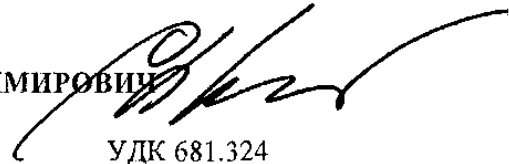


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

КАДИГРОБ СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 681.324

**УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ У
БАГАТОЕЛЕМЕНТНІЙ МЕРЕЖІ МІСЬКОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ**

Спеціальність 05.13.03 – системи та процеси керування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків–2012

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі комп'ютерного моніторингу і логістики в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Раскін Лев Григорович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут",
завідувач кафедри комп'ютерного моніторингу і логістики

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Суздаль Віктор Семенович,
Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України,
старший науковий співробітник відділу
технології вирощування монокристалів

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник, доцент
Бобух Анатолій Олексійович,
Харківська національна академія міського господарства
доцент кафедри теплохолодопостачання

Захист відбудеться *24 вересня* 2012 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий *24.09.* 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



І.Г. Ліберг

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема підвищення якості функціонування водогінних мереж належить до числа загальних проблем забезпечення належної ефективності експлуатації складних систем управління, забезпечує життєдіяльність важливих виробничих об'єктів.

У багатьох випадках виникнення відмови під час реалізації технологічного процесу призводить до незворотних наслідків і великих втрат. Зокрема, виникнення відмови (аварії) в системі водопостачання призводить до істотних витрат, які необхідні для ліквідації наслідків аварії. Природний шлях підвищення безвідмовності техніки за рахунок удосконалення елементної бази вимагає великих витрат і вже не може забезпечити задоволення зростаючих вимог до надійності сучасних складних систем.

У зв'язку з цим все важливішого значення набуває напрямок, пов'язаний з удосконаленням системи управління експлуатацією техніки, зокрема, з оптимізацією стратегії технічного обслуговування. Методики вирішення задач раціональної організації функціонування системи технічного обслуговування (СТО) засновані на використанні математичних моделей процесу управління експлуатацією об'єктів діагностики в режимах застосування за призначенням, власне обслуговування, ремонту. Розробці таких моделей присвячено значну кількість робіт зарубіжних і вітчизняних авторів. Разом з тим, незважаючи на велику кількість і різноманітність публікацій з цієї проблематики, залишається недостатньо опрацьованим ряд важливих завдань. Ці завдання, з одного боку, пов'язані з необхідністю вдосконалення і подальшого розвитку математичних методів управління розподіленими системами обслуговування, а, з іншого, з використанням цих методів для отримання конкретних рекомендацій щодо розрахунку оптимальних параметрів систем обслуговування. Сучасні моделі технічного обслуговування систем мають враховувати різноманітність чинників зовнішнього середовища, які впливають на ефективність і якість експлуатації об'єктів обслуговування, а також випадковий характер цих чинників і динаміку умов експлуатації. Математичний апарат, який при цьому використовується, має адекватно відображати зазначені властивості зовнішнього середовища і забезпечувати оптимальне управління системою технічного обслуговування об'єктів експлуатації з урахуванням динаміки умов їх функціонування. Вирішення вказаних задач визначило напрямок досліджень дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі комп'ютерного моніторингу і логістики НТУ «ХПІ». Здобувач, як виконавець, проводив дослідження у рамках держбюджетної НДР МОН України: «Розробка інформаційних моделей для реалізації процедур структурного синтезу в комп'ютерно-інтегрованих системах» (ДР №0103U001543); у госпрахунковому НДР: «Управління технічним обслуговуванням багатоелементної системи розподілу води» (КП ВТП «Вода», м. Харків); у НДР у рамках договорів про наукове співробітництво: «Розробка методики оцінки ефективності системи технічного діагностування старіючих систем управління технічним процесом вирощування монокристалів» (Інститут скінтіляційних матеріалів, м. Харків),

«Розробка математичних моделей надійності систем, які експлуатуються у зовнішньому середовищі, що змінюється» (Інститут сцинтиляційних матеріалів, м. Харків).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності системи управління водопостачанням шляхом оптимізації параметрів системи технічного обслуговування (СТО) на основі математичних моделей експлуатації старіючих технологічних систем з урахуванням динаміки і випадкового характеру умов їх експлуатації. Для досягнення поставленої мети в роботі були сформульовані та вирішені такі завдання:

– розробка моделей функціонування системи управління технічним обслуговуванням старіючих багатоелементних систем на основі математичного апарату марківських і напівмарківських процесів;

– розробка методики оцінки та прогнозування безвідмовності багатоелементних систем на основі багатофакторних стохастичних моделей з урахуванням динаміки умов їх експлуатації;

– розробка методики раціонального управління технічним обслуговуванням багатоелементної мережі міського водопостачання з урахуванням динаміки пріоритетів.

