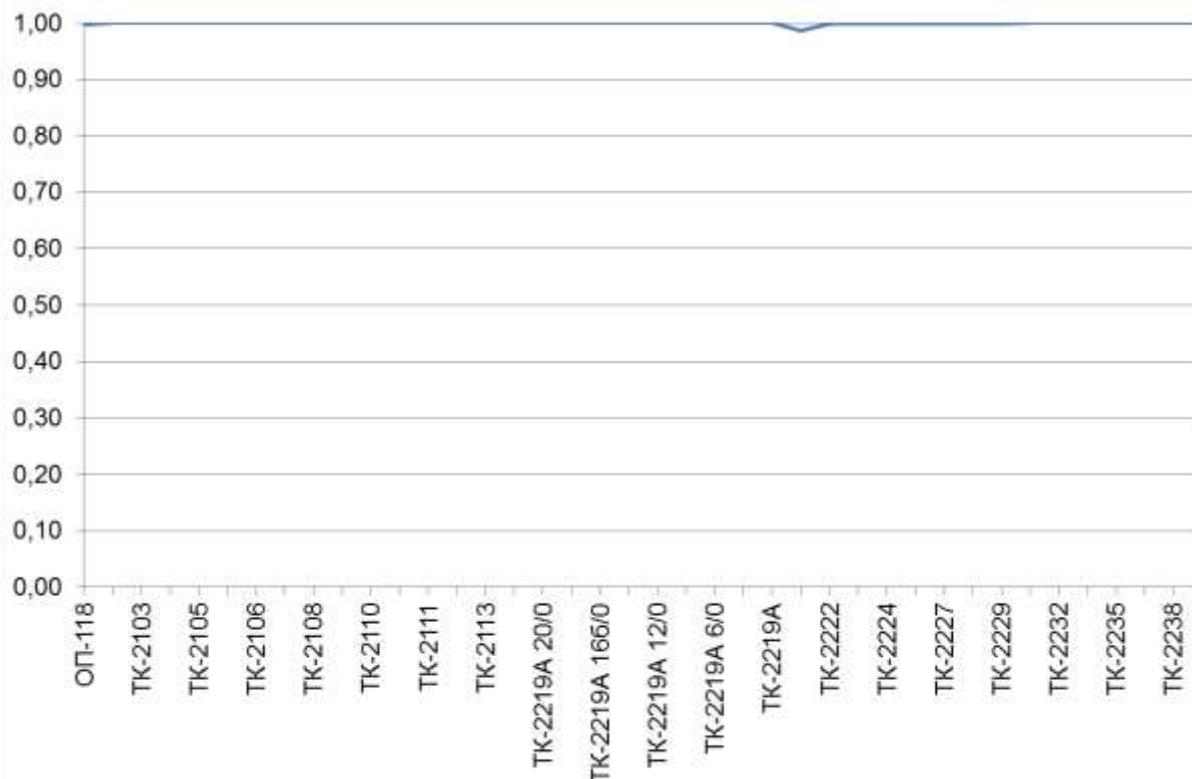


Рис. 2.29. Вероятности безаварийной работы каждого участка от ТЭЦ-2 до ТК-2239 в 2013 г.

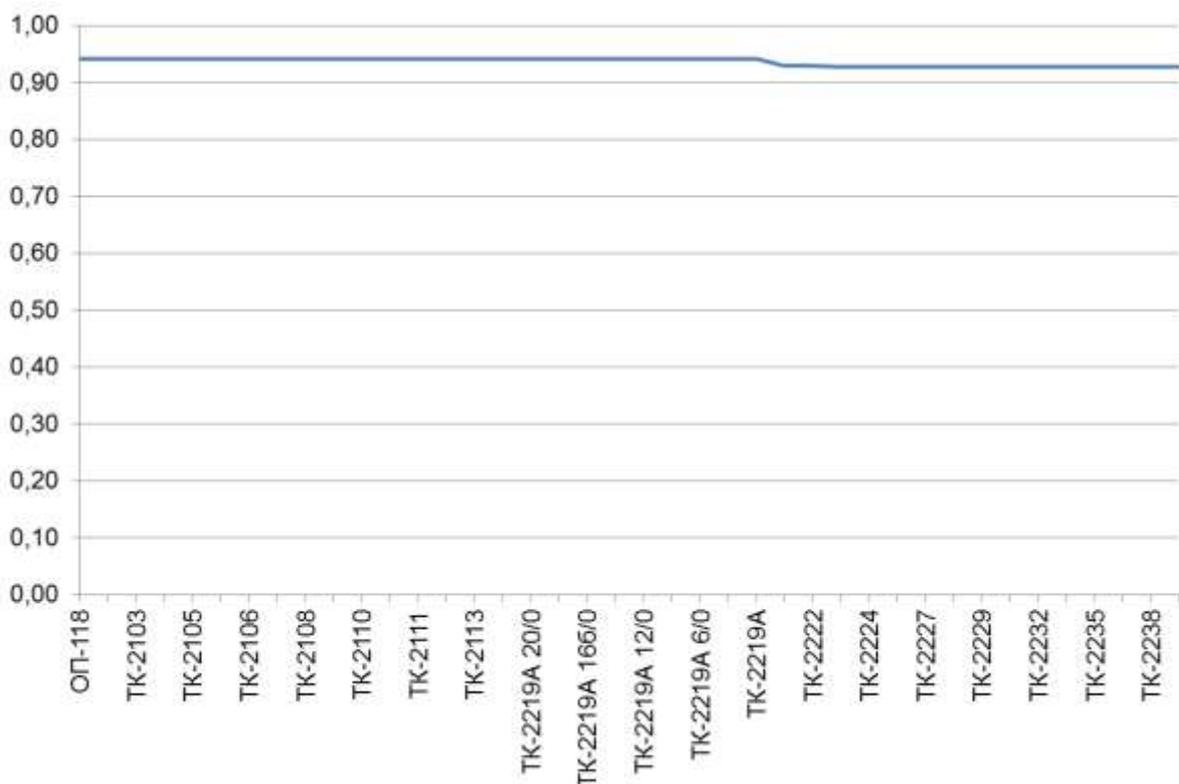


Рис. 2.30. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-2 – ТК-2239 в 2013 г.

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.

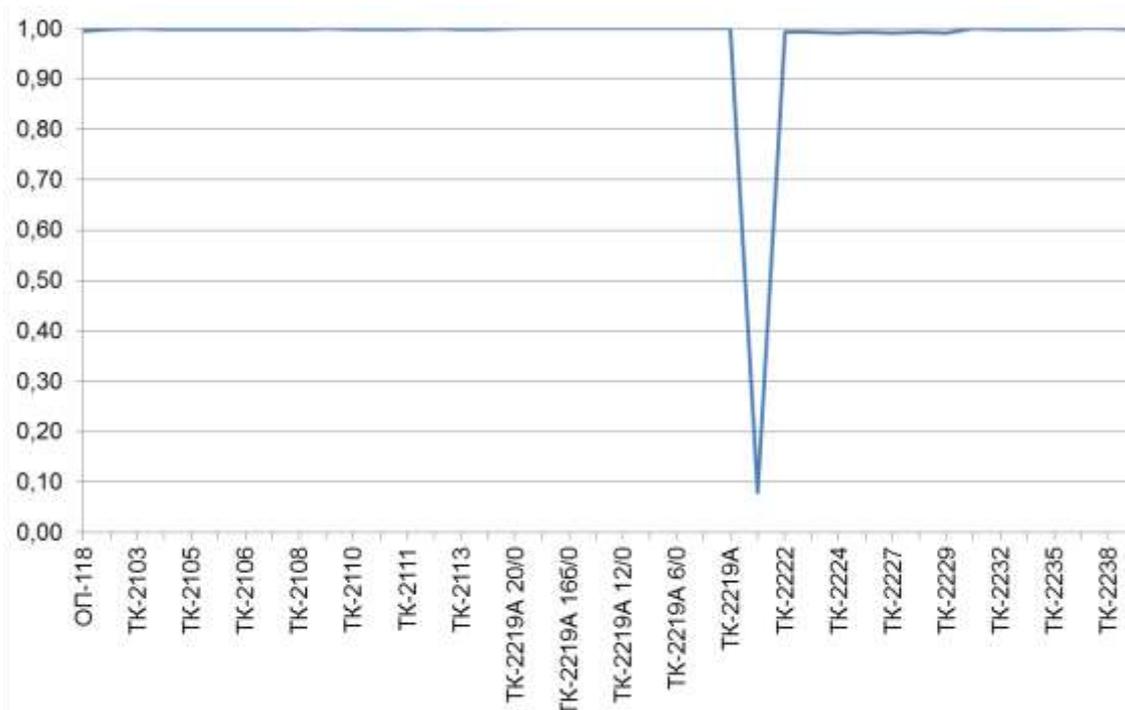
Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2022 год приведены в табл. 2.13. На рис. 2.31 – 2.32 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути.

