

УДК 697.34

О. М. МАЛЯВИНА

Харківська національна академія міського господарства, г. Харків

## СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТЕПЛОПРОВІДІВ І ТРУБОПРОВІДІВ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

*Исследуются зависимости параметра потока отказов, время наработки на отказ и вероятность безотказной работы в зависимости от срока эксплуатации трубопроводов теплоснабжения: подающего, обратного и трубопроводов горячего водоснабжения методами статистического моделирования.*

**Ключевые слова:** тепловые сети, время наработки на отказ, повреждаемость, надежность, теплоснабжения, трубопровод, параметр потока отказов, вероятность, анализ, статистическая модель, эксплуатация.

*Досліджуються залежності параметру потоку відмов, час напрацювання на відмову і імовірність безвідмовної роботи в залежності від строку експлуатації трубопроводів теплопостачання: подаючого, зворотнього і трубопроводів гарячого водопостачання методами статистичного моделювання.*

**Ключові слова:** теплові мережі, час напрацювання на відмову, пошкоджуваність, надійність, теплопостачання, трубопровід, параметр потоку відмов, імовірність, аналіз, статистична модель, експлуатація.

### Введение

Надійність в забезпеченні житлових, громадських і промислових будівель тепловою енергією і гарячою водою можлива лише при надійному функціонуванні трубопроводів теплових мереж.

Необхідність значення розподілу пошкоджуваності трубопроводів теплопостачання подаючого (Т1), зворотнього (Т2) і трубопроводів гарячого водопостачання подаючого (Т3) витікає в першу чергу з забезпеченості надійності Т1 і Т2 особливо в умовах значного недофінансування і відповідно недовиконання планових ремонтних робіт в умовах економічної кризи. Крім того, на основі аналізу пошкоджуваності трубопроводів Т1, Т2, Т3 можливе ефективне планування заходів по їх технічній експлуатації.

Циркуляційний трубопровід гарячого водопостачання Т4 демонтований в значній частині теплових мереж систем централізованого теплопостачання.

Із літератури відомо, що пошкоджуваність трубопроводів Т1 більша, ніж трубопроводів Т2 і змінюється в межах від  $1,5 \div 3,5$  до  $5 \div 6$  [1-6], а аналіз по пошкоджуваності трубопроводів гарячого водопостачання Т3 відсутній.

Виходячи з цього необхідно уточнити значення пошкоджуваності трубопроводів Т1, Т2, визначити пошкоджуваність трубопроводів Т3 і одержати статистичні моделі залежності показників надійності вказаних трубопроводів від строку їх експлуатації.

### Основна частина

У зв'язку з тим, що на показники надійності теплових мереж впливають значна кількість факторів, оцінити вплив кожного з них окремо і в комплексі дуже важко, то доцільно використовувати методи статистичного моделювання, які враховують вплив всіх факторів на показники надійності.

В роботах [7-9] наведені результати визначення показників надійності теплопроводів з використанням методів статистичного моделювання. Однак, відсутність даних по пошкодженням трубопроводів за значний період їх експлуатації не дозволяє використовувати вказані залежності для розрахунку показників надійності трубопроводів на значний період їх експлуатації.

Надійність ремонтуємих трубопроводів теплових мереж визначається параметром потоку відмов  $\omega$ , часом напрацювання на відмову  $t_p$  та імовірністю безвідмовної роботи  $P(t)$  [13].

Параметр потоку відмов  $\omega$ , визначається:

$$\omega = n/L \text{ (1/км·рік)} \tag{1}$$

де:  $n$  – число відмов за рік;

$L$  – довжина теплопроводів, км

Час напрацювання на відмову  $t_p$ , визначається:

$$t_p = 1/\omega \tag{2}$$

Імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  може бути обчислена:

$$P(t) = e^{-\omega t} \tag{3}$$

де:  $e$  – основа натурального логарифма;

$t$  – час за який наступає  $n$  відмов

Як видно з наведених вище залежностей основним показником надійності є параметр потоку відмов  $\omega$ , на базі якого визначаються  $t_p$  і  $P(t)$ .

Для одержання статистичних моделей показників надійності теплових мереж були використані дані по пошкоджуваності теплопроводів за період 2003–2005 р.р. довжиною 703,2 км, побудованих у 1968–1996 р.р., підключених до 84 ЦТП КП ХТМ.