Об'єктом дослідження – процес управління технічним обслуговуванням старіючих технологічних систем.

Предмет дослідження – техніко-економічні параметри систем управління технічним обслуговуванням багатоелементних систем.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у роботі використовувалися методи: теорії ймовірностей і випадкових процесів під час побудови марківських і напівмарківських моделей функціонування систем технічного обслуговування; математичної статистики в задачі оцінювання інтенсивності відмов системи за реальними даними експлуатації; математичного програмування в задачі керування раціональною організацією обслуговування багатоелементних системи. Інформаційну базу дослідження становлять статистичні дані про аварії елементів систем водопроводу, представлені КП ВТП «Вода».

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

вперше:

– отримано комплекс напівмарківських моделей функціонування СТО старіючих об'єктів, що дозволяють урахувати поступовий характер виникнення й розвитку аварійної ситуації;

– отримана методика управління процесом контролю систем у разі неповної інформації про їх безвідмовності, яка, на відміну від відомих, дозволяє врахувати двоетапний характер виникнення й розвитку аварії в багатоелементній системі водопостачання;

удосконалено технологію раціональної організації процедур технічного обслуговування, яка враховує багатоелементний характер системи й динаміку пріоритетів;

одержали подальший розвиток:

– методи оцінки та прогнозування безвідмовності складних старіючих систем, які відрізняються урахуванням багаторівневого характеру невизначеності в параметрах стохастичних моделей надійності систем.

Практичне значення отриманих результатів в галузі управління технічним обслуговуванням складних систем полягає в методології оцінки параметрів керування для старіючих технологічних об'єктів.

Обґрунтовані методи управління практично використані при розв'язанні конкретних задач управління технічним обслуговуванням складних системи. Методику оптимізації параметрів системи технічного обслуговування багатоеlementної мережі міського водопроводу використано для КП ВТП «Вода» (м. Харків). Оцінки безвідмовності систем з урахуванням умов їх експлуатації впроваджено в Інституті сцинтиляційних матеріалів (м. Харків).

Розроблені методики використані в навчальному процесі кафедри комп'ютерного моніторингу і логістики НТУ«ХП» в курсах: «Теорія випадкових процесів», «Математичні методи дослідження операцій».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, які виносяться на захист, одержані здобувачем особисто, серед них – модель обліку умов і режиму експлуатації системи; методика оцінювання та прогнозування безвідмовності складних систем з урахуванням динаміки умов їх експлуатації; методика керування організацією технічним обслуговуванням системи об'єктів з урахуванням динаміки їх пріоритетів; математична модель, що дозволяє описати залежність середньої частоти відмов від величини факторів і виявити умови експлуатації елементів системи водопроводу.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на: ХІХ-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, утворення, здоров'я» (Харків, 2011) та VII Науковій конференції Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору» (Харків, 2011).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 6 наукових публікаціях, з них 4 статті у наукових фахових виданнях України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури. Повний обсяг дисертації становить 163 сторінок; з них 10 рисунків за текстом; 4 рисунки на 5 окремих сторінках; 6 таблиць за текстом; 6 таблиці на 16 сторінках; списку використаних літературних джерел з 70 найменувань на 6 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

