

УДК 697.34

Малявіна Ольга Миколаївна, канд. техн. наук, доц.Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна.
Вул. Революції, 12, м. Харків, Україна, 61002**ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ТРУБОПРОВОДІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ**

Розглядаються питання надійності трубопроводів магістральних теплових мереж систем централізованого теплопостачання.

В результаті проведених досліджень надійності трубопроводів магістральних теплових мереж з використанням методик дозволяючи за наявності статистики пошкоджуваності теплопроводів різного строку введення в експлуатацію за незначний проміжок часу отримано статистичні моделі залежності показників надійності теплопроводів від строку експлуатації.

Ключові слова: надійність, теплопостачання, трубопроводи, магістральні теплові мережі, параметр потоку відмов, час напрацювання на відмову, імовірність безвідмовної роботи.

Малявина Ольга Николаевна, канд. техн. наук, доц.

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, г. Харьков, Украина. Ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Рассматриваются вопросы надежности трубопроводов магистральных тепловых сетей систем централизованного теплоснабжения.

В результате проведенных исследований надежности трубопроводов магистральных тепловых сетей с использованием методик, позволяющих при наличии статистики повреждаемости теплопроводов разного срока введения в эксплуатацию за незначительный промежуток времени получить статистические модели зависимости показателей надежности теплопроводов от срока эксплуатации.

Ключевые слова: надежность, теплоснабжение, трубопроводы, магистральные тепловые сети, параметр потока отказов, время наработки на отказ, вероятность безотказной работы.

Malyavina Olga Nikolaevna, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof.

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Str. Revolution, 12, Kharkiv, Ukraine, 61002

PROGNOSTICATION OF DETERMINATION THE RELIABILITY OF MAIN HEATING NETWORKS PIPELINES

The questions of reliability pipelines of the main heating networks of the systems of centralized heat supply are examined.

As a result of undertaken studies of reliability pipelines of the main heat networks with the use of methodologies allowing at presence of statistics of the damages of the heating systems of different term of introduction to exploitation for the insignificant interval of time to get the statistical models of dependence of reliability of the heating systems indexes from the term of exploitation.

Keywords: reliability, heat supply, pipelines, main heating networks, parameter dependence of failures flow, probability of failure-free operation, uptimes on operation period.

Вступ

Система централізованого теплопостачання (СЦТ) в основному забезпечує жителів населених пунктів в тепловій енергії і гарячому водопостачанні.

Надійність СЦТ, яка складається з джерел енергії теплових мереж і споживачів в значній мірі визначається надійністю теплових мереж, при цьому надійності магістральних теплових мереж є визначальною.

Аналіз надійності роботи теплових мереж залежно від терміну їхньої експлуатації є важливим техніко-економічним завданням, що дає змогу оцінити як надійність теплових мереж, так і необхідні для експлуатації матеріально-технічні та трудові ресурси.

Більшість досліджень пошкоджуваності трубопроводів теплових мереж приводилася за незначний період експлуатації (до 15 років) [1–2]; для триваліших строків спостереження (20 років і більше), [3–4] не одержано аналітичних залежностей для обчислення показників надійності трубопроводів теплових мереж.

Надійність трубопроводів магістральних теплових мереж розглядається в роботі [5], однак в ній не наведено аналітичні залежності показників надійності.

В роботах [1, 3, 6, 8] пошкоджуваність теплопроводів залежить від строку їхньої експлуатації.

Під час оцінки параметра потоку відмов за частину строку експлуатації останній збільшується зі збільшенням часу експлуатації в межах розглянутого періоду [1, 8].

Як зазначають в роботі [6] максимальне значення параметра потоку відмов припадає на 25 років; в [9–10] – 15–20 років і 18 років; в [3] – 22,5 років.

Зменшення показників надійності трубопроводів теплових мереж після періоду їхнього зростання (15–25 років експлуатації) наведено [3, 10].

Таким чином, інформація про надійність трубопроводів магістральних теплових мереж дуже мало у зв'язку з тим, що в роботах приведені дослідження, як розподільних так і магістральних теплопроводів діаметрами 100–1400мм [1–4, 8–7,].

У зв'язку з цим, для показників надійності трубопроводів магістральних теплових мереж, необхідно уточнити їхній характер, динаміку та числові значення, а також одержати аналітичні залежності для їхнього розрахунку і прогнозування на значний період експлуатації за наявності даних про пошкоджуваність за кілька років.