Таблица 2.13

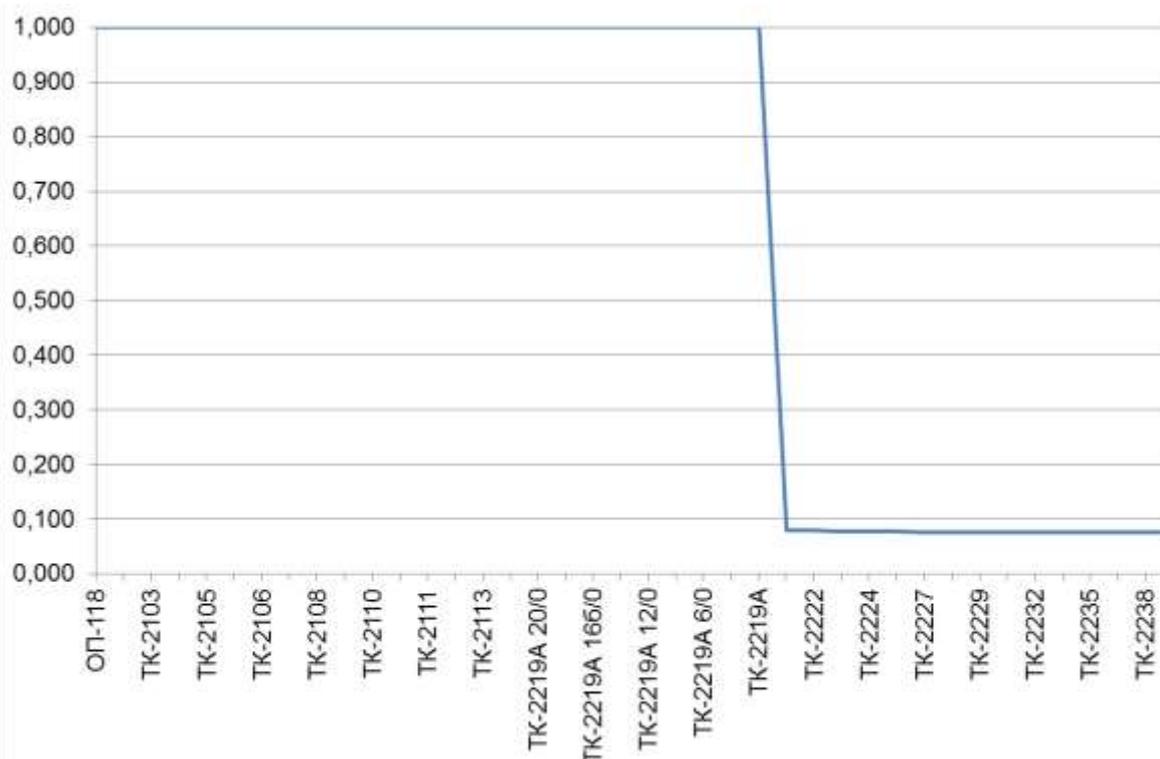
№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, z <sub>p</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, 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
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

№ 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	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
1.2.19	НС-2	ТК-2219А	1968	74,0	400	7,221	2603,08	0,6580	0,5179	0,4064
2.1	Основная магистраль									
2.1.1	ТК-2219А	ТК-2221	1968	192,0	400	7,575	2603,08	2,5324	0,0795	0,0786
2.1.2	ТК-2221	ТК-2222	1976	89,0	400	7,266	21,951	0,0070	0,9930	0,0781
2.1.3	ТК-2222	ТК-2223	1976	92,0	400	7,275	21,951	0,0073	0,9927	0,0775
2.1.4	ТК-2223	ТК-2224	1976	104,5	400	7,312	21,951	0,0086	0,9914	0,0768
2.1.5	ТК-2224	ТК-2226	1976	94,5	400	7,282	21,951	0,0075	0,9925	0,0763
2.1.6	ТК-2226	ТК-2227	1976	97,0	400	7,290	21,951	0,0078	0,9922	0,0757

№ 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
2.1.7	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 в 2022 г.**



**Рис. 2.32. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от ТЭЦ-2 – ТК-2239 в 2022 г.**

Из анализа данных в табл. 2.13 и рис. 2.31 – 2.32 следует, что к 2022 г. из-за снижения показателей безаварийной работы участка ТК-2219А – ТК-2222 и отсутствия резервирующих трубопроводов показатели безотказности работы тепломагистрالی будут иметь крайне низкие показатели. Рекомендуется в период 2018 – 2022 гг. произвести перекладку указанного трубопровода и рассмотреть варианты строительства резервирующего трубопровода.

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

## **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 тепломагистрали за 2027 год приведены в табл. 2.14. На рис. 2.34 – 2.35 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути.

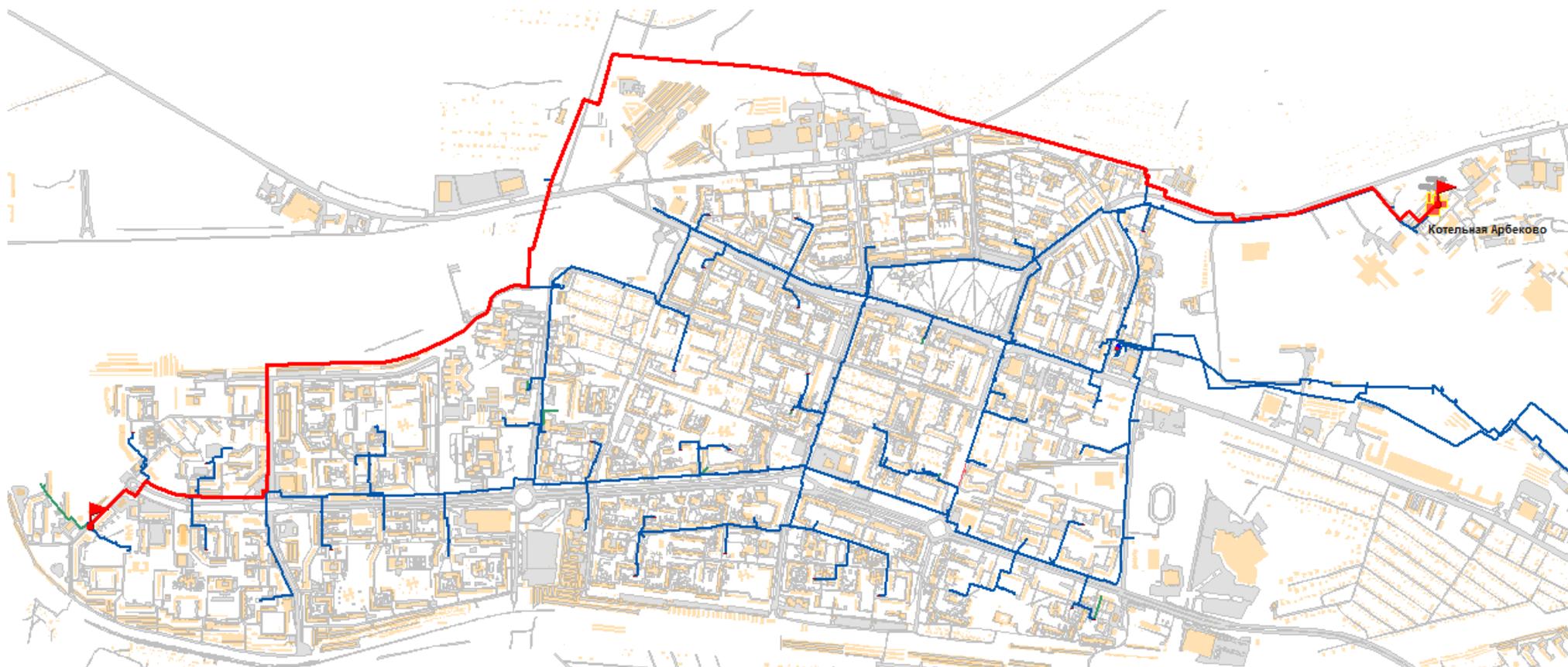


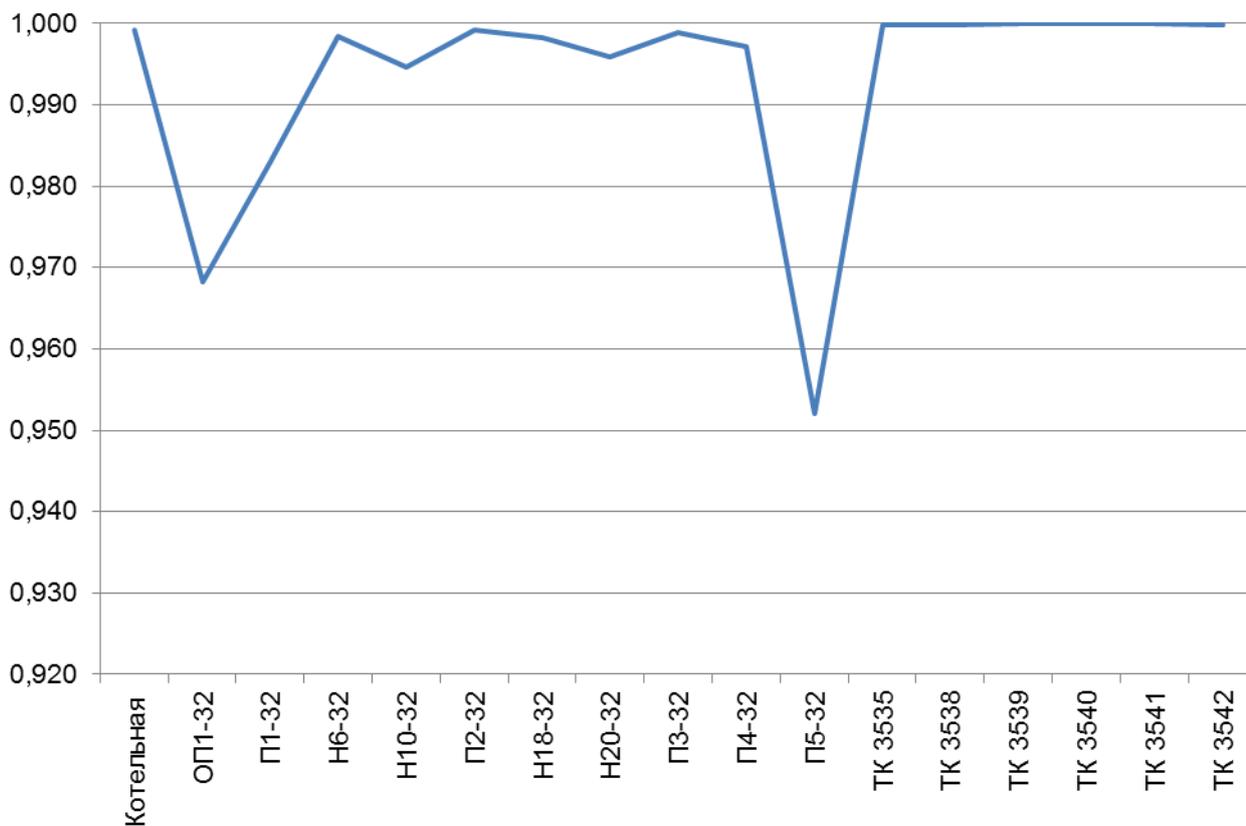
Рис. 2.33. Расчетный участок теплосети от котельной Арбеково до ЦТП-339

