

УТВЕРЖДЕНА

постановлением

Администрации ЗАТО Северск

от _____ № _____



**СХЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
ЗАКРЫТОГО АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СЕВЕРСК ДО 2045 ГОДА
Актуализация на 2026 год**

**ОБОСНОВЫВАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ
ГЛАВА 11. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ
ПСТ.ОМ.70-22.011.000**

Разработчик: Общество с ограниченной ответственностью «НЭТ – Консалтинг»

Томск 2025

Содержание

1 Общие положения	3
2 Термины и определения	6
3 Определение надежности теплоснабжения	9
3.1 Методика расчета показателей надежности теплоснабжения.....	9
3.2 Порядок расчета показателей надежности теплоснабжения потребителей.....	14
4 Расчет показателей надежности тепловых сетей в зоне действия энергоисточников ЗАТО Северск на отопительный период 2023/2024 года	18
4.1 Общие сведения о структуре тепловых сетей ОАО «Тепловые сети»	18
4.2 Данные о фактической надежности трубопроводов тепловых сетей	18
4.2.1 Общие положения.....	18
4.2.2 Статистика уровня износа и отказов тепловых сетей	18
4.2.3 Структура повреждений на тепловых сетях ОАО «ТС»:	20
4.3 Расчет вероятности безотказной работы существующего положения системы теплоснабжения ЗАТО Северск.....	20
4.3.1 Южная тепломагистраль (расчетный путь 1).....	21
4.3.2 Вторая Южная тепломагистраль (расчетный путь 5)	26
4.3.3 Третья Южная тепломагистраль (Расчетный путь 8)	30
4.4 Сводные результаты расчетов вероятностных показателей надежности для всех потребителей ТЭЦ АО «РИР»	34
5 Расчет вероятности безотказной работы перспективного состояния схемы теплоснабжения ЗАТО Северск до 2045 г.	36
5.1 Общие положения	36
5.2 Вторая Южная тепломагистраль (расчетный путь 5).....	36
6 Расчет показателей надежности в зоне действия котельных	43
6.1 Расчет показателей надежности тепловых сетей организации ООО «Уют Орловка»	43
6.2. Расчет показателей надежности тепловых сетей МКП «СВК».....	48
6.3 Расчет показателей надежности тепловых сетей МКП «СВК».....	61
7 Выводы и предложения по тепловым сетям.....	86
7.1. Тепловые сети в зоне действия ТЭЦ АО «РИР»	86
7.2. Тепловые сети в зоне действия котельных	87

1 Общие положения

Настоящая книга «Оценка надежности теплоснабжения» разрабатывается в соответствии с пунктами нормативно-правового акта «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения» введенного постановлением Правительства РФ от 22.02.2012 № 154», с учетом изменений, указанных в Постановлении Правительства РФ от 03.04.2018 N 405 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».

Нормативные требования к уровню и показателям надёжности теплоснабжения установлены в СП 124.13330.2012 «Тепловые сети» в части пунктов 6.27–6.37 раздела «Надежность».

В СП 124.13330.2012 надежность теплоснабжения определяется как: способность проектируемых и действующих источников тепловой энергии, тепловых сетей и в целом СЦТ 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) которые следует определять по трем показателям (критериям): вероятности безотказной работы [Р], коэффициенту готовности [K_г], показателю живучести [Ж].

Источники тепловой энергии подразделяются на крупные (способные обеспечивать теплом целые районы) и все остальные, или локальные источники.

Тепловые сети подразделяются на магистральные, распределительные, квартальные и отвлечения от магистральных и распределительных тепловых сетей к отдельным зданиям и сооружениям.

Потребители тепловой энергии по надежности теплоснабжения делятся на три категории:

- первая категория – потребители, не допускающие перерывов в подаче расчетного количества тепловой энергии и снижения температуры воздуха в помещениях, ниже предусмотренных ГОСТ 30494-2011; например, больницы, родильные дома, детские дошкольные учреждения с круглосуточным пребыванием детей, картинные галереи, химические и специальные производства, шахты и т.п.;
- вторая категория – потребители, допускающие снижение температуры в отапливаемых помещениях на период ликвидации аварии, но не более 54 ч:
- жилых и общественных зданий до 12 °С;
- промышленных зданий до 8 °С;
- третья категория – остальные потребители.

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

- источника тепловой энергии $P_{ит} = 0,97$;
- тепловых сетей $P_{тс} = 0,9$;

- потребителя тепловой энергии $P_{пт} = 0,99$;
- СЦТ в целом $P_{сцт} = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 0,86$.

Нормативные показатели безотказности тепловых сетей обеспечиваются следующими мероприятиями:

- установлением предельно допустимой длины нерезервированных участков трубопроводов (тупиковых, радиальных, транзитных) до каждого потребителя или теплового пункта;
- расположением места размещения резервных трубопроводных связей между радиальными трубопроводами;
- определением достаточности диаметров, выбираемых при проектировании новых или реконструируемых существующих трубопроводов для обеспечения резервной подачи тепловой энергии потребителям при отказах;
- определение необходимости замены на конкретных участках конструкций тепловых сетей и трубопроводов на более надежные, а также обоснованность перехода на надземную или тоннельную прокладку;
- очередностью ремонтов и замен трубопроводов, частично или полностью утративших свой ресурс;
- необходимость проведения работ по дополнительному утеплению зданий.

Минимально допустимый показатель готовности (K_r) СЦТ к исправной работе должен быть не ниже 0,97. При определении показателя готовности следует учитывать:

- готовность СЦТ к отопительному сезону;
- достаточность установленной тепловой мощности источника тепловой энергии для обеспечения исправного функционирования СЦТ при нерасчетных похолоданиях;
- способность тепловых сетей обеспечить исправное функционирование СЦТ при нерасчетных похолоданиях;
- организационные и технические меры, необходимые для обеспечения исправного функционирования СЦТ на уровне заданной готовности;
- максимально допустимое число часов готовности для источника тепловой энергии;
- температуру наружного воздуха, при которой обеспечивается заданная внутренняя температура воздуха.

Минимальная подача тепловой энергии по трубопроводам, расположенным в неотапливаемых помещениях и снаружи, в подъездах, лестничных клетках, на чердаках и т.п., должна быть достаточной для поддержания температуры воды в течение всего ремонтно-восстановительного периода после отказа не ниже 3°C . Для этого в проектах должны быть разработаны мероприятия

по обеспечению живучести элементов систем теплоснабжения, находящихся в зонах возможных воздействий отрицательных температур, в том числе:

- организация локальной циркуляции сетевой воды в тепловых сетях до и после ЦТП;
- спуск сетевой воды из систем теплоиспользования у потребителей, распределительных тепловых сетей, транзитных и магистральных трубопроводов;
- прогрев и заполнение тепловых сетей и систем теплоиспользования потребителей во время и после окончания ремонтно-восстановительных работ;
- проверка прочности элементов тепловых сетей на достаточность запаса прочности оборудования и компенсирующих устройств;
- временное использование, при возможности, передвижных источников тепловой энергии.

2 Термины и определения

Термины и определения, используемые в данном разделе, соответствуют определениям ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике».

Надежность – свойство участка тепловой сети или элемента тепловой сети сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность обеспечивать передачу теплоносителя в заданных режимах и условиях применения и технического обслуживания. Надежность тепловой сети и системы теплоснабжения является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

Безотказность – свойство тепловой сети непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки;

Долговечность – свойство тепловой сети или объекта тепловой сети сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта;

Ремонтпригодность – свойство элемента тепловой сети, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта;

Исправное состояние – состояние элемента тепловой сети и тепловой сети в целом, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации;

Неисправное состояние – состояние элемента тепловой сети или тепловой сети в целом, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации;

Работоспособное состояние – состояние элемента тепловой сети или тепловой сети в целом, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации;

Неработоспособное состояние – состояние элемента тепловой сети, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. Для сложных объектов возможно деление их неработоспособных состояний. При этом из множества неработоспособных состояний выделяют частично неработоспособные состояния, при которых тепловая сеть способна частично выполнять требуемые функции;

Предельное состояние – состояние элемента тепловой сети или тепловой сети в целом, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно;

Критерий предельного состояния – признак или совокупность признаков предельного состояния элемента тепловой сети, установленные нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией. В зависимости от условий эксплуатации для одного и того же элемента тепловой сети могут быть установлены два и более критериев предельного состояния;

Дефект – по ГОСТ 15467;

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

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

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

Вероятность безотказной работы системы [Р] - способность системы не допускать отказов, приводящих к падению температуры в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий ниже +12 °С, в промышленных зданиях ниже +8 °С, более числа раз, установленного нормативами;

Коэффициент готовности (качества) системы [Кг] - вероятность работоспособного состояния системы в произвольный момент времени поддерживать в отапливаемых помещениях расчетную внутреннюю температуру, кроме периодов снижения температуры, допускаемых нормативами;

Живучесть системы [Ж] - способность системы сохранять свою работоспособность в аварийных (экстремальных) условиях, а также после длительных (более 54 ч) остановов;

Срок службы тепловых сетей - период времени в календарных годах со дня ввода в эксплуатацию, по истечении которого следует провести экспертное обследование технического состояния трубопровода с целью определения допустимости, параметров и условий дальнейшей эксплуатации трубопровода или необходимости его демонтажа.

Для целей перспективной схемы теплоснабжения термин «отказ» будет использован в следующих интерпретациях:

- **отказ участка тепловой сети** – событие, приводящие к нарушению его работоспособного состояния (т.е. прекращению транспорта теплоносителя по этому участку в связи с нарушением герметичности этого участка);

- **отказ теплоснабжения потребителя** – событие, приводящее к падению температуры в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий ниже +12 °С, в промышленных зданиях ниже +8 °С (СП 124.13330.2012. Тепловые сети).

Под участком тепловой сети считается участок трубопровода, отличающийся от других одним из следующих признаков: условным проходом трубопровода (условным диаметром трубопровода); типом прокладки (надземная, подземная канальная, подземная бесканальная); материалом основного слоя теплоизоляционной конструкции (тепловой изоляцией); годом прокладки.

При разработке схемы теплоснабжения для описания надежности термины «повреждение» и «инцидент» будут употребляться только в отношении событий, к которым может быть применена процедура отложенного ремонта, потому что в соответствии с ГОСТ 27.002-89 эти события не приводят к нарушению работоспособности участка тепловой сети и, следовательно, не требуют выполнения незамедлительных ремонтных работ с целью восстановления его работоспособности.

К таким событиям относятся зарегистрированные «свищи» на прямом или обратном теплопроводах тепловых сетей. Тем не менее, ремонтные работы по ликвидации свищей требуют прерывания теплоснабжения (если нет вариантов подключения резервных теплопроводов), и в этом смысле они аналогичны «отложенным» отказам.

В документе не употребляется термин «авария», так как это характеристика «тяжести» отказа и возможных последствий его устранения. Все упомянутые в этом абзаце термины устанавливают лишь градацию (шкалу) отказов.

3 Определение надежности теплоснабжения

3.1 Методика расчета показателей надежности теплоснабжения

Расчет вероятности безотказной работы тепловой сети по отношению к каждому потребителю рекомендуется выполнять с применением следующего алгоритма:

- определение пути передачи теплоносителя от источника до потребителя, по отношению к которому выполняется расчет вероятности безотказной работы тепловой сети;
- на первом этапе расчета устанавливается перечень участков трубопроводов, составляющих этот путь;
- для каждого участка тепловой сети устанавливаются: год его ввода в эксплуатацию, диаметр и протяженность.

На основе обработки данных по отказам и восстановлением (времени, затраченном на ремонт участка) всех участков тепловых сетей за несколько лет их работы устанавливаются искомые зависимости:

3.1.1 Интенсивность отказов элементов ТС (теплопроводов и ЗПА)

Интенсивность отказов теплопровода λ с учетом времени его эксплуатации [9]:

$$\lambda = \lambda^{\text{нач}} \cdot (0,1 \cdot \tau^{\text{экспл}})^{\alpha-1}, 1/(\text{км} \cdot \text{ч}) \quad (1)$$

где $\lambda^{\text{нач}}$ – начальная интенсивность отказов теплопровода, соответствующая периоду нормальной эксплуатации, $1/(\text{км} \cdot \text{ч})$; $\tau^{\text{экспл}}$ – продолжительность эксплуатации участка, лет; α – коэффициент, учитывающий продолжительность эксплуатации участка:

$$\alpha = \begin{cases} 0,8 & \text{при } 0 < \tau^{\text{экспл}} \leq 3 \\ 1 & \text{при } 3 < \tau^{\text{экспл}} \leq 17 \\ 0,5 \cdot e^{\left(\frac{\tau^{\text{экспл}}}{20}\right)} & \text{при } \tau^{\text{экспл}} > 17 \end{cases} \quad (2)$$

3.1.2. Интенсивность отказов ЗРА (одной единицы):

$$\lambda_{\text{зра}} = 2,28 \cdot 10^{-7}, 1/\text{ч}. \quad (3)$$

3.1.3. Параметр потока отказов элементов ТС:

Параметр потока отказов участков ТС:

$$\omega = \lambda \cdot L, 1/\text{ч}, \quad (4)$$

где L - длина участка ТС, км;

Параметр потока отказов ЗРА:

$$\omega_{\text{зра}} = \lambda_{\text{зра}} = 2,28 \cdot 10^{-7}, 1/\text{ч}. \quad (5)$$

3.1.4. Среднее время до восстановления элементов ТС [4]

Среднее время до восстановления участков ТС:

$$z^B = a \cdot [1 + (b + c \cdot L_{\text{сз}}) \cdot d^{1,2}], \text{ ч} \quad (6)$$

где: $L_{\text{сз}}$ - расстояние между секционирующими задвижками, км; d – диаметр теплопровода, м..

Значения коэффициентов a , b , c для формулы (6), приведенные в таблице 3,1 получены на основе численных значений времени восстановления теплопроводов в зависимости от их диаметров, рекомендуемых СНиП 41-02-2003 (таблица 3.2).

Таблица 3.1 – Значения коэффициентов a , b , c в формуле (6).

Коэффициент	a	b	c
Значение	2.91256074780	20.8877641154	-1.879289194

Расстояния $L_{\text{сз}}$ между СЗ должны соответствовать требованиям СНиП 41–02–2003 (п. 10.17) [4] и приниматься в соответствии с таблицей 1.2

Таблица 1.2 – Расстояния между СЗ в метрах и место их расположения

Диаметр теплопровода, м	Диаметр не изменяется		Диаметр изменяется	
	ответвлений нет	ответвления есть	ответвлений нет	ответвления есть
до 0,4	1000	непосредственно за ответвлением, расстояние до ближайшей СЗ не более 1000 м	непосредственно за местом изменения диаметра, расстояние до ближайшей СЗ не более 1000 м	непосредственно за ответвлением, на теплопроводе меньшего диаметра, расстояние до ближайшей СЗ не более 1000 м
от 0,4 до 0,6	1500	непосредственно за ответвлением, расстояние до ближайшей СЗ не более 1500 м	непосредственно за местом изменения диаметра, расстояние до ближайшей СЗ не более 1000 м	непосредственно за ответвлением, на теплопроводе меньшего диаметра, расстояние до ближайшей СЗ не более 1000 м
от 0,6 до 0,9	3000	непосредственно за ответвлением, расстояние до ближайшей СЗ не более 3000 м	непосредственно за местом изменения диаметра, расстояние до ближайшей СЗ в соответствии с меньшим диаметром (не	непосредственно за ответвлением, на теплопроводе меньшего диаметра, расстояние до ближайшей СЗ в соответствии с меньшим диаметром

Диаметр теплопровода, м	Диаметр не изменяется		Диаметр изменяется	
	ответвлений нет	ответвления есть	ответвлений нет	ответвления есть
			более 1000 м, 1500 м)	(не более 1000 м, 1500 м)
более 0,9	5000	непосредственно за ответвлением, рас- стояние до ближайшей СЗ не более 5000 м	непосредственно за местом изменения диаметра, расстояние до ближайшей СЗ в соответствии с мень- шим диаметром (не более 1000 м, 1500 м, 3000 м)	непосредственно за ответ- влением, на теплопроводе меньшего диаметра, рассто- яние до ближайшей СЗ в соответствии с меньшим диаметром (не более 1000 м, 1500 м, 3000 м)

Если в результате анализа выявляется несоответствие принятым условиям, то в расчете среднего времени восстановления количество секционирующих задвижек и расстояние между ними условно принимается равным такому, при котором обеспечивается выполнение этих условий. Установка дополнительных задвижек включается в рекомендации.

Среднее время до восстановления ЗРА

Время восстановления ЗРА принимается равным времени восстановления теплопровода, так как отказ ЗРА и отказ теплопровода одного и того же диаметра требуют сопоставимых временных затрат на их восстановление. В связи с этим расчет среднего времени до восстановления ЗРА выполняется по выражению (6).

3.1.5. Интенсивность восстановления элементов ТС:

$$\mu = \frac{1}{z_i^B} \cdot 1/\text{ч} \quad (7)$$

3.1.6. Стационарная вероятность рабочего состояния сети:

$$p_0 = \left(1 + \sum_{i=1}^N \frac{\omega_i}{\mu_i}\right)^{-1}, \quad (8)$$

где N – число элементов ТС (участков и ЗРА).

3.1.7. Вероятность состояния сети, соответствующая отказу f-го элемента:

$$p_f = \frac{\omega_f}{\mu_f} \cdot p_0 \quad (9)$$

3.1.8. Температура воздуха в здании j-го потребителя в конце периода восстановления f-го элемента:

$$t_{j,f}^B = t^{HP} + \frac{t_j^{BP} - t^{HP} - \bar{q}_{j,f} \cdot (t_j^{BP} - t^{HP})}{e^{\left(\frac{z_f^B}{\beta_j}\right)}} + \bar{q}_{j,f} \cdot (t_j^{BP} - t^{HP}), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (10)$$

где t_j^{BP} - расчетная температура воздуха в здании j-го потребителя, $^\circ\text{C}$; t^{HP} - расчетная для отопления температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$; $q_{j,f}$ - часовой расход тепла у j-го потребителя при отказе f-го элемента при t^{HP} , Гкал/ч; q_j^P - расчетная часовая нагрузка j-го потребителя при t^{HP} , Гкал/ч; $\bar{q}_{j,f} = \frac{q_{j,f}}{q_j^P}$ - относительный часовой расход тепла у j-го потребителя при отказе f-го элемента при t^{HP} ; z_f^B - время восстановления f-го элемента ТС, ч; β_j - коэффициент тепловой аккумуляции здания j-го потребителя, ч.

3.1.9. Коэффициент готовности к обеспечению расчетного теплоснабжения j-го потребителя (определяется для каждого потребителя расчетной схемы ТС):

$$K_j = p_0 + \sum_{f \in F_j} p_f, \quad (11)$$

где: F_j - множество элементов ТС, выход которых в аварию не нарушает расчетный уровень теплоснабжения j-го потребителя.

3.1.10. Вероятность безотказного теплоснабжения j-го потребителя – вероятность обеспечения в течение отопительного периода температуры воздуха в здании j-го потребителя не ниже минимально допустимого значения (определяется для каждого потребителя расчетной схемы ТС [5]):

$$P_j = e^{-[p_0 \cdot \Sigma_f(\omega_f \cdot \tau_{j,f}^{pab})]}, \quad (12)$$

где $\tau_{j,f}^{pab}$ - продолжительность (число часов) стояния в течение отопительного периода температуры наружного воздуха t^n ниже $t_{j,f}^{pab}$ - температура наружного воздуха, при которой время восстановления f-го элемента z_f^B равно временному резерву j-го потребителя, т.е. времени снижения температуры воздуха в здании j-го потребителя до минимально допустимого значения t_{jmin}^B .

С помощью величин $t_{j,f}^{\text{рав}}$ и $\tau_{j,f}^{\text{рав}}$ выделяется доля отопительного сезона, в течение которой выход в аварию f -го элемента влияет на величину P_j .

Температура наружного воздуха $t_{j,f}^{\text{рав}}$, при которой время восстановления f -го элемента равно временному резерву j -го потребителя

При $\bar{q}_{j,f} = 0$ (j -ый потребитель при аварии на f -ом участке не получает тепло):

$$t_{j,f}^{\text{рав}} = \frac{t_j^{\text{BP}} - t_{j,\min}^B \cdot e^{\left(\frac{z_f^B}{\beta_j}\right)}}{1 - e^{\left(\frac{z_f^B}{\beta_j}\right)}} \quad (13)$$

При $\bar{q}_{j,f} > 0$:

$$t_{j,f}^{\text{рав}} = \frac{t_j^{\text{BP}} - \bar{q}_{j,f} \cdot (t_j^{\text{BP}} - t^{\text{HP}}) - (t_{j,\min}^B - \bar{q}_{j,f} \cdot (t_j^{\text{BP}} - t^{\text{HP}})) \cdot e^{\left(\frac{z_f^B}{\beta_j}\right)}}{1 - e^{\left(\frac{z_f^B}{\beta_j}\right)}} \quad (14)$$

Здесь $t_{j,\min}^B$ – минимально допустимая температура воздуха в здании j -го потребителя, °С.

Численные значения коэффициентов тепловой аккумуляции зданий различных типов принимаются в соответствии с рекомендациями МДС 41-6.2000 [21].

Расчетные температуры воздуха в зданиях принимаются в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.2.2645-10 [22], $t_{j,\min}^B$ – по СНиП 41-02-2003 (п. 4.2) [4]. Продолжительности стояния температур наружного воздуха принимаются по СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология» [23].

Правила определения $\tau_{j,f}^{\text{рав}}$ – числа часов стояния температуры наружного воздуха ниже $t_{j,f}^{\text{рав}}$.

Если $t_{j,f}^{\text{рав}}$ оказывается равной или выше +8 °С (начало отопительного сезона), это означает, что отказ f -го элемента нарушает пониженный уровень теплоснабжения j -го потребителя при любой температуре наружного воздуха и в формуле (14) величина $\tau_{j,f}^{\text{рав}}$ берется равной продолжительности отопительного периода.

Если $t_{j,f}^{\text{рав}}$ оказывается равной t^{HP} , отказ f -го элемента влияет на теплоснабжение j -го потребителя только при температурах ниже расчетных и $\tau_{j,f}^{\text{рав}}$ в формуле (14) берется равной $\tau^{\text{мин}}$ – числу часов стояния температуре наружного воздуха ниже t^{HP} .

Если $t_{j,f}^{\text{рав}} < t^{\text{мин}}$ (минимальная температура наружного воздуха), отказ f-го элемента не влияет на теплоснабжение j-го потребителя и в формуле (14) $\tau_{j,f}^{\text{рав}}$ берется равной нулю.

Если $t^{\text{мин}} < t_{j,f}^{\text{рав}} < t^{\text{нр}}$, то $\tau_{j,f}^{\text{рав}} = \frac{t^{\text{нр}} - t_{j,f}^{\text{рав}}}{t^{\text{нр}} - t^{\text{мин}}} \times \tau^{\text{мин}}$.

Если $t^{\text{нр}} < t_{j,f}^{\text{рав}} < +8^{\circ}\text{C}$, то $0 < \tau_{j,f}^{\text{рав}} < \tau^{\text{от}}$ и значение $\tau_{j,f}^{\text{рав}}$ определяется по графику продолжительностей стояния температур (график Россандера) [17]:

$$\tau_{j,f}^{\text{рав}} = \tau^{\text{хол}} + (\tau^{\text{от}} - \tau^{\text{хол}}) \cdot \left(\frac{t_{j,f}^{\text{рав}} - t^{\text{нр}}}{8 - t^{\text{нр}}} \right)^{\frac{t^{\text{н ср}} - t^{\text{нр}}}{8 - t^{\text{н ср}}}}, \quad (25)$$

где: $\tau^{\text{хол}}$ - продолжительность стояния температуры наружного воздуха ниже расчетной для отопления, ч; $\tau^{\text{от}}$ - продолжительность отопительного периода, ч; $t^{\text{н ср}}$ - средняя за отопительный период температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, автоматически выделяются: а) элементы, отказы которых нарушают и не нарушают пониженный уровень теплоснабжения потребителя, и б) доля отопительного периода, в течение которой нарушение имеет место.

3.1.11. Средний суммарный недоотпуск тепловой энергии j-му потребителю в течение отопительного периода:

$$Q_j^- = \left(g_j^{\text{р}} - \sum_{f=0} p_f g_{j,f} \right) \cdot (\tau_1^{\text{р}} - \tau_2^{\text{р}}) \cdot \frac{t_j^{\text{вр}} - t^{\text{н ср}}}{t_j^{\text{вр}} - t^{\text{нр}}} \cdot \tau^{\text{от}} \cdot 10^{-3}, \text{Гкал} \quad (36)$$

где $g_j^{\text{р}}$ – расчетный при $t^{\text{нр}}$ часовой расход теплоносителя у j-го потребителя, т/ч; $g_{j,f}$ – часовой расход теплоносителя у j-го потребителя при отказе f-го элемента, т/ч; $\tau_1^{\text{р}}$ и $\tau_2^{\text{р}}$ – расчетные (при $t^{\text{нр}}$) температуры воды в подающей и обратной магистралях ТС, $^{\circ}\text{C}$.