У розглянутих роботах, найбільш уживаним показником надійності є одержаний статистичними методами параметр потоку відмов, що визначається за реальними даними про пошкоджуваність теплопроводів і використовується, як окремий показник, так і за його значенням можна обчислити імовірність безвідмовної роботи та час напрацювання на відмову. Крім того, указаний показник залучається до комплексних показників надійності під час проектування СЦТ і до економічно-статистичних показників.

Метою роботи є прогнозування надійності трубопроводів магістральних теплових мереж залежно від строку експлуатації

Основна частина

На основі аналізу показників надійності трубопроводів теплових мереж і з огляду на те, що вони ремонтуються у процесі експлуатації, їхня надійність визначається параметром потоку відмов ω , міжремонтним часом t_p та імовірністю безвідмовної роботи $P(t)$ [4].

Дані, які використовуються при одержанні статистичних моделей показників надійності отримані з використанням методики визначення усередненого параметра потоку відмов трубопроводів теплових мереж на довгостроковий період їхньої експлуатації за наявністю даних про пошкодження за декілька років [11]. Вказана методика дозволяє розрахувати усереднений параметр потоку відмов ω_{cp} (Тк), як середнього значення для ділянок теплопроводів, що входять у дану систему, які мали різні терміни введення в експлуатацію і для яких наявні значення кількості пошкоджень за декілька років.

Для розрахунку усередненого параметра потоку відмов доцільно використовувати методику вибору кроку строку експлуатації теплопроводів під час дослідження їхньої пошкоджуваності [12], згідно якої визначено оптимальну дискретність кроку строку експлуатації, який дорівнює трьом рокам.

Для одержання статистичних моделей показників надійності теплових мереж були використані дані по пошкоджуваності магістральних теплопроводів КП «ХТМ» за період 2003–2005р.р., \varnothing 250–1200мм довжиною 437,9 км, побудованих у 1968–1996 р.р., прокладених в підземних непрохідних, напівпровідних, прохідних каналах і з використанням надземного способу прокладки, при використанні методик наведених вище.

До основних пошкоджень трубопроводів теплових мереж відносяться свищі, пориви, пошкодження засувок, а також інші показники, зокрема компенсаторів, теплових камер, випускників повітря, водо випускників теплової ізоляції та інші.

Параметр потоку відмов є основним показником надійності трубопроводів теплових мереж, він визначається на основі експериментальних даних і служить для визначення інших показників надійності.

В дослідження не ввійшов період припрацювання магістральних теплопроводів, коли пошкоджуються елементи, які мали серйозні дефекти при будівельно-монтажних роботах.

Графічна залежність параметру потоку відмов від строку експлуатації магістральних трубопроводів теплових мереж представлена на рис.1.

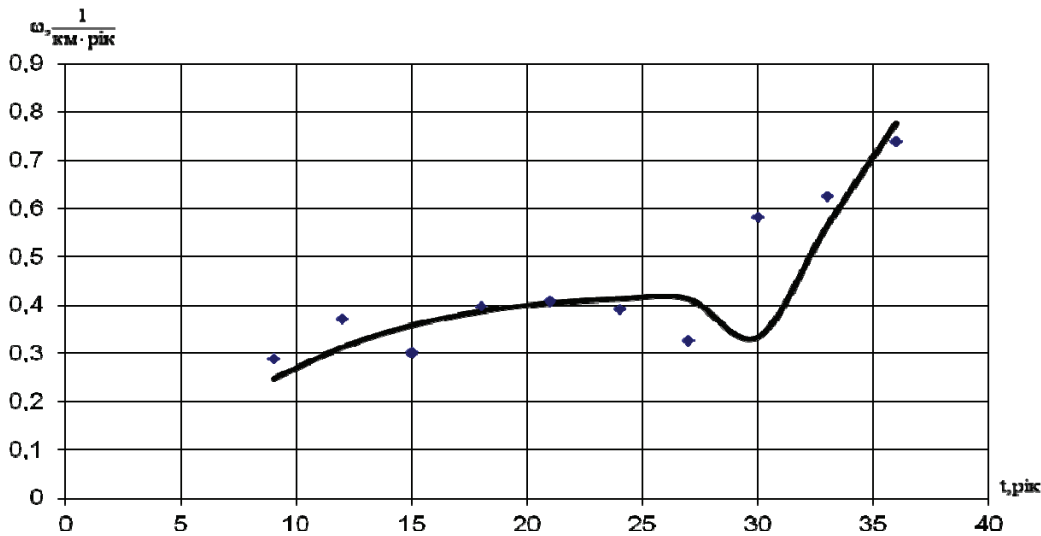


Рис.1. Залежність параметру потоку відмови ω від строку служби магістральних теплопроводів t