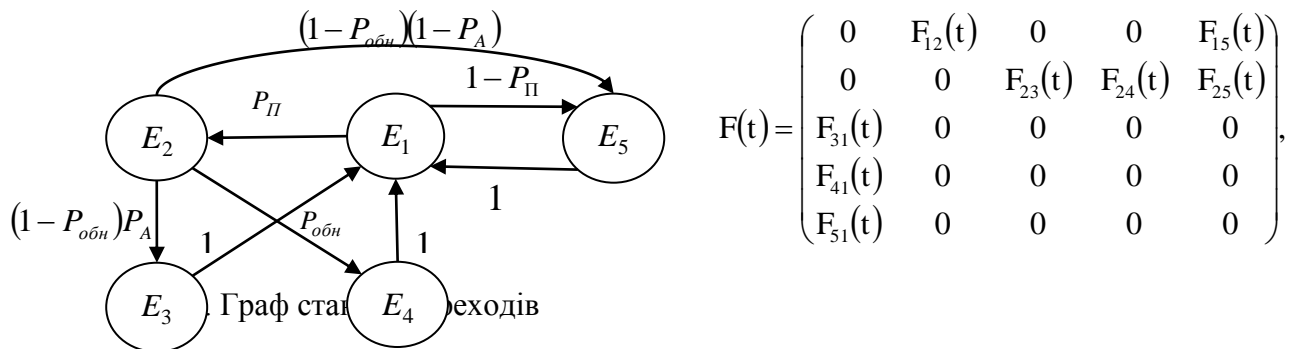
У **вступі** обґрунтовано актуальність і доцільність дисертації, сформульовано її мету й задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

Перший розділ присвячено огляду існуючих підходів до експлуатації та обслуговування систем водопостачання. Проаналізовано аналіз відомих моделей систем технічного обслуговування. Виявлено недоліки моделей функціонування систем технічного обслуговування. Сформульовано напрям досліджень, яке засновано на обліку впливів умов та режиму експлуатації системи обслуговування на безвідмовність елементів системи.

У **другому розділі** розроблено математичні моделі функціонування систем технічного обслуговування, як області керування.

Випадковий процес описується динамікою на безлічі можливих станів системи: E_1 – нормальне функціонування; E_2 – пошкодження (перед аварійний стан), виявлення (невиявлення) пошкодження; E_3 – аварія, відновлення після аварії; E_4 – усунення пошкодження; E_5 – профілактика системи. Граф станів і переходів у цій системі має вигляд, поданий на рис. 1. Тут: P_{Π} – ймовірність того, що на інтервалі між контролями виникне пошкодження; $P_{обн}$ – ймовірність виявлення пошкодження; P_A – ймовірність того, що на інтервалі між контролями після невиявленого пошкодження виникне аварія.

Матриця $F(t)$ умовних законів розподілу тривалості перебування системи в можливих своїх станах до відходу має вид



де $F_{12}(t)$ – умовний закон розподілу тривалості функціонування системи до виникнення пошкодження за умови, що воно відбулося до моменту контролю; $F_{15}(t)$ – умовний закон розподілу тривалості нормального функціонування до планових профілактичних робіт за умови, що на інтервалі між контролями пошкодження не сталося; $F_{23}(t)$ – умовний закон розподілу тривалості існування невиявленого пошкодження до аварії, за умови, що вона відбулася до моменту контролю; $F_{24}(t)$ – умовний закон розподілу тривалості виявлення пошкодження за наявності системи контролю ушкоджень; $F_{25}(t)$ – умовний закон розподілу тривалості існування невиявленого пошкодження до моменту початку профілактики за умови, що на цьому інтервалі аварії не сталося; $F_{31}(t)$ – закон розподілу тривалості відновлення після аварії; $F_{41}(t)$ – закон розподілу тривалості усунення пошкодження; $F_{51}(t)$ – закон розподілу тривалості профілактичних робіт.

При цьому

$$F_{12}(t) = \begin{cases} \frac{1 - e^{-\lambda_\varepsilon t}}{1 - e^{-\lambda_\varepsilon T_0}}, & t \leq T_0, \\ 1 & t > T_0; \end{cases}$$

$$F_{15}(t) = \begin{cases} 0, & t \leq T_0, \\ 1, & t > T_0; \end{cases}$$

$$F_{31}(t) = 1 - e^{-\mu_A t},$$

$$F_{41}(t) = 1 - e^{-\mu_{\Pi t}}, \quad F_{51}(t) = \begin{cases} 0, & t < T_k, \\ 1, & t \geq T_k. \end{cases}$$

$$F_{23}(t) = \begin{cases} 1 + \frac{\lambda_\varepsilon}{\lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon} e^{-\lambda_\varepsilon^a t} - \frac{\lambda_\varepsilon^a}{\lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon} e^{-\lambda_\varepsilon t} & , t \leq T_0, \\ 1 + \frac{\lambda_\varepsilon}{\lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon} e^{-\lambda_\varepsilon^a T_0} - \frac{\lambda_\varepsilon^a}{\lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon} e^{-\lambda_\varepsilon T_0} & , t > T_0, \\ 1 & , t > T_0, \end{cases}$$

