

УДК 614.8

Аварии на системах теплоснабжения: вероятностная оценка развития последствий отказов на тепловой сети

ISSN 1996-8493
DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.4.74
© Технологии гражданской безопасности, 2022

Е.О. Иванова, А.В. Мишурный

Аннотация

В статье представлено краткое описание методики прогнозирования развития последствий отказов на тепловой сети с целью повышения эффективности принимаемых управленческих решений по обеспечению нормативного уровня теплоснабжения потребителей.

Ключевые слова: аварии на системах теплоснабжения; тепловая сеть; интенсивность отказов; поток отказов; среднее время до восстановления; интенсивность восстановления; стационарная вероятность рабочего состояния; коэффициент готовности; вероятность безотказного теплоснабжения потребителя.

Accidents on Heat Supply Systems: Probabilistic Assessment of the Heating Network Failures Consequences Development

ISSN 1996-8493
DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.4.74
© Civil Security Technology, 2022

E. Ivanova, A. Mishurny

Abstract

The article presents brief description of the methodology for predicting the development of the heating network failures consequences in order to improve the efficiency of management decisions to ensure the regulatory level of heat supply to consumers.

Key words: accidents on heat supply systems; heating network; failure rate; average time to recovery; recovery rate; stationary probability of working condition; readiness coefficient; probability of trouble-free heat supply to the consumer.

22.07.2022

Согласно [1, 2] основными причинами прекращения теплоснабжения в Российской Федерации являются:

- порыв трубопроводов;
- устранение обнаруженных дефектов на тепловых сетях (ТС);
- износ оборудования на источниках тепловой энергии;
- повреждение оборудования и ТС.

Основными исходными данными методики прогнозирования развития последствий отказов на тепловой сети являются [2, 3]:

- показатели надежности теплоснабжения;
- характеристики систем теплоснабжения и потребителей;
- характеристики отказов систем теплоснабжения;
- характеристики пониженного (аварийного) теплоснабжения потребителей;
- параметры метеорологической обстановки.

Основные расчетные зависимости определения показателей надежности теплоснабжения потребителя, присоединенного к тепловой сети системы теплоснабжения, представлены в [4].

Так, при наличии статистических данных расчет интенсивности отказов участка ТС (λ_i , 1/км/ч) осуществляется по формуле:

$$\lambda_i = \frac{n_{отки}}{8760 * L_i}, \quad (1)$$

где:

- $n_{отки}$ — количество отказов на i -ом участке ТС за предыдущий год, ед.;
- L_i — протяженность i -ого участка ТС, км.

При отсутствии статистических данных расчет интенсивности отказов участка ТС со сроком службы до 25 лет проводится следующим образом:

$$\lambda_i = \lambda \left(0,1 \tau_i\right)^{a_i-1}, \quad (2)$$

где:

- $\lambda_{нач}$ — интенсивность отказов участка ТС, соответствующая начальному периоду эксплуатации, 1/км/год;
- $\tau_i^{эксп}$ — продолжительность эксплуатации участка ТС, лет;
- a_i — коэффициент, учитывающий продолжительность эксплуатации участка ТС.

Коэффициент, учитывающий продолжительность эксплуатации участка ТС (a_i), определяется по формуле:

$$a_i = \begin{cases} 0,8 - \text{при } 0 < \tau_i^{эксп} \leq 3 \\ 1 - \text{при } 3 < \tau_i^{эксп} \leq 17 \\ 0,5 \exp\left(\frac{\tau_i}{20}\right) - \text{при } \tau_i^{эксп} > 17 \end{cases}. \quad (3)$$

Параметр потока отказов участка ТС (ω_i , 1/год) зависит от его протяженности следующим образом:

$$\omega_i = \lambda_i L_i, \quad (4)$$

где L_i — протяженность i -ого участка ТС, км.

Среднее время восстановления участка ТС ($z_i^в$, ч) определяется по формуле:

$$z_i^в = a[1 + (b + cL_{сз})d_i^{1,2}], \quad (5)$$

где:

- $L_{сз}$ — расстояние между секционирующими задвижками (СЗ), км;
- d_i — диаметр i -ого участка ТС, м;
- a, b, c — коэффициенты, полученные на основе численных значений времени восстановления тепловых сетей в зависимости от их диаметра.

Расстояние между СЗ должно соответствовать требованиям СНиП 41-02-2003 [5] и принимать следующие табличные значения (см. табл.).

Интенсивность восстановления i -ого участка ТС (μ_i , 1/ч) зависит от времени восстановления следующим образом:

$$\mu_i = \frac{1}{z_i^в}, \quad (6)$$

где $z_i^в$ — среднее время восстановления i -ого участка ТС, ч.

Тогда стационарная вероятность рабочего состояния ТС, состоящей из N элементов (p_0), определяется по формуле:

$$p_0 = 1 + \sum_{i=1}^N \frac{\omega_i}{\mu_i}. \quad (7)$$

Вероятность состояния ТС, соответствующая отказу f -ого элемента (p_f), можно определить следующим образом:

$$p_f = \frac{\omega_f}{\mu_f} p_0. \quad (8)$$

Коэффициент готовности к обеспечению расчетного теплоснабжения j -ого потребителя (K_j) определяется по формуле:

$$K_j = p_0 + \sum_{f \in F_j} p_f, \quad (9)$$

где F_j — множество участков ТС, выход из строя которых в аварии не нарушает расчетный уровень теплоснабжения j -ого потребителя.