Як видно із рис.1 залежність параметру відмов від строку експлуатації має три періоди:

I період з 9 до 25–27 років;

II період від 25–27 до 29–30 років;

III період з 29-30 до 36 років та імовірно і в подальшому.

I період характеризується збільшенням параметра потоку відмов з 9 до 27 років експлуатації.

Як видно із рис.1. параметр потоку відмов у першому періоді збільшується з 0,274 1/км·рік (9 рік експлуатації) до 0,411/км·рік (25–27 рік експлуатації).

Наведене вище пояснюється комплексом дії руйнуючих факторів, особливо в місцях де їх вплив максимальний, наприклад, дія електрохімічної корозії поблизу трамвайних колії, підтоплення каналів, де прокладені теплопроводи, що призводить до інтенсифікації корозійних процесів ітаке інше. При цьому товщина стінки основної маси теплопроводів значно не зменшилась внаслідок дії корозії.

II період експлуатації 25–27 – 29-30 років характеризується зменшенням параметра потоку відмов з 0,41 1/км·рік (25–27 років) до 0,33 1/км·рік (29–30 років).

Вищезазначене пояснюється тим, що в результаті заміни пошкоджених теплопроводів на нові в місцях найбільш інтенсивної дії руйнуючих факторів надійність трубопроводів зростає.

При цьому, як видно із рис.1., інтенсивність зменшення параметра потоку відмов за вказаний період, значно більша, чим зміна інтенсивності параметра потоку відмов в порівнянні з I періодом. Це пояснюється тим, що при незначному зменшенні товщини стінок основної маси теплопроводів при нормальних умовах експлуатації, заміна незначних пошкоджених ділянок трубопроводів в місцях де посилена дія корозії (див. вище) призвела до значного зменшення параметра потоку відмов.

III період експлуатації з 29–30 рр. до 36 років характеризується різким збільшенням параметра потоку відмов з 0,33 1/км·рік (29–30 р.р.) до 0,784 1/км·рік (36 р.).

Вказане пояснюється загальним зменшенням товщини стінок теплопроводів за рахунок довгострокової дії корозії і більш інтенсивного впливу при цьому тиску теплоносія.

Максимальне значення параметра потоку відмов трубопроводів магістральних теплових мереж за період експлуатації 9–36 років становить 0,784 1/км·рік, а максимальне значення його його в точці перетину між I і II періодами становить 0,41 1/км·рік.

Мінімальне значення параметра потоку відмов за вказаний період становить 0,274 1/км·рік, а в точці перетину між II і III періодами - 0,33 1/км·рік.

Середнє значення параметра потоку відмов трубопроводів магістральних теплових мереж за період експлуатації 9-36 років становить 0,43 1/км·рік.

Статистична модель залежності параметру потоку відмов трубопроводів магістральних теплових мереж від строку експлуатації t має вид поліному 3-го порядку:

$$\omega = 0,06494 t - 0,002409 t^2 + 0,00004087 t^3 + 0,3913 \frac{1}{1+0,1|t-27|} - 0,9370 \frac{1}{1+0,1|t-29|} \quad (1)$$

Статистичні характеристики побудованої моделі:

Фактичне значення критерію Фішера $F_{\text{фактот}} = 1,87$

Критичне значення критерію Фішера $F(\alpha, m-1, n-m) = 1,63$

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 5,99E-01$

Нормований коефіцієнт детермінації $R^2_n = 2,78E-01$

Стандартна помилка $S = 1,30E-01$

Значимість параметрів – усі значимі

Довірча імовірність адекватності моделі $P = 0,70$

Важливим показником надійності теплових мереж є час напрацювання на відмову. **Час напрацювання на відмову t_p** може бути використаний для планування заміни найбільш пошкоджуваних ділянок трубопроводів теплових мереж.