Дослідження показників надійності трубопроводів теплових мереж проводились з використанням методик [11–12].

Результати досліджень залежності параметру потоку відмов ремонтуємих трубопроводів Т1, Т2, Т3 від строку їх експлуатації приведено на рис. 1.

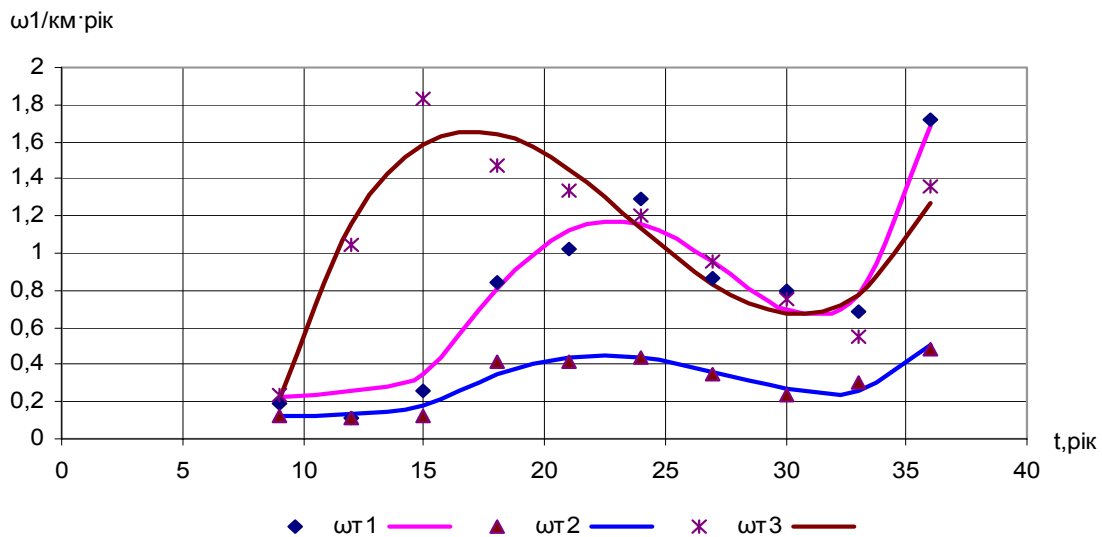


Рис. 1. Залежність параметру потоку відмов трубопроводів Т1, Т2, Т3 від строку експлуатації

Як видно з рис. 1. характер зміни параметру потоку відмов трубопроводів Т1, Т2, Т3 ідентичний і складається з трьох періодів:

– I період: збільшення параметру потоку відмов з 9 до 20–23 років трубопроводів Т1, Т2 і 15–18 років Т3 ;

– II період: зменшення параметру потоку відмов в період від 20–23 у подаючому трубопроводі T1 і зворотньому трубопроводу T2 до 30–33 років та трубопроводу гарячого водопостачання T3 з 15–18 до 30–33 років експлуатації теплових мереж;

– III період: стрімкого збільшення параметру потоку відмов з 30–33 до 36 років та імовірно і в подальшому ідентичний для всіх видів трубопроводів.

Згідно рис. 1, значення параметру потоку відмов трубопроводів T1 більше за аналогічний показник для трубопроводу T2.

Відношення параметру потоку відмов трубопроводів T1 і T2 збільшується із збільшенням періоду експлуатації. Це пояснюється більш вагомих впливом тиску і температури теплоносія при зменшенні товщини стінки труби впродовж експлуатації.

Слід відмітити, що динаміка параметру потоку відмов трубопроводів T2 в порівнянні з зміною параметру потоку відмов в трубопроводі T1, більш плавна (спокійна), це пояснюється меншими значеннями тиску і температури і їх коливанням.

Максимальне значення параметру потоку відмов для T1 і T2 припадає на 20–23 рік експлуатації для I періоду, що корелюється з нормативним строком служби теплопроводів [10], а min (II–III періоди) припадає на 30–33 роки для вище вказаних трубопроводів.

Підвищення рівня пошкоджуваності теплопроводів T1, T2 до 20–23 років експлуатації пояснюється зменшенням з часом товщини стінки теплопроводів внаслідок їх корозії, особливо на ділянках, де її дія є найбільш інтенсивною.