Тогда вероятность безотказного теплоснабжения j -ого потребителя или вероятность обеспечения в течение отопительного периода температуры внутри отапливаемого помещения j -ого потребителя не ниже минимально допустимого значения можно определить следующим образом:

$$P_j = e^{-\left[p_0 \cdot \sum_f (\omega_f \cdot \tau_{j,f}^{пав})\right]}, \quad (10)$$

где $\tau_{j,f}^{пав}$ — повторяемость температуры наружного воздуха.

Таблица

Расстояние 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 более 1000 м, 1500 м)	Непосредственно за ответвлением, на теплопроводе меньшего диаметра, расстояние до ближайшей СЗ — в соответствии с меньшим диаметром (не более 1000 м, 1500 м)
более 0,9	5000	Непосредственно за ответвлением, расстояние до ближайшей СЗ — не более 5000 м	Непосредственно за местом изменения диаметра, расстояние до ближайшей СЗ — в соответствии с меньшим диаметром (не более 1000 м, 1500 м, 3000 м)	Непосредственно за ответвлением, на теплопроводе меньшего диаметра, расстояние до ближайшей СЗ — в соответствии с меньшим диаметром (не более 1000 м, 1500 м, 3000 м)

Пример расчета показателей надежности теплоснабжения потребителей тупиковой ТС можно найти в [5].

Таким образом, в статье представлено краткое описание методики прогнозирования развития последствий отказов на тепловой сети, которая должна стать составной частью общей прогнозной и

аналитической модели «Отключение теплоснабжения» аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» [6].

Формализованные модели прогнозирования наиболее катастрофичных чрезвычайных ситуаций природного и биолого-социального характера рассмотрены в [7–11].

Литература

1. Доклад о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2019 году, Минэнерго России, ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России, 2020 г.
2. Акимов В.А., Иванова Е.О., Мишурный А.В. АПК «Безопасный город»: исходные данные для прогнозирования последствий отключения теплоснабжения // Гражданская защита. 2022. № 8 (564). С. 33–35.
3. Предварительный национальный стандарт Российской Федерации ПНСТ 768-2022 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Безопасный город. Прогнозирование последствий отключения теплоснабжения. Общие требования».
4. Прогнозно-аналитические решения по природным, техногенным и биолого-социальным угрозам единой системы информационно-аналитического обеспечения безопасности среды жизнедеятельности и общественного порядка «Безопасный город»: Монография / В.А. Акимов, А.В. Мишурный, О.В. Якимюк и др. / Под ред. А.П. Чуприяна / МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2022. 316 с.
5. СП 124.13330.2012. Свод правил. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003.
6. Акимов В.А., Колеганов С.В., Мишурный А.В. АПК «Безопасный город»: оценка вероятности ЧС // Гражданская защита. 2022. № 5 (561). С. 36–38.
7. Акимов В.А., Бедило М.В., Суцев С.П. Опасные гидрологические явления и процессы как источники чрезвычайных ситуаций природного характера: вербальная модель // Технологии гражданской безопасности. 2021. № 4 (70). С. 4–8.
8. Акимов В.А., Бедило М.В., Суцев С.П. Опасные метеорологические явления и процессы как источники чрезвычайных ситуаций природного характера: вербальная модель // Технологии гражданской безопасности. 2021. № 4 (70). С. 14–18.
9. Акимов В.А., Бедило М.В., Иванова Е.О. Опасные геофизические явления и процессы как источники чрезвычайных ситуаций природного характера: модель среднесрочного прогнозирования землетрясений // Технологии гражданской безопасности. 2022. № 1 (71). С. 20–23.
10. Акимов В.А., Бедило М.В., Иванова Е.О. Крупные природные пожары как источники чрезвычайных ситуаций природного характера // Технологии гражданской безопасности. 2022. № 2 (72). С. 11–13.
11. Акимов В.А., Бедило М.В., Иванова Е.О. Математические модели эпидемий и пандемий как источников чрезвычайных ситуаций биолого-социального характера // Технологии гражданской безопасности. 2022. № 3 (73). С. 10–15.

Сведения об авторах

Иванова Екатерина Олеговна: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. центра. Москва, Россия. SPIN-код: 5483-4886.

Мишурный Андрей Викторович: АО «Объединенная приборостроительная корпорация», руковод. проектн. офиса «Безопасный город». Москва, Россия. SPIN-код: 2799-6308.

Information about authors

Ivanova Ekaterina O.: All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Senior Researcher, Research Center. Moscow, Russia. SPIN-scientific: 5483-4886.

Mishurny Andrey V.: JSC «United Instrument-Making Corporation», Head of the Project Office «Safe City». Moscow, Russia. SPIN-scientific: 2799-6308.