На основі даних залежності для визначення параметру потоку відмов (1.1), отримуємо значення часу напрацювання на відмову:

$$t_\delta = 1 / \left(0,06494 t - 0,002409 t^2 + 0,00004087 t^3 + 0,3913 \frac{1}{1+0,1|t-27|} - 0,9370 \frac{1}{1+0,1|t-29|} \right) \quad (2)$$

На рис. 2. представлений графік залежності часу напрацювання на відмову від строку експлуатації трубопроводів магістральних теплових мереж.

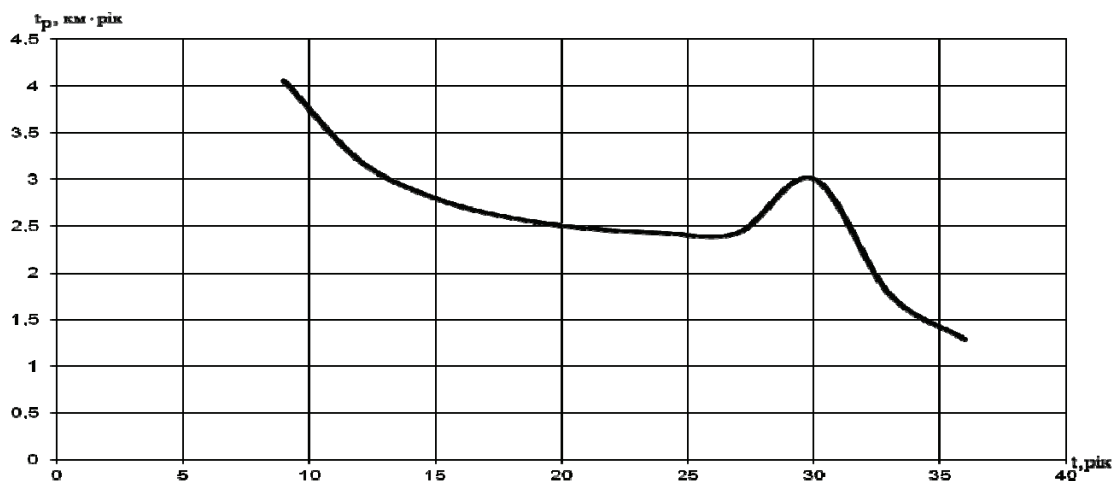


Рис. 2. Залежність часу напрацювання на відмову від строку експлуатації трубопроводів магістральних теплових мереж

Із рис. 2 видно, що час напрацювання на відмову в I періоді зменшується з 4,06 км·рік (9 рік експлуатації) до 2,4 км·рік (25–27 роки експлуатації).

В II періоді значення часу напрацювання на відмову зростає з 2,4 км·рік (25–27 роки експлуатації) до 3 км·рік (29–30 рік експлуатації).

Для III періоду експлуатації трубопроводів магістральних теплових мереж характерно зменшення часу напрацювання на відмову з 3 км·рік (29-30 рік експлуатації) до 1,29 км·рік (34 рік експлуатації).

Так як значення часу напрацювання на відмову є величиною зворотно пропорційною параметру потоку відмов (2), то характер і інтенсивність залежності часу напрацювання на відмову пояснюється характером і інтенсивністю зміни параметра потоку відмов.

Мінімальне значення часу напрацювання на відмову трубопроводів магістральних теплових мереж за період експлуатації 9-36 років становить 1,29 км·рік, а мінімальне значення в точці перетину між I і II періодами складає 2,4 км·рік.

Максимальне значення часу напрацювання на відмову за вказаний період експлуатації становить 4,06 км·рік, а в точці перетину між II та III періодами – 3 км·рік.

Середнє значення часу напрацювання на відмову трубопроводів магістральних теплових мереж за період експлуатації 9-36 років складає 2,61 км·рік.

Важливим показником надійності трубопроводів теплових мереж є **імовірність безвідмовної роботи**.

Підвищення надійності роботи централізованих систем опалення будинків і забезпечення тепловою енергією населених пунктів потребує прогнозування імовірності безвідмовної роботи відповідно для подавального, зворотного теплопроводів магістральних теплових мереж.