3.2 Порядок расчета показателей надежности теплоснабжения потребителей

Расчет показателей и оценка надежности теплоснабжения потребителей должен выполняться в следующем порядке.

Шаг 1. В первую очередь должны быть определены показатели надежности участков тепловой сети по статистическим данным об отказах элементов.

Если интенсивности отказов участков тепловой сети существенно выше значений, характерных для начального периода эксплуатации $\lambda_i \gg \lambda_{\text{нач}}$, то на данном этапе должны быть разра-

ботаны и включены в схему теплоснабжения предложения по замене (капитальному ремонту) таких участков.

Если время восстановления участков теплопроводов μ_i не соответствует нормативным требованиям, то на данном этапе должны быть разработаны и включены в схему теплоснабжения предложения по сокращению времени восстановления теплопроводов.

При отсутствии статистических данных расчет интенсивностей отказов теплопроводов со сроком службы до 25 лет должен производиться в соответствии с формулой 1.

Участки тепловой сети, выработавшие эксплуатационный ресурс (работающие 25 лет и более), должны выделяться в отдельную группу как потенциально ненадежные. После дополнительного анализа их состояния должны выбираться участки тепловых сетей, рекомендуемые к замене. Для оставшихся участков этой группы (не рекомендованных к замене), интенсивности отказов должны приниматься как для теплопроводов, имеющих срок службы 25 лет.

При отсутствии статистических данных о времени восстановления участков тепловых сетей, значения времени восстановления должны основываться на данных теплоснабжающих организаций по формуле 6.

В последующих расчетах показатели надежности участков и ЗРА должны приниматься с учетом разработанных предложений в целях недопущения компенсирования предельного технического состояния участков тепловой сети их резервированием. Для участков сети, рекомендованных к замене, интенсивности отказов в дальнейших расчетах должны приниматься как для новых теплопроводов в период их основной эксплуатации.

Шаг 2. По формулам 4 и 5 должны определяться параметры потоков отказов участков тепловой сети.

Шаг 3. По формуле 7 должна рассчитываться интенсивности восстановления элементов (участков и задвижек) тепловой сети.

Шаг 4. По формулам 8 и 9 должны рассчитываться вероятности рабочего состояния тепловой сети p_0 и вероятности состояний тепловой сети с отказом одного из элементов p_f .

Шаг 5. По вычисленным значениям вероятностей состояний сети должны рассчитываться показатели надежности теплоснабжения потребителей, сопоставленным с количеством тепловой энергии, подаваемой в соответствующих состояниях каждому потребителю.

В случае, если тепловая сеть тупиковая (не имеет кольцевой части), то при выходе из строя одного ее из элементов полностью прекращается теплоснабжение потребителей, расположенных за этим элементом, при этом теплоснабжение остальных потребителей не нарушается.

В тепловых сетях, имеющих кольцевую часть, каждому состоянию сети с выходом из строя элемента кольцевой части должен соответствовать свой уровень подачи тепловой энергии потребителям, для определения которого производится моделирование отказов элементов и рас-

чет соответствующих им послеаварийных гидравлических режимов. На основании результатов таких расчетов должны составляться матрицы относительных (по отношению к расчетному) расходов тепловой энергии в этих режимах у каждого из потребителей.

Моделирование послеаварийных ситуаций должно производиться путем автоматического поочередного исключения элементов из расчетной схемы. Расчеты послеаварийных гидравлических режимов должны выполняться с помощью математических моделей распределения потоков теплоносителя, реализованных в соответствующих электронных моделях системы теплоснабжения для двухлинейной расчетной схемы тепловой сети.

Шаг 6. На основании данных, полученных в результате моделирования отказов элементов тепловой сети, по зависимости 13 должны определяться температуры воздуха в зданиях потребителей в конце периода восстановления теплоснабжения $t_{j,f}^6$.

Шаг 7. По значениям температуры воздуха в зданиях потребителей в конце периода восстановления теплоснабжения $t_j^{6,p}$ должны определяться участки тепловой сети, отказы которых нарушают расчетный уровень теплоснабжения потребителей, и формироваться множества f_j для расчета коэффициентов готовности к обеспечению расчетного теплоснабжения потребителей K_j с использованием зависимости 11.

Временной резерв потребителей должен учитываться при определении P_j через повторяемость $\tau_{j,f}^{pav}$ температур наружного воздуха $t_{j,f}^{pav}$, при которых время восстановления элемента равно временному резерву потребителя.

Для учета временного резерва потребителей (при определении P_j) и доли отопительного периода, в течение которой отказ каждого элемента нарушает теплоснабжение каждого потребителя, должны определяться:

температуры равенства времени восстановления элемента и временного резерва потребителя $t_{j,f}^{pav}$;

повторяемость этих температур в течение отопительного периода $\tau_{j,f}^{pav}$ по зависимости 15 и соответствующим правилам.

Шаг 8. По зависимостям 11 и 12 должны рассчитываться коэффициенты готовности тепловой сети к обеспечению расчетного теплоснабжения потребителей K_j и вероятности обеспечения пониженного уровня теплоснабжения потребителей P_j .

Шаг 9. После расчета показателей надежности K_j и P_j должна быть выполнена проверка выполнения требований к надежности теплоснабжения потребителей.

Приведенный расчет надежности теплоснабжения потребителей должен применяться только для оценки надежности теплоснабжения потребителей в зоне действия системы теплоснабжения.

Определение показателей надежности теплоснабжения не распространяется на оценку надежности теплоснабжения организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности в сфере теплоснабжения.

4 Расчет показателей надежности тепловых сетей в зоне действия энергоисточников ЗАТО Северск на отопительный период 2021/2022 года

4.1 Общие сведения о структуре тепловых сетей ОАО «Тепловые сети»

Тепловые сети ЗАТО Северск – централизованные, включают в себя магистральные и распределительные сети, а также ответвления к отдельным домам и потребителям тепла.

Тепловая энергия поставляется потребителям в виде горячей воды и пара. Способ прокладки – преобладают сети с подземной прокладкой в непроходных каналах, изоляция – маты минераловатные с незначительной долей ППУ.

Организацией эксплуатирующей тепловые сети в г. Северске является ОАО «ТС», на долю которой приходится 92,23% от общей протяженности всех сетей теплоснабжения ЗАТО Северск. ОАО «ТС» осуществляет передачу тепловой энергии от ТЭЦ АО «РИР» потребителям в г. Северске.

Описание тепловых сетей, сооружений на них включает в себя информацию, содержащуюся в электронной модели системы теплоснабжения (параметры тепловых сетей, включая год начала эксплуатации, тип изоляции, тип компенсирующих устройств, тип прокладки, определением их материальной характеристики и тепловой нагрузки потребителей, подключенных к таким участкам).

Подробные характеристики тепловых сетей ОАО «ТС» приведены в разделе 3 тома 1.

4.2 Данные о фактической надежности трубопроводов тепловых сетей

4.2.1 Общие положения

Для выявления участков тепловых сетей, подлежащих реконструкции для обеспечения надежной работы всей системы теплоснабжения ЗАТО Северска в целом до 2045 года, проведен анализ повреждаемости на тепловых сетях с учетом отопительного периода в 2024 году.

4.2.2 Статистика уровня износа и отказов тепловых сетей

По данным ОАО «ТС», количество повреждений на тепловых сетях в 2020 году составило 121 ед., в 2021 году – 111 ед. (таблица 4.1). То есть наблюдалось некоторое снижение количества повреждений по сравнению с 2019 годом – примерно на 9 %. В целом за последние 5 лет количество повреждений в магистральных тепловых сетях менялось слабо- от 105 до 121 ед.

Таблица 4.1 – Фактические показатели частоты повреждаемости тепловых сетей ОАО «ТС» и тепловых сетей потребителей

Наименование показателя	2020	2021	2022	2023	2024
Количество повреждений в тепловых сетях, в том числе:					
- в отопительный период	38	19	41	25	19
- в летний период (период испытаний)	61	103	132	237	113
Всего	99	122	173	262	132

Примечание. В скобках приведено в том числе количество повреждений в тепловых сетях потребителей.

На момент актуализации схемы теплоснабжения 93,7% от общей протяженности магистральных тепловых сетей ЗАТО Северск эксплуатируются более 40 лет. Сети теплоснабжения, эксплуатируемые менее 25 лет, составляют всего 6,3% общего объема тепловых сетей. Общий уровень износа тепловых сетей по состоянию на 01.01.2024 г. оценивается как высокий. Общая протяженность тепловых сетей нуждающихся в замене составляет более 320 км в однострубно́м исполнении.

Объем замены ветхих сетей за период с 2020 по 2025 год существенно отставал от потребностей системы теплоснабжения: в среднем в указанный период заменялось от 1,4-2,5% от общей протяженности ветхих и изношенных сетей теплоснабжения в год (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Оценка общего уровня износа тепловых сетей

Показатели	Ед. измерения	2022	2023	2024
ОАО «ТС»				
Протяжение тепловых и паровых сетей в двухтрубном исчислении	км	209853,5	209853,5	209853,5
Протяжение тепловых и паровых сетей в двухтрубном исчислении, нуждающихся в замене	км	164654,3	160303	157391
Удельный вес сетей, нуждающихся в замене	%	78,46%	76,39%	75%
Протяжение тепловых и паровых сетей, которые были заменены и отремонтированы за отчетный год	км	5258	4351,34	2912
Удельный вес сетей, которые были заменены и отремонтированы, в общей протяженности сетей, нуждающихся в замене	%	2,51%	2,07%	1,39%

Источник: данные теплоснабжающих (теплосетевых) организаций

Так как в период с 2019 по 2024 год по данным, предоставленным теплоснабжающими (теплосетевыми) организациями ЗАТО Северск, отказов оборудования источников тепловой энергии, а также оборудования и участков тепловых сетей, вызывавших полное прекращение подачи теплоносителя установленных параметров потребителям тепловой энергии, не зарегистри-

ровано, общее время восстановления теплоснабжения потребителей после аварийных отключений за последние 3 года равно нулю.

Показатель аварийности на сетях теплоснабжения в 2019-2024 гг. в целом по ОАО «ТС» находится на среднем уровне (от 0,34 ед./км сетей в 2015 г. до 0,55 ед./км в 2020 г.)

По данным ОАО «ТС» за рассматриваемый период инцидентов, приведших к останову участков тепловых сетей и ограничению теплоснабжения потребителей, не зафиксировано.

4.2.3 Структура повреждений на тепловых сетях ОАО «ТС»:

- 80% повреждений возникает по причине утонения стенки нижней и боковой части трубопроводов. Фактическая толщина стенки на поврежденных участках составляет 1-2 мм, при нормативе 4,5-8,0. Основываясь на действующих нормативных документах по оценке технического состояния труб, а именно - критерии 20% утонения стенки трубопроводов, можно говорить о фактическом отклонении от нормы на 50-70%;
- 18% повреждений – наружная язвенная коррозия;
- 2% – запорная арматура.

Анализ информации о времени восстановления теплоснабжения потребителей, отключенных в результате аварийных ситуаций указывает на отсутствие нарушений временных интервалов по отключению теплоносителя систем теплоснабжения и горячего водоснабжения.

4.3 Расчет вероятности безотказной работы существующего положения системы теплоснабжения ЗАТО Северск

Для оценки и расчета вероятности безотказной работы выбраны потребители, наиболее удаленные от источников теплоснабжения по разным тепловым магистралям. Так как нормативная вероятность безотказной работы наиболее удаленных потребителей являются гарантией соблюдения нормативных требований безотказной работы для всех потребителей, находящихся ближе к источнику тепловой энергии.

Характеристики выбранных потребителей приведены в таблице 4.3; характеристики соответствующих расчетных путей приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.3 – Информация о типах зданий выбранных потребителей

№ п/п	Адрес (магистраль)	β , ч	$t^{вп}$, °С	$t_{min}^в$, °С	qпр, Гкал/ч	g, т/ч
1	ул. Победы, 2 (1-я Южная маг.)	42÷77	20	12	1,3370	16.712
2	ул. Победы, 10 (1-я Южная маг.)	42÷77	20	12	1,0474	13.095
3	ул. Калинина, 80 (2-я Южная маг.)	60÷100	20	12	0,2268	2.835
4	ул. Калинина, 82 (2-я Южная маг.)	60÷100	20	12	0,2268	2.835
5	ул. Солнечная, 23 (2-я Южная маг.)	60÷100	20	12	0,6117	7,645
6	ул. Победы, 1 (3-я Южная маг.)	42÷77	20	12	0,4810	6,0125

№ п/п	Адрес (магистраль)	β , ч	$t^{вп}$, °С	$t_{min}^в$, °С	qпр, Гкал/ч	g, т/ч
7	ул. Победы, 5 (3-я Южная маг.)	42÷77	20	12	0,1420	1,775
8	ул. Ленинградская, 28 (3-я Южная маг.)	42÷77	20	12	0,0713	0,8912

Таблица 4.4 – Расчетные пути для определения вероятности безотказной работы

Номер потребителя (расчетного пути)	Расчетный путь для оценки надежности ТС	
	Начальная камера участка	Конечная камера участка
ТЭЦ АО «РИР», потребители г.Северска		
1	ТЭЦ АО «РИР»	Победы, 2 (1-я Южная маг.)
2	ТЭЦ АО «РИР»	Победы, 10 (1-я Южная маг.)
3	ТЭЦ АО «РИР»	Калинина, 80 (2-я Южная маг.)
4	ТЭЦ АО «РИР»	Калинина, 82 (2-я Южная маг.), Гиацинт 1
5	ТЭЦ АО «РИР»	Солнечная, 23 (2-я Южная маг.), Гиацинт 2
6	ТЭЦ АО «РИР»	Победы, 1 (3-я Южная маг.)
7	ТЭЦ АО «РИР»	Победы, 5 (3-я Южная маг.)
8	ТЭЦ АО «РИР»	Ленинградская, 28 (3-я Южная маг.)

В расчетах использовалось значение фактическое значение интенсивности отказов теплопроводов $\lambda=1,2 \cdot 10^{-7}$ 1/(км·ч), полученное в результате обработки статистических данных, предоставленных специалистами теплоснабжающей организации.

Расчет послеаварийных гидравлических режимов в полном объеме не требуется, так как рассматриваемая ТС не имеет кольцевой части. Теоретически в этом случае при выходе из строя одного из элементов ТС полностью прекращается теплоснабжение потребителей, путь снабжения которых разрывается. Однако по информации теплоснабжающей организации существует возможность частичного резервирования отказавшего участка за счет использования аварийных перемычек между подающим и обратным теплопроводами.

Поэтому расчет вероятностей безотказного теплоснабжения потребителей производился с учетом возможной подачи аварийной нормы тепла в диапазоне $\varphi_k^{ав} = 0,5 \dots 0,7$ [2].

4.3.1 Южная тепломагистраль (расчетный путь 1)

Расчетный путь 1 для 1-й Южной тепломагистрали начинается от ТЭЦ АО «РИР» и заканчивается потребителем по ул. Победы, 2.

В таблице 4.5 приведены данные для расчета вероятности безотказной работы теплопровода, в соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.

Значения интенсивностей отказов элементов ТС рассчитаны по формулам (1 и 3) и приведены в таблице 4.5. При этом начальная интенсивность отказов теплопровода $\lambda^{нач}$, соответствующая периоду нормальной эксплуатации, принята равной фактической $1,2 \cdot 10^{-7}$ 1/(км·ч).

Таблица 4.5 – Технические характеристики и показатели надежности элементов ТС (расчетный путь 1)

№ эле- мента	Начало участка	Длина участка, м	$d_{\text{вн}},$ м	$\tau_{\text{экспл}},$ лет	$\lambda,$ 1/(км· ч)	$\omega,$ 1/ч	$z^B,$ ч	$\mu,$ 1/ч	Вероятность состояния ТС с отказом элемента f p_f
1	ТРУ	1142	0,6	45	6.69E-05	7.64E-05	32. 90	3.0392E-02	2.4442E-03
2	ТП-1А	859,67	0,6	45	6.69E-05	5.75E-05	32. 90	3.0392E-02	1.8399E-03
3	ТП-2	894,27	0,6	45	6.69E-05	5.98E-05	32. 90	3.0392E-02	1.9140E-03
4	Т6	240,85	0,5	7	2.40E-07	5.78E-08	27. 01	3.7023E-02	1.5169E-06
5	К1М	128,86	0,5	9	2.40E-07	3.09E-08	27. 01	3.7023E-02	8.1158E-07
6	К2	102,23	0,5	8	2.40E-07	2.45E-08	27. 01	3.7023E-02	6.4386E-07
7	К2а	314,4	0,6	8	2.40E-07	7.54E-08	32. 90	3.0392E-02	2.4122E-06
8	К3	164,53	0,6	8	2.40E-07	3.94E-08	32. 90	3.0392E-02	1.2623E-06
9	К4	25,58	0,6	8	2.40E-07	6.13E-09	32. 90	3.0392E-02	1.9626E-07
10	К4а(м)	139,56	0,6	8	2.40E-07	3.34E-08	32. 90	3.0392E-02	1.0708E-06
11	К5	231,63	0,6	8	2.40E-07	5.55E-08	32. 90	3.0392E-02	1.7771E-06
12	К6"М"	238,87	0,6	8	2.40E-07	5.73E-08	32. 90	3.0392E-02	1.8327E-06
13	Уз. Б	181,54	0,6	45	6.69E-05	1.21E-05	32. 90	3.0392E-02	3.8855E-04
14	К8м	67,96	0,6	45	6.69E-05	4.54E-06	32. 90	3.0392E-02	1.4545E-04
15	К9м	278,3	0,5	45	6.69E-05	1.86E-05	27. 01	3.7023E-02	4.8895E-04
16	К10м	325,99	0,5	45	6.69E-05	2.18E-05	27. 01	3.7023E-02	5.7274E-04
17	К12	141,19	0,6	45	6.69E-05	9.45E-06	32. 90	3.0392E-02	3.0219E-04
18	К13	312,48	0,5	45	6.69E-05	2.09E-05	27. 01	3.7023E-02	5.4900E-04
19	К14	358,05	0,5	45	6.69E-05	2.39E-05	27. 01	3.7023E-02	6.2907E-04
20	К15м	3,94	0,5	45	6.695E-05	2.63E-07	27. 01	3.7023E-02	6.9223E-06
21	К16м	297,43	0,5	6	2.400E-07	7.13E-08	27. 01	3.7023E-02	1.8733E-06
22	К17м	158,28	0,5	45	6.695E-05	1.05E-05	27. 01	3.7023E-02	2.7809E-04
23	К18м	153,88	0,5	45	6.695E-05	1.03E-05	27. 01	3.7023E-02	2.7036E-04
24	К19м (д,з)	57,4	0,5	45	6.695E-05	3.84E-06	27. 01	3.7023E-02	1.0085E-04
25	К20м	131,95	0,5	45	6.695E-05	8.83E-06	27. 01	3.7023E-02	2.3183E-04
26	К21м (з)	238,17	0,5	45	6.695E-05	1.59E-05	27. 01	3.7023E-02	4.1845E-04
27	К22м (д)	54,84	0,5	45	6.695E-05	3.67E-06	27. 01	3.7023E-02	9.6350E-05
28	К23м	171,46	0,5	45	6.695E-05	1.147E-05	27. 01	3.7023E-02	3.0124E-04
29	К24м	79,99	0,5	45	6.695E	5.355E	27.	3.7023E	1.4054E-04

№ эле- мента	Начало участка	Длина участка, м	$d_{\text{вн}},$ м	$\tau_{\text{экспл}},$ лет	$\lambda,$ 1/(км· ч)	$\omega,$ 1/ч	$z^B,$ ч	$\mu,$ 1/ч	Вероятность состояния ТС с отказом элемента f p_f
					-05	-06	01	-02	
30	K25м	108,63	0,5	45	6.695E-05	7.27E-06	27.01	3.7023E-02	1.9085E-04
31	K26м	201,96	0,5	45	6.695E-05	1.35E-05	27.01	3.7023E-02	3.5483E-04
32	K27м(з)	180,13	0,5	45	6.695E-05	1.20E-05	27.01	3.7023E-02	3.1647E-04
33	K28	257,88	0,5	45	6.695E-05	1.72E-05	27.01	3.7023E-02	4.5308E-04
34	K29м(з)	161,89	0,5	45	6.695E-05	1.08E-05	27.01	3.7023E-02	2.8443E-04
35	K30м	99,68	0,5	45	6.695E-05	6.67E-06	27.01	3.7023E-02	1.7513E-04
36	K31м	199,94	0,5	45	6.695E-05	1.33E-05	27.01	3.7023E-02	3.5128E-04
37	K32(з)	321,13	0,4	45	6.695E-05	2.15E-05	21.35	4.6840E-02	4.4595E-04
38	K33м	317,06	0,4	45	6.695E-05	2.12E-05	21.35	4.6840E-02	4.4030E-04
39	K34м	60,93	0,5	45	6.695E-05	4.07E-06	27.01	3.7023E-02	1.0705E-04
40	K35м	34,43	0,5	45	6.695E-05	2.30E-06	27.01	3.7023E-02	6.0491E-05
41	K36м	2,8	0,5	45	6.695E-05	1.87E-07	27.01	3.7023E-02	4.9194E-06
42	K37м(з)	5,09	0,5	45	6.695E-05	3.40E-07	27.01	3.7023E-02	8.9427E-06
43	K38м	128,51	0,5	45	6.695E-05	8.60E-06	27.01	3.7023E-02	2.2578E-04
44	K39	3,48	0,5	45	6.695E-05	2.32E-07	27.01	3.7023E-02	6.1141E-06
45	K40	103,85	0,5	45	6.695E-05	6.95E-06	27.01	3.7023E-02	1.8246E-04
46	K41	205,55	0,5	45	6.695E-05	1.37E-05	27.01	3.7023E-02	3.6114E-04
47	K42	169,67	0,5	45	6.695E-05	1.13E-05	27.01	3.7023E-02	2.9810E-04
48	K43	46,63	0,5	45	6.695E-05	3.12E-06	27.01	3.7023E-02	8.1925E-05
49	K43a	122,88	0,5	45	6.695E-05	8.22E-06	27.01	3.7023E-02	2.1589E-04
50	K44	139,92	0,4	45	6.695E-05	9.36E-06	21.35	4.6840E-02	1.9431E-04
51	K45(з)	168,89	0,4	45	6.695E-05	1.13E-05	21.35	4.6840E-02	2.3454E-04
52	ТПЗ	222,5	0,4	4	2.400E-07	5.34E-08	21.35	4.6840E-02	1.1076E-06
53	K45(з)	121,26	0,4	45	6.695E-05	8.11E-06	21.35	4.6840E-02	1.6839E-04
54	K45(з)	34,21	0,1	31	1.112E-06	3.80E-08	6.41	1.5611E-01	2.3689E-07

Примечание. В таблице приведены только те элементы, отказ которых влияет на теплоснабжение данного потребителя (ул. Победы, 2), то есть элементы, входящие в путь его снабжения.

Значения параметра потока отказов элементов ТС рассчитаны по формулам (4 и 5) и приведены на рисунке 4.1 и таблице 4.5.

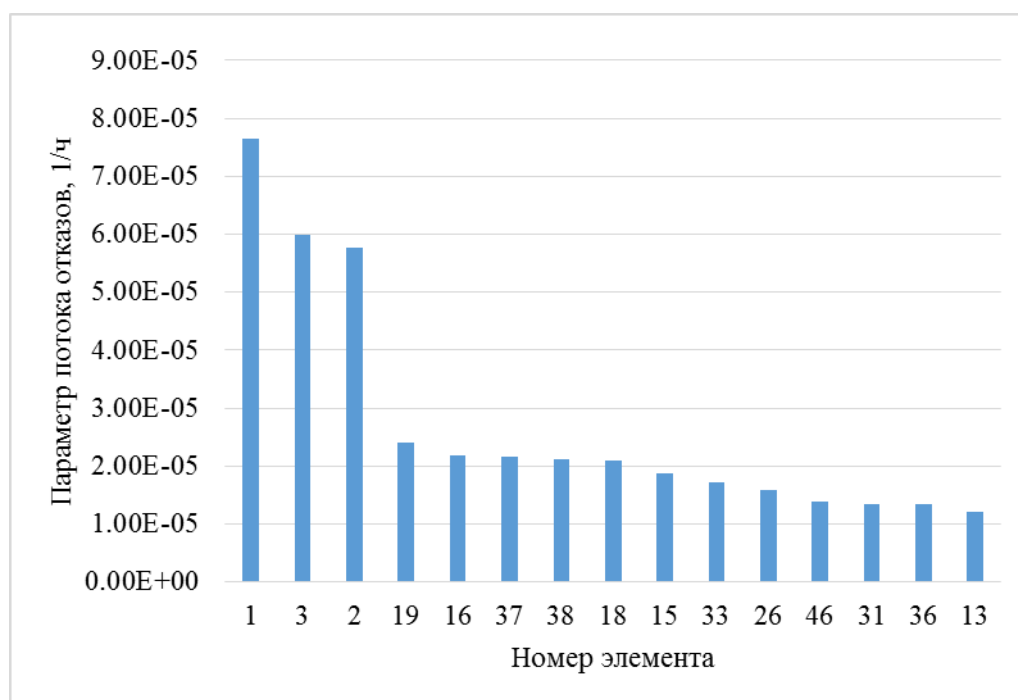


Рисунок 4.1 – Параметр потока отказов наиболее ненадежных элементов ЮМ-1 (расчетный путь 1)

Большие значения параметра потока отказов участков 1, 2, 3, обусловлены длительным сроком их эксплуатации (более 25 лет) и относительно большой протяженностью этих участков.