Таблица 2.14

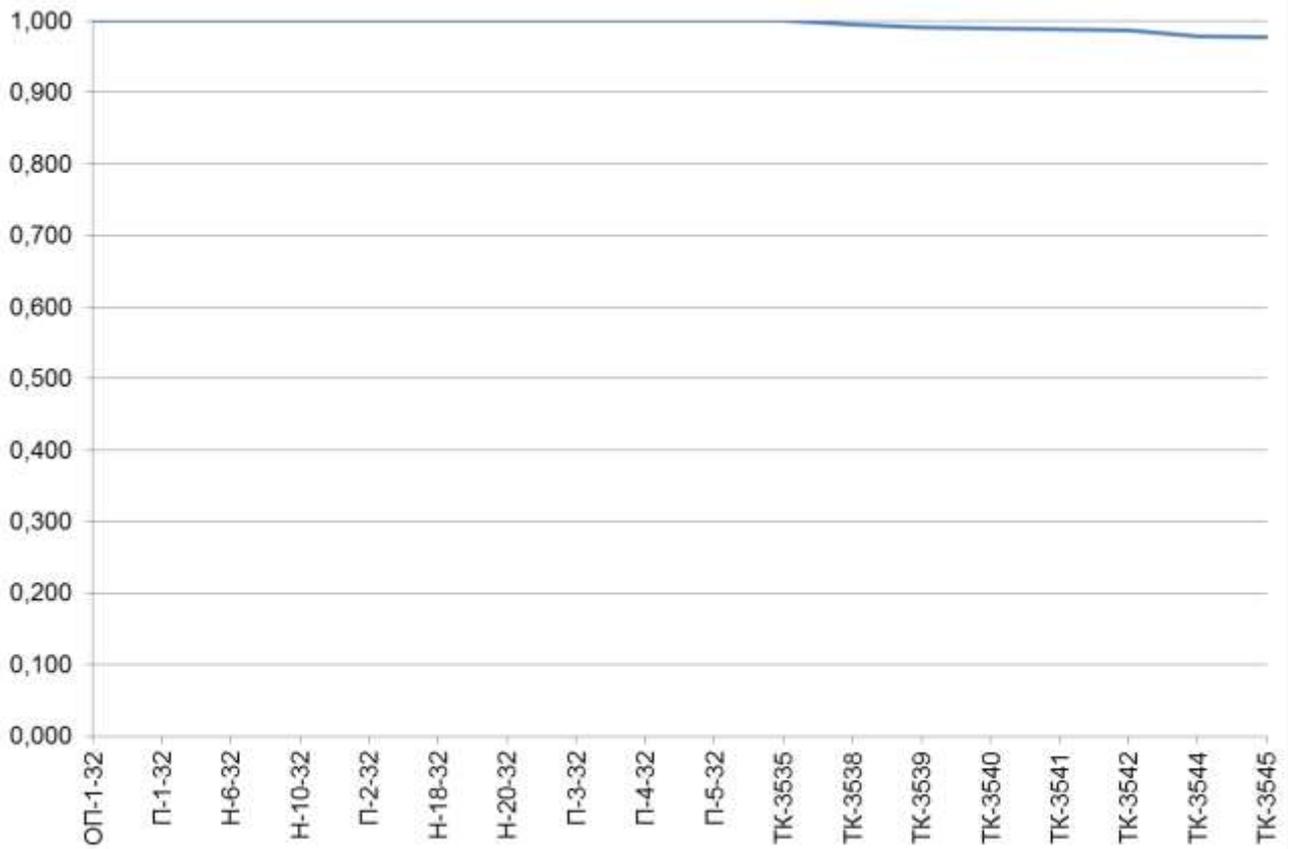
№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Длина участка, L, м	Год ввода в эксплуатацию	Диаметр условный, D <sub>у</sub> , мм	Время восстановления теплоснабжения потребителей, Z <sub>р</sub> , ч	Интенсивность отказов, λ, 1/(год·км)	Относительный поток отказов участка тепловой сети, 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 в 2027 г.**



**Рис. 2.35. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной Арбеково до ЦТП-339 в 2027 г.**

Из анализа данных в табл. 2.14 и рис. 2.34 – 2.35 следует, что к окончанию планируемого периода (2027 г.) тепломагистраль будет иметь высокие показатели надежности ввиду наличия резервных трубопроводов.

### Часть 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 за 2017 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.

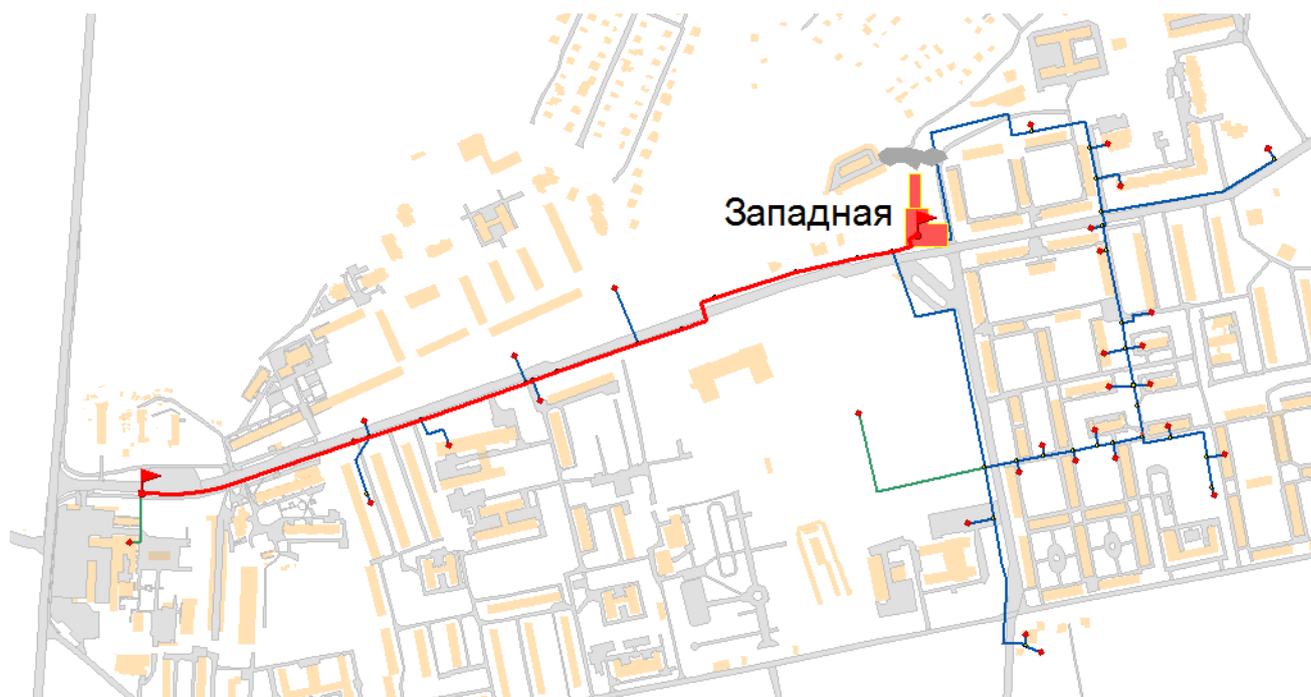
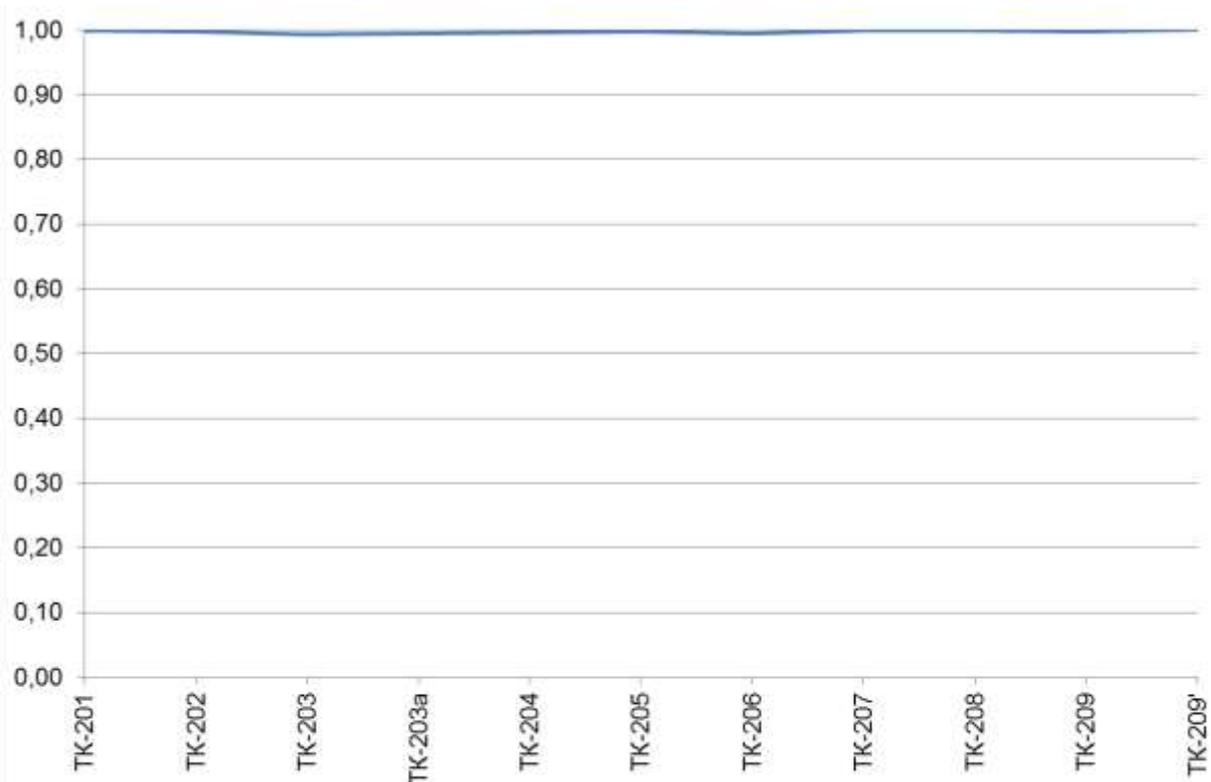