Відповідно залежності ω від строку експлуатації трубопроводів теплових мереж (1) визначається $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи.

$$P_t = e^{-1(0,06494t - 0,002409t^2 + 0,00004087t^3 + 0,3913 \frac{1}{1+0,1|t-27|} - 0,9370 \frac{1}{1+0,1|t-29|})} \quad (3)$$

На рис. 3 приведений розрахований за формулою (3) графік залежності імовірності безвідмовної роботи від строку експлуатації трубопроводів магістральних теплових мереж.

Із рис. 3 видно, що характер зміни $P(t)$ для різних строків експлуатації трубопроводів теплових мереж аналогічний зміні часу напрацювання на відмову (рис. 2), що пояснюється тим, що, чим менше параметр потоку відмов, тим більше час напрацювання на відмову, і тим більша імовірність безвідмовної роботи.

Як видно із рис. 3 імовірність безвідмовної роботи трубопроводів магістральних теплових мереж в I періоді зменшується з 0,78 (9 рік експлуатації) до 0,66 (25–27 рік експлуатації).

В II періоді імовірність безвідмовної роботи зростає з 0,66 (25-27 рік експлуатації) до 0,72 (29–30 рік експлуатації).

В подальшому зменшення параметру потоку відмов у II періоді експлуатації з 25–27 до 29–30 років приводить до збільшення імовірності безвідмовної роботи.

Для III періоду експлуатації трубопроводів магістральних теплових мереж характерно зменшення імовірності безвідмовної роботи з 0,72 (29–30 рік експлуатації) до 0,46 (36 рік експлуатації).

Різке зменшення $P(t)$ після 29–30 років експлуатації трубопроводів теплових мереж пояснюється значним збільшенням параметру потоку відмов у III періоді експлуатації трубопроводів теплових мереж (рис. 1).

Мінімальне значення імовірності безвідмовної роботи трубопроводів магістральних теплових мереж за період експлуатації 9–36 років становить 0,46, а мінімальне значення в точці перетину між I і II періодами 0,66.

Максимальне значення імовірності безвідмовної роботи за вказаний період експлуатації становить 0,78 (9 рік експлуатації), а максимальне значення в точці перетину між II і III періодами – 0,72.

Середнє значення імовірності безвідмовної роботи трубопроводів магістральних теплових мереж за період експлуатації 9–36 років становить 0,71.

Висновки

В результаті проведених досліджень надійності трубопроводів магістральних теплових мереж з використанням методик дозволяючи за наявності статистики пошкоджуваності теплопроводів різного строку введення в експлуатацію за незначний проміжок часу

отримано статистичні моделі залежності показників надійності теплопроводів від строку експлуатації.

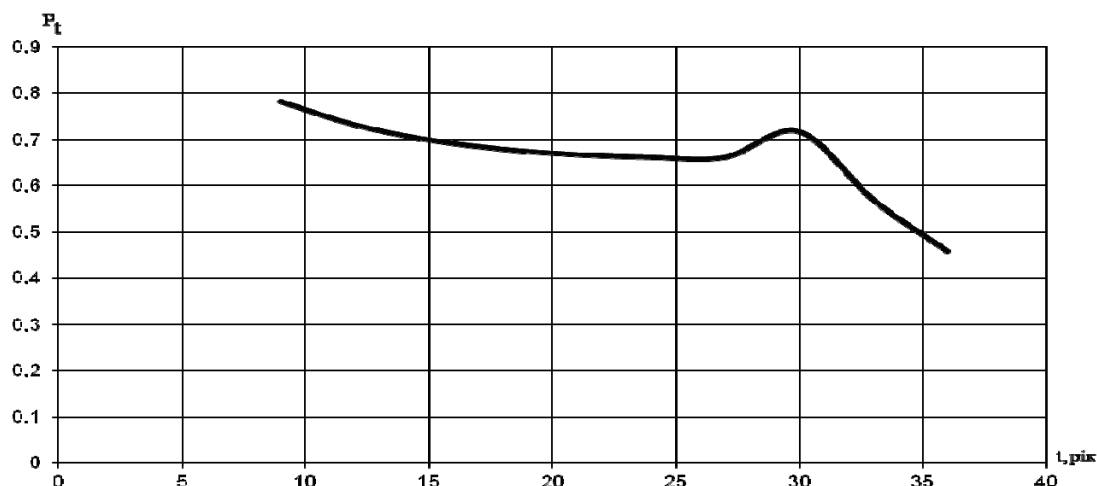


Рис. 3. Залежність імовірності безвідмовної роботи за роки експлуатації трубопроводів магістральних теплових мереж

Обґрунтовано характер змін показників надійності теплопроводів за період експлуатації 9–36 років і визначені їх максимальні, мінімальні і середні значення.