Вероятности состояния, соответствующие отказам одного из элементов ТС, рассчитанные по формуле (9), приведены в таблице 4.5.

При вычислении вероятностей состояния ТС, кроме срока службы и длины участка, учитывается его диаметр и время восстановления после отказа. Наибольший вклад в состояния ТС с отказами вносят участки 1, 2, 3.

Коэффициенты готовности относительно расчетного уровня теплоснабжения потребителей определяются в соответствии с (11), при этом для каждого потребителя в множество включаются все элементы сети, кроме входящих в путь его снабжения.

Для определения по формуле (12) величин – вероятностей безотказного теплоснабжения потребителей по отношению к пониженному уровню сначала рассчитываются температуры наружного воздуха (формулы (13) и (14)), при которых время восстановления f -го элемента равно временному резерву j -го потребителя. Эти температуры и продолжительности их стояния (правила и зависимости для их определения изложены в разделе 3) приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Температуры наружного воздуха $t_{j,f}^{\text{рав}}$, при которых время восстановления f-го элемента равно временному резерву j-го потребителя и продолжительности стояния $\tau_{j,f}^{\text{рав}}$ этих температур в течение отопительного периода

№ отказавшего элемента ТС, f	Начало участка	$t_{j,f}^{\text{рав}}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$
		для потребителя, расположенного по ул. Победы, 2	
1	ТРУ	-31.40	211.8
2	ТП-1А	-31.40	211.8
3	ТП-2	-31.40	211.8
4	Т6	-34.52	110.8
5	К1М	-34.52	110.8
6	К2	-34.52	110.8
7	К2а	-31.40	211.8
8	К3	-31.40	211.8
9	К4	-31.40	211.8
10	К4а(м)	-31.40	211.8
11	К5	-31.40	211.8
12	К6"М"	-31.40	211.8
13	Уз. Б	-31.40	211.8
14	К8м	-31.40	211.8
15	К9м	-34.52	110.8
16	К10м	-34.52	110.8
17	К12	-31.40	211.8
18	К13	-34.52	110.8
19	К14	-34.52	110.8
20	К15м	-34.52	110.8
21	К16м	-34.52	110.8
22	К17м	-34.52	110.8
23	К18м	-34.52	110.8
24	К19м (д,з)	-34.52	110.8
25	К20м	-34.52	110.8
26	К21м (з)	-34.52	110.8
27	К22м (д)	-34.52	110.8
28	К23м	-34.52	110.8
29	К24м	-34.52	110.8
30	К25м	-34.52	110.8
31	К26м	-34.52	110.8
32	К27м (з)	-34.52	110.8
33	К28	-34.52	110.8
34	К29м (з)	-34.52	110.8
35	К30м	-34.52	110.8
36	К31м	-34.52	110.8
37	К32(з)	-39.17	0.6
38	К33м	-39.17	0.6
39	К34м	-34.52	110.8
40	К35м	-34.52	110.8
41	К36м	-34.52	110.8
42	К37м(з)	-34.52	110.8

№ отказавшего элемента ТС, f	Начало участка	$t_{l,f}^{\text{рав}}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{l,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$
		для потребителя, расположенного по ул. Победы, 2	
43	K38м	-34.52	110.8
44	K39	-34.52	110.8
45	K40	-34.52	110.8
46	K41	-34.52	110.8
47	K42	-34.52	110.8
48	K43	-34.52	110.8
49	K43а	-34.52	110.8
50	K44	-39.17	0.6
51	K45(з)	-39.17	0.6
52	ТПЗ	-39.17	0.6
53	K45(з)	-39.17	0.6
54	K45(3)	-91.46	0.0

Результаты расчета вероятностных показателей надежности для потребителя по адресу по ул. Победы, 2:

- коэффициент готовности к обеспечению расчетного теплоснабжения j-го потребителя $K_j=0,9837$;
- вероятность безотказного теплоснабжения j-го потребителя $P_j=0,9256$.

Указанные значения соответствуют требованиям СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» ($K_j=0,97$; $P_j=0,9$).

4.3.2 Вторая Южная тепломагистраль (расчетный путь 5)

Расчетный путь 5 для 2-й Южной тепломагистрали начинается от ТЭЦ АО «РИР» и заканчивается потребителем по ул. Солнечная, 23.

В таблице 4.7 приведены данные для расчета вероятности безотказной работы теплопровода, в соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.

Значения интенсивностей отказов элементов ТС рассчитаны по формулам (1 и 3) и приведены в таблице 4.7. При этом начальная интенсивность отказов теплопровода $\lambda^{\text{нач}}$, соответствующая периоду нормальной эксплуатации, принята равной фактической $1,2 \cdot 10^{-7} 1/(\text{км} \cdot \text{ч})$.

Таблица 4.7 – Технические характеристики и показатели надежности элементов ТС (расчетный путь 5)

№ элемента	Начало участка	Длина участка, м	$d_{\text{вн}}, \text{м}$	$\tau^{\text{экспл}}, \text{лет}$	$\lambda, 1/(\text{км} \cdot \text{ч})$	$\omega, 1/\text{ч}$	$z^B, \text{ч}$	$\mu, 1/\text{ч}$	Вероятность состояния ТС с отказом элемента $f p_f$
1	ТРУ	1116.02	0.7	50	8.6864E-04	9.6942E-04	39.00	2.5642E-02	2.9387E-02
2	Врезка на Иглаково	27.02	0.7	50	8.6864E-04	2.3471E-05	39.00	2.5642E-02	7.1149E-04
3	ТП-1А	850.96	0.7	50	8.6864E-04	7.3918E-04	39.00	2.5642E-02	2.2408E-02

№ эле- мента	Начало участ- ка	Длина участка, м	$d_{\text{вн}},$ м	$\tau^{\text{экспл}},$ лет	$\lambda,$ 1/(км·ч)	$\omega,$ 1/ч	$z^B,$ ч	$\mu,$ 1/ч	Вероятность состояния ТС с отказом элемента $f p_f$
4	ТП-2	402.64	0.7	50	8.6864E-04	3.4975E-04	39.00	2.5642E-02	1.0602E-02
5	Тройник кв. 59	263.61	0.7	50	8.6864E-04	2.2898E-04	39.00	2.5642E-02	6.9414E-03
6	Т6	306.21	0.7	50	8.6864E-04	2.6599E-04	39.00	2.5642E-02	8.0632E-03
7	Тройник кв.60	224.94	0.7	50	8.6864E-04	1.9539E-04	39.00	2.5642E-02	5.9232E-03
8	Тройник кв.61	406.42	0.7	50	8.6864E-04	3.5303E-04	39.00	2.5642E-02	1.0702E-02
9	ТП-5	236.5	0.7	50	8.6864E-04	2.0543E-04	39.00	2.5642E-02	6.2276E-03
10	К1	289.93	0.7	7	2.4000E-07	6.9583E-08	39.00	2.5642E-02	2.1094E-06
11	К7м	148.51	0.7	50	8.6864E-04	1.2900E-04	39.00	2.5642E-02	3.9106E-03
12	ТП-4	425.63	0.7	50	8.6864E-04	3.6972E-04	39.00	2.5642E-02	1.1208E-02
13	Переход	756.03	0.7	50	8.6864E-04	6.5672E-04	39.00	2.5642E-02	1.9908E-02
14	К1	224.52	0.7	50	8.6864E-04	1.9503E-04	39.00	2.5642E-02	5.9121E-03
15	К2	711.36	0.7	50	8.6864E-04	6.1792E-04	39.00	2.5642E-02	1.8732E-02
16	ТП-3	573.02	0.7	50	8.6864E-04	4.9775E-04	39.00	2.5642E-02	1.5089E-02
17	УТ2а	161.18	0.7	50	8.6864E-04	1.4001E-04	39.00	2.5642E-02	4.2442E-03
18	Переход	137.38	0.7	18	2.7471E-07	3.7740E-08	39.00	2.5642E-02	1.1440E-06
19	К26	69.13	0.7	18	2.7471E-07	1.8991E-08	39.00	2.5642E-02	5.7569E-07
20	К2м	43.08	0.7	18	2.7471E-07	1.1834E-08	39.00	2.5642E-02	3.5875E-07
21	К2в	224.44	0.7	18	2.7471E-07	6.1656E-08	39.00	2.5642E-02	1.8690E-06
22	К2гм	132.98	0.5	18	2.7471E-07	3.6531E-08	27.01	3.7023E-02	7.6700E-07
23	К2м(з)	180.9	0.5	50	8.6864E-04	1.5714E-04	27.01	3.7023E-02	3.2992E-03
24	К3м(з)	208.49	0.5	50	8.6864E-04	1.8110E-04	27.01	3.7023E-02	3.8024E-03
25	К4м	226.95	0.5	50	8.6864E-04	1.9714E-04	27.01	3.7023E-02	4.1391E-03
26	К5ам	9.12	0.5	50	8.6864E-04	7.9220E-06	27.01	3.7023E-02	1.6633E-04
27	К56м	363.01	0.5	50	8.6864E-04	3.1533E-04	27.01	3.7023E-02	6.6205E-03
28	К6м	194.52	0.5	50	8.6864E-04	1.6897E-04	27.01	3.7023E-02	3.5476E-03
29	К7м(з)	188.88	0.5	50	8.6864E-04	1.6407E-04	27.01	3.7023E-02	3.4448E-03
30	К7ам	52.33	0.125	49	4.8880E-04	2.5579E-05	7.48	1.3372E-01	1.4869E-04
31	К1	62.38	0.125	49	4.8880E-04	3.0491E-05	7.48	1.3372E-01	1.7725E-04
32	К2	41.57	0.125	49	4.8880E-04	2.0319E-05	7.48	1.3372E-01	1.1812E-04

№ элемента	Начало участка	Длина участка, м	$d_{вн}, м$	$\tau^{экспл}, лет$	$\lambda, 1/(км \cdot ч)$	$\omega, 1/ч$	$z^в, ч$	$\mu, 1/ч$	Вероятность состояния ТС с отказом элемента $f p_f$
					-04	-05		-01	
33	КЗ	8.18	0.08	49	4.8880E-04	3.9984E-06	5.59	1.7905E-01	1.7359E-05

Примечание. В таблице приведены только те элементы, отказ которых влияет на теплоснабжение данного потребителя (ул. Солнечная, 23), то есть элементы, входящие в путь его снабжения.

Большие значения интенсивностей отказов большинства участков обусловлены длительным сроком их эксплуатации – более 25 лет. Техническое состояние и условия эксплуатации этих участков следует еще раз проанализировать и на основе этого анализа разработать предложения по замене некоторых из них.

Значения параметра потока отказов элементов ТС рассчитаны по формулам (4 и 5) и приведены на рисунке 4.2 и таблице 4.7.

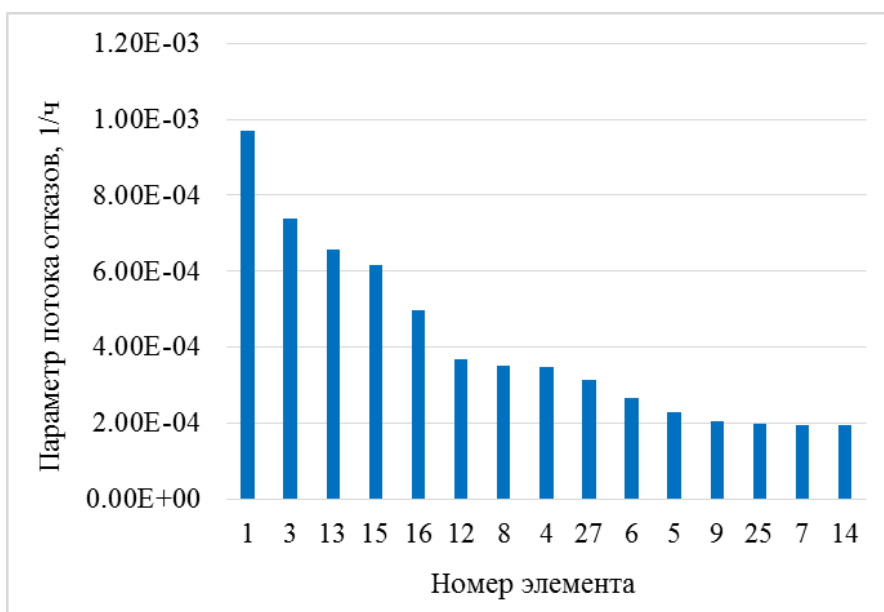


Рисунок 4.2 – Параметр потока отказов наиболее ненадежных элементов ЮМ-2 (расчетный путь 5)

Большие значения параметра потока отказов участков 1, 3, 13, 15, 16 обусловлены длительным сроком их эксплуатации (более 25 лет) и относительно большой протяженностью этих участков.

Вероятности состояния, соответствующие отказам одного из элементов ТС, рассчитанные по формуле (9), приведены в таблице 4.7.

При вычислении вероятностей состояния ТС, кроме срока службы и длины участка, учитывается его диаметр и время восстановления после отказа. Наибольший вклад в состояния ТС с отказами вносят участки 1, 3, 13, 15, 16.

Коэффициенты готовности относительно расчетного уровня теплоснабжения потребителей определяются в соответствии с (11), при этом для каждого потребителя в множество включаются все элементы сети, кроме входящих в путь его снабжения.

Для определения по формуле (12) величин – вероятностей безотказного теплоснабжения потребителей по отношению к пониженному уровню сначала рассчитываются температуры наружного воздуха (формулы (13) и (14)), при которых время восстановления f -го элемента равно временному резерву j -го потребителя. Эти температуры и продолжительности их стояния (правила и зависимости для их определения изложены в разделе 3) и приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Температуры наружного воздуха $t_{j,f}^{\text{рав}}$, при которых время восстановления f -го элемента равно временному резерву j -го потребителя и продолжительности стояния $\tau_{j,f}^{\text{рав}}$ этих температур в течении отопительного периода

№ отказавшего элемента ТС, f	Начало участка	$t_{j,f}^{\text{рав}}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$
		для потребителя, расположенного по ул. Солнечная, 23	
1	ТРУ	-42.03	10.4
2	Врезка на Иглаково	-42.03	10.4
3	ТП-1А	-42.03	10.4
4	ТП-2	-42.03	10.4
5	Тройник кв. 59	-42.03	10.4
6	Т6	-42.03	10.4
7	Тройник кв.60	-42.03	10.4
8	Тройник кв.61	-42.03	10.4
9	ТП-5	-42.03	10.4
10	К1	-42.03	10.4
11	К7м	-42.03	10.4
12	ТП-4	-42.03	10.4
13	Переход	-42.03	10.4
14	К1	-42.03	10.4
15	К2	-42.03	10.4
16	ТП-3	-42.03	10.4
17	УТ2а	-42.03	10.4
18	Переход	-42.03	10.4
19	К2б	-42.03	10.4
20	К2м	-42.03	10.4
21	К2в	-42.03	10.4
22	К2гм	-49.22	35.1
23	К2м(з)	-49.22	35.1
24	К3м(з)	-49.22	35.1
25	К4м	-49.22	35.1
26	К5ам	-49.22	35.1
27	К5бм	-49.22	35.1
28	К6м	-49.22	35.1
29	К7м(з)	-49.22	35.1

№ отказавшего элемента ТС, f	Начало участка	$t_{i,f}^{\text{рав}}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{i,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$
		для потребителя, расположенного по ул. Солнечная, 23	
30	K7ам	-110.94	0.0
31	K1	-110.94	0.0
32	K2	-110.94	0.0
33	K3	-139.94	0.0

Результаты расчета вероятностных показателей надежности для потребителя по адресу по ул. Солнечная, 23:

- коэффициент готовности к обеспечению расчетного теплоснабжения j-го потребителя $K_j=0,7945$;
- вероятность безотказного теплоснабжения j-го потребителя $P_j=0,9225$.

Значение вероятности безотказного теплоснабжения соответствует требованиям СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» ($P_j=0,9$), а значение готовности ниже требований СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» ($K_j=0,97$).

Рекомендуется:

- заменить 1, 3, 13, 15, 16 и другие участки с высокими значениями параметра потока отказов;
- увеличить объема резервирования.

4.3.3 Третья Южная тепломагистраль (Расчетный путь 8)

Расчетный путь 8 для 3-й Южной тепломагистрали начинается от ТЭЦ АО «РИР» и заканчивается потребителем по ул. Ленинградская, 28.

В таблице 4.9 приведены данные для расчета вероятности безотказной работы теплопровода, в соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.

Значения интенсивностей отказов элементов ТС рассчитаны по формулам (1 и 3) и приведены в таблице 4.9. При этом начальная интенсивность отказов теплопровода $\lambda^{\text{нач}}$, соответствующая периоду нормальной эксплуатации, принята равной фактической $1,2 \cdot 10^{-7} \text{ 1/(км} \cdot \text{ч)}$.

Таблица 4.9 – Технические характеристики и показатели надежности элементов ТС (расчетный путь 8)

№ элемента	Начало участка	Длина участка, м	$d_{\text{вн}}, \text{м}$	$\tau^{\text{эспл}}, \text{лет}$	$\lambda, \text{1/(км} \cdot \text{ч)}$	$\omega, \text{1/ч}$	Среднее	$\mu, \text{1/ч}$	Вероятность состояния ТС с отказом элемента f p_f
1	ТРУ	1168,6	1	40	1.0057E-05	1.1753E-05	58.27	1.7160E-02	6.8073E-04

№ элемента	Начало участка	Длина участка, м	$d_{\text{вн}}, \text{м}$	$\tau_{\text{экспл}}, \text{лет}$	$\lambda, 1/(\text{км} \cdot \text{ч})$	$\omega, 1/\text{ч}$	Среднее	$\mu, 1/\text{ч}$	Вероятность состояния ТС с отказом элемента f p_f
2	Врезка на Иглаково	1811,99	1	40	1.0057E-05	1.8224E-05	58.27	1.7160E-02	1.0555E-03
3	Т6	933,93	1	40	1.0057E-05	9.3928E-06	58.27	1.7160E-02	5.4403E-04
4	ТП-5	2552,51	1	40	1.0057E-05	2.5671E-05	58.27	1.7160E-02	1.4869E-03
5	ТП-3	587,36	1	40	1.0057E-05	5.9072E-06	58.27	1.7160E-02	3.4215E-04
6	УТ-2а	1890	1	40	1.0057E-05	1.9008E-05	58.27	1.7160E-02	1.1010E-03
7	УТ-5	378,44	0,7	40	1.0057E-05	3.8061E-06	39.00	2.5642E-02	1.4752E-04
8	УТ-6	268,08	0,7	40	1.0057E-05	2.6961E-06	39.00	2.5642E-02	1.0450E-04
9	УТ-6а	108,73	0,7	40	1.0057E-05	1.0935E-06	39.00	2.5642E-02	4.2386E-05
10	УТ-7	1052,69	0,7	40	1.0057E-05	1.0587E-05	39.00	2.5642E-02	4.1036E-04
11	УТ-10	291,37	0,6	40	1.0057E-05	2.9304E-06	32.90	3.0392E-02	9.5834E-05
12	УТ-11	175,77	0,25	40	1.0057E-05	1.7678E-06	13.40	7.4617E-02	2.3547E-05
13	УТ-12	263,81	0,25	37	4.1576E-06	1.0968E-06	13.40	7.4617E-02	1.4610E-05
14	УТ-13	110,37	0,25	37	4.1576E-06	4.5887E-07	13.40	7.4617E-02	6.1122E-06
15	УТ-14	41,52	0,125	37	4.1576E-06	1.7262E-07	7.48	1.3372E-01	1.2830E-06
16	К8	59,18	0,125	37	4.1576E-06	2.4605E-07	7.48	1.3372E-01	1.8288E-06
17	К9	43,18	0,1	37	4.1576E-06	1.7952E-07	6.41	1.5611E-01	1.1430E-06
18	К10	49,45	0,1	37	4.1576E-06	2.0559E-07	6.41	1.5611E-01	1.3089E-06
19	К11	43,67	0,1	37	4.1576E-06	1.8156E-07	6.41	1.5611E-01	1.1559E-06
20	К12	46,09	0,1	37	4.1576E-06	1.9162E-07	6.41	1.5611E-01	1.2200E-06
21	К13	39,73	0,1	37	4.1576E-06	1.6518E-07	6.41	1.5611E-01	1.0516E-06
22	К13а	34,44	0,1	37	4.1576E-06	1.4319E-07	6.41	1.5611E-01	9.1162E-07
23	К14	17,85	0,05	37	4.1576E-06	7.4213E-08	4.43	2.2558E-01	3.2698E-07

Примечание. В таблице приведены только те элементы, отказ которых влияет на теплоснабжение данного потребителя (ул. Ленинградская, 28), то есть элементы, входящие в путь его снабжения.

Большие значения интенсивностей отказов большинства участков обусловлены длительным сроком их эксплуатации – более 25 лет. Техническое состояние и условия эксплуатации этих участков следует еще раз проанализировать и на основе этого анализа разработать предложения по замене некоторых из них.

Значения параметра потока отказов элементов ТС рассчитаны по формулам (4 и 5) и приведены на рисунке 4.3 и таблице 4.9.

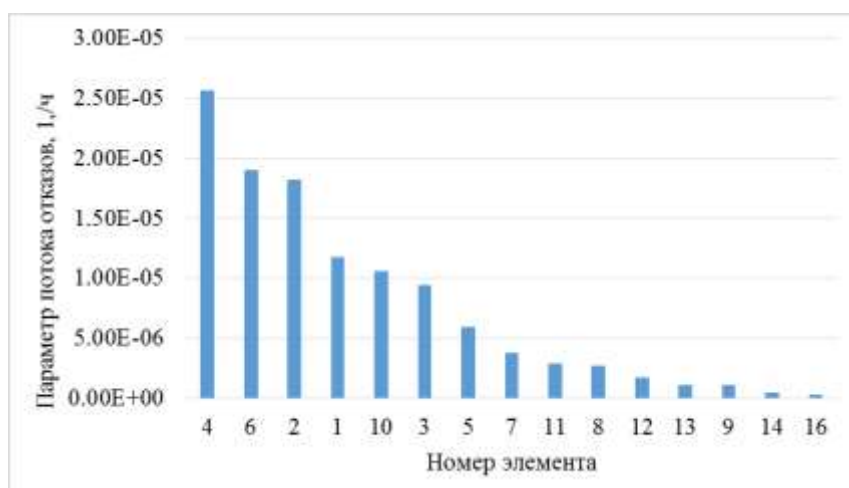


Рисунок 4.3 – Параметр потока отказов наиболее ненадежных элементов ЮМ-3 (расчетный путь 8)

Большие значения параметра потока отказов участков 4, 6, 2 обусловлены длительным сроком их эксплуатации (более 25 лет) и относительно большой протяженностью этих участков.

Вероятности состояния, соответствующие отказам одного из элементов ТС, рассчитанные по формуле (9), приведены в таблице 4.9.

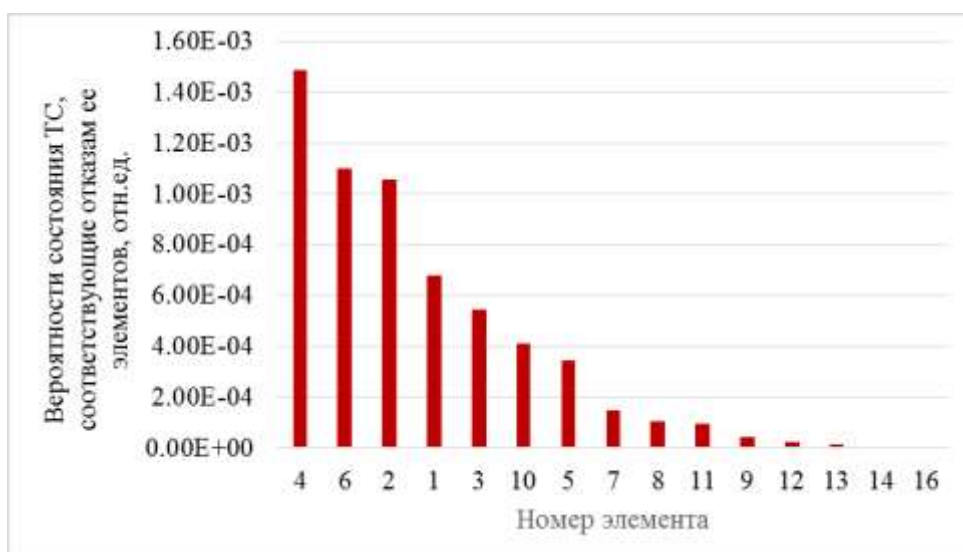


Рисунок 4.4 – Вероятности состояния ЮМ-1 (расчетный путь 8), соответствующие отказам ее элементов

При вычислении вероятностей состояния ТС, кроме срока службы и длины участка, учитывается его диаметр и время восстановления после отказа. Наибольший вклад в состояния ТС с отказами вносят участки 4, 6, 2.