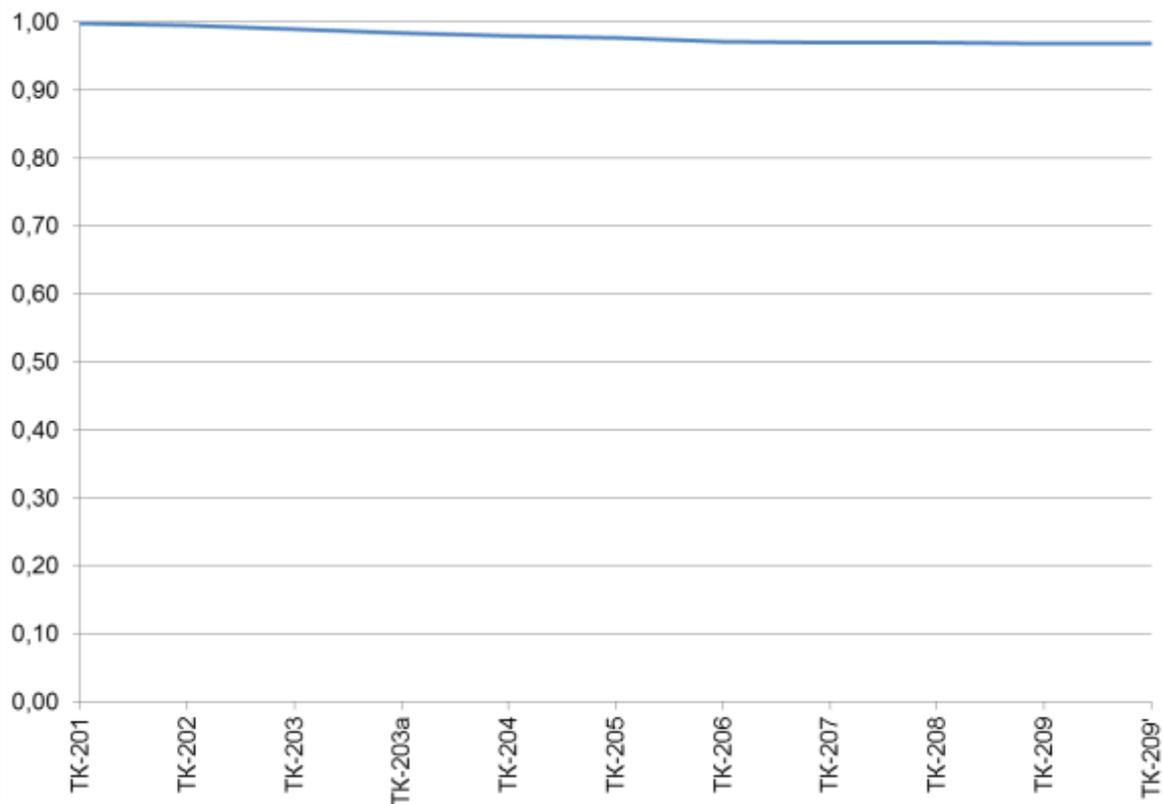
Рис. 3.1. Расчетный участок теплосети от котельной «Западная» до ТК-209'

Таблица 3.1

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>y</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-203a	1971	110,0	300	6,941	21,951	0,0058	0,9942	0,9829
1.1.5	TK-203a	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' в 2017 г.**



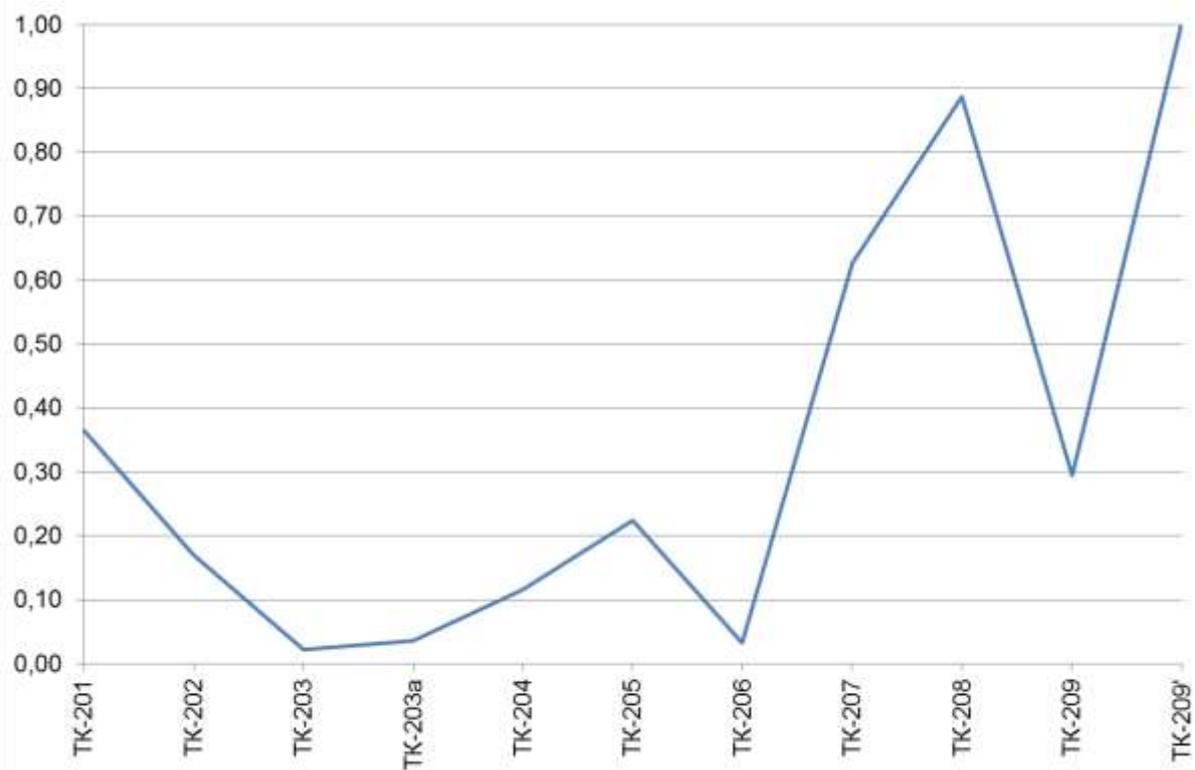
**Рис. 3.3. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной «Западная» до ТК-209' в 2017 г.**

Из анализа табл. 3.1 и рис. 3.2– 3.3 следует, что в 2017 г. расчетный участок будет обладать высокими показателями надежности.

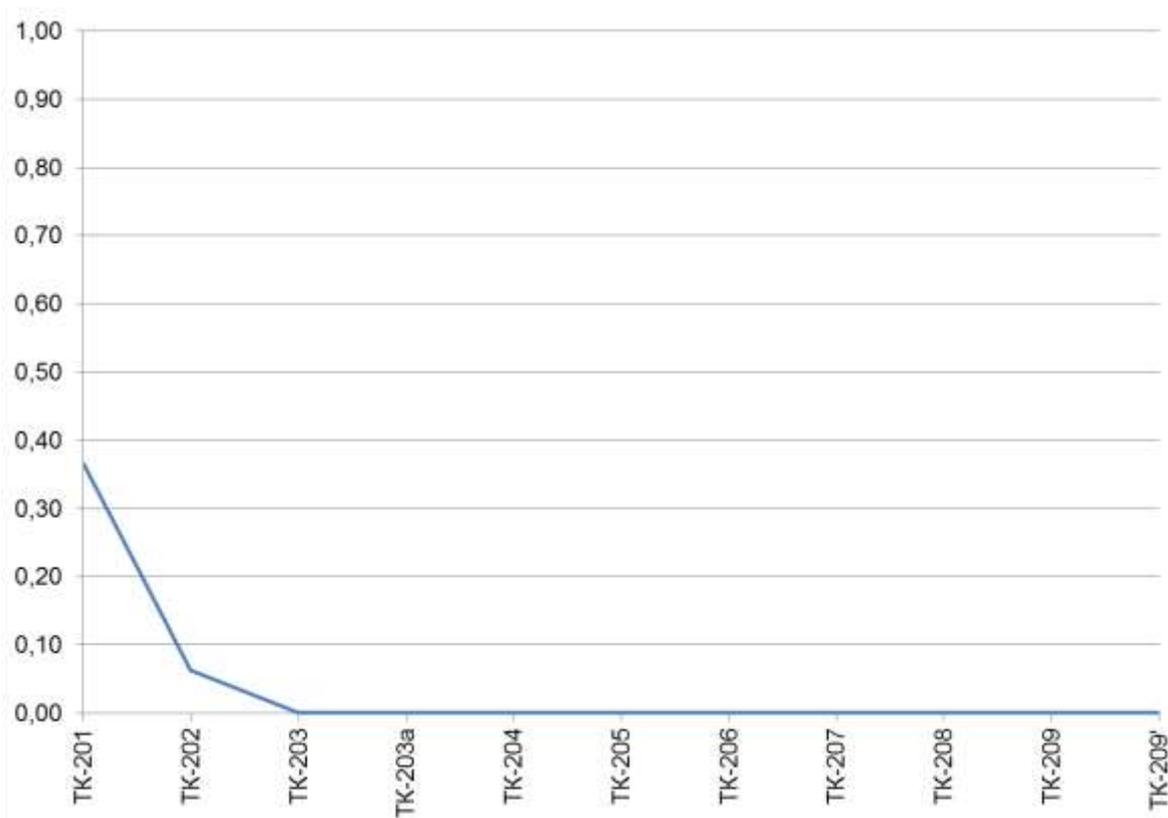
Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2027 год приведены в табл. 3.2 и на рис. 3.4 – 3.5.