Встановлено, що залежність параметра потоку відмов, часу напрацювання на відмову й імовірності безвідмовної роботи ремонтуємих трубопроводів магістральних теплових мереж від строку експлуатації включає три періоди: I – 25–27 років; II – 25–27÷29–30 років; III – 29–30 ÷ 36 років.

При цьому:

- параметр потоку відмов збільшується в I періоді, зменшується в II-му й різко збільшується в III-му.
- час напрацювання на відмову зменшується в I періоді, збільшується в II і різко зменшується в III-му;
- імовірність безвідмовної роботи зменшується в I періоді, збільшується в II-му і різко зменшується в третьому періоді.

Максимальне значення параметра потоку відмов трубопроводів магістральних теплових мереж за період експлуатації 9–36 років складало 0,784 1/км·рік, мінімальний – 0,234, 1/км·рік, а середній - 0,43 1/км·рік.

Мінімальне значення часу напрацювання на відмову трубопроводів магістральних теплових мереж за вказаний період експлуатації становить 1,29 км·рік, максимальний – 4,68 км·рік, середній – 2,61 км·рік.

Імовірність безвідмовної роботи трубопроводів магістральних теплових мереж за вказаний період експлуатації має максимальне значення 0,78, мінімальне 0,46, при цьому середнє значення складає 0,71.

Методом статистичного моделювання одержані статистичні моделі залежності параметра потоку відмов, часу напрацювання на відмову, імовірності безвідмовної роботи трубопроводів магістральних теплових мереж від строку експлуатації, що дозволяє прогнозувати їх надійність на значний період.

Список використаної літератури:

1. Родичев Л. В. Статистический анализ процесса коррозионного старения теплопроводов / Л. В. Родичев // Строительство трубопроводов. – 1994. – № 9. – С. 9–11.
2. Сазонов Э. В. К вопросу диагностирования состояния инженерных систем / Э. В. Сазонов, М. С. Кононова // Изв-я вузов. – 1999. – № 6. – С. 93–96.
3. Минич Э. П. О повреждаемости тепловых сетей и резервировании источников для тепловых потребителей первой категории / Э. П. Минич, П. Н. Кнотько // Промышленная энергетика. – 1980. – № 5. – С. 42 – 43.
4. Ионин А. А. Надежность систем тепловых сетей / А. А. Ионин. – М.: Стройиздат, 1989. – 268 с.

5. Малявина О. Н. Анализ повреждаемости трубопроводов магистральных тепловых сетей // Малявина О. Н. Научный вестник строительства: Науч.-техн. сб. Вып. 1 (75): ХДТУБА, 2014. – С.72–77.
6. Стрижевский И. В. Защита подземных теплопроводов от коррозии /И. В. Стрижевский, М. А. Суриц. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 344 с.
7. Глюза А. Т. Прогнозирование повреждаемости подземных тепловых сетей / А. Т. Глюза, Б. В. Яковлев, Ю. Д. Лысенко, М. Я. Мельцер, О. Ф. Шленок // Теплоэнергетика. – 1989. – № 6. – С. 18–21.
8. Соколов Е. Я. Количественный расчет надежности систем теплоснабжения / Е. Я. Соколов, А. В. Извеков // Теплоэнергетика. – 1990. – № 9. – С. 14–15.
9. Сазонов Э. В. Реализация метода прогнозирования состояния трубопроводов тепловых сетей на ЭВМ / Э. В. Сазонов, А. А. Кононов, М. С. Кононова // Изв-я Вузов. Строительство. – 2001. – № 7. – С. 68–70.
10. Сазонов Э. В. Определение эмпирических функций распределения отказов городских теплопроводов / Э. В. Сазонов, М. С. Кононова // Известия вузов. Строительство. – 2000. – № 2–3. – С. 62–64 с.
11. Лобко О. Н. Методика анализа повреждаемости трубопроводов / О. Н. Лобко // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. ХНАМГ. – К.: Техника, 2010. – Вып. 93. – С. 321–324.
12. Лобко О. М. Методика вибору шагу експлуатації теплопроводів при дослідженні їх пошкоджуваності / О. М. Лобко // Научный вестник строительства. – Харьков: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2010. – Вып.58. – С. 196–202.