$$F_{24}(t) = \begin{cases} 0, & t = 0, \\ 1, & t > 0, \end{cases}$$

$$F_{24}(t) = \begin{cases} \frac{e^{-\lambda_\varepsilon T_0} - e^{-\lambda_\varepsilon^a t - \lambda_\varepsilon (T_0 - t)}}{e^{-\lambda_\varepsilon T_0} - e^{-\lambda_\varepsilon^a T_0}} & , t \leq T_0, \\ 1 & , t > T_0, \end{cases}$$

$$F_1(t) = P_{12}(t) + P_{15}(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda_\varepsilon t}, & t \leq T_0, \\ 1 - e^{-\lambda_\varepsilon T_0}, & t > T_0, \end{cases} + \begin{cases} 0 & , t < T_0, \\ e^{-\lambda_\varepsilon T_0} & , t \geq T_0 \end{cases} = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda_\varepsilon t} & , t \leq T_0, \\ 1 & , t > T_0; \end{cases}$$

$$F_2(t) = P_{23}(t) + P_{24}(t) = \frac{1 - P_{\text{обн}}}{1 - e^{-\lambda_\varepsilon T_0}} \left[1 + \frac{\lambda_\varepsilon}{\lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon} e^{-\lambda_\varepsilon^a t} - \frac{\lambda_\varepsilon^a}{\lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon} e^{-\lambda_\varepsilon t} + \frac{\lambda_\varepsilon}{\lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon} e^{-\lambda_\varepsilon T_0} - \frac{\lambda_\varepsilon^a}{\lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon} e^{-\lambda_\varepsilon^a t - \lambda_\varepsilon (T_0 - t)} \right] + P_{\text{обн}}.$$

З цього співвідношення, випливає, що $F_2(T_0) = 1$. Далі:

$$F_3(t) = F_{31}(t) = 1 - e^{-\mu_A t}, \quad F_4(t) = F_{41}(t) = 1 - e^{-\mu_{\Pi t}}, \quad F_5(t) = F_{51}(t) = \begin{cases} 0 & , t < T_k, \\ 1 & , t \geq T_k. \end{cases}$$

Середні тривалості перебування системи в кожному зі станів розраховуються за формулою $\bar{T}_i = \int_0^{\infty} (1 - F_i(t)) dt$.

При цьому

$$\bar{T}_1 = \int_0^{T_0} e^{-\lambda_\varepsilon t} dt = \frac{1}{\lambda_\varepsilon} (1 - e^{-\lambda_\varepsilon T_0}), \quad \bar{T}_2 = \frac{\lambda_\varepsilon^a + \lambda_\varepsilon}{(\lambda_\varepsilon^a \lambda_\varepsilon^a) (1 - e^{-\lambda_\varepsilon T_0})} - \frac{\lambda_\varepsilon^2}{\lambda_\varepsilon^a (\lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon)^2 (1 - e^{-\lambda_\varepsilon T_0})} e^{-\lambda_\varepsilon^a T_0} - \frac{T_0 \lambda_\varepsilon \lambda_\varepsilon^a (\lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon) + (\lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon)^2 + \lambda_\varepsilon \lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon^2}{\lambda_\varepsilon (\lambda_\varepsilon^a - \lambda_\varepsilon)^2 (1 - e^{-\lambda_\varepsilon T_0})} e^{-\lambda_\varepsilon T_0},$$

$$\bar{T}_3 = \frac{1}{\mu_A}, \bar{T}_4 = \frac{1}{\mu_{II}}, \bar{T}_5 = T_k.$$