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	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-203a	1971	110,0	300	6,941	21,951	0,0058	0,9942	0,9829
1.1.5	TK-203a	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
1.1.1	Западная	TK-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 TK-209' в 2027 г.**



**Рис. 3.5. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной «Западная» до TK-209' в 2027 г.**

Из анализа результатов за 2027 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 50 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 2017 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.

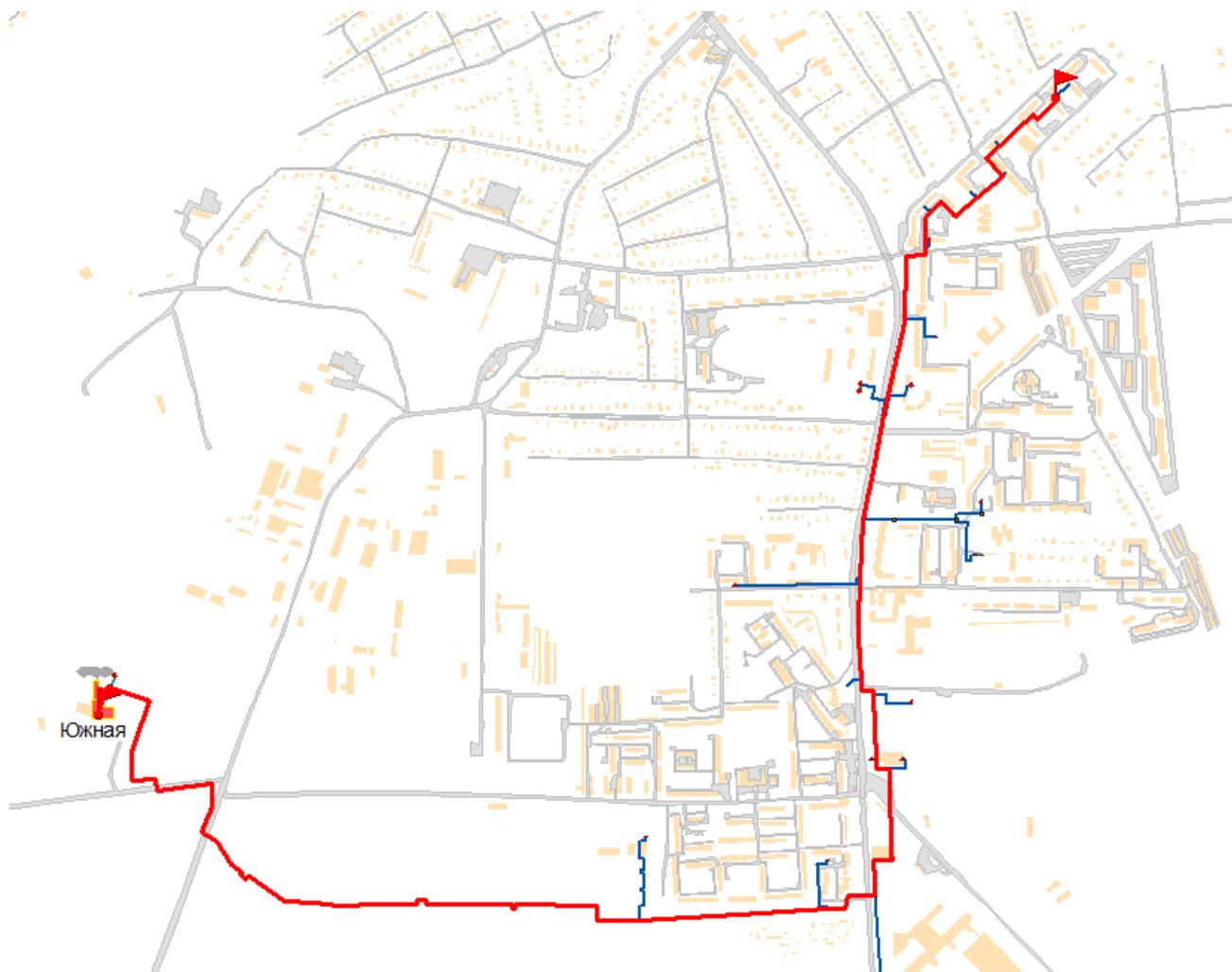


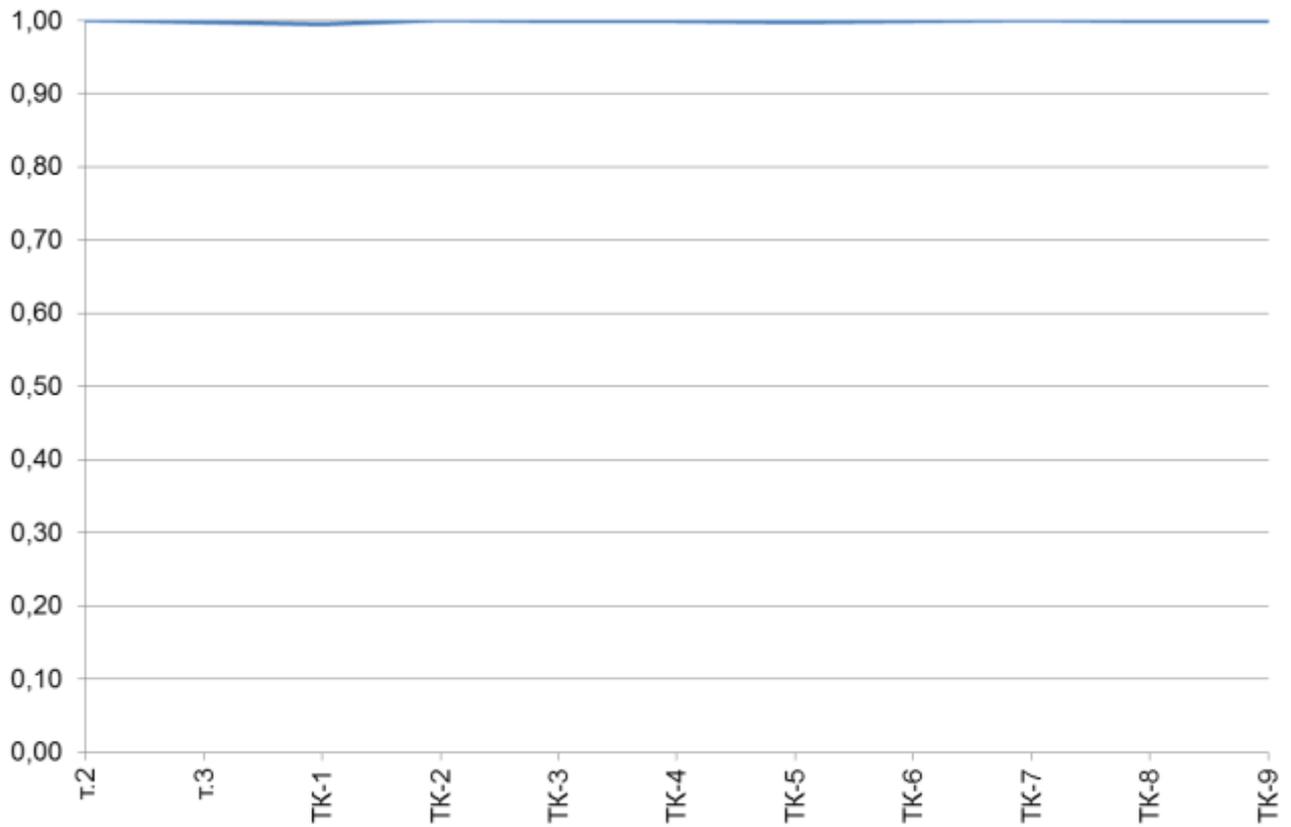
Рис. 3.6. Расчетный участок теплосети от котельной «Южная» до ТК-31

Из анализа табл. 3.3 и рис. 3.7 – 3.8 следует, что в 2017 г. расчетный участок будет обладать высокими показателями надежности.