Коэффициенты готовности относительно расчетного уровня теплоснабжения потребителей определяются в соответствии с (11), при этом для каждого потребителя в множество включаются все элементы сети, кроме входящих в путь его снабжения.

Для определения по формуле (12) величин - вероятностей безотказного теплоснабжения потребителей по отношению к пониженному уровню сначала рассчитываются температуры наружного воздуха (формулы 13 и 15), при которых время восстановления f-го элемента равно временному резерву j-го потребителя. Эти температуры и продолжительности их стояния (правила и зависимости для их определения изложены в разделе 3) и приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Температуры наружного воздуха $t_{j,f}^{\text{рав}}$, при которых время восстановления f-го элемента равно временному резерву j-го потребителя и продолжительности стояния $\tau_{j,f}^{\text{рав}}$ этих температур в течение отопительного периода

№ отказавшего элемента ТС, f	Начало участка	$t_{j,f}^{\text{рав}}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$
		для потребителя, расположенного по ул. Ленинградская, 28	
1	ТРУ	-22.37	780.3
2	Врезка на Иглаково	-22.37	780.3
3	Т6	-22.37	780.3
4	ТП-5	-22.37	780.3
5	ТП-3	-22.37	780.3
6	УТ-2а	-22.37	780.3
7	УТ-5	-26.24	487.3
8	УТ-6	-26.24	487.3
9	УТ-6а	-26.24	487.3
10	УТ-7	-26.24	487.3
11	УТ-10	-28.45	352.9
12	УТ-11	-49.47	36.0
13	УТ-12	-49.47	36.0
14	УТ-13	-49.47	36.0
15	УТ-14	-77.77	0.0
16	К8	-77.77	0.0
17	К9	-88.51	0.0
18	К10	-88.51	0.0
19	К11	-88.51	0.0
20	К12	-88.51	0.0
21	К13	-88.51	0.0
22	К13а	-88.51	0.0
23	К14	-121.83	0.0

Результаты расчета вероятностных показателей надежности для потребителя по адресу по ул. Ленинградская, 28:

- коэффициент готовности к обеспечению расчетного теплоснабжения j-го потребителя $K_j=0,9939$;
- вероятность безотказного теплоснабжения j-го потребителя $P_j=0,9233$.

Указанные значения соответствуют требованиям СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» ($K_j=0,97$; $P_j=0,9$).

4.4 Сводные результаты расчетов вероятностных показателей надежности для всех потребителей ТЭЦ АО «РИР»

Аналогично приведенным выше примерам были рассчитаны показатели надежности для остальных потребителей (расчетные пути 2, 3, 4, 6, 7), указанных в таблицах 4.3 и 4.4. Результаты всех расчетов приведены в таблице 4.11 и на рисунках 13 и 14.

Таблица 4.11 – Показатели надежности для выбранных потребителей

№ п/п	Адрес (магистраль)	Стационарная вероятность рабочего состояния ТС p_0 , отн.ед.	Коэффициент готовности к обеспечению расчетного теплоснабжения потребителя K_j , отн.ед.	Вероятность безотказного теплоснабжения потребителя P_j , отн.ед.
1	ул. Победы, 2 (1-я Южная маг.)	0,9716	0,9837	0,9256
2	ул. Победы, 10 (1-я Южная маг.)	0,9716	0,9837	0,9256
3	ул. Калинина, 80 (2-я Южная маг.)	0,7659	0,7829	0,915
4	ул. Калинина, 82 (2-я Южная маг.)	0,7659	0,7829	0,916
5	ул. Солнечная, 23 (2-я Южная маг.)	0,7773	0,7945	0,9225
6	ул. Победы, 1 (3-я Южная маг.)	0,99391	0,99397	0,9234
7	ул. Победы, 5 (3-я Южная маг.)	0,99391	0,99397	0,9234
8	ул. Ленинградская, 28 (3-я Южная маг.)	0,99391	0,99397	0,9234

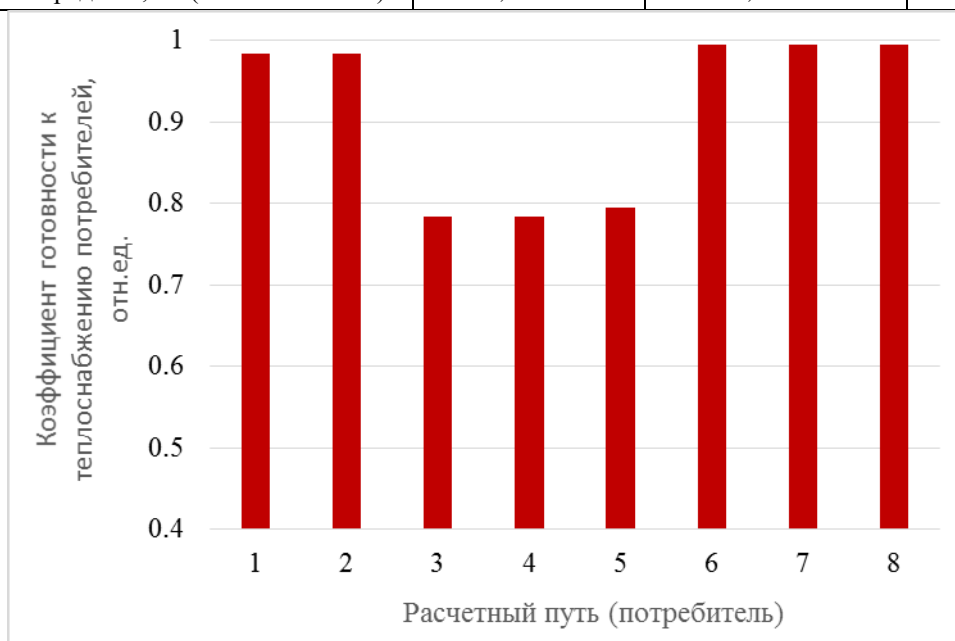


Рисунок 4.5 – Сопоставление коэффициентов готовности K_j с нормативным значением



Рисунок 4.6 – Сопоставление вероятностей P_j с нормативным значением

Анализ результатов расчета показателей надежности, приведенных в таблице 4.11 и рисунках 4.5 и 4.6, показывает, что для потребителей 1 и 3 Южных магистралей значения коэффициента готовности K_j и вероятности безотказного теплоснабжения P_j соответствуют требованиям СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» ($K_j=0,97$; $P_j=0,9$).

Для потребителей 2 Южной магистрали значение вероятности безотказного теплоснабжения P_j соответствует требованиям СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» ($P_j=0,9$), а значение готовности K_j ниже требований СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» ($K_j=0,97$).

Рекомендации по 2 Южной магистрали

Для приведения показателей надежности (коэффициента готовности) к нормативному уровню необходимо осуществление следующих мероприятий:

- поэтапная замена относительно протяженных участков со сроком службы более 25 лет, характеризующихся высокими значениями параметра потока отказов;
- увеличение объема резервирования.

5 Расчет вероятности безотказной работы перспективного состояния схемы теплоснабжения ЗАТО Северск до 2045 г.

5.1 Общие положения

При проведении оценки надежности перспективного состояния системы теплоснабжения ЗАТО Северск до 2045 года разработчики актуализированной схемы теплоснабжения исходили из того, что 2045 году в ЗАТО Северск будут поэтапно переложены все тепловые сети со сверх нормативным сроком эксплуатации в соответствии с мероприятиями, разработанными в Главе 8 обосновывающих материалов.

Для расчета и подробного анализа вероятности безотказной работы перспективной схемы теплоснабжения были выбраны потребители 2-ой ЮМ. В п. 5.3 было показано, что ряд показателей надежности (коэффициенты готовности) этих потребителей оказались ниже нормативных значений.

При этом рассматривались потребители, являющиеся наиболее удаленными от источников теплоснабжения. Так как нормативная вероятность безотказной работы наиболее удаленных потребителей являются гарантией соблюдения нормативных требований безотказной работы для всех потребителей, находящихся ближе к источнику тепловой энергии.

Пути для расчета приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Расчетные пути для определения вероятности безотказной работы потребителей 2-ой ЮМ

Номер потребителя (расчетного пути)	Расчетный путь для оценки надежности ТС	
	Начальная камера участка	Конечная камера участка
ТЭЦ АО «РИР», потребители г.Северска		
3	ТЭЦ АО «РИР»	Калинина, 80 (2-я Южная маг.)
4	ТЭЦ АО «РИР»	Калинина, 82 (2-я Южная маг.), Гиацинт 1
5	ТЭЦ АО «РИР»	Солнечная, 23 (2-я Южная маг.), Гиацинт 2

5.2 Вторая Южная тепломагистраль (расчетный путь 5)

Расчетный путь 5 для 2-й Южной тепломагистрали начинается от ТЭЦ АО «РИР» и заканчивается потребителем по ул. Солнечная, 23.

В таблице 5.2 приведены данные для расчета вероятности безотказной работы теплопровода, в соответствии с методикой, изложенной в разделе 2.

Расчет проводится для случая перекладки 75 % (по длине) от всех теплопроводов с ненормативным сроком службы. Это соответствует объему средней ежегодной перекладки указанных тепловых сетей 5-5.5 % в период до 2045 г.

Значения интенсивностей отказов элементов ТС рассчитаны по формулам (1 и 3) и приведены в таблице 5.2. При этом начальная интенсивность отказов теплопровода $\lambda^{\text{нач}}$, соответствующая периоду нормальной эксплуатации, принята равной фактической $1,2 \cdot 10^{-7} 1/(\text{км} \cdot \text{ч})$.

Таблица 5.2 – Технические характеристики и показатели надежности элементов ТС (расчетный путь 5)

№ элемента	Начало участка	Длина участка, м	$d_{\text{вн}}, \text{м}$	$\tau^{\text{экспл}}, \text{лет}$	$\lambda, 1/(\text{км} \cdot \text{ч})$	$\omega, 1/\text{ч}$	$z^B, \text{ч}$	$\mu, 1/\text{ч}$	Вероятность состояния ТС с отказом элемента f_{pf}
1	ТРУ	1116.02	0.7	1	3.8037E-07	4.2451E-07	39.00	2.5642E-02	1.5384E-05
2	Врезка на Иглаково	27.02	0.7	1	3.8037E-07	1.0278E-08	39.00	2.5642E-02	3.7246E-07
3	ТП-1А	850.96	0.7	1	3.8037E-07	3.2368E-07	39.00	2.5642E-02	1.1730E-05
4	ТП-2	402.64	0.7	1	3.8037E-07	1.5315E-07	39.00	2.5642E-02	5.5503E-06
5	Тройник кв. 59	263.61	0.7	1	3.8037E-07	1.0027E-07	39.00	2.5642E-02	3.6338E-06
6	Т6	306.21	0.7	1	3.8037E-07	1.1647E-07	39.00	2.5642E-02	4.2210E-06
7	Тройник кв.60	224.94	0.7	1	3.8037E-07	8.5561E-08	39.00	2.5642E-02	3.1007E-06
8	Тройник кв.61	406.42	0.7	1	3.8037E-07	1.5459E-07	39.00	2.5642E-02	5.6024E-06
9	ТП-5	236.5	0.7	1	3.8037E-07	8.9959E-08	39.00	2.5642E-02	3.2601E-06
10	К1	289.93	0.7	7	2.4000E-07	6.9583E-08	39.00	2.5642E-02	2.5217E-06
11	К7м	148.51	0.7	1	3.8037E-07	5.6489E-08	39.00	2.5642E-02	2.0472E-06
12	ТП-4	425.63	0.7	1	3.8037E-07	1.6190E-07	39.00	2.5642E-02	5.8672E-06
13	Переход	756.03	0.7	50	8.6864E-04	6.5672E-04	39.00	2.5642E-02	2.3799E-02
14	К1	224.52	0.7	1	3.8037E-07	8.5402E-08	39.00	2.5642E-02	3.0950E-06
15	К2	711.36	0.7	1	3.8037E-07	2.7058E-07	39.00	2.5642E-02	9.8059E-06
16	ТП-3	573.02	0.7	1	3.8037E-07	2.1796E-07	39.00	2.5642E-02	7.8990E-06
17	УТ2а	161.18	0.7	1	3.8037E-07	6.1309E-08	39.00	2.5642E-02	2.2218E-06
18	Переход	137.38	0.7	18	2.7471E-07	3.7740E-08	39.00	2.5642E-02	1.3677E-06
19	К2б	69.13	0.7	18	2.7471E-07	1.8991E-08	39.00	2.5642E-02	6.8822E-07
20	К2м	43.08	0.7	18	2.7471E-07	1.1834E-08	39.00	2.5642E-02	4.2888E-07
21	К2в	224.44	0.7	18	2.7471E-07	6.1656E-08	39.00	2.5642E-02	2.2344E-06
22	К2гм	132.98	0.5	18	2.7471E-07	3.6531E-08	27.01	3.7023E-02	9.1693E-07
23	К2м(з)	180.9	0.5	1	3.8037E-07	6.8810E-08	27.01	3.7023E-02	1.7271E-06
24	К3м(з)	208.49	0.5	50	8.6864E-	1.8110E-	27.0	3.7023E-	4.5457E-03

№ элемента	Начало участка	Длина участка, м	$d_{\text{вн}}, \text{м}$	$\tau^{\text{экспл}}, \text{лет}$	$\lambda, 1/(\text{км} \cdot \text{ч})$	$\omega, 1/\text{ч}$	$z^B, \text{ч}$	$\mu, 1/\text{ч}$	Вероятность состояния ТС с отказом элемента f p_f
					04	04	1	02	
25	K4м	226.95	0.5	50	8.6864E-04	1.9714E-04	27.01	3.7023E-02	4.9482E-03
26	K5ам	9.12	0.5	50	8.6864E-04	7.9220E-06	27.01	3.7023E-02	1.9884E-04
27	K5бм	363.01	0.5	50	8.6864E-04	3.1533E-04	27.01	3.7023E-02	7.9147E-03
28	K6м	194.52	0.5	50	8.6864E-04	1.6897E-04	27.01	3.7023E-02	4.2411E-03
29	K7м(з)	188.88	0.5	50	8.6864E-04	1.6407E-04	27.01	3.7023E-02	4.1182E-03
36	K7ам	52.33	0.125	49	4.8880E-04	2.5579E-05	7.48	1.3372E-01	1.7776E-04
37	K1	62.38	0.125	1	3.8037E-07	2.3728E-08	7.48	1.3372E-01	1.6489E-07
39	K2	41.57	0.125	49	4.8880E-04	2.0319E-05	7.48	1.3372E-01	1.4121E-04
41	K3	8.18	0.08	1	3.8037E-07	3.1115E-09	5.59	1.7905E-01	1.6149E-08

Примечание. В таблице приведены только те элементы, отказ которых влияет на теплоснабжение данного потребителя (ул. Солнечная, 23), то есть элементы, входящие в путь его снабжения.

Большинство участков после перекладки будут иметь небольшие значения интенсивности отказов, в отличие от участков с ненормативным сроком службы 13, 24-29. Большие значения интенсивностей отказов указанных участков обусловлены длительным сроком их эксплуатации – более 25 лет. Техническое состояние и условия эксплуатации этих участков следует еще раз проанализировать и на основе этого анализа разработать предложения по замене некоторых из них.

Значения параметра потока отказов элементов ТС рассчитаны по формулам (4 и 5) и приведены на рисунке 5.1 и таблице 5.2.

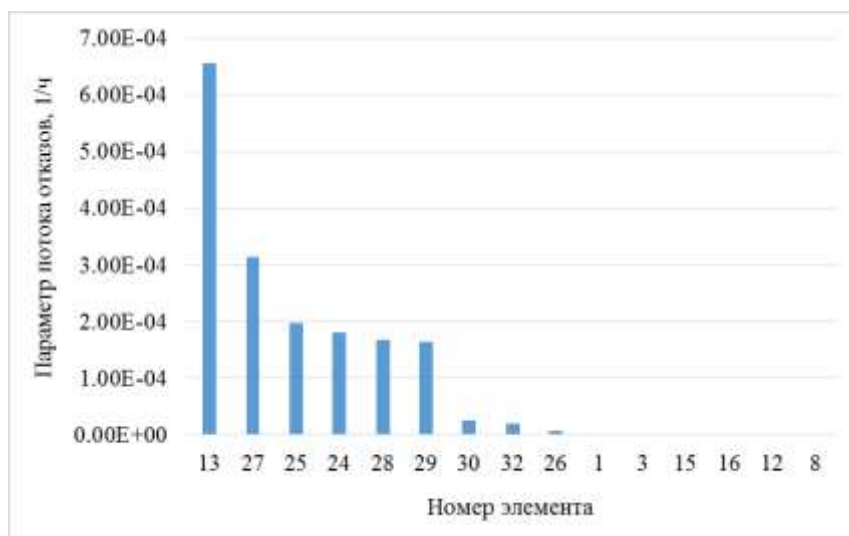


Рисунок 5.1 – Параметр потока отказов наиболее ненадежных элементов ЮМ-2 (расчетный путь 5)

Большинство участков после перекладки будут иметь небольшие значения параметра потока отказов, в отличие от участков с ненормативным сроком службы 13, 24-29. Большие значения параметра потока отказов указанных участков обусловлены длительным сроком их эксплуатации (более 25 лет) и относительно большой протяженностью этих участков.

Вероятности состояния, соответствующие отказам одного из элементов ТС, рассчитанные по формуле (9), приведены в таблице 5.1 и на рисунке 5.2.

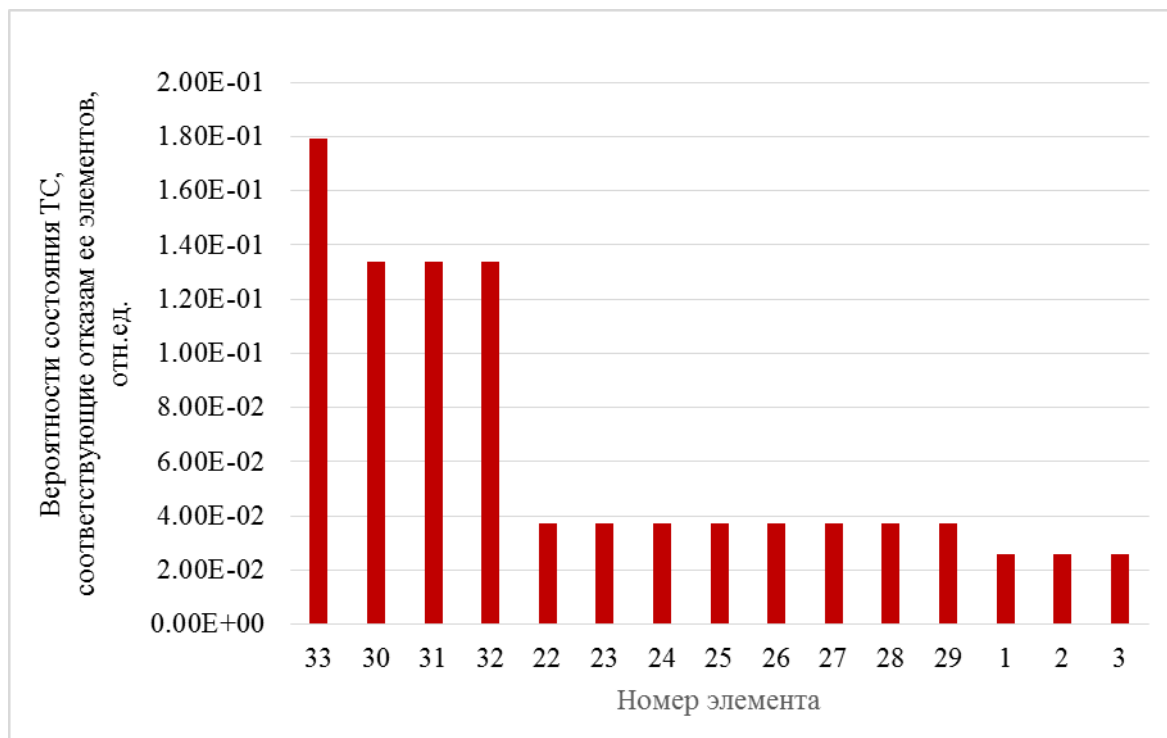


Рисунок 5.2 – Вероятности состояния ЮМ-2 (расчетный путь 5), соответствующие отказам ее элементов

При вычислении вероятностей состояния ТС, кроме срока службы и длины участка, учитывается его диаметр и время восстановления после отказа. Наибольший вклад в состояния ТС с отказами вносят участки 33, 30, 31, 32.

Коэффициенты готовности относительно расчетного уровня теплоснабжения потребителей определяются в соответствии с (11), при этом для каждого потребителя в множество включаются все элементы сети, кроме входящих в путь его снабжения.

Для определения по формуле (12) величин – вероятностей безотказного теплоснабжения потребителей по отношению к пониженному уровню сначала рассчитываются температуры наружного воздуха (формулы 13 и 14), при которых время восстановления f -го элемента равно временному резерву j -го потребителя. Эти температуры и продолжительности их стояния (правила и зависимости для их определения изложены в разделе 3) приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Температуры наружного воздуха $t_{j,f}^{\text{рав}}$, при которых время восстановления f-го элемента равно временному резерву j-го потребителя и продолжительности стояния $\tau_{j,f}^{\text{рав}}$ этих температур в течение отопительного периода

№ отказавшего элемента ТС, f	Начало участка	$t_{j,f}^{\text{рав}}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$
		для потребителя, расположенного по ул. Солнечная, 23	
1	ТРУ	-42.03	10.4
2	Врезка на Иглаково	-42.03	10.4
3	ТП-1А	-42.03	10.4
4	ТП-2	-42.03	10.4
5	Тройник кв. 59	-42.03	10.4
6	Т6	-42.03	10.4
7	Тройник кв.60	-42.03	10.4
8	Тройник кв.61	-42.03	10.4
9	ТП-5	-42.03	10.4
10	К1	-42.03	10.4
11	К7м	-42.03	10.4
12	ТП-4	-42.03	10.4
13	Переход	-42.03	10.4
14	К1	-42.03	10.4
15	К2	-42.03	10.4
16	ТП-3	-42.03	10.4
17	УТ2а	-42.03	10.4
18	Переход	-42.03	10.4
19	К2б	-42.03	10.4
20	К2м	-42.03	10.4
21	К2в	-42.03	10.4
22	К2гм	-49.22	35.1
23	К2м(з)	-49.22	35.1
24	К3м(з)	-49.22	35.1
25	К4м	-49.22	35.1
26	К5ам	-49.22	35.1
27	К5бм	-49.22	35.1
28	К6м	-49.22	35.1
29	К7м(з)	-49.22	35.1
36	К7ам	-110.94	0.0
37	К1	-110.94	0.0
39	К2	-110.94	0.0
41	К3	-139.94	0.0

Результаты расчета вероятностных показателей надежности для потребителя по адресу по ул. Солнечная, 23 в случае перекладки 75 % (по длине) от всех теплопроводов с ненормативным сроком службы:

- коэффициент готовности к обеспечению расчетного теплоснабжения j-го потребителя $K_j=0,95$;

- вероятность безотказного теплоснабжения j -го потребителя $P_j=0,96$.

Значение вероятности безотказного теплоснабжения соответствует требованиям СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» ($P_j=0,9$), а значение коэффициента готовности незначительно ниже требований СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» ($K_j=0,97$).

Рекомендуется:

- заменить остальные участки (13, 24-29) с высокими значениями параметра потока отказов;
- увеличить объема резервирования.

Были проведены дополнительные расчеты показателей надежности потребителей 2-ой Южной тепломагистрали при разных объемах перекладки теплопроводов. Результаты этих расчетов представлены на рис. 5.3 и 5.4. Из данных рисунков видно, что нормативный уровень коэффициента готовности к теплоснабжению потребителей может быть достигнут при объеме перекладки 80-85% или при увеличении объема резервирования до $\varphi_k^{ab} = 0,9 \dots 0,95$.