Матриця ймовірностей переходів має вигляд

$$W = \begin{pmatrix} 0 & P_{12} & 0 & 0 & P_{15} \\ 0 & 0 & P_{23} & P_{24} & P_{25} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Вектор $\pi = (\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5)$ стаціонарних ймовірностей марківського ланцюга знайдемо, розв'язуючи векторно-матричне рівняння $\pi = \pi W$. Звідси

$$\pi_1 = \frac{1}{1 + P_{12} + P_{23}P_{12} + P_{24}P_{12} + P_{15} + P_{25} \cdot P_{12}},$$

$$\pi_2 = \frac{P_{12}}{1 + P_{12} + P_{23}P_{12} + P_{24}P_{12} + P_{15} + P_{25} \cdot P_{12}},$$

$$\pi_3 = \frac{P_{23}P_{12}}{1 + P_{12} + P_{23}P_{12} + P_{24}P_{12} + P_{15} + P_{25} \cdot P_{12}},$$

$$\pi_4 = \frac{P_{24}P_{12}}{1 + P_{12} + P_{23}P_{12} + P_{24}P_{12} + P_{15} + P_{25} \cdot P_{12}},$$

$$\pi_5 = \frac{P_{15} + P_{25} \cdot P_{12}}{1 + P_{12} + P_{23}P_{12} + P_{24}P_{12} + P_{15} + P_{25} \cdot P_{12}}.$$

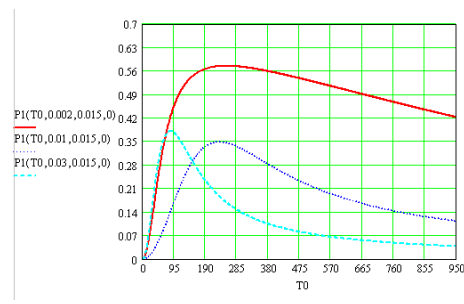
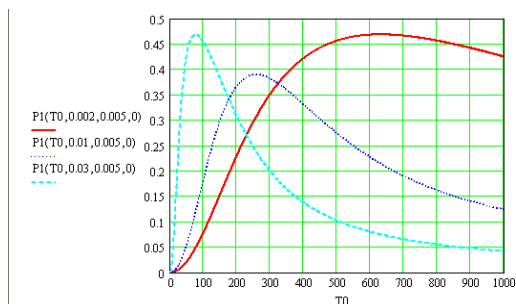
Фінальні ймовірності перебування системи на безлічі можливих станів розраховуються

за формулою $P_i = \frac{\pi_i \bar{T}_i}{\sum_{j=1}^5 \pi_j \bar{T}_j}$, $i = 1, 2, 3, 4, 5$. Тоді

$$P_1 = \frac{\bar{T}_1}{\bar{T}_1 + \bar{T}_2 P_{12} + \bar{T}_3 P_{23} P_{12} + \bar{T}_4 P_{24} P_{12} + \bar{T}_5 P_{15}} = \frac{\bar{T}_1}{A};$$

$$P_2 = \frac{\bar{T}_2 P_{12}}{A}; \quad P_3 = \frac{\bar{T}_3 P_{23} P_{12}}{A}; \quad P_4 = \frac{\bar{T}_4 P_{24} P_{12}}{A}; \quad P_5 = \frac{\bar{T}_5 P_{15}}{A}.$$

Графіки залежності ймовірності перебування системи у стані нормального функціонування від параметрів системи і зовнішнього середовища наведені на рис. 2 – 3.