Referenses:

1. Rodihev L.V. Rodichev, L.V. «Statistical analysis of corrosive ageing of heat lines» [Ststistiheskii analiz processa korozionnogo starenia teploprovodov] / L. V. Rodihev // Stroitelstvo teploprovodov. – 1994. – № 9. – P. 9-11.
2. Sazonov E. V. (1999), "Regarding diagnostics of condition of engineering systems"К voprosy diagnostirovaniya sostoiania inženernix sistem / E. V.Sazonov, M. S. Kononova // *Izvestiya vuzov*, . – 1999. – № 6. – P. 93–96.
3. Minih E. P. "Regarding failure rate of heating networks and supply sources backup for 1st category heat consumers"[O povregdaemosti teplovix setei i rezervirovanii Istohnikov dlia teplovix potrebitelei pervoi kategorii] /E. P. Minih, P. N. Knotko// *Promiwlennaia energetika*. – 1980. – № 5. – P. 42 – 43.
4. Ionin A. A. (1989), Reliability of heat networks systems [Nadezhnost teplovych sistem]// Stroyizdat, Moscow, 268 p.
5. Malyavina O. N. "Analysis of failure rate of main pipelines of heat supply networks", *Naukovyi visnyk budivnytstva. A collection of science and research papers, KhDTUBA* [Analiz povregdaemosti tryboprovodov magistralnix teplovix setei] /O. N. Malyavina. *Naykovii visnik bydivnictva: nayk.-tech.sb. Vip. 1 (75): XDTYBA*, 2014. – P. 72–77.
6. Strigevskaa I. V. Protection of underground heat conduits from corrosion [Zawita podzemnix teploprovodov] /I. V. Strigevskaa, M. A. Syris. – М.: Energoatomizdat, 1983. – 344 p.
7. Glyuza A.T., . "Underground heat networks failure prediction", [Prognozirovanie povregdaemosti podzemnix teplovix setei] / Yakovlev B.V., Lysenko Yu.D., Meltser M.Ya., Shlenok O. F // *Teploenergetika*. – 1989. – № 6. – P. 18–21.
8. Sokoloc E. I. "Quantitative reliability analysis for heat supply systems" [Kolihestvnnii raset nadegnosti sistem teplosnabgenia] / E. I. Sokolov, A. V. Izvekov // *Teploenergetika*. – 1990. – № 9. – P. 14–15.
- 9.Sazonov E. V. "Application of the method of prediction of heat network pipelines condition on ECM", [Realizacia metoda prognozirovaniya sostoiania tryboprovodov teplovix cetei na EVM] Kononov A.A., Kononova M.S. // *Izvestiya vuzov. Construction*. – 2001. – № 7. – P. 68–70.
10. Sazonov E. V. "Determination of empirical functions of city heat lines failure distribution " [Opredelenie emperiheskix fyunkcii raspredelenia otkazov gorodskix teploprovodov] / E. V. Sazonov, M. S. Kononova // *Izvestiya vuzov. Construction*. – 2000. – № 2 – 3. – P. 62–64.
11. Lobko O. N. Method of analysis of pipelines failure rate", *Komunalnoe khozyastvo gorodov. A collection of science and research papers of KhNAMG* [Metodika analiza povregdaemosti / O. N. Lobko // *Kommynalnoe hozyaistvo gorodov: Naych.-texn. sb. XNAGX*]. - K.:Technika, 2010. – Vup.93. – P. 321–324.
12. Lobko O. N."Method for selection of operation period of heat conduits when studying their failure rate" [Metodika vibory wagy ecsplyatacii teploprovodiv pri doslidgenni ix powkodgyvanosti] / O. N. Lobko // *Naykovss visnik bydivnsetva*. – X: XDTYBA, ХОТВ АБУ. – 2010. – Vup. 58. – P. 196–202.

Поступила в редакцию 05.06 2015 г.