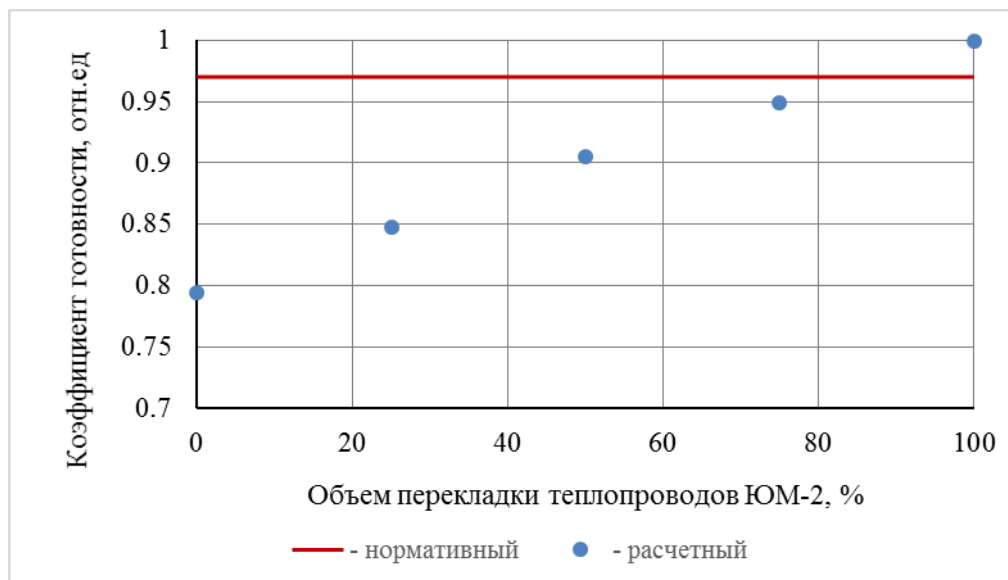


Рисунок 5.3 – Зависимость коэффициента готовности к теплоснабжению конечных потребителей от объема перекладки теплопроводов ЮМ-2 (объем резервирования 0,7)

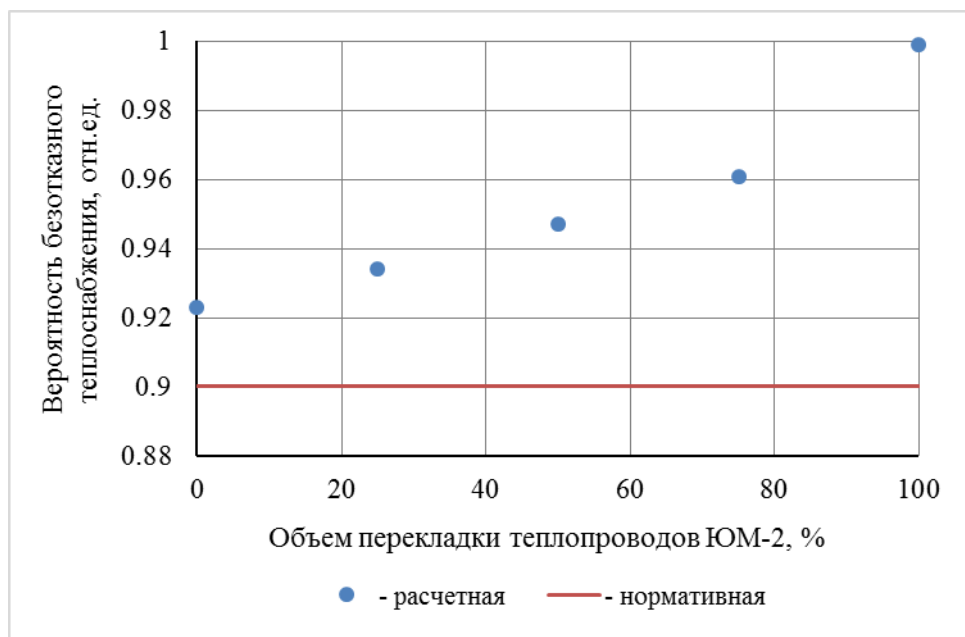


Рисунок 5.4 – Вероятность безотказного теплоснабжения конечных потребителей от объема перекладки тепловых пунктов ЮМ-2 (объем резервирования 0,7)

Принципиальная схема ТС, приведенная на рисунке 1, включает 8 участков, 5 потребителей: П1, П2, ПЗ, П4, П5. Характеристики тепловых сетей ООО «Уют Орловка» приведены в таблице 6.1

Таблица 6.1 – Характеристики тепловых сетей ООО «Уют Орловка»

№	Наименование участка	Протяженность, L, м		Наружный диаметр, мм		Год ввода в эксплуатацию (перекладки)		Материал тепловой изоляции		мат. Характеристика
		под.	обр.	под.	обр.	под.	обр.	под.	обр.	
1	Котельная - ТК-1	952,8	952,8	133	133	2003	2003	минвата	минвата	367,8
2	ТК-1 - ТП	75,3	75,3	133	133	2003	2003	минвата	минвата	29,1
3	ТП - ТК-2	68,7	68,7	76	76	2003	2003	минвата	минвата	15,2
4	ТП - ТК-3	8,5	8,5	76	76	2003	2003	минвата	минвата	1,9
5	ТК-3 - ТК-4	58,6	58,6	57	57	2003	2003	минвата	минвата	9,7
6	ТК-4 - ТК-5	7,8	7,8	57	57	2003	2003	минвата	минвата	1,3
7	ТК-2 - П2	28,7	28,7	25	25	2003	2003	минвата	минвата	2,1

Статистические данные по отказам элементов ТС отсутствуют, поэтому интенсивности отказов участков сети со сроком эксплуатации не более 25 лет определялись при начальной интенсивности отказов теплопроводов $\lambda^{\text{нач}} = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/км}\cdot\text{ч}$.

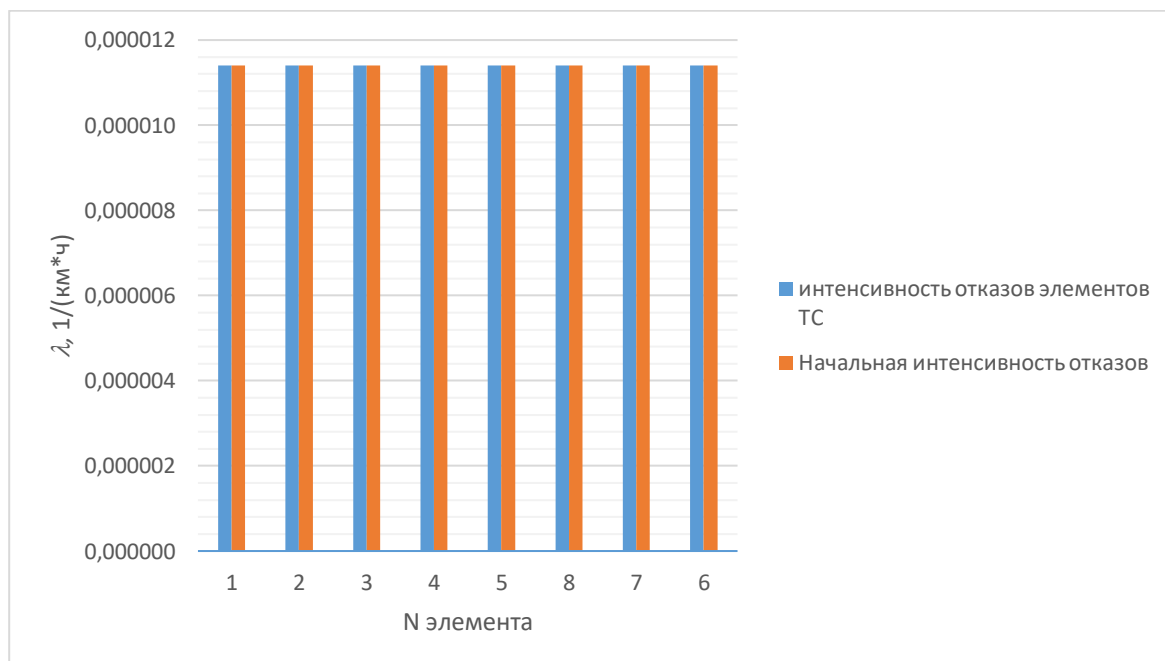


Рисунок 6.2 – Интенсивность отказов элементов ТС ООО «Уют Орловка»

Срок эксплуатации элементов ТС ООО «Уют Орловка» составляет от 5-16 лет (таблица 6.1), поэтому интенсивность отказов элементов тепловой схемы осталась неизменной и равной

начальной $\lambda^{\text{нач}} = 1,14 \cdot 10^{-5} 1/(\text{км} \cdot \text{ч})$ для двухтрубной системы. Значения параметра потока отказов элементов ТС, приведены на рисунке 6.3 и в таблице 6.2 .

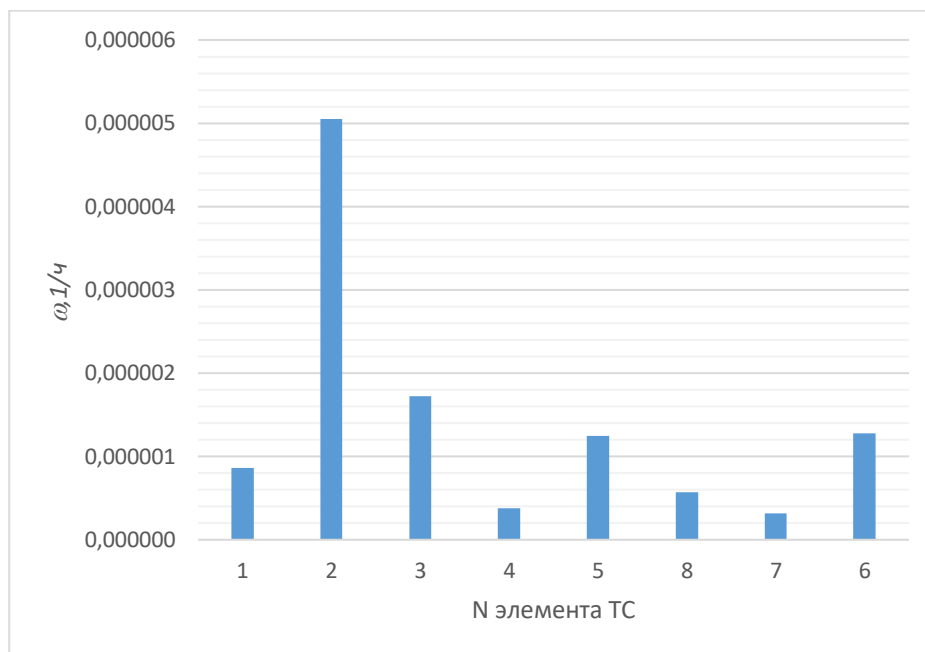


Рисунок 6.3 – Параметр потока отказов ТС ООО «Уют Орловка»

Наиболее высокое значение параметра потока отказов наблюдается на участке №2, так как он имеет наибольшую протяженность.

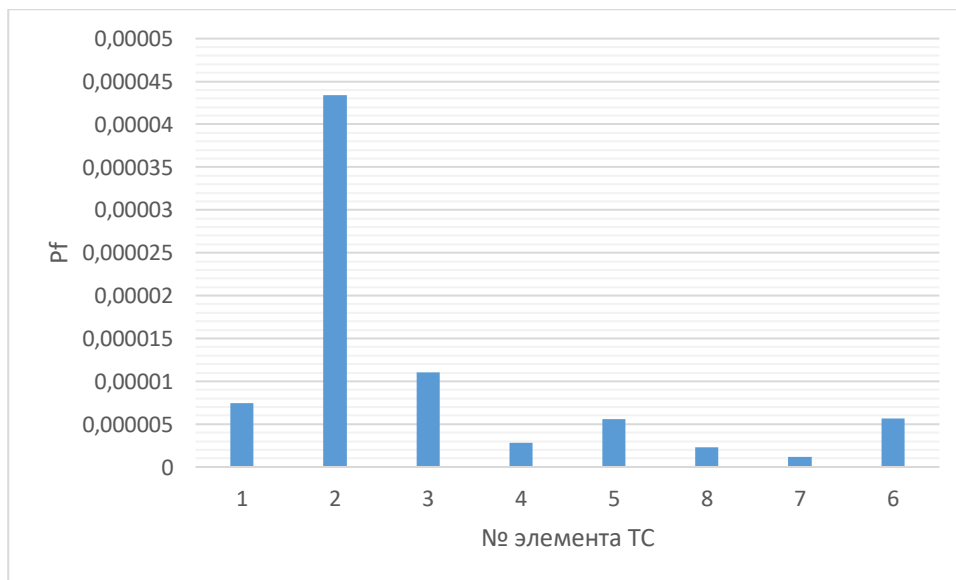


Рисунок 6.4 – Вероятности состояния ТС, соответствующие отказам ее элементов

При вычислении вероятностей состояния ТС (таблица 6.2), кроме срока службы и длины участка, учитывается его диаметр и время восстановления после отказа. Наибольший вклад в состояние ТС с отказами вносят участки 2 и 3.

Таблица 6.2- Вероятности безотказной работы трубопроводов тепловых сетей ООО «Уют Орлов-ка»

№ элемента	Длина участка	$d_{\text{вн}}$	$\tau_{\text{экспл}}$	λ	ω	z^B	μ	Вероятность состояния ТС с отказом элемента f
f	м	м	лет	1/(км*ч)	1/ч	ч	1/ч	p_f
1	1	0,15	16	1,14E-05	8,66E-07	8,597	0,11632	0,00000745
2	2	0,15	16	1,14E-05	5,05E-06	8,597	0,11632	0,00004341
3	3	0,1	16	1,14E-05	1,72E-06	6,407	0,15608	0,00001103
4	4	0,125	16	1,14E-05	3,76E-07	7,480	0,13369	0,00000281
5	5	0,05	16	1,14E-05	1,25E-06	4,434	0,22554	0,00000556
6	8	0,04	16	1,14E-05	5,7E-07	4,077	0,24530	0,00000232
7	7	0,032	16	1,14E-05	3,19E-07	3,803	0,26293	0,00000121
8	6	0,05	5	1,14E-05	1,28E-06	4,434	0,22554	0,00000566

Расчет послеаварийных гидравлических режимов в данном случае проводить не требуется, так как рассматриваемая ТС не имеет кольцевой части. В этом случае, очевидно, что при выходе из строя одного из элементов ТС полностью прекращается теплоснабжение потребителей, путь снабжения которых разрывается, а теплоснабжение остальных потребителей не нарушается.

В таблице 6.3 приведены температуры наружного воздуха $t_{j,f}^{\text{пав}}$, при которых время восстановления f -го элемента равно временному резерву j -го потребителя. При вычислении температур $t_{j,f}^{\text{пав}}$ приняты следующие величины: $\beta = 60$ ч – коэффициент аккумуляции здания; $t^{\text{вР}} = 20^\circ\text{C}$ - расчетная температура в здании; $t_{\text{min}}^{\text{B}} = 12^\circ\text{C}$ минимально допустимая температура воздуха в здании. Продолжительности стояния этих температур $\tau_{j,f}^{\text{пав}}$ приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.3 – Температуры наружного воздуха $t_{j,f}^{\text{пав}}$, при которых время восстановления f -го элемента равно временному резерву j -го потребителя

$t_{j,f}^{\text{пав}}, ^\circ\text{C}$					
f	П1	П2	П3	П4	П5
1	-30,6424	-39	-39	-39	-39
2	-39	-30,6424	-30,6424	-30,6424	-30,6424
3	-39	-39	-39	-39	-39
4	-39	-39	-37,5756	-37,5756	-37,5756
5	-39	-39	-39	-39	-39
8	-39	-39	-39	-39	-39
7	-39	-39	-39	-39	-39
6	-39	-39	-39	-39	-39

Таблица 6.4 – Продолжительности стояния $\tau_{j,f}^{\text{рав}}$, ч температур $t_{j,f}^{\text{рав}}$ в течение отопительного периода

f	П1	П2	П3	П4	П5
1	1589,388	0	0	0	0
2	0	1589,388	1589,388	1589,388	1589,388
3	0	0	0	0	0
4	0	0	49,9052	49,9052	49,9052
5	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0

Результаты расчета показателей надежности теплоснабжения потребителей приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Показатели надежности теплоснабжения потребителей

№ потребителя	Нагрузка отопления, q_j^p	β_j ,	t_{jmin}^B ,	P_j	K_j
J	Гкал/ч	ч	°С	-	-
П1	0.351	60	12	0,998625	0,999993
П2	0.351	60	12	0,992006	0,999946
П3	0.351	60	12	0,991988	0,999948
П4	0.351	60	12	0,991988	0,999946
П5	0.351	60	12	0,991988	0,999947

Сопоставление полученных значений показателей надежности с нормативными значениями показывает, что показатели надежности сети, эксплуатирующийся организацией ООО «Уют Орловка», для всех потребителей существенно выше нормативных значений (рисунки 6.5 и 6.6).

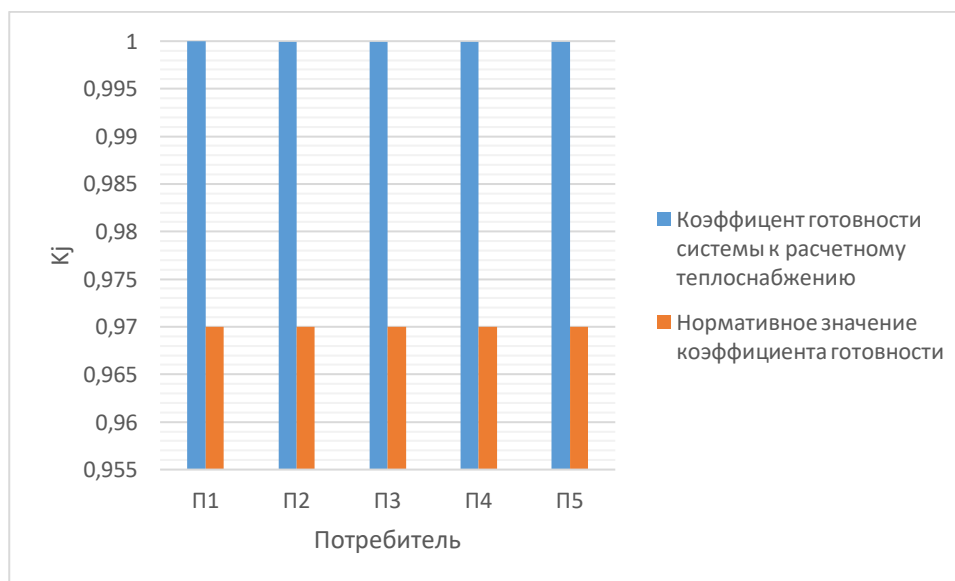


Рисунок 6.5 – Сопоставление коэффициентов готовности K_j с нормативным значением

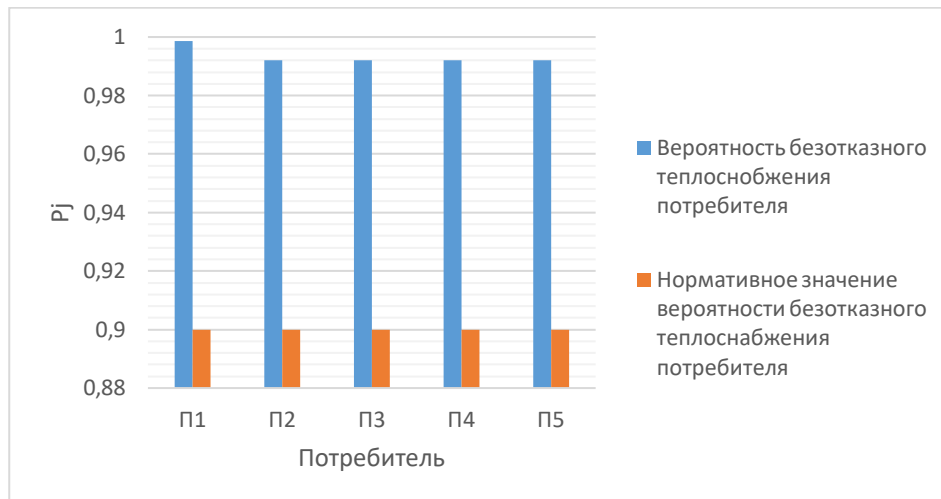


Рисунок 6.6 – Сопоставление вероятностей P_j с нормативным значением

Таким образом, поскольку рассматриваемая ТС имеет небольшие масштабы (присоединенная нагрузка, радиусы теплоснабжения, диаметры головных участков), нормативные требования к надежности теплоснабжения потребителей обеспечиваются, как для расчетного, так и для пониженного уровня теплоснабжения.

6.2. Расчет показателей надежности тепловых сетей от котельной ул. Камышка (МКП «СВК»)

МКП «СВК» являются организацией эксплуатирующей тепловые сети от котельной по ул. Камышка в п. Самусь, на долю которой приходится 0,64% от общей протяженности всех сетей теплоснабжения ЗАТО Северск. МКП «СВК» осуществляет передачу тепловой энергии от котельной потребителям в п. Самусь.

Тепловая сеть двухтрубная; тепловые сети выполнены в основном подземной канальной и надземной прокладкой, другие виды прокладки занимают незначительный объем (по материальной характеристике). Тепловая изоляция выполнена в основном из минераловатных изделий. Протяженность трубопроводов сетевой воды 1,771 км в двухтрубном исполнении. Центральные тепловые пункты на балансе МКП «СВК» отсутствуют. Характеристики тепловых сетей ООО МКП «СВК» приведены в таблице 6.6.

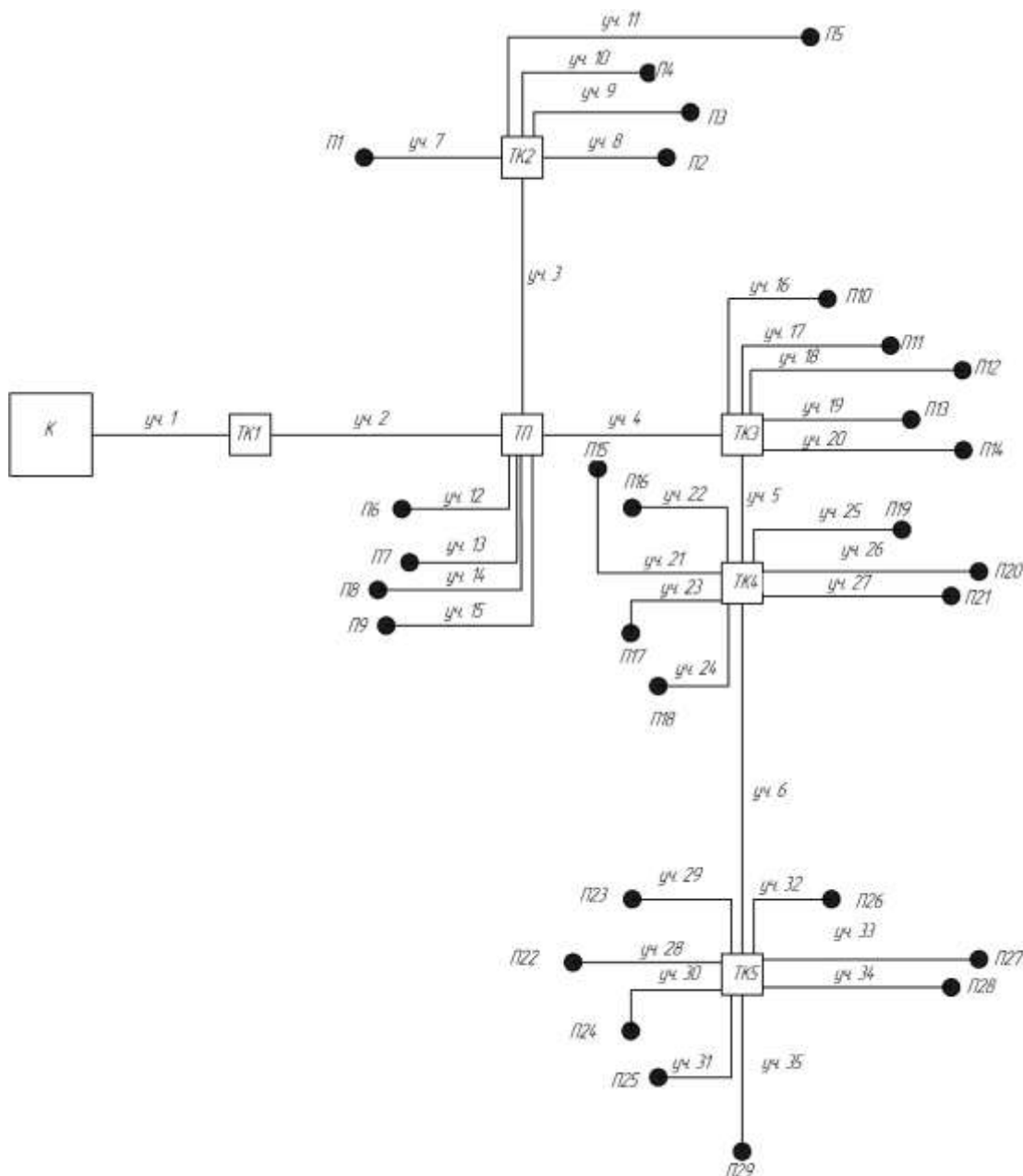


Рисунок 6.7 – Схема системы теплоснабжения котельной ул. Камышка

Для тепловых сетей источником теплоты является котельная по ул. Камышка пос. Самусь с присоединенной тепловой нагрузкой 1,334 Гкал/ч. Расчетная температура наружного воздуха: $t^{нр} = -39^{\circ}\text{C}$. Продолжительность отопительного периода: $\tau^{от} = 5592 \text{ ч} = 233 \text{ суток} = 0,639$ года. Средняя температура отопительного периода: $t^{н ср} = -7,8^{\circ}\text{C}$. Тепловая энергия подается потребителям по двухтрубным водяным ТС, проложенным преимущественно в непроходных каналах. ТС тупиковая без колец. Общая длина сети 1,771 км.