У подаючому трубопроводі T1 та зворотньому T2 зменшення потоку відмов відбувається з 20–23 до 30–33 років для II періоду експлуатації пояснюється реновацією (капітальним ремонтом) найбільш пошкоджуваних ділянок трубопроводів.

Після 30–33 років експлуатації, в основному, в наслідок дії корозійних процесів, які усугубляються збільшенням впливу тиску на стінки трубопроводів, починається масове руйнування тіла труб.

Значення параметру потоку відмов пошкоджуваності теплопроводів T3 відрізняється від аналогічного показника трубопроводів T1 і T2.

Параметр потоку відмов T3 збільшується при збільшенні строку експлуатації і досягає max значення в 15–18 років у I період, що відповідає строку служби трубопроводів системи гарячого постачання [10]. У II період з 15–18 до 30–33 років параметр потоку відмов зменшується за рахунок реновації найбільш пошкоджених ділянок трубопроводів.

Після 30–33 років як і для T1, T2 настає масове руйнування тіла труб.

Відміна в пошкоджуваності трубопроводів T3 пояснюється тим, що при однакових умовах експлуатації T1, T2, T3 інтенсивність корозії зовнішньої поверхні вказаних теплопроводів в основному однакова, але корозія внутрішньої поверхні трубопроводу T3 більша, за рахунок того, що на відміну від підготовленого теплоносія, який знаходиться в трубах T1, T2, вода, яка знаходиться в трубопроводах T3 не проходить хімічної підготовки, а значить її корозійність більша [3, 13].

Максимальне відношення параметру потоку відмов теплопроводів T3 по відношенню до такого ж показника для трубопроводів T1 у I період експлуатації до капітального ремонту досягає максимального значення на 15–18 рік експлуатації.

Різке падіння параметрів потоку відмов трубопроводів T3 після 18 років експлуатації і незначна відміна його порівняно з T1 в подальшому процесі експлуатації пояснюється більшою кількістю заміненних ділянок трубопроводів T3 на нові.

Процентне співвідношення значень параметру потоку відмов за вказаний період експлуатації (9–36 років) для трубопроводів T1, T2, T3 приведене на рис. 2.

Таким чином, в загальній кількості пошкоджень трубопроводів теплових мереж 37 % припадає на пошкодження T1, 14 % – на пошкодження T2 і 49 % на пошкодження T3. Причини вказаного розподілу наведені вище.



Рис. 2. Процентне співвідношення параметру потоку відмов для трубопроводів T1, T2, T3

В результаті обробки даних по пошкоджуваності трубопроводів T1, T2, T3 одержані статистичні моделі залежності параметру потоку відмов від строку експлуатації  $t$ , вказаних трубопроводів:

$$\omega_{T1} = 11,199 - 2,668 t + 0,219 t^2 - 0,0072t^3 + 0,0001 t^4. \quad (4)$$

Статистичні характеристики побудованої моделі:

Коефіцієнт кореляції:  $R=0,98$ ;

Коефіцієнт детермінації (нормуємий):  $R^2=0,94$ ;

Стандартна помилка –  $S=0,12$ ;

Значимість параметрів  $b_i$  – усі значимі;

Модель є адекватною з імовірністю  $P=0,95$ .

$$\omega_{T2} = 3,34 - 0,791 t + 0,0658 t^2 - 0,0022t^3 + 0,00003 t^4, \quad (5)$$

$$R=0,96; R^2=0,85; S=0,06, b_i\text{- усі значимі, } P=0,95,$$

$$\omega_{T3} = -6,911 + 1,237 t - 0,0566 t^2 + 0,0008t^3, \quad (6)$$

$$R=0,95; R^2=0,86, S=0,18, b_i\text{- усі значимі, } P=0,95.$$

Співставляючи дані одержані автором з літературними джерелами можна відмітити наступне: більше значення параметру потоку відмов подаючого теплопроводу T1 пояснюється тим, що умови для розвитку корозії і її швидкість більші [7, 15], тиск і температура теплоносія і трубопроводах T1 більші, ніж в трубопроводах T2, що також збільшує кількість пошкоджень [3–4, 6]. Вказані причини пояснюють отримані нами результати.

Порівнюючи отримане відношення параметру потоку відмов трубопроводів T1 і T2, можна відзначити, що воно більше одиниці, як і в літературних джерелах [1–2]. При чому, середнє значення цього відношення, корелюється із значенням 1,5–3,5 [4] менше значення в 5–6 раз [5].