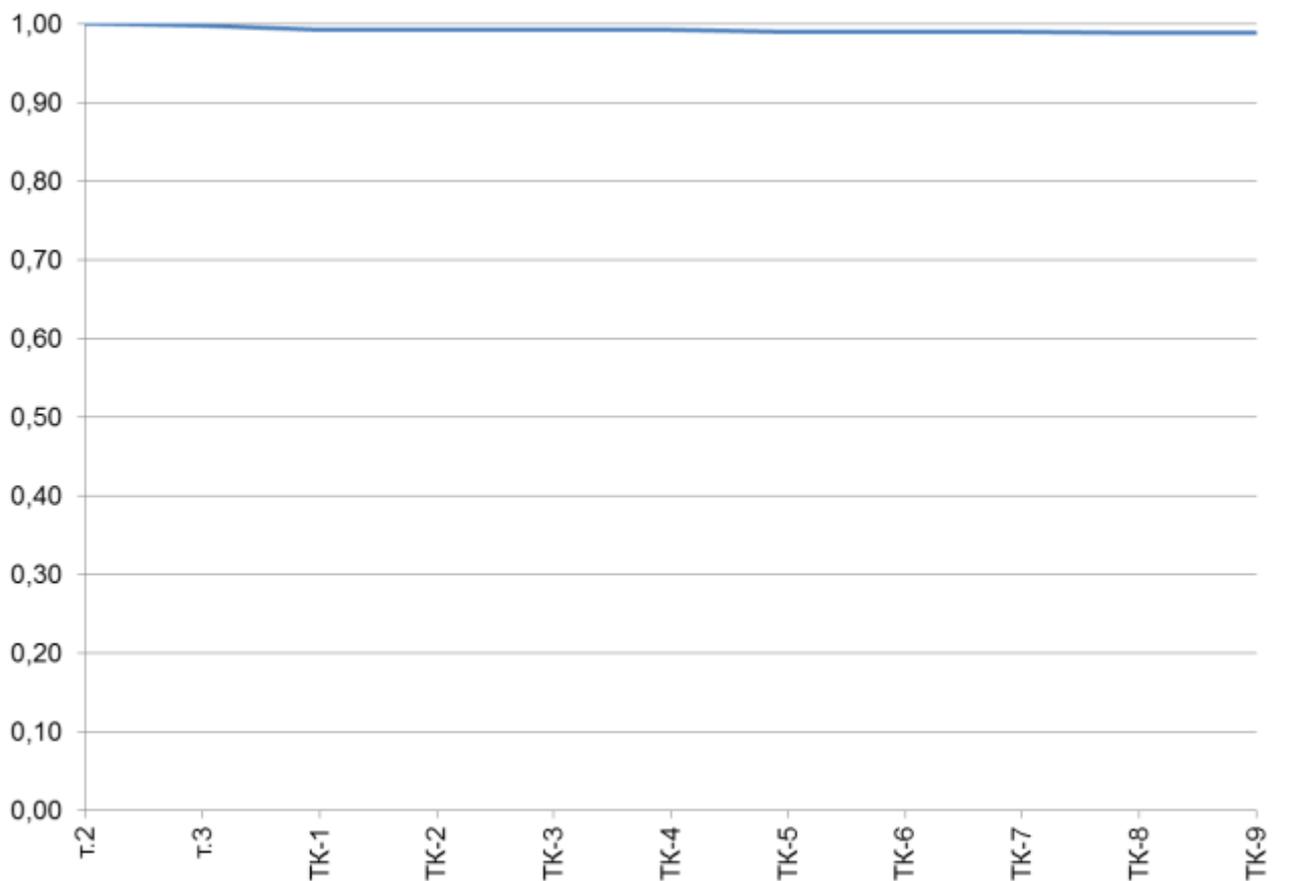
Таблица 3.3

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>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	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
1.1.19	ТК-16	ТК-17	1986	35,0	500	7,443	0,232	0,0000	1,0000	0,9871
1.1.20	ТК-17	ТК-18	1986	122,0	500	7,784	0,232	0,0002	0,9998	0,9869
1.1.21	ТК-18	ТК-19	1986	147,0	500	7,882	0,232	0,0003	0,9997	0,9866
1.1.22	ТК-19	ТК-20	1986	123,0	500	7,788	0,232	0,0002	0,9998	0,9864
1.1.23	ТК-20	ТК-21	1986	115,0	500	7,756	0,232	0,0002	0,9998	0,9862

№ 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
1.1.24	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 в 2017 г.**



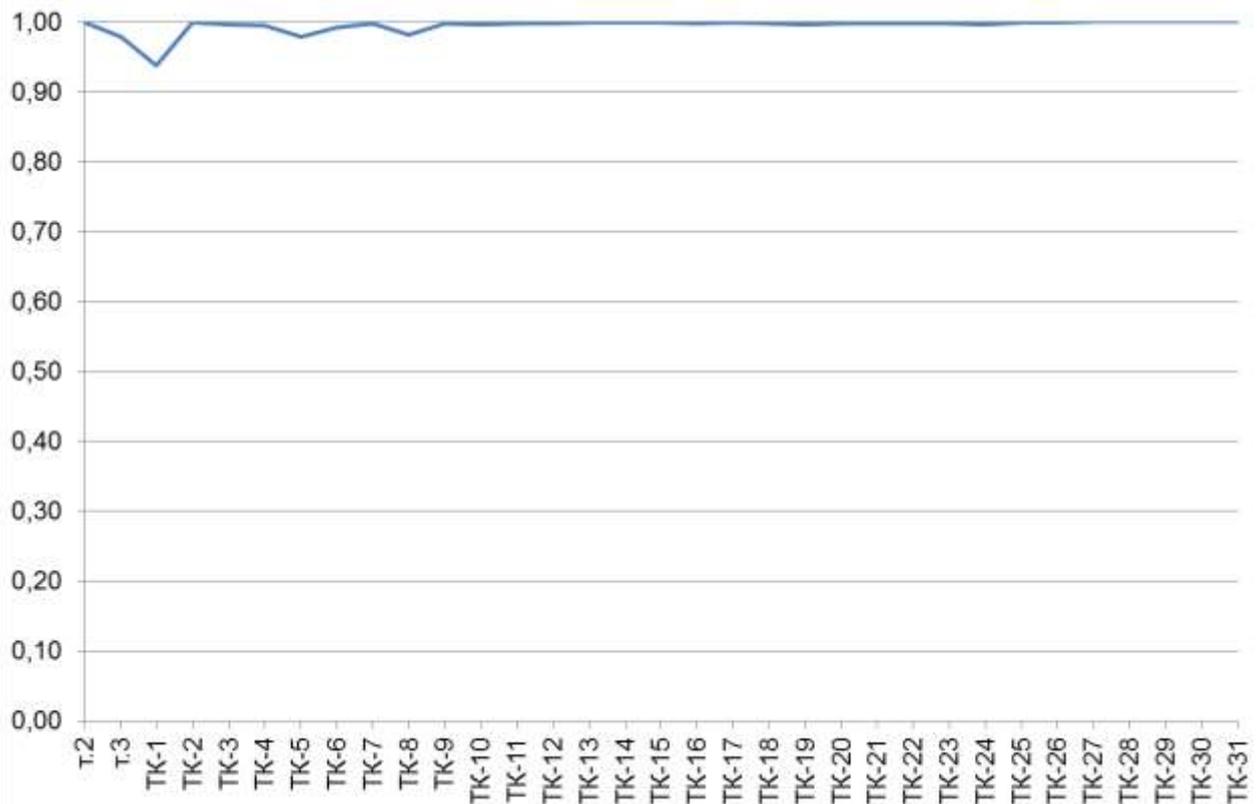
**Рис. 3.8. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной «Южная» до ТК-31 в 2017 г.**

Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2027 год приведены в табл. 3.4 и на рис. 3.9 – 3.10.