Схема ТС, приведенная на рисунке 6.7, включает 34 участка, 29 потребителей: П1-П29. Характеристики тепловых сетей приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Характеристики тепловых сетей

№	Наименование участка	Протяженность, L, м		Наружный диаметр, мм		Год ввода в эксплуатацию (перекладки)		Материал тепловой изоляции		мат. Характеристика
		под.	обр.	под.	обр.	под.	обр.	под.	обр.	
1	Котельная - ТК-1	44,8	44,8	159	159	1987	1987	минвата	минвата	10,11
2	ТК-1 - ТП	151,8	151,8	108	108	1987	1987	минвата	минвата	24,67
3	ТП - ТК-2	169,0	169,0	108	108	1997	1997	минвата	минвата	27,47
4	ТП - ТК-3	109,8	109,8	108	108	1997	1997	минвата	минвата	17,85
5	ТК-3 - ТК-4	57	57	89	89	1997	1997	минвата	минвата	7,63
6	ТК-4 - ТК-5	167,2	167,2	89	89	1997	1997	минвата	минвата	22,39
8	ТК-2 - П2	7	7	76	76	1997	1997	минвата	минвата	0,80
9	ТК-2 - П3	118,4	118,4	76	76	1997	1997	минвата	минвата	13,54
10	ТК-2 - П4	8,0	8,0	57	57	1997	1997	минвата	минвата	0,69
11	ТК-2 - П5	125,0	125,0	57	57	1997	1997	минвата	минвата	10,72
12	ТП - П6	201,4	201,4	57	57	1997	1997	минвата	минвата	17,28
13	ТП - П7	47,4	47,4	57	57	1997	1997	минвата	минвата	4,07
14	ТП - П8	181,5	181,5	45	45	1997	1997	минвата	минвата	12,29
15	ТП - П9	205,2	205,2	45	45	1997	1997	минвата	минвата	13,90
16	ТК-3 - П10	24,8	24,8	38	38	1997	1997	минвата	минвата	1,42
17	ТК-3 - П11	129,3	129,3	38	38	1997	1997	минвата	минвата	7,39
18	ТК-3 - П12	23,6	23,6	32	32	1997	1997	минвата	минвата	1,14

В таблице 6.6 представлены характеристики ТС. Участки 1 и 2 имеют срок эксплуатации более 25 лет. Рекомендуемых к замене среди данной группы участков нет. Интенсивность отказов таких элементов ТС принималась как для теплопроводов со сроком службы 25 лет.

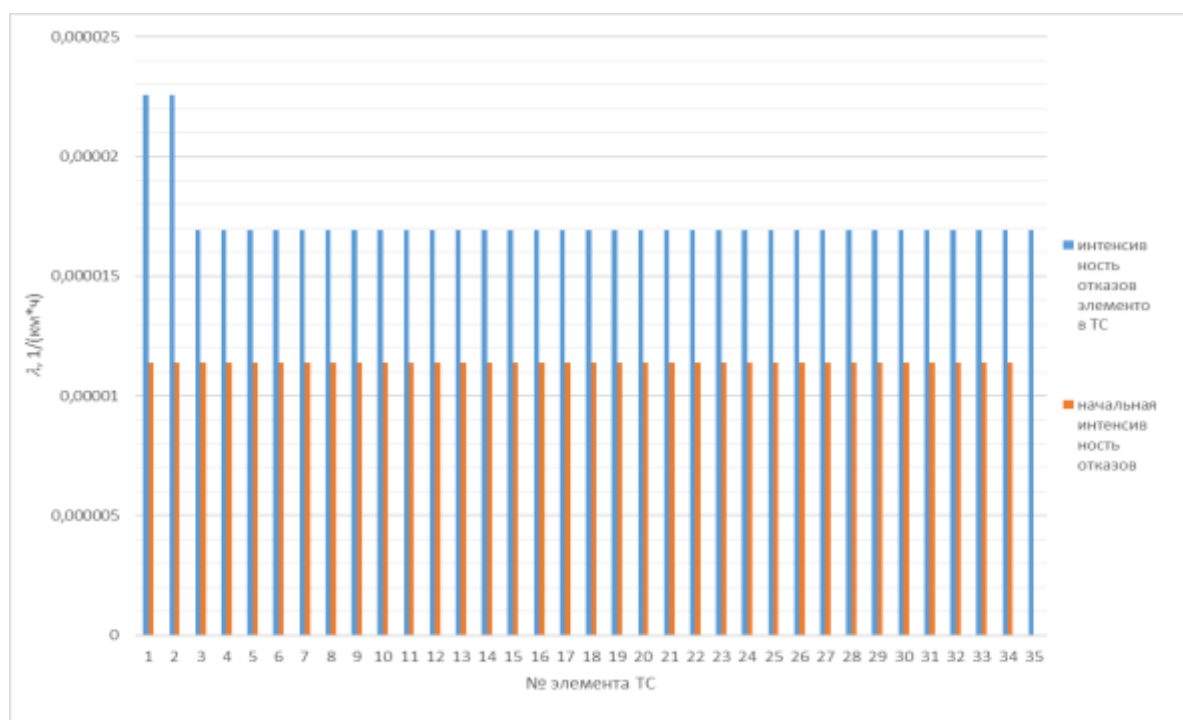


Рисунок 6.8 – Интенсивность отказов элементов ТС

Статистические данные по отказам элементов ТС отсутствуют, поэтому интенсивности отказов участков сети со сроком эксплуатации не более 25 лет определялись при начальной интенсивности отказов теплопроводов $\lambda^{\text{нач}} = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/км}\cdot\text{ч}$.

Большие значения интенсивностей отказов участков 1 и 2 обусловлены длительным сроком их эксплуатации (рисунок 6.8). Техническое состояние и условия эксплуатации этих участков следует еще раз проанализировать и на основе этого анализа разработать предложения по замене участков.

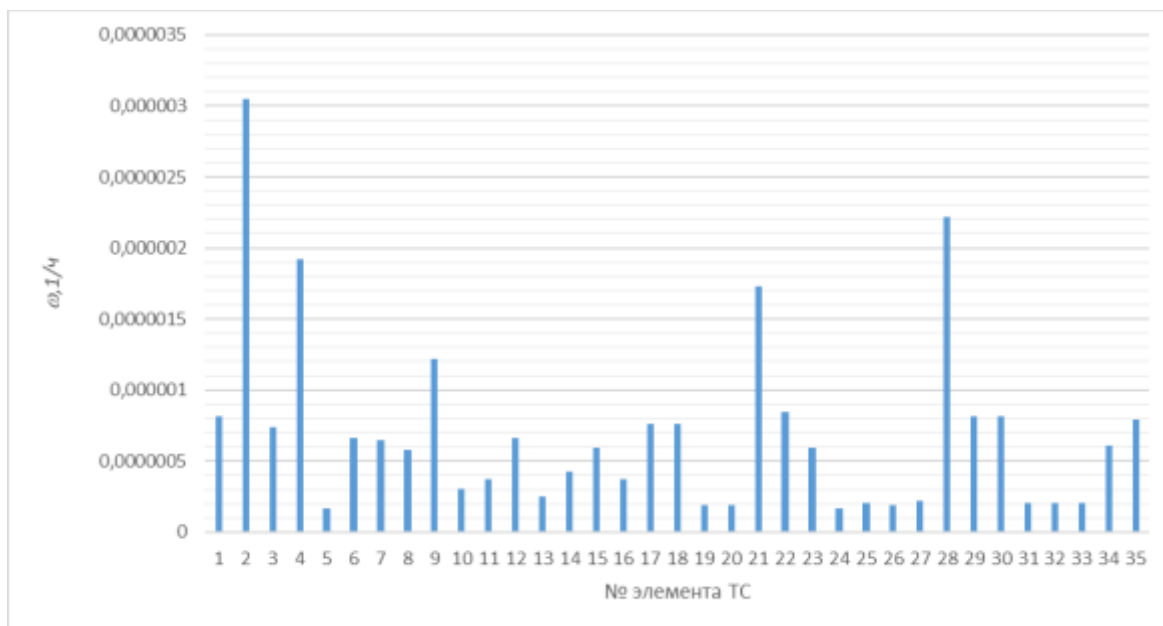


Рисунок 6.9 – Параметр потока отказов ТС

Наиболее высокое значение параметра потока отказов (рис. 6.9) наблюдается на участке №2, так как он имеет наибольшую протяженность и относительно большой диаметр трубопровода со сроком эксплуатации 25 лет. Необходимо отметить, что участки 4, 21 и 28 имеют наибольшие значения вероятности отказов.

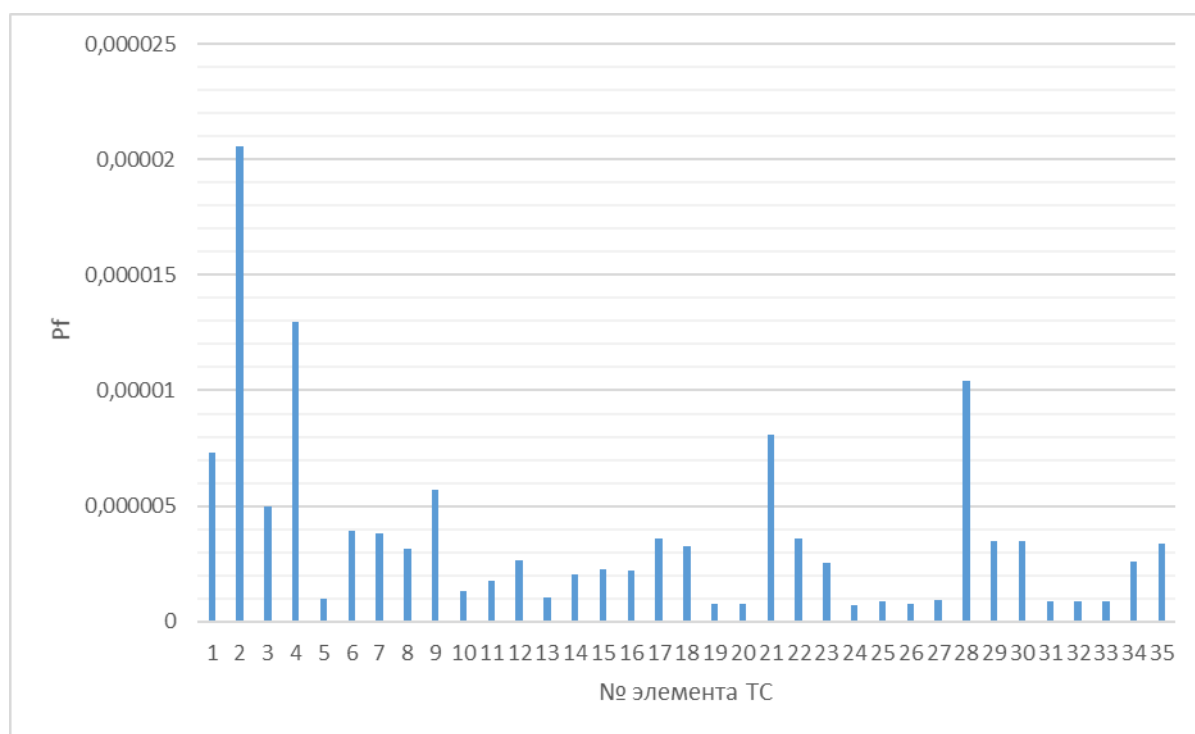


Рисунок 6.10 – Вероятности состояния ТС соответствующие отказам ее элементов

На рисунке 6.10 показаны вероятности состояния ТС, соответствующие отказам ее элементов. При вычислении вероятностей состояния ТС, кроме срока службы и длины участка, учитывается его диаметр и время восстановления после отказа (таблица 6.7).

Наибольший вклад в состояния ТС с отказами вносят участки 2, 4, 21 и 28 с наибольшими интенсивностями и потоками отказов. В таблице 6.7 представлены результаты расчета показателей надежности ТС.

Таблица 6.7 – Вероятности безотказной работы трубопроводов тепловых сетей

№ элемента	Длина участка	$d_{\text{вн}}$	$\tau^{\text{экспл}}$	λ	ω	z^B	μ	Вероятность состояния ТС с отказом элемента f
f	м	М	лет	1/(км*ч)	1/ч	ч	1/ч	p_f
1	36	0,159	25	2,26E-05	8,12E-07	9,008	0,111	7,32E-06
2	135	0,108	25	2,26E-05	3,05E-06	6,745	0,148	2,05E-05
3	43,5	0,108	22	1,69E-05	7,37E-07	6,745	0,148	4,97E-06
4	113,5	0,108	22	1,69E-05	1,92E-06	6,745	0,148	1,3E-05
5	10	0,089	22	1,69E-05	1,69E-07	5,951	0,168	1,01E-06
6	39	0,089	22	1,69E-05	6,61E-07	5,951	0,168	3,93E-06
7	38	0,089	22	1,69E-05	6,44E-07	5,951	0,168	3,83E-06
8	34	0,076	22	1,69E-05	5,76E-07	5,427	0,184	3,12E-06
9	72	0,057	22	1,69E-05	1,22E-06	4,693	0,213	5,72E-06
10	18	0,045	22	1,69E-05	3,05E-07	4,253	0,235	1,3E-06
11	22	0,059	22	1,69E-05	3,73E-07	4,768	0,210	1,78E-06
12	39	0,038	22	1,69E-05	6,61E-07	4,007	0,250	2,65E-06
13	15	0,038	22	1,69E-05	2,54E-07	4,007	0,250	1,02E-06
14	25	0,059	22	1,69E-05	4,23E-07	4,768	0,210	2,02E-06
15	35	0,032	22	1,69E-05	5,93E-07	3,803	0,263	2,25E-06

№ элемента	Длина участка	$d_{\text{вн}}$	$\tau^{\text{экспл}}$	λ	ω	$z^{\text{в}}$	μ	Вероятность состояния ТС с отказом элемента f
f	м	М	лет	1/(км*ч)	1/ч	ч	1/ч	p_f
16	22	0,089	22	1,69E-05	3,73E-07	5,951	0,168	2,22E-06
17	45	0,057	22	1,69E-05	7,62E-07	4,693	0,213	3,58E-06
18	45	0,045	22	1,69E-05	7,62E-07	4,253	0,235	3,24E-06
19	11	0,045	22	1,69E-05	1,86E-07	4,253	0,235	7,92E-07
20	11	0,045	22	1,69E-05	1,86E-07	4,253	0,235	7,92E-07
21	102	0,057	22	1,69E-05	1,73E-06	4,693	0,213	8,11E-06
22	50	0,045	22	1,69E-05	8,47E-07	4,253	0,235	3,6E-06
23	35	0,045	22	1,69E-05	5,93E-07	4,253	0,235	2,52E-06
24	10	0,045	22	1,69E-05	1,69E-07	4,253	0,235	7,2E-07
25	12	0,045	22	1,69E-05	2,03E-07	4,253	0,235	8,64E-07
26	11	0,045	22	1,69E-05	1,86E-07	4,253	0,235	7,92E-07
27	13	0,045	22	1,69E-05	2,2E-07	4,253	0,235	9,36E-07
28	131	0,057	22	1,69E-05	2,22E-06	4,693	0,213	1,04E-05
29	48	0,045	22	1,69E-05	8,13E-07	4,253	0,235	3,46E-06
30	48	0,045	22	1,69E-05	8,13E-07	4,253	0,235	3,46E-06
31	12	0,045	22	1,69E-05	2,03E-07	4,253	0,235	8,64E-07
32	12	0,045	22	1,69E-05	2,03E-07	4,253	0,235	8,64E-07
33	12	0,045	22	1,69E-05	2,03E-07	4,253	0,235	8,64E-07
34	36	0,045	22	1,69E-05	6,1E-07	4,253	0,235	2,59E-06
35	46,8	0,045	22	1,69E-05	7,93E-07	4,253	0,235	3,37E-06

Расчет послеаварийных гидравлических режимов в данном случае проводить не требуется, так как рассматриваемая ТС не имеет кольцевой части. В этом случае очевидно, что при выходе из строя одного из элементов ТС полностью прекращается теплоснабжение потребителей, путь снабжения которых разрывается, а теплоснабжение остальных потребителей не нарушается.

В таблице 6.8 приведены температуры наружного воздуха $t_{j,f}^{\text{пав}}$, при которых время восстановления f -го элемента равно временному резерву j -го потребителя. При вычислении температур $t_{j,f}^{\text{пав}}$ приняты следующие величины: $\beta = 60$ ч – коэффициент аккумуляции здания; $t^{\text{вп}} = 20^\circ\text{C}$ – расчетная температура в здании; $t_{\text{min}}^{\text{в}} = 12^\circ\text{C}$ минимально допустимая температура воздуха в здании. Продолжительности стояния этих температур $\tau_{j,f}^{\text{пав}}$ приведены в таблице 6.9.

Таблица 6.8 – Температуры наружного воздуха $t_{j,f}^{\text{пав}}$, при которых время восстановления f -го элемента равно временному резерву j -го потребителя

№ отказавшего элемента	$t_{j,f}^{\text{пав}}, ^\circ\text{C}$									
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10
1	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39
2	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54

№ отказав- шего эле- мента	$t_{j,f}^{pab}, ^\circ C$									
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10
3	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
4	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-29,54
5	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
6	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
7	-35,47	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
8	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
9	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
10	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
11	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
12	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
13	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
14	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
15	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
16	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-35,47
17	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
18	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
19	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
20	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
21	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
22	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
23	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
24	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
25	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
26	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
27	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
28	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
29	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
30	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
31	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
32	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
33	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
34	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
35	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
№ отказав- шего эле- мента	$t_{j,f}^{pab}, ^\circ C$									
	П11	П12	П13	П14	П15	П16	П17	П18	П19	П20
1	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39
2	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54
3	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
4	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54
5	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47
6	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
7	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
8	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00

№ отказав- шего эле- мента	$t_{j,f}^{pab}, ^\circ C$									
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10
9	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
10	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
11	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
12	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
13	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
14	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
15	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
16	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
17	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
18	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
19	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
20	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
21	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
22	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
23	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
24	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
25	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
26	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
27	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
28	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
29	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
30	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
31	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
32	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
33	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
34	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
35	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
№ отказав- шего эле- мента	$t_{j,f}^{pab}, ^\circ C$									
	П21	П22	П23	П24	П25	П26	П27	П28	П29	
1	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	-18,39	
2	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	
3	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
4	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	-29,54	
5	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	
6	-39,00	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	-35,47	
7	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
8	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
9	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
10	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
11	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
12	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
13	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
14	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	

№ отказав- шего эле- мента	$t_{j,f}^{pab}, ^\circ C$									
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10
15	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
16	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
17	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
18	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
19	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
20	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
21	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
22	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
23	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
24	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
25	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
26	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
27	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
28	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
29	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
30	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
31	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
32	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
33	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
34	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	
35	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	

Таблица 6.9 – Продолжительности стояния $\tau_{j,f}^{pab}$ температур $t_{j,f}^{pab}$ в течение отопительного периода

№ отказавше- го элемента	$\tau_{j,f}^{pab}, ч$									
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10
1	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78
2	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88
3	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	242,88
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	35,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,33
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

№ отказавшего элемента	$\tau_{j,f}^{pab}, \text{ч}$									
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
№ отказавшего элемента	$\tau_{j,f}^{pab}, \text{ч}$									
	П11	П12	П13	П14	П15	П16	П17	П18	П19	П20
1	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78
2	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88
5	0,00	0,00	0,00	0,00	35,33	35,33	35,33	35,33	35,33	35,33
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

№ отказавшего элемента	$\tau_{j,f}^{рав}, ч$									
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
№ отказавшего элемента	$\tau_{j,f}^{рав}, ч$									
	П21	П22	П23	П24	П25	П26	П27	П28	П29	
1	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	1114,78	
2	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	242,88	
5	35,33	35,33	35,33	35,33	35,33	35,33	35,33	35,33	35,33	
6	0,00	35,33	35,33	35,33	35,33	35,33	35,33	35,33	35,33	
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

№ отказавшего элемента	$\tau_{j,f}^{рав}, ч$									
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Результаты расчета показателей надежности теплоснабжения потребителей приведены в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Показатели надежности теплоснабжения потребителей

№ Потребителя	$\beta_j,$	$t_{j,min}^B,$	P_j	K_j
J	ч	°C	-	-
П1	60	12	0,998155	0,999963
П2	60	12	0,998177	0,999964
П3	60	12	0,998177	0,999961
П4	60	12	0,998177	0,999966
П5	60	12	0,998177	0,999965
П6	60	12	0,998356	0,999969
П7	60	12	0,998356	0,999971
П8	60	12	0,998356	0,99997
П9	60	12	0,998356	0,99997
П10	60	12	0,997877	0,999957
П11	60	12	0,99789	0,999956
П12	60	12	0,99789	0,999956
П13	60	12	0,99789	0,999958
П14	60	12	0,99789	0,999958
П15	60	12	0,997884	0,99995
П16	60	12	0,997884	0,999955
П17	60	12	0,997884	0,999956
П18	60	12	0,997884	0,999957
П19	60	12	0,997884	0,999957
П20	60	12	0,997884	0,999957
П21	60	12	0,997884	0,999957
П22	60	12	0,997861	0,999944
П23	60	12	0,997861	0,999951
П24	60	12	0,997861	0,999951
П25	60	12	0,997861	0,999953
П26	60	12	0,997861	0,999953
П27	60	12	0,997861	0,999953
П28	60	12	0,997861	0,999952
П29	60	12	0,997861	0,999951

Сопоставление полученных значений показателей надежности с нормативными значениями ($K_{\text{норм}} = 0,97$; $P_{\text{норм}} = 0,9$) показывает, что показатели надежности сети для всех потребителей существенно выше нормативных значений (рисунки 6.11 и 6.12).