Відмінність в значеннях параметру потоку відмов трубопроводів T1 і T2, які наведені в літературі, може бути пояснена відмінністю в умовах їх експлуатації і періоду спостереження за пошкоджуваністю трубопроводів T1, T2, T3.

Важливим експлуатаційним показником надійності трубопроводів теплових мереж є час напрацювання на відмову  $t_p$ .

Використовуючи одержані статистичні моделі залежності параметру потоку відмов від строку експлуатації трубопроводів Т1, Т2, Т3 (4–6) і використовуючи формулу (2) одержуємо залежності часу напрацювання на відмову для вказаних трубопроводів:

$$t_{pT1} = \frac{1}{11,199 - 2,668t + 0,219t^2 - 0,00072t^3 + 0,0001t^4} \quad (7)$$

$$t_{pT2} = \frac{1}{3,34 - 0,791t + 0,0658t^2 - 0,0022t^3 + 0,00003t^4} \quad (8)$$

$$t_{pT3} = \frac{1}{-6,911 + 1,237t + 0,0566t^2 - 0,0008t^3} \quad (9)$$

На рис. 3 приведені розраховані за формулами (7-9) графічні залежності часу напрацювання на відмову від строку експлуатації трубопроводів Т1, Т2, Т3.

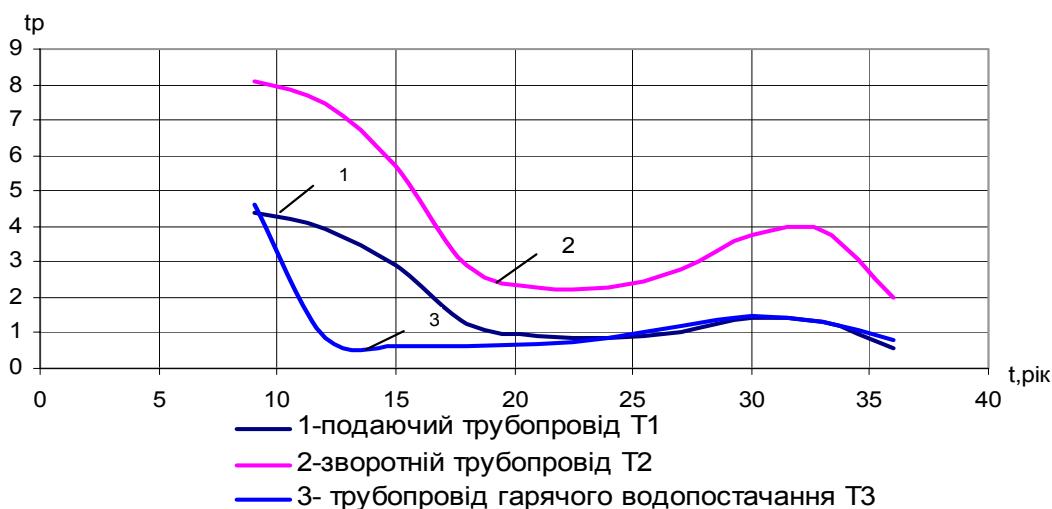


Рис. 3. Залежність часу напрацювання на відмову від строку експлуатації трубопроводів Т1, Т2, Т3

Характер залежності часу напрацювання на відмову від строку експлуатації трубопроводів Т1, Т2, Т3 ідентичний, а значення величини t<sub>p</sub> зворотнього – пропорційне відповідним значенням параметру потоку відмов.

Найбільше значення часу напрацювання на відмову притаманне для трубопроводів Т2, значення якого з 9 років експлуатації зменшується до 20–23 років експлуатації, збільшується до 30–33 років експлуатації, після цього періоду зменшується з подальшим строком експлуатації.

Найменше значення t<sub>p</sub> характерне для трубопроводів Т3 і при зміні його значення з 9 років експлуатації, досягає мінімального значення 15–18 років експлуатації і збільшується до 30–33 років з подальшим зменшенням після вказаного строку.

Для трубопроводів Т1 характер зміни t<sub>p</sub> аналогічній зміні вказаного показника для трубопроводів Т3 з меншим його значенням в I період з 9 до 30–33 років експлуатації, більшим для III періоду 30–33 до 36 років. Така залежність t<sub>p</sub> для трубопроводів Т1, Т2, Т3 пояснюється умовами їх експлуатації, які приведені вище.