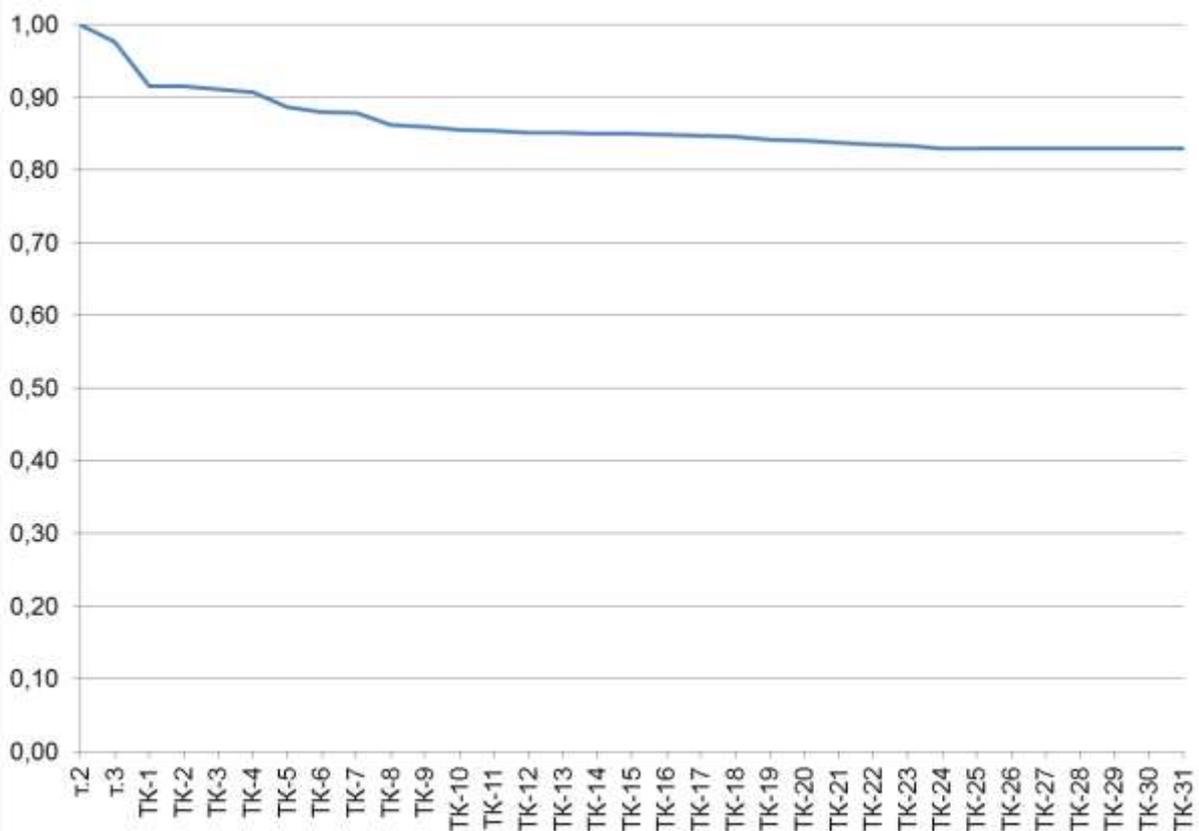
Таблица 3.4

№ 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
1.1.19	ТК-16	ТК-17	1986	35,0	500	7,443	2,926	0,0004	0,9996	0,8474
1.1.20	ТК-17	ТК-18	1986	122,0	500	7,784	2,926	0,0026	0,9974	0,8452
1.1.21	ТК-18	ТК-19	1986	147,0	500	7,882	2,926	0,0036	0,9964	0,8421
1.1.22	ТК-19	ТК-20	1986	123,0	500	7,788	2,926	0,0027	0,9973	0,8399
1.1.23	ТК-20	ТК-21	1986	115,0	500	7,756	2,926	0,0024	0,9976	0,8378

№ 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
1.1.24	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 в 2027 г.**

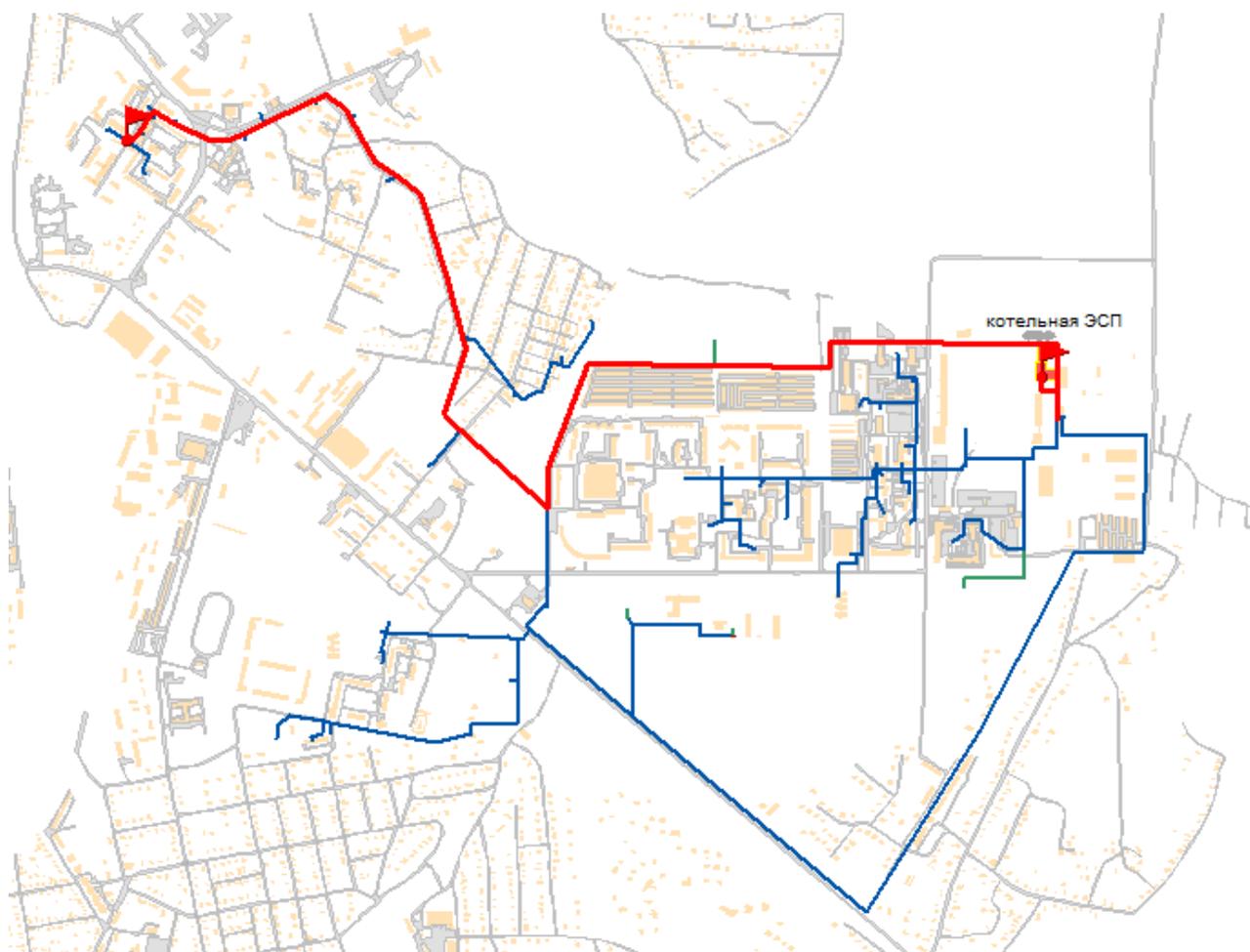


**Рис. 3.10. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной «Южная» до ТК-31 в 2027 г.**

Из анализа результатов за 2027 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.