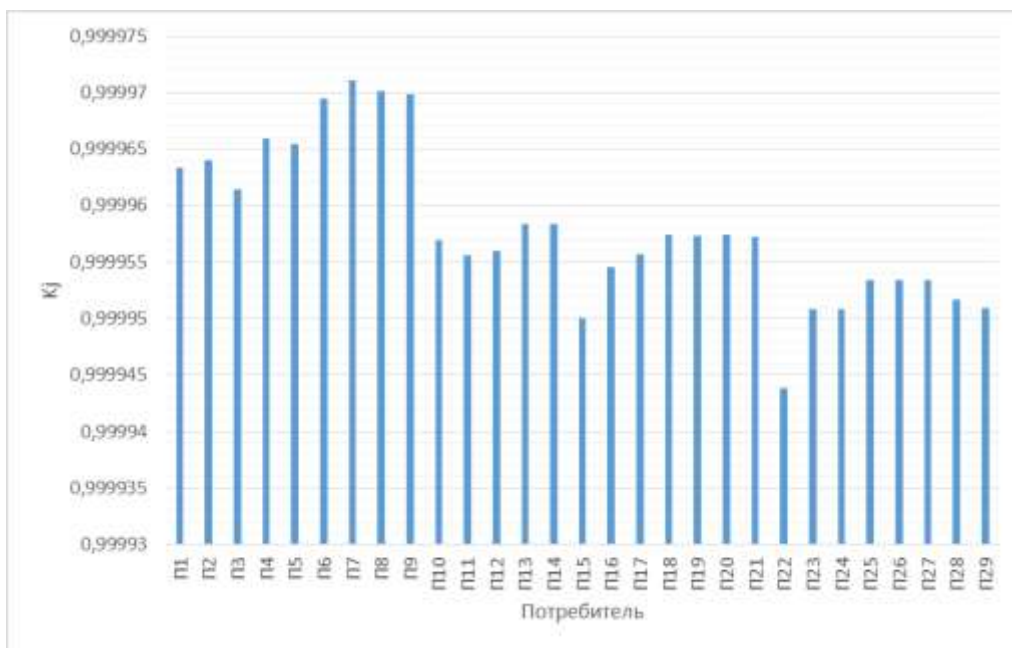


Рисунок 6.11 – Коэффициенты готовности потребителей K_j

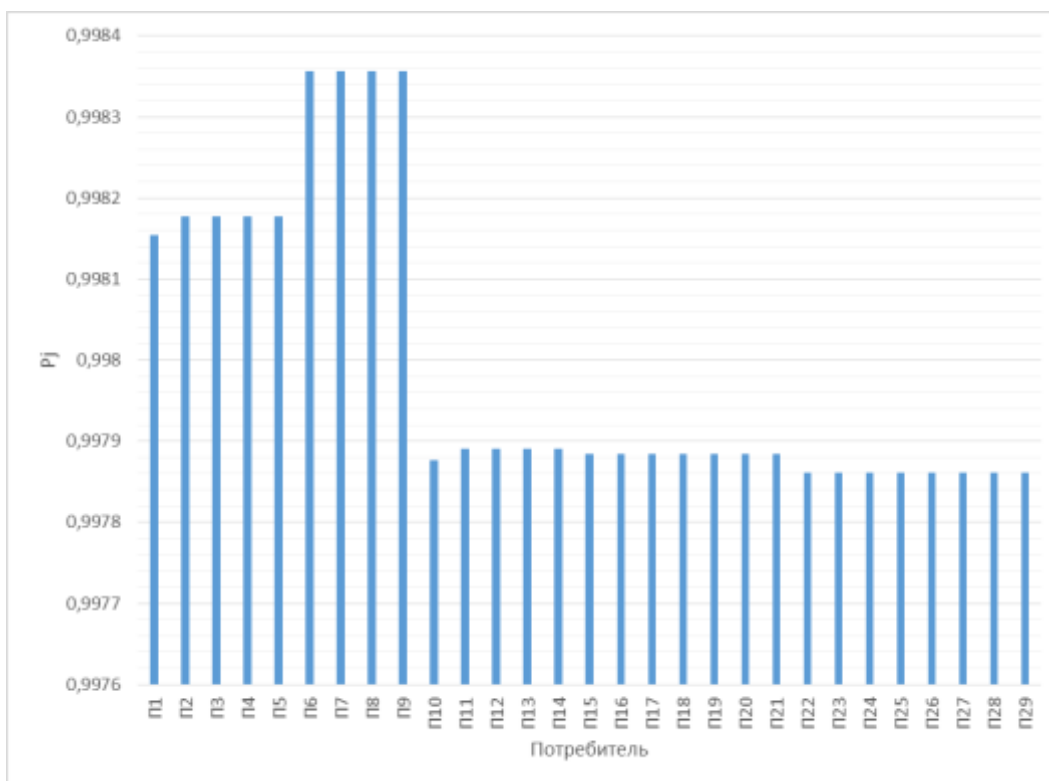


Рисунок 6.12 – Вероятности безотказного теплоснабжения потребителей P_j

Таким образом, поскольку рассматриваемая ТС имеет небольшие масштабы (присоединенная нагрузка, радиусы теплоснабжения, диаметры головных участков), нормативные требования к надежности теплоснабжения потребителей обеспечиваются, как для расчетного, так и для пониженного уровня теплоснабжения.

6.3 Расчет показателей надежности тепловых сетей МКП «СВК»

Организацией эксплуатирующей тепловые сети от котельной ЦОК в п. Самусь является МКП «СВК», на долю которой приходится 5,75% от общей протяженности всех сетей теплоснабжения ЗАТО Северск. МКП «СВК» осуществляет передачу тепловой энергии от котельной потребителям в п. Самусь.

Тепловая сеть двухтрубная; тепловые сети выполнены в основном подземной канальной и надземной прокладкой, другие виды прокладки занимают незначительный объем (по материальной характеристике). Тепловая изоляция выполнена в основном из минераловатных изделий. Характеристики трубопроводов сетевой воды и ГВС МКП «СВК»: протяженность тепловых сетей 13,298 км в двухтрубном исполнении; протяженность сетей горячего водоснабжения 2,583 км.

В п. Самусь на балансе МКП «СВК» находятся и функционируют в системе теплоснабжения 11 центральных тепловых пунктов. Характеристики тепловых сетей МКП «СВК» приведены в таблице 6.11.

Источником теплоты является центральная отопительная котельная пос. Самусь с присоединенной тепловой нагрузкой 15,520 Гкал/ч. Расчетная температура наружного воздуха: $t^{нр} = -39^{\circ}\text{C}$. Продолжительность отопительного периода: $\tau^{от} = 5592 \text{ ч} = 233 \text{ суток} = 0,639 \text{ года}$. Средняя температура отопительного периода: $t^{н ср} = -7,8^{\circ}\text{C}$.

Тепловая энергия подается потребителям по двухтрубным водяным ТС, проложенным преимущественно в непроходных каналах. ТС тупиковая без колец. Общая длина сети 15,881 км. В таблице 6.12 представлены результаты расчетов показателей надежности тепловой сети, эксплуатирующей организации МКП «СВК».

Статистические данные по отказам элементов тепловых сетей отсутствуют, поэтому интенсивности отказов участков сети со сроком эксплуатации не более 25 лет определялись по зависимости, приведенной в при начальной интенсивности отказов теплопроводов $\lambda^{нач} = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/км} \cdot \text{ч}$.

Схема ТС, приведенная на рисунке 6.13, включает 64 участка, 34 потребителей: П1-П34. Характеристики тепловых сетей ООО «Уют Орловка» приведены в таблице 6.11.

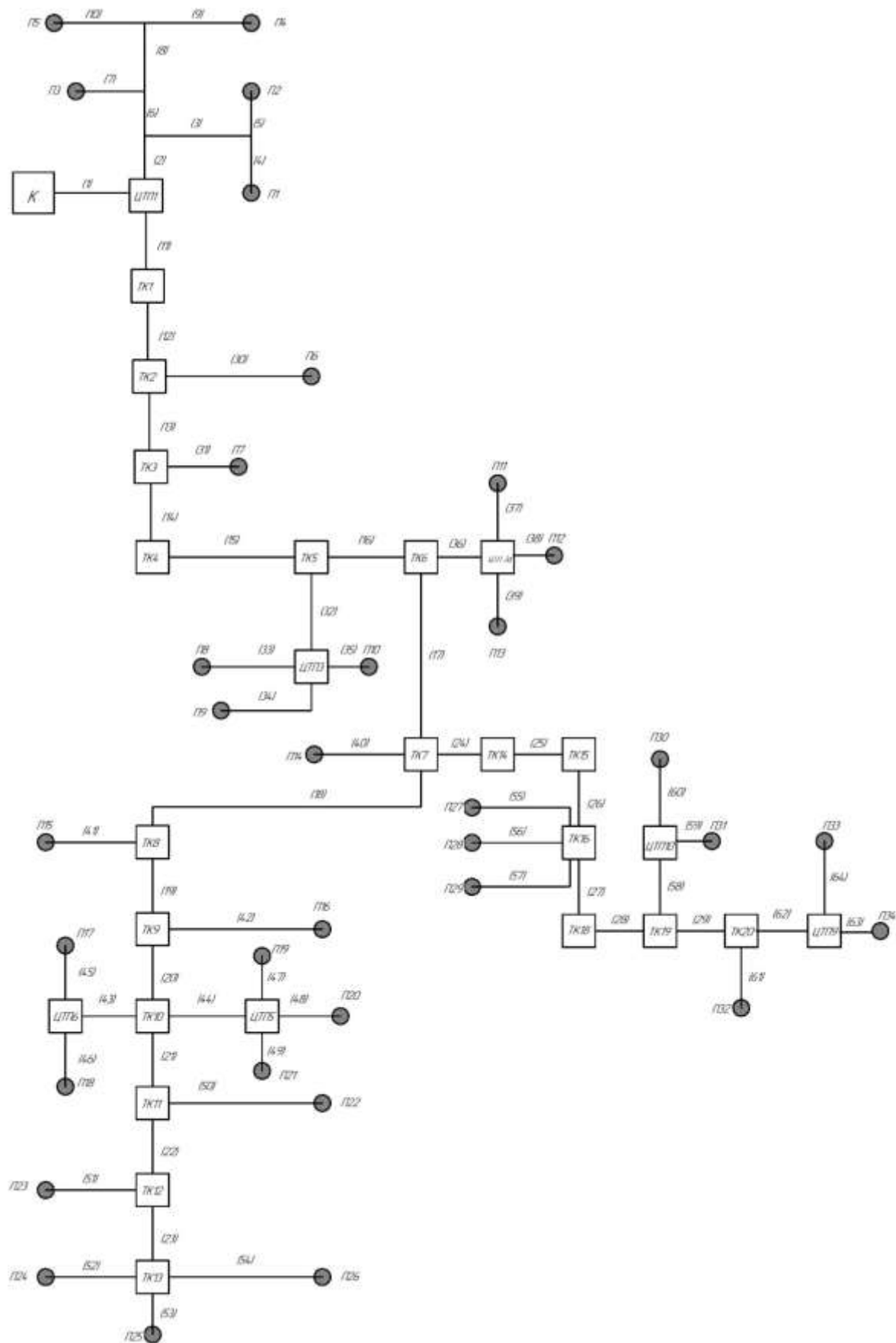


Рисунок 6.13 – Схема системы теплоснабжения МКП «СВК»

Таблица 6.11 – Характеристики тепловых сетей МКП «СВК»

№	Наименование участка	Протяженность, L, м	Наружный диаметр, мм		Год ввода в эксплуатацию (перекладки)		Материал тепловой изоляции		мат. Характеристика
		под.	под.	обр.	под.	обр.	под.	обр.	0,75
1	1	17,9	325	325	1984	1984	минвата	минвата	25,52
2	2	606,3	325	325	1984	1984	минвата	минвата	10,68
3	3	302,0	273	273	1985	1985	минвата	минвата	22,59
4	4	638,9	273	273	1985	1985	минвата	минвата	12,16
5	5	428,8	219	219	1989-1994	1989-1994	минвата	минвата	38,24
6	6	1348,4	219	219	1989-1994	1989-1994	минвата	минвата	3,42
8	8	166,3	159	159	1989-1994	1989-1994	минвата	минвата	5,24
9	9	254,6	159	159	1989-1994	1989-1994	минвата	минвата	1,76
10	10	102,0	133	133	1989	1989	минвата	минвата	11,27
11	11	654,2	133	133	1994, 2015	1994, 2015	минвата	минвата	2,37
12	12	137,5	133	133	1994, 2015	1994, 2015	минвата	минвата	7,53
13	13	538,5	108	108	1986-2010	1986-2010	минвата	минвата	10,34
14	14	739,5	108	108	1986-2010	1986-2010	минвата	минвата	1,05
15	15	74,9	108	108	2004	2004	минвата	минвата	6,93
16	16	601,4	89	89	1989-2012	1989-2012	минвата	минвата	4,30
17	17	373,1	89	89	1989-2012	1989-2012	минвата	минвата	9,71
18	18	986,6	76	76	1986-1989	1986-1989	минвата	минвата	7,59
19	19	771,0	76	76	1986-1989	1986-1989	минвата	минвата	5,41
20	20	732,6	57	57	1989-1994	1989-1994	минвата	минвата	5,74
21	21	778,2	57	57	1989-1994	1989-1994	минвата	минвата	3,29
22	22	564,7	45	45	1986-1989	1986-1989	минвата	минвата	3,70
23	23	634,9	45	45	1986-1989	1986-1989	минвата	минвата	0,72
24	24	174,3	32	32	1986-1989	1986-1989	минвата	минвата	3,77
25	25	909,4	32	32	1986-1989	1986-1989	минвата	минвата	0,80
26	26	248,6	25	25	1986-1989	1986-1989	минвата	минвата	1,66
27	27	512,9	25	25	1986-1989	1986-1989	минвата	минвата	1,54
28	28	134,0	89	89	1983	1983	минвата	минвата	0,24
29	29	24,3	76	76	1983	1983	минвата	минвата	1,84
30	30	187,2	76	76	1983	1983	минвата	минвата	4,51
31	31	611,2	57	57	1983	1983	минвата	минвата	1,28
32	32	172,8	57	57	1983	1983	минвата	минвата	0,17
33	33	32,5	57	25	1983	1983	минвата	минвата	0,04
34	34	7,8	57	25	1983	1983	минвата	минвата	1,45
35	35	248,0	45	45	1983	1983	минвата	минвата	1,75
36	36	301,0	45	45	1983	1983	минвата	минвата	0,24
37	37	53,5	45	25	1983	1983	минвата	минвата	0,13
38	38	28,5	45	25	1983	1983	минвата	минвата	0,53
39	39	127,5	32	32	1983	1983	минвата	минвата	0,24
40	40	58,7	32	32	1983	1983	минвата	минвата	0,51
41	41	157,4	25	25	1983	1983	минвата	минвата	0,90
42	42	277,6	25	25	1983	1983	минвата	минвата	0,23
43	43	84,2	25	18	1983	1983	минвата	минвата	0,08
44	44	36,3	18	18	1983	1983	минвата	минвата	0,09

В таблице 6.11 представлены характеристики ТС, эксплуатирующиеся организацией МКП «СВК». Большая часть участков имеют срок эксплуатации более 25 лет. Рекомендуемых к замене среди данной группы участков нет. Интенсивность отказов таких элементов ТС принималась как для теплопроводов со сроком службы 25 лет.

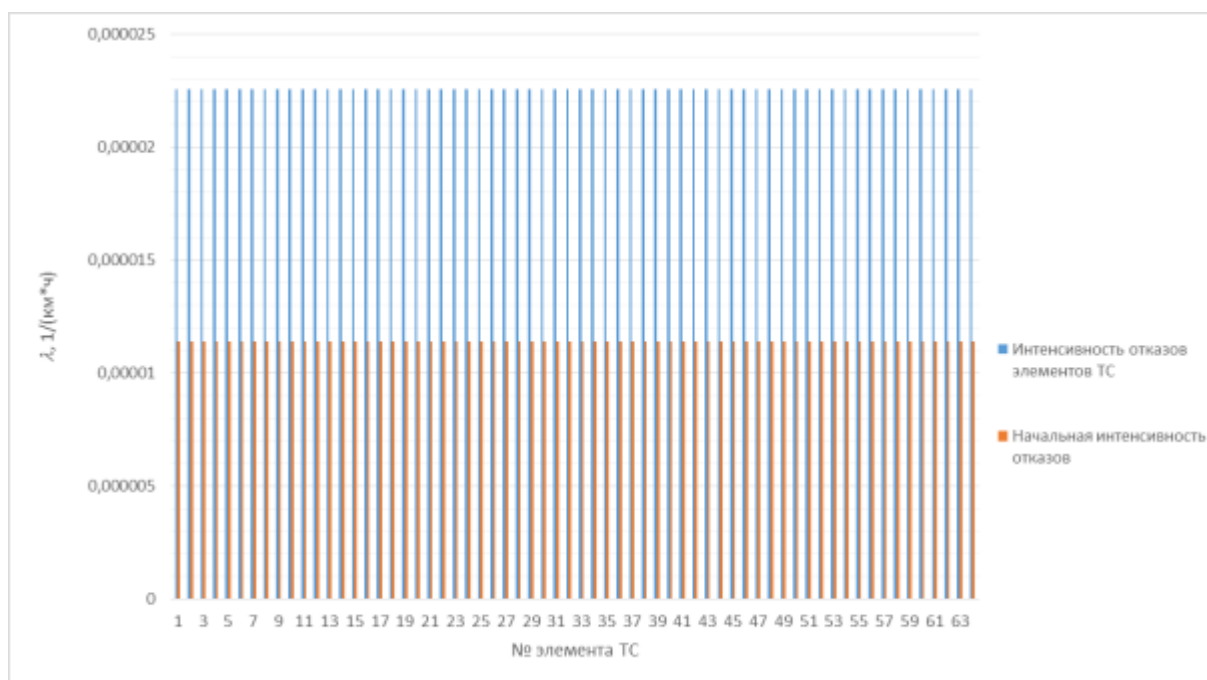


Рисунок 6.14 – Интенсивность отказов элементов ТС МКП «СВК»

Статистические данные по отказам элементов ТС отсутствуют, поэтому интенсивности отказов участков сети со сроком эксплуатации не более 25 лет определялись при начальной интенсивности отказов теплопроводов $\lambda^{\text{нач}} = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/км} \cdot \text{ч}$.

Относительно высокие интенсивности потока отказов (рисунок 6.14) вызваны длительным сроком эксплуатации для большинства участков рассматриваемой ТС. Техническое состояние и условия эксплуатации этих участков следует еще раз проанализировать и на основе этого анализа разработать предложения по замене участков.

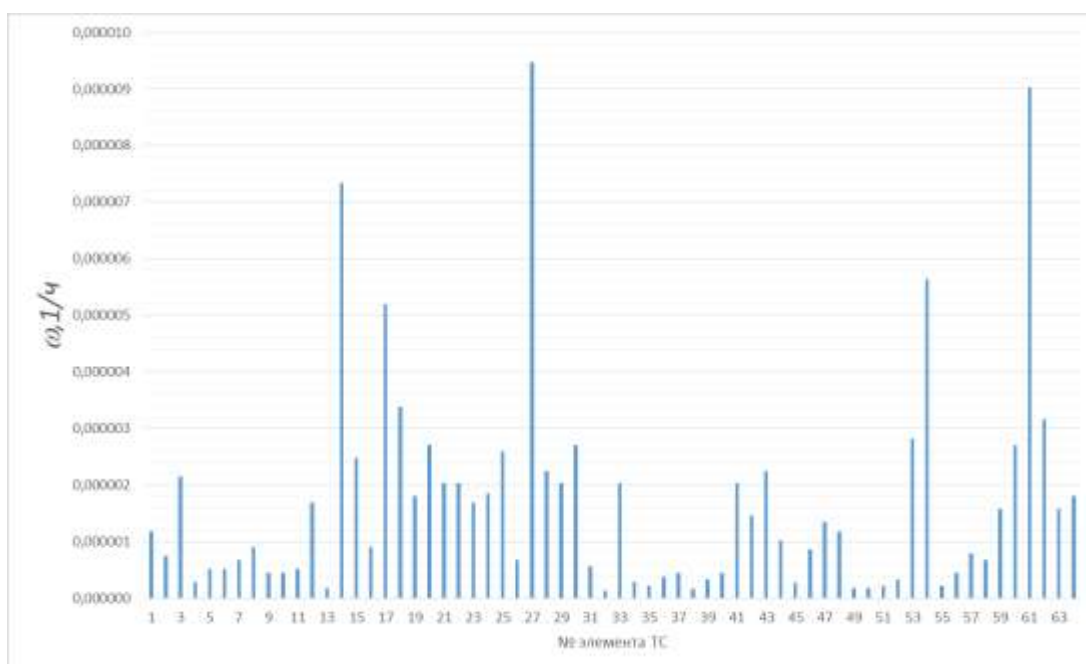


Рисунок 6.15 – Параметр потока отказов ТС МКП «СВК»

Наиболее высокое значение параметра потока отказов (рисунок 6.15) наблюдается на участках № 27 и 61, так как они имеют наибольшую протяженность и относительно большой диаметр трубопровода со сроком эксплуатации 25 лет. Необходимо отметить, что участки ТС 14, 17, 53 и 54 имеют относительно высокие значения параметра потока отказов.

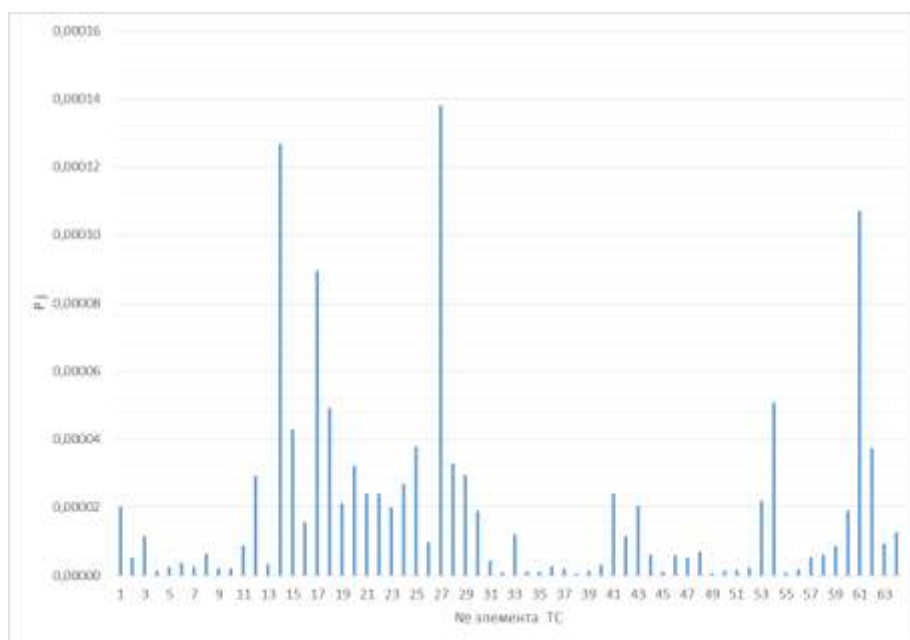


Рисунок 6.16 – Вероятности состояния ТС, соответствующие отказам ее элементов

На рисунке 6.16 показаны вероятности состояния ТС, соответствующие отказам ее элементов. При вычислении вероятностей состояния ТС, кроме срока службы и длины участка, учитывается его диаметр и время восстановления после отказа (таблица 6.12).

Наибольший вклад в состояния ТС с отказами вносят участки 14, 17, 27 и 61 с наибольшими интенсивностями и потоками отказов. В таблице 6.12 представлены результаты расчета показателей надежности ТС.