Важливим показником надійності трубопроводів теплових мереж є імовірність безвідмовної роботи P(t).

Імовірність безвідмовної роботи ремонтуємих трубопроводів теплових мереж P(t) може бути обчислена за формулою (3) на основі одержаних статистичних моделей залежності параметру потоку відмов ω від строку експлуатації трубопроводів Т1, Т2, Т3 (4–6).

Таким чином, імовірність безвідмовної роботи трубопроводів Т1, Т2, Т3 може бути обчислена:

$$P(t)_{T1} = e^{-t(11,199 - 2,668 t + 0,219 t^2 - 0,0072 t^3 + 0,0001 t^4)}, \quad (10)$$

$$P(t)_{T2} = e^{-t(3,34 - 0,791 t + 0,0658 t^2 - 0,0022 t^3 + 0,00003 t^4)}, \quad (11)$$

$$P(t)_{T3} = e^{-t(-6,911 + 1,237 t + 0,0566 t^2 - 0,0008 t^3)}. \quad (12)$$

На рис. 4 приведений розрахований за формулами (10)–(12) графік імовірності безвідмовної роботи трубопроводів Т1, Т2, Т3 за роки їх експлуатації.

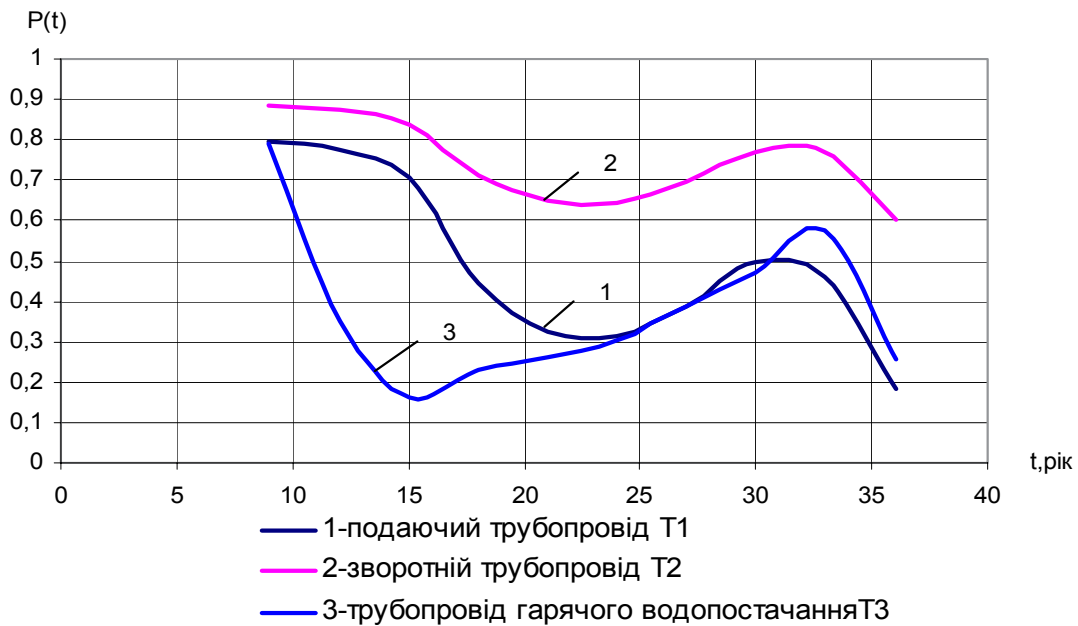


Рис. 4. Імовірність безвідмовної роботи трубопроводів Т1, Т2, Т3 за роки їх експлуатації

Із рис. 4 видно, що характер зміни  $P(t)$  для різних строків експлуатації трубопроводів Т1, Т2, Т3 ідентичний і відповідає зміні часу напрацювання на відмову. Це пояснюється тим, що чим менше параметр потоку відмов, тим більший час напрацювання на відмову, і тим більша імовірність безвідмовної роботи трубопроводів теплових мереж.

Для кожного із трубопроводів Т1, Т2, Т3 імовірність безвідмовної роботи складається з трьох періодів відповідно до зміни параметру потоку відмов (рис. 1) і часу напрацювання на відмову (рис. 2)

Таким чином, імовірність безвідмовної роботи трубопроводів Т1, Т2, Т3 для різних строків експлуатації має ідентичний характер і найбільше значення притаманне трубопроводам Т3, а найменше Т2.