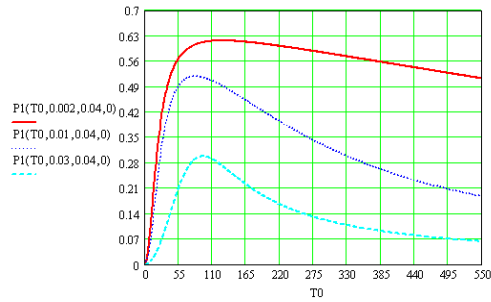


Рис. 2. Залежності ймовірності перебування системи у стані E_1 за $P_{обн} = 0$

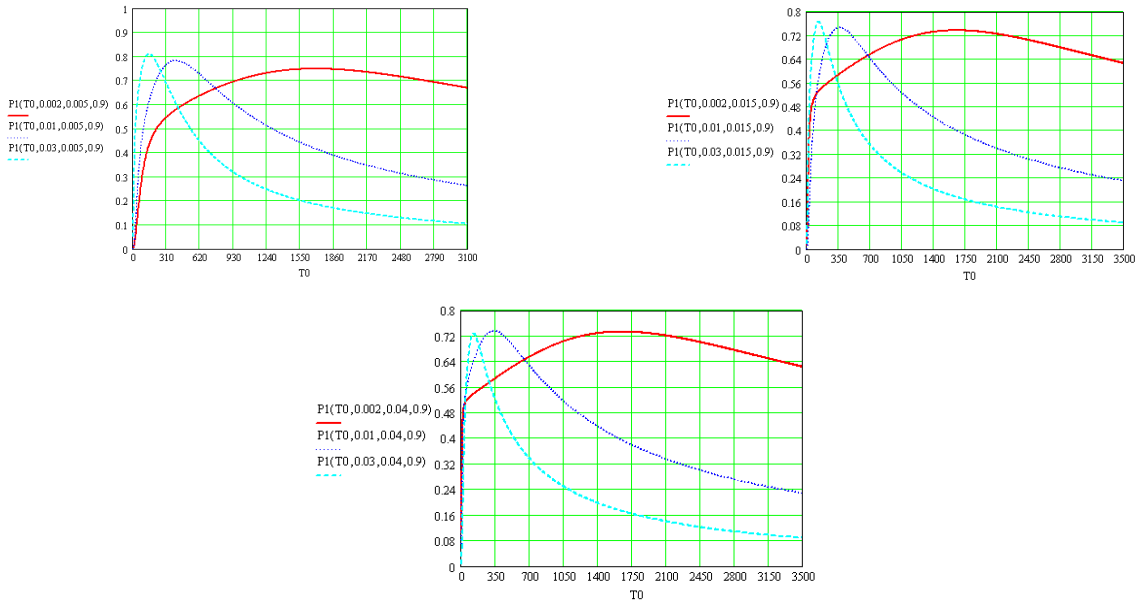


Рис. 3. Залежності ймовірності перебування системи у стані E_1 за $P_{обн} = 0.9$

У **третьому розділі** обґрунтована технологія управління організацією технічного обслуговування багатоелементної системи, яка в повному обсязі відповідає реальному процесу управління системою технічного обслуговування у багатоелементній мережі міського водопостачання. При цьому вирішується завдання оцінки і прогнозування безвідмовності складних систем з урахуванням динаміки умов експлуатації.

Введено вектор $F = (F_1, F_2, \dots, F_m)$ визначаючий набір чисельних значень факторів, що задають умови експлуатації системи. Цей набір для s -го варіанта умов експлуатації має вигляд $F_s = (F_{1s}, F_{2s}, \dots, F_{ms})$. При цьому закон зміни інтенсивності відмов системи, що функціонує в умовах F_s , описується співвідношенням

$$\lambda(F_s, t) = a_0(F_s) + a_1(F_s)t + a_d(F_s)t^d. \quad (1)$$

Нехай $a_i(F_s) = \sum_{k=1}^m C_{ik} F_{ks}$, $i = 0, 1, \dots, d$. Тоді

$$\lambda(F_s, t) = \sum_{i=0}^d \sum_{k=1}^m C_{ik} F_{ks} t^i, \quad (2)$$

а ймовірність безвідмовної роботи системи в умовах F_s на інтервалі $[0, T_s]$ дорівнюватиме

$$P_s(0, T_s) = \exp\left\{-\int_0^{T_s} \lambda(F_s, t) dt\right\} = \exp\left\{-\sum_{i=0}^d \sum_{k=1}^m C_{ik} F_{ks} \frac{T_s^{i+1}}{i+1}\right\}. \quad (3)$$

Припущено, що система функціонує в умовах F_s протягом часового інтервалу T_s до чергового контролю і h_s його результат, причому

$$h_s = \begin{cases} 1, & \text{якщо внаслідок контролю виявлена відмова;} \\ 0 & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Після цього система переходить в інший режим, умови експлуатації в якому характеризуються відповідним набором значень факторів. Процес експлуатації продовжується і за час експлуатації зміни режиму експлуатації сталися N разів. Тоді функція правдоподібності має вид

$$P = \prod_{s=1}^N [Q_s(0, T_s)]^{h_s} [P_s(0, T_s)]^{1-h_s} = \prod_{s=1}^N \left[1 - \exp\left\{-\sum_{i=0}^d \sum_{k=1}^m C_{ik} D_{iks}\right\}\right]^{h_s} \times \left[\exp\left\{-\sum_{i=0}^d \sum_{k=1}^m C_{ik} D_{iks}\right\}\right]^{1-h_s}.$$

При цьому для конкретного набору $F_{s_1} = (F_{1s_1}, F_{2s_1}, \dots, F_{ms_1})$, що характеризує s_1 -й режим експлуатації системи, відповідний закон