Таблица 6.12 – Вероятности безотказной работы трубопроводов тепловых сетей МКП «СВК»

№ элемента	Длина участка	$d_{\text{вн}}$	$\tau_{\text{экспл}}$	λ	ω	z^B	μ	Вероятность состояния ТС с отказом элемента f
f	м	м	лет	1/(км*ч)	1/ч	ч	1/ч	p_f
1	52	0,325	25	2,26E-05	1,17E-06	17,29	0,058	0,0000203
2	33	0,114	25	2,26E-05	7,45E-07	7,00	0,143	0,0000052
3	95	0,076	25	2,26E-05	2,14E-06	5,43	0,184	0,0000116
4	13	0,057	25	2,26E-05	2,93E-07	4,69	0,213	0,0000014
5	23	0,057	25	2,26E-05	5,19E-07	4,69	0,213	0,0000024
6	23	0,114	25	2,26E-05	5,19E-07	7,00	0,143	0,0000036
7	30	0,032	25	2,26E-05	6,77E-07	3,80	0,263	0,0000026
8	40	0,114	25	2,26E-05	9,03E-07	7,00	0,143	0,0000063
9	20	0,057	25	2,26E-05	4,51E-07	4,69	0,213	0,0000021
10	20	0,057	25	2,26E-05	4,51E-07	4,69	0,213	0,0000021
11	23	0,325	25	2,26E-05	5,19E-07	17,29	0,058	0,0000090
12	75	0,325	25	2,26E-05	1,69E-06	17,29	0,058	0,0000292
13	8	0,325	25	2,26E-05	1,81E-07	17,29	0,058	0,0000031
14	325	0,325	25	2,26E-05	7,33E-06	17,29	0,058	0,0001266
15	110	0,325	25	2,26E-05	2,48E-06	17,29	0,058	0,0000429
16	40	0,325	25	2,26E-05	9,03E-07	17,29	0,058	0,0000156
17	230	0,325	25	2,26E-05	5,19E-06	17,29	0,058	0,0000896
18	150	0,273	25	2,26E-05	3,38E-06	14,57	0,069	0,0000493
19	80	0,219	25	2,26E-05	1,81E-06	11,86	0,084	0,0000214
20	120	0,219	25	2,26E-05	2,71E-06	11,86	0,084	0,0000321
21	90	0,219	25	2,26E-05	2,03E-06	11,86	0,084	0,0000241
22	90	0,219	25	2,26E-05	2,03E-06	11,86	0,084	0,0000241
23	75	0,219	25	2,26E-05	1,69E-06	11,86	0,084	0,0000201
24	82	0,273	25	2,26E-05	1,85E-06	14,57	0,069	0,0000269
25	115	0,273	25	2,26E-05	2,59E-06	14,57	0,069	0,0000378
26	30	0,273	25	2,26E-05	6,77E-07	14,57	0,069	0,0000099
27	420	0,273	25	2,26E-05	9,48E-06	14,57	0,069	0,0001379

№ элемента	Длина участка	$d_{\text{вн}}$	$\tau^{\text{экспл}}$	λ	ω	z^B	μ	Вероятность состояния ТС с отказом элемента f
f	м	м	лет	1/(км*ч)	1/ч	ч	1/ч	p_f
28	100	0,273	25	2,26E-05	2,26E-06	14,57	0,069	0,0000328
29	90	0,273	25	2,26E-05	2,03E-06	14,57	0,069	0,0000296
30	120	0,114	25	2,26E-05	2,71E-06	7,00	0,143	0,0000189
31	25	0,133	25	2,26E-05	5,64E-07	7,83	0,128	0,0000044
32	6	0,114	25	2,26E-05	1,35E-07	7,00	0,143	0,0000009
33	90	0,089	25	2,26E-05	2,03E-06	5,95	0,168	0,0000121
34	13	0,032	25	2,26E-05	2,93E-07	3,80	0,263	0,0000011
35	10	0,057	25	2,26E-05	2,26E-07	4,69	0,213	0,0000011
36	17	0,114	25	2,26E-05	3,84E-07	7,00	0,143	0,0000027
37	20	0,048	25	2,26E-05	4,51E-07	4,36	0,229	0,0000020
38	7	0,048	25	2,26E-05	1,58E-07	4,36	0,229	0,0000007
39	15	0,048	25	2,26E-05	3,38E-07	4,36	0,229	0,0000015
40	20	0,114	25	2,26E-05	4,51E-07	7,00	0,143	0,0000032
41	90	0,219	25	2,26E-05	2,03E-06	11,86	0,084	0,0000241
42	65	0,133	25	2,26E-05	1,47E-06	7,83	0,128	0,0000115
43	100	0,159	25	2,26E-05	2,26E-06	9,01	0,111	0,0000203
44	45	0,089	25	2,26E-05	1,02E-06	5,95	0,168	0,0000060
45	12	0,048	25	2,26E-05	2,71E-07	4,36	0,229	0,0000012
46	38	0,114	25	2,26E-05	8,57E-07	7,00	0,143	0,0000060
47	60	0,032	25	2,26E-05	1,35E-06	3,80	0,263	0,0000051
48	52	0,089	25	2,26E-05	1,17E-06	5,95	0,168	0,0000070
49	8	0,027	25	2,26E-05	1,81E-07	3,64	0,275	0,0000007
50	8	0,114	25	2,26E-05	1,81E-07	7,00	0,143	0,0000013
51	10	0,114	25	2,26E-05	2,26E-07	7,00	0,143	0,0000016
52	15	0,114	25	2,26E-05	3,38E-07	7,00	0,143	0,0000024
53	125	0,133	25	2,26E-05	2,82E-06	7,83	0,128	0,0000221
54	250	0,159	25	2,26E-05	5,64E-06	9,01	0,111	0,0000508
55	10	0,027	25	2,26E-05	2,26E-07	3,64	0,275	0,0000008
56	20	0,032	25	2,26E-05	4,51E-07	3,80	0,263	0,0000017
57	35	0,114	25	2,26E-05	7,90E-07	7,00	0,143	0,0000055
58	30	0,159	25	2,26E-05	6,77E-07	9,01	0,111	0,0000061
59	70	0,076	25	2,26E-05	1,58E-06	5,43	0,184	0,0000086

№ элемента	Длина участка	$d_{\text{вн}}$	$\tau^{\text{экспл}}$	λ	ω	$z^{\text{в}}$	μ	Вероятность состояния ТС с отказом элемента f
f	м	м	лет	1/(км*ч)	1/ч	ч	1/ч	p_f
60	120	0,114	25	2,26E-05	2,71E-06	7,00	0,143	0,0000189
61	400	0,219	25	2,26E-05	9,03E-06	11,86	0,084	0,0001069
62	140	0,219	25	2,26E-05	3,16E-06	11,86	0,084	0,0000374
63	70	0,089	25	2,26E-05	1,58E-06	5,95	0,168	0,0000094
64	80	0,114	25	2,26E-05	1,81E-06	7,00	0,143	0,0000126

Расчет послеаварийных гидравлических режимов в данном случае проводить не требуется, так как рассматриваемая ТС не имеет кольцевой части. В этом случае очевидно, что при выходе из строя одного из элементов ТС полностью прекращается теплоснабжение потребителей, путь снабжения которых разрывается, а теплоснабжение остальных потребителей не нарушается.

В таблице 6.13 приведены температуры наружного воздуха $t_{j,f}^{\text{пав}}$, при которых время восстановления f -го элемента равно временному резерву j -го потребителя. При вычислении температур $t_{j,f}^{\text{пав}}$ приняты следующие величины: $\beta = 60$ ч – коэффициент аккумуляции здания; $t^{\text{вп}} = 20^\circ\text{C}$ – расчетная температура в здании; $t_{\text{min}}^{\text{в}} = 12^\circ\text{C}$ минимально допустимая температура воздуха в здании. Продолжительности стояния этих температур $\tau_{j,f}^{\text{пав}}$ приведены в таблице 6.14.

Таблица 6.13 – Температуры наружного воздуха $t_{j,f}^{\text{пав}}$, при которых время восстановления f -го элемента равно временному резерву j -го потребителя

№ отказавшего элемента	$t_{j,f}^{\text{пав}}, ^\circ\text{C}$									
f	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10
1	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
2	-27,92	-27,92	-27,92	-27,92	-27,92	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
3	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
4	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
5	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
6	-39,00	-39,00	-27,92	-27,92	-27,92	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
7	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
8	-39,00	-39,00	-39,00	-27,92	-27,92	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
9	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00

№ отка- завшего элемента	$t_{j,f}^{pab}, ^\circ C$									
48	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
49	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
50	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
51	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
52	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
53	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
54	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
55	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
56	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
57	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
58	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
59	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
60	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
61	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
62	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
63	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
64	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
№ отка- завшего элемента	$t_{j,f}^{pab}, ^\circ C$									
f	П11	П12	П13	П14	П15	П16	П17	П18	П19	П20
1	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
2	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
3	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
4	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
5	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
6	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
7	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
8	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
9	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
10	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
11	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
12	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
13	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
14	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
15	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
16	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53

№ отка- завшего элемента	$t_{j,f}^{pав}, ^\circ C$									
17	-39,00	-39,00	-39,00	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
18	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73
19	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-10,41	-10,41	-10,41	-10,41	-10,41
20	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-10,41	-10,41	-10,41	-10,41
21	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
22	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
23	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
24	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
25	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
26	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
27	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
28	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
29	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
30	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
31	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
32	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
33	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
34	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
35	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
36	-27,92	-27,92	-27,92	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
37	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
38	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
39	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
40	-39,00	-39,00	-39,00	-27,92	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
41	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-10,41	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
42	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-23,38	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
43	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-18,39	-18,39	-39,00	-39,00
44	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-35,47	-35,47
45	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
46	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-27,92	-39,00	-39,00
47	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
48	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-35,47
49	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
50	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
51	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
52	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
53	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
54	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00

№ отка- завшего элемента	$t_{j,f}^{\text{пав}}, ^\circ\text{C}$									
55	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
56	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
57	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
58	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
59	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
60	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
61	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
62	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
63	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
64	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
№ отка- завшего элемента	$t_{j,f}^{\text{пав}}, ^\circ\text{C}$									
f	П21	П22	П23	П24	П25	П26	П27	П28	П29	П30
1	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
2	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
3	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
4	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
5	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
6	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
7	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
8	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
9	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
10	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
11	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
12	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
13	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
14	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
15	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
16	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53
17	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
18	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
19	-10,41	-10,41	-10,41	-10,41	-10,41	-10,41	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
20	-10,41	-10,41	-10,41	-10,41	-10,41	-10,41	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
21	-39,00	-10,41	-10,41	-10,41	-10,41	-10,41	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
22	-39,00	-39,00	-10,41	-10,41	-10,41	-10,41	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
23	-39,00	-39,00	-39,00	-10,41	-10,41	-10,41	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00

№ отка- завшего элемента	$t_{j,f}^{pав}, ^\circ C$									
24	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73
25	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73
26	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73
27	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-5,73
28	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-5,73
29	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
30	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
31	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
32	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
33	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
34	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
35	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
36	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
37	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
38	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
39	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
40	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
41	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
42	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
43	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
44	-35,47	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
45	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
46	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
47	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
48	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
49	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
50	-39,00	-27,92	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
51	-39,00	-39,00	-27,92	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
52	-39,00	-39,00	-39,00	-27,92	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
53	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-23,38	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
54	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-18,39	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
55	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
56	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
57	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-27,92	-39,00
58	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-18,39
59	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
60	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-27,92

№ отка- завшего элемента	$t_{j,f}^{pab}, ^\circ C$									
61	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
62	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
63	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
64	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00
№ отка- завшего элемента	$t_{j,f}^{pab}, ^\circ C$									
f	П31	П32	П33	П34						
1	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53						
2	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
3	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
4	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
5	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
6	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
7	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
8	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
9	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
10	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
11	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53						
12	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53						
13	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53						
14	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53						
15	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53						
16	-2,53	-2,53	-2,53	-2,53						
17	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
18	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
19	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
20	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
21	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
22	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
23	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
24	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73						
25	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73						
26	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73						
27	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73						
28	-5,73	-5,73	-5,73	-5,73						
29	-39,00	-5,73	-5,73	-5,73						

№ отка- завшего элемента	$t_{j,f}^{\text{рав}}, ^\circ\text{C}$									
30	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
31	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
32	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
33	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
34	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
35	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
36	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
37	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
38	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
39	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
40	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
41	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
42	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
43	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
44	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
45	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
46	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
47	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
48	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
49	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
50	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
51	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
52	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
53	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
54	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
55	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
56	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
57	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
58	-18,39	-39,00	-39,00	-39,00						
59	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
60	-39,00	-39,00	-39,00	-39,00						
61	-39,00	-10,41	-39,00	-39,00						
62	-39,00	-39,00	-10,41	-10,41						
63	-39,00	-39,00	-39,00	-35,47						
64	-39,00	-39,00	-27,92	-39,00						

Таблица 6.14 – Продолжительности стояния $\tau_{j,f}^{\text{рав}}$, ч температур $t_{j,f}^{\text{рав}}$ в течение отопительного периода

№ отказав- шего эле- мента	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}$, ч									
f	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10
1	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
2	331,46	331,46	331,46	331,46	331,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	331,46	331,46	331,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	331,46	331,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3405,46	3405,46	3405,46
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3405,46	3405,46	3405,46
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	331,46	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	648,42	0,00	0,00	0,00
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	331,46	331,46	331,46
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,33	0,00	0,00
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

№ отказав- шего эле- мента	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$									
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
№ отказав- шего эле- мента	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$									
f	П11	П12	П13	П14	П15	П16	П17	П18	П19	П20
1	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

№ отказав- шего эле- мента	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$									
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
12	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
13	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
14	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
15	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
16	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
17	0,00	0,00	0,00	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
18	0,00	0,00	0,00	0,00	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2115,58	2115,58	2115,58	2115,58	2115,58
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2115,58	2115,58	2115,58	2115,58
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36	331,46	331,46	331,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	331,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
41	0,00	0,00	0,00	0,00	2115,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

№ отказав- шего эле- мента	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$									
42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	648,42	0,00	0,00	0,00	0,00
43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1114,78	1114,78	0,00	0,00
44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,33	35,33
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	331,46	0,00	0,00
47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,33
49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
№ отказав- шего эле- мента	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$									
f	П21	П22	П23	П24	П25	П26	П27	П28	П29	П30
1	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46

№ отказав- шего эле- мента	$\tau_{j,f}^{рав}, \text{ч}$									
12	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
13	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
14	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
15	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
16	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46
17	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46	0,00	0,00	0,00	0,00
18	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87	0,00	0,00	0,00	0,00
19	2115,58	2115,58	2115,58	2115,58	2115,58	2115,58	0,00	0,00	0,00	0,00
20	2115,58	2115,58	2115,58	2115,58	2115,58	2115,58	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	2115,58	2115,58	2115,58	2115,58	2115,58	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	2115,58	2115,58	2115,58	2115,58	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	2115,58	2115,58	2115,58	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2844,87
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2844,87
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
44	35,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

№ отказав- шего эле- мента	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$									
50	0,00	331,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51	0,00	0,00	331,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
52	0,00	0,00	0,00	331,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53	0,00	0,00	0,00	0,00	648,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1114,78	0,00	0,00	0,00	0,00
55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	331,46	0,00
58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1114,78
59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	331,46
61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
№ отказав- шего эле- мента	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$									
f	ПЗ1	ПЗ2	ПЗ3	ПЗ4						
1	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46						
2	0,00	0,00	0,00	0,00						
3	0,00	0,00	0,00	0,00						
4	0,00	0,00	0,00	0,00						
5	0,00	0,00	0,00	0,00						
6	0,00	0,00	0,00	0,00						
7	0,00	0,00	0,00	0,00						
8	0,00	0,00	0,00	0,00						
9	0,00	0,00	0,00	0,00						
10	0,00	0,00	0,00	0,00						
11	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46						
12	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46						
13	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46						
14	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46						
15	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46						
16	3405,46	3405,46	3405,46	3405,46						
17	0,00	0,00	0,00	0,00						
18	0,00	0,00	0,00	0,00						

№ отказав- шего эле- мента	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$									
19	0,00	0,00	0,00	0,00						
20	0,00	0,00	0,00	0,00						
21	0,00	0,00	0,00	0,00						
22	0,00	0,00	0,00	0,00						
23	0,00	0,00	0,00	0,00						
24	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87						
25	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87						
26	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87						
27	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87						
28	2844,87	2844,87	2844,87	2844,87						
29	0,00	2844,87	2844,87	2844,87						
30	0,00	0,00	0,00	0,00						
31	0,00	0,00	0,00	0,00						
32	0,00	0,00	0,00	0,00						
33	0,00	0,00	0,00	0,00						
34	0,00	0,00	0,00	0,00						
35	0,00	0,00	0,00	0,00						
36	0,00	0,00	0,00	0,00						
37	0,00	0,00	0,00	0,00						
38	0,00	0,00	0,00	0,00						
39	0,00	0,00	0,00	0,00						
40	0,00	0,00	0,00	0,00						
41	0,00	0,00	0,00	0,00						
42	0,00	0,00	0,00	0,00						
43	0,00	0,00	0,00	0,00						
44	0,00	0,00	0,00	0,00						
45	0,00	0,00	0,00	0,00						
46	0,00	0,00	0,00	0,00						
47	0,00	0,00	0,00	0,00						
48	0,00	0,00	0,00	0,00						
49	0,00	0,00	0,00	0,00						
50	0,00	0,00	0,00	0,00						
51	0,00	0,00	0,00	0,00						
52	0,00	0,00	0,00	0,00						
53	0,00	0,00	0,00	0,00						
54	0,00	0,00	0,00	0,00						
55	0,00	0,00	0,00	0,00						
56	0,00	0,00	0,00	0,00						

№ отказав- шего эле- мента	$\tau_{j,f}^{\text{рав}}, \text{ч}$									
57	0,00	0,00	0,00	0,00						
58	1114,78	0,00	0,00	0,00						
59	0,00	0,00	0,00	0,00						
60	0,00	0,00	0,00	0,00						
61	0,00	2115,58	0,00	0,00						
62	0,00	0,00	2115,58	2115,58						
63	0,00	0,00	0,00	35,33						
64	0,00	0,00	331,46	0,00						

Результаты расчета показателей надежности (коэффициенты готовности и вероятности безотказного теплоснабжения потребителей) теплоснабжения потребителей приведены в таблице 6.15.

Таблица 6.15 – Показатели надежности теплоснабжения потребителей

№ потребителя	β_j ,	t_{jmin}^B ,	P_j	K_j
j	ч	°C	-	-
П1	60	12	0,995771	0,999957
П2	60	12	0,995771	0,999956
П3	60	12	0,9956	0,999964
П4	60	12	0,995303	0,999958
П5	60	12	0,995303	0,999958
П6	60	12	0,987668	0,999918
П7	60	12	0,987586	0,99993
П8	60	12	0,955396	0,999752
П9	60	12	0,955465	0,999763
П10	60	12	0,955465	0,999763
П11	60	12	0,952458	0,999745
П12	60	12	0,952458	0,999746
П13	60	12	0,952458	0,999745
П14	60	12	0,935771	0,999656
П15	60	12	0,922984	0,999586
П16	60	12	0,922548	0,999577
П17	60	12	0,915852	0,999535
П18	60	12	0,915592	0,999531
П19	60	12	0,918123	0,999546
П20	60	12	0,918085	0,999544
П21	60	12	0,918123	0,99955
П22	60	12	0,91417	0,999532
П23	60	12	0,910242	0,999507
П24	60	12	0,906959	0,999486

№ потребителя	β_j	t_{jmin}^B	P_j	K_j
П25	60	12	0,905405	0,999467
П26	60	12	0,901381	0,999438
П27	60	12	0,938815	0,999674
П28	60	12	0,938815	0,999673
П29	60	12	0,93857	0,999669
П30	60	12	0,906534	0,999479
П31	60	12	0,907347	0,999489
П32	60	12	0,885752	0,999367
П33	60	12	0,896265	0,999424
П34	60	12	0,89675	0,999427

Из таблицы 6.15 видно, что коэффициенты готовности удовлетворяет нормативному ($K_{\text{норм}} = 0,97$) значению для всех потребителей (рисунок 6.17).

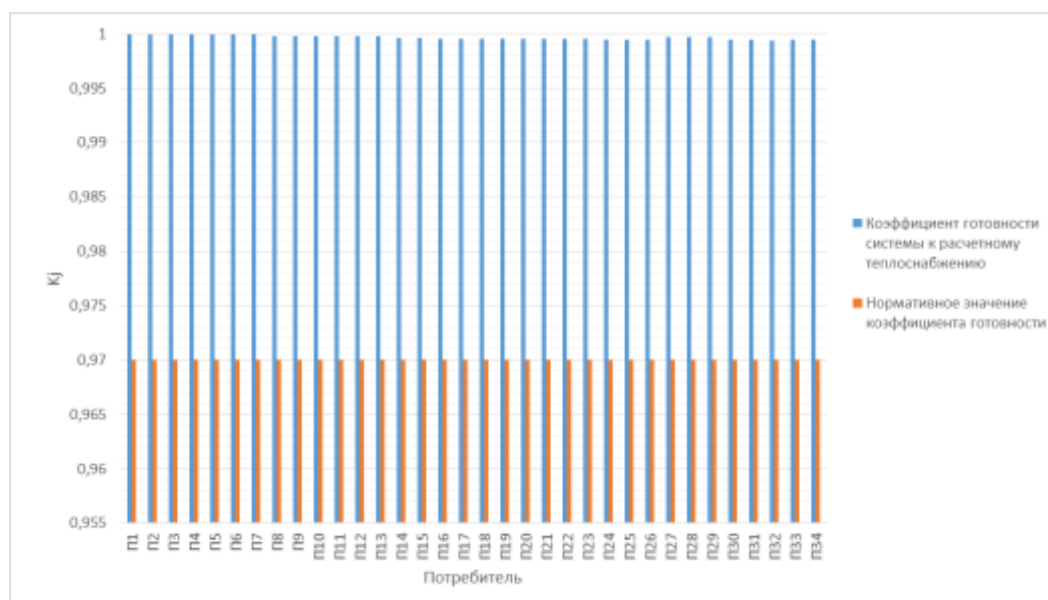


Рисунок 6.17 – Сопоставление коэффициентов готовности K_j нормативным значением

Сопоставление полученных значений вероятностей безотказного теплоснабжения (рисунок 6.18) с нормативным значением ($P_{\text{норм}} = 0,9$) показывает, что для трех наиболее удаленных от источника потребителей (П32-П34) условия надежной работы ТС ($P_j < P_{\text{норм}}$) нарушается. Для повышения показателей $P_{\text{П32-П34}}$ необходимо провести резервирование сети, что увеличит временной резерв потребителей и приведет к выполнению условий надежной работы данной сети.

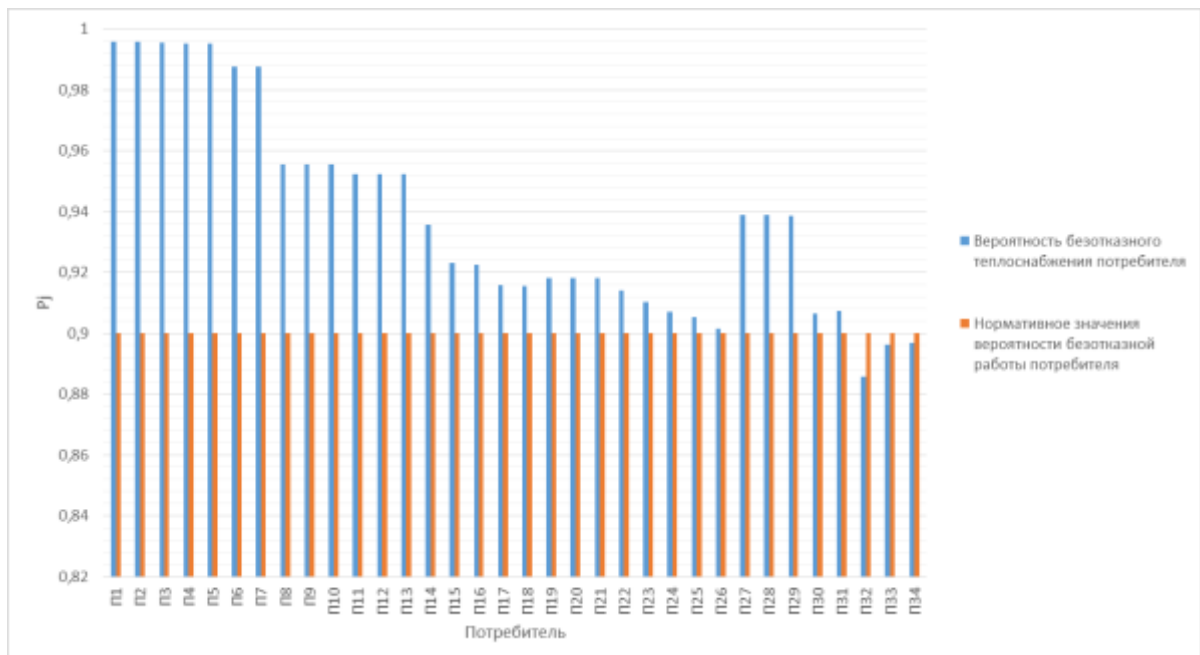


Рисунок 6.18 – Сопоставление вероятностей P_j с нормативным значением

7 Выводы и предложения по тепловым сетям

7.1. Тепловые сети в зоне действия ТЭЦ АО «РИР»

Как показывают приведенные в настоящем документе расчеты вероятность безотказной работы основных тепловых магистралей (1 и 3-я Южные тепломагистраль) существующей системы теплоснабжения ЗАТО Северск в основном соответствует нормативным требованиям по надежности.

Для 2-й магистрали один из вероятностных показателей надежности (коэффициент готовности) имеет значение меньше нормативного.

Основная причина этого – ненормативный срок эксплуатации большей части трубопроводов. При сроке эксплуатации свыше 25 лет расчетный параметр потока отказов резко возрастает и, соответственно, вероятность безотказной работы резко снижается. Общий по ЗАТО Северск уровень износа тепловых сетей составляет 90,52%.

Так же на снижение показателей надежности влияют недостаточный объем резервирования головных участков магистральных тепловых сетей и большая протяженность тепловых магистралей.

Как показали расчеты, мероприятий по перекладке участков тепловой сети с большим потоком отказов (сети с высокой степенью износа) бывает недостаточно для обеспечения нормативных показателей надежности.

Также рекомендуется рассмотреть [24]:

- введение или увеличение объема резервирования сети путем устройства аварийных перемычек;
- снижение времени восстановления теплоснабжения после отказов;
- секционирование сети.

При рассмотрении данных вариантов в отношении тепловых сетей ЗАТО Северск наиболее целесообразными оказались мероприятия по увеличению объема резервирования путем устройства аварийных перемычек между тепломагистралями головных участков тепловой сети, так как данные мероприятия могут быть выполнены совместно с мероприятиями по перекладке трубопроводов в связи превышением срока эксплуатации.

С учетом представленных выше результатов анализа были сформированы предложения по реконструкции трубопроводов тепловых сетей с целью повышения показателей вероятности безотказной работы потребителей до нормативной величины, требуемой в СНиП 41-02-2003.

Указанные мероприятия изложены в Главе 7 Обосновывающих материалов. При реализации к 2045 году всех рекомендуемых мероприятий показатели надежности будут приведены к нормативным показателям.

7.2. Тепловые сети в зоне действия котельных

В вышеприведенной части данной книги были рассчитаны показатели надежности тепловых сетей от котельных. Показатели надежности ТС организаций «Уют Орловка» и ООО «Уют Орловка» соответствуют нормативным требованиям по надежности (расчетные коэффициенты готовности и вероятности безотказной работы потребителей больше минимально допустимых значений).

По результатам расчетов показателей надежности для ТС организации МКП «СВК» для наиболее удаленных потребителей значение вероятностей безотказного теплоснабжения потребителей имеет значение ниже нормативного (все коэффициенты готовности потребителей удовлетворяют условию надежной работы ТС). Максимальное отличие P_j от нормативного значения составляет 1,6 %. Основной причиной отклонения от нормативного значения является срок эксплуатации трубопроводов свыше 25 лет.

Для приведения показателей надежности к нормативным рекомендуется провести мероприятия по перекладке участков ТС с большими параметрами потока отказов.