### Висновки

1. Залежність параметру потоку відмов трубопроводів Т1, Т2, Т3 від строку їх експлуатації включає три періоди:

I-збільшення  $\omega$  трубопроводів за рахунок корозії;

II- зменшення  $\omega$  при капітальному ремонті найбільш пошкоджуваних ділянок трубопроводів;

III-збільшення  $\omega$  за рахунок різкого зменшення товщини стінки труб при їх корозії.

2. Підтверджено, що пошкоджуваність трубопроводів Т1 більше ніж трубопроводів Т2;

Встановлено, що пошкоджуваність трубопроводів Т3 в основному більша за



пошкоджуваність трубопроводів Т1.

4. Осереднене за період експлуатації співвідношення параметру потоку відмов трубопроводів складає: 49 % – Т3, 37 % – Т1, 14 % – Т2.

5. Одержано статистичні моделі для розрахунку показників надійності параметрів потоку відмов, часу напрацювання на відмову, імовірності безвідмовної роботи трубопроводів Т1, Т2, Т3.

### Список літератури

1. Соколов Е. Я., Извеков А. В., Малофеев В.А. Нормирование надежности систем централизованного теплоснабжения // «Электрические станции». – 1993. – № 12. – С. 20–24.
2. Вопросы повышения надежности и долговечности подземных теплопроводов. Сурис М. А., Витальев В. П. // «Теплоэнергетика». 1982. – № 8. – С. 34–37.
3. Громов Н. К. Городские теплофикационные системы. – М.: Энергия. – 1974. – 256 с.
4. Глюза А. Т., Яковлев Б. В., Лысенко Ю. Д., Мельцер М. Я., Шленок О. Ф. Прогнозирование повреждаемости подземных тепловых сетей // «Теплоэнергетика». – 1989. – № 6. – С. 18–21.
5. Альбертинский Л. И., Липовских В. М. Пути увеличения срока службы тепловых сетей // «Энергетик». 1990. – № 10. – С. 15–16.
6. Стрижевский И. В., Сурис М. А. Защита подземных теплопроводов от коррозии М.: Энергоатомиздат, 1983. – 344 с.
7. Умеркин Г. Х., Дроздов С. А., Гончаров А. М., Демиденко Н. Н. Определение остаточного ресурса тепловых сетей по статистическим данным об авариях // «Новости теплоснабжения». 2007. – № 11. – С. 42–46.
8. Количественный расчет надежности систем теплоснабжения/ Соколов Е. Я., Извеков А. В. // «Теплоэнергетика». 1990. – № 9. – С. 14–15.
9. Соколов Е. Я., Извеков А. В., Малофеев В. А. Нормирование надежности систем централизованного теплоснабжения // «Электрические станции». 1993. – № 12. – С. 20–24.
10. Письмо Минфин УССР от 29.01.91 № 04-503-3 «Единые нормы амортизационных отчислений на полное восстановление основных средств».
11. Лобко О. М. Методика анализа повреждаемости трубопроводов. Коммунальное хозяйство городов: Научн.-техн. сб. Вып. 93.: Техника, 2010. С. 321–324.
12. Лобко О. М. Методика вибору шагу експлуатації теплопроводів при дослідженні їх пошкоджуваності. Науковий вісник будівництва: Наук.-техн. сб. Вып. 58.: ХДТУБА, 2010. – С. 196–202.
13. Ионин А. А. Надежность систем тепловых сетей. – М.: Стройиздат, 1989. – 268 с.

### STATISTICAL DESIGN OF RELIABILITY OF HOT-WATER SYSTEMS AND PIPELINES OF HOT WATER-SUPPLY OF THERMAL NETWORKS INDEXES

O. M. MALJAVINA

*There should be studied dependence of failures flow parameter, time between failures and the probability of failure-free operation depending on operation term of heat-supply pipelines: supply, reverse and hot-water supply pipelines, using methods of statistical modeling.*

**Keywords:** *thermal networks, time of work on a refuse, povrezhdaemost', reliability, teplosna bzheniya, pipeline, parameter of stream of refuses, probability, analysis, statistical model, exploitation.*

*Поступила в редакцию 23.11 2010 г.*