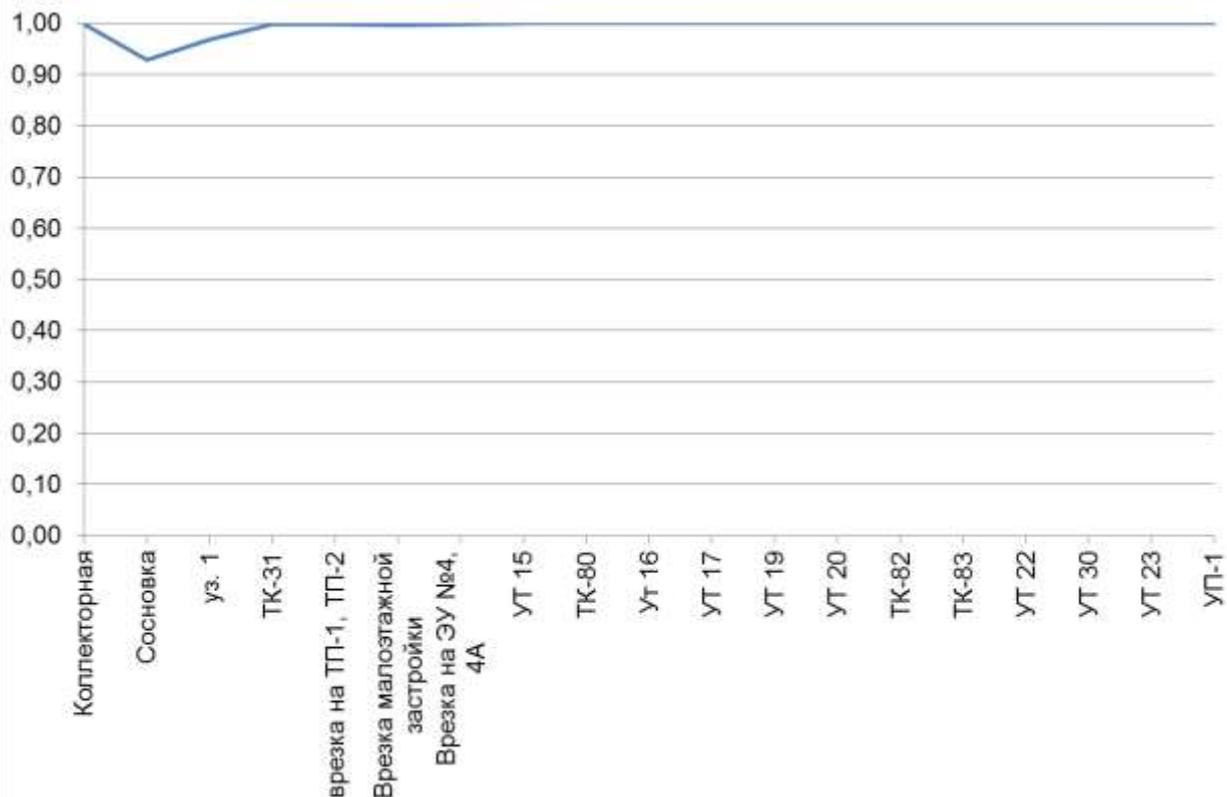


**Рис. 3.11. Расчетный участок теплосети от котельной ОАО «ЭСП» до УП-1**

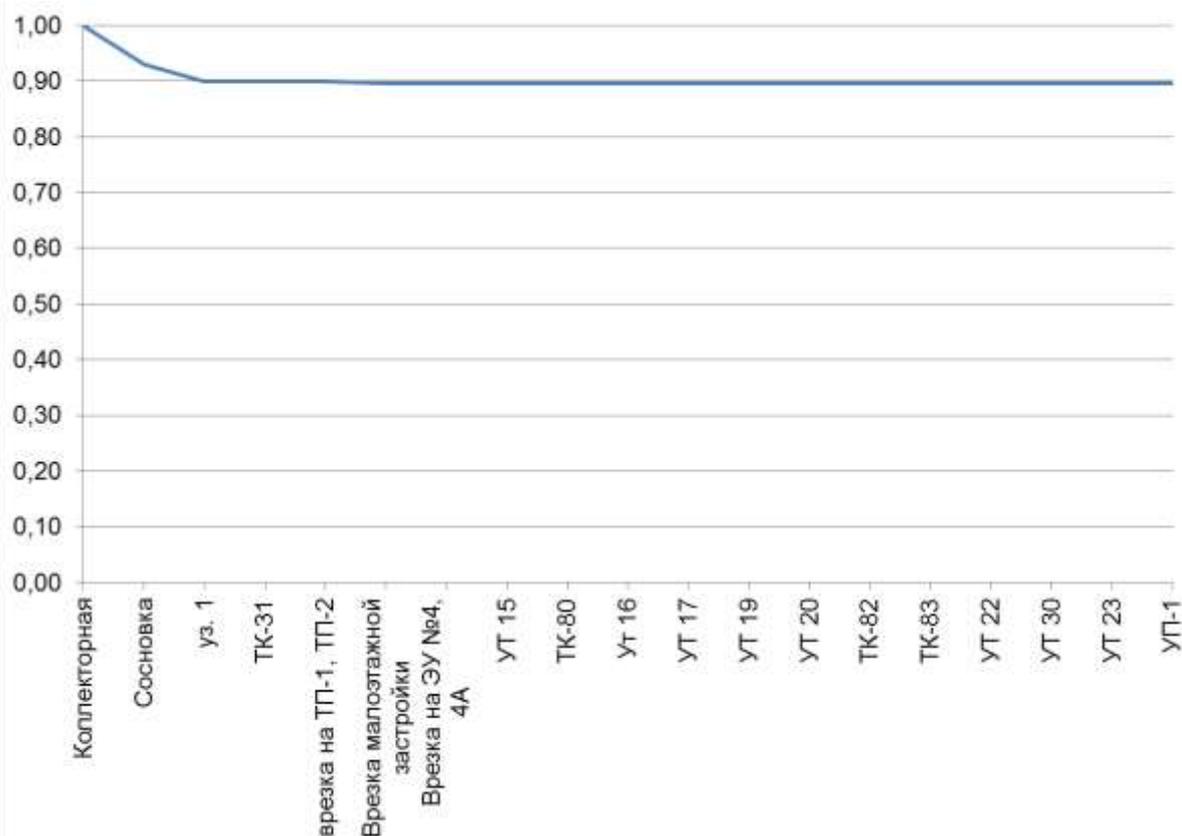
Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2017 год приведены в табл. 3.5. На рис. 3.12 – 3.13 представлено изменение показателей безаварийности работы каждого участка и безотказности работы всей тепломагистрали вдоль рассматриваемого расчетного пути.

Таблица 3.5

№ п/п	Наименование начала участка	Наименование конца участка	Год ввода в эксплуатацию	Длина участка, L, м	Диаметр условный, D <sub>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	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 в 2017 г.**



**Рис. 3.13. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной ОАО «ЭСП» до УП-1 в 2017 г.**

Из анализа табл. 3.5 и рис. 3.12 – 3.13 следует, что в 2017 г. расчетный участок будет обладать высокими показателями надежности.

Результаты расчета вероятности безотказной работы указанной тепломагистрали за 2027 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

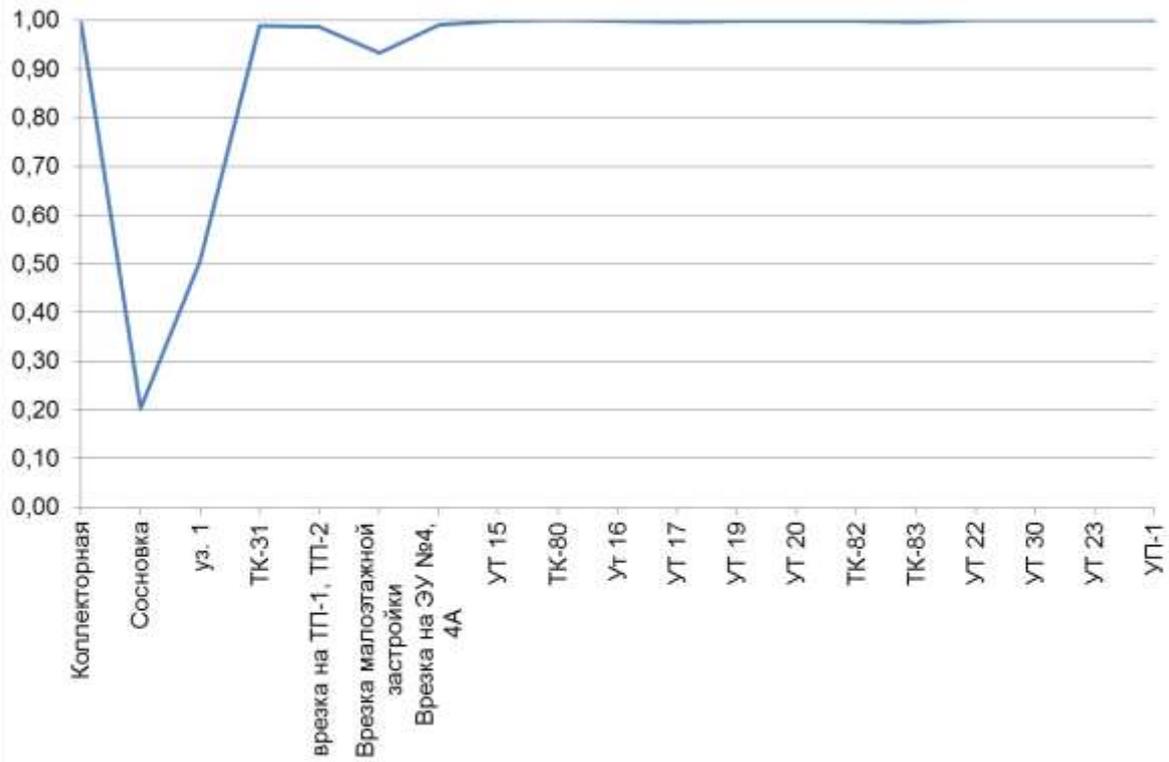


Рис. 3.14. Вероятности безаварийной работы каждого участка от котельной ОАО «ЭСР» до УП-1 в 2027 г.

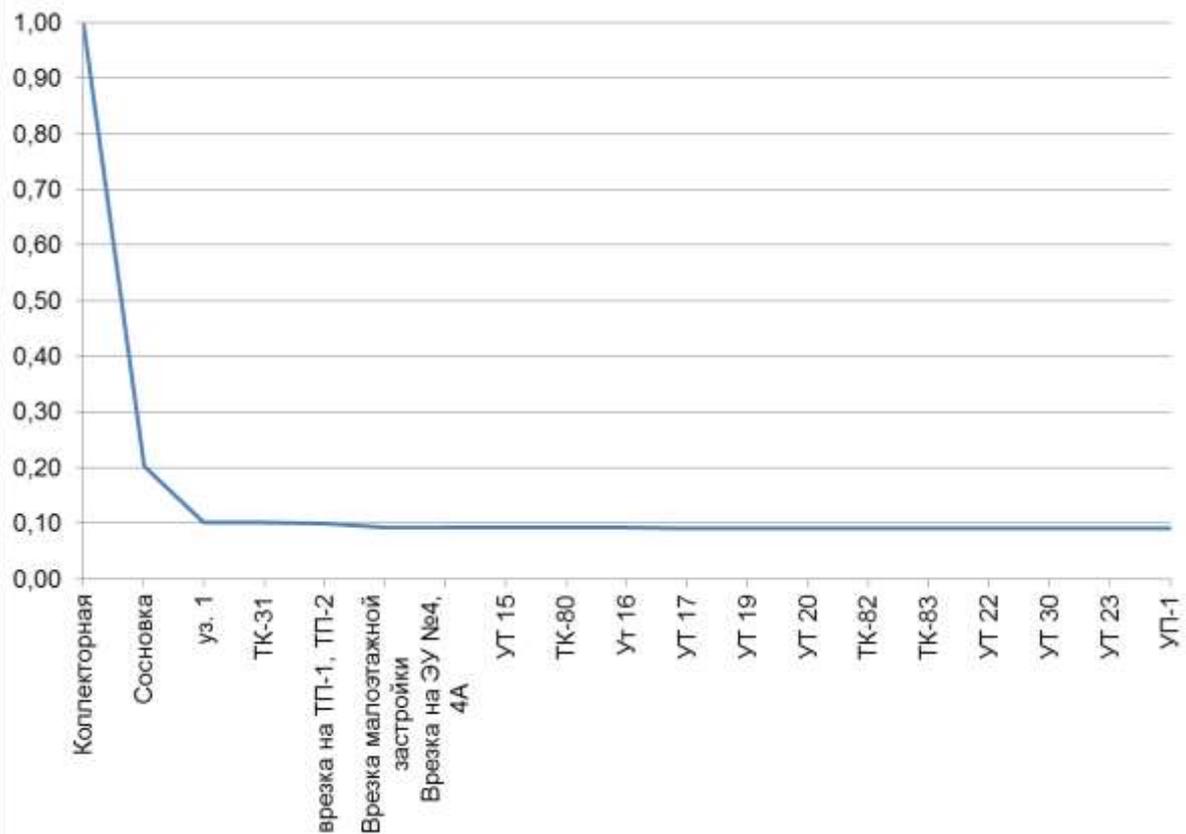


Рис. 3.15. Изменение показателя безотказности работы вдоль расчетного пути от котельной ОАО «ЭСР» до УП-1 в 2027 г.

Из анализа результатов за 2027 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».

### **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, утверждённые приказом Минэнерго России от 29 декабря 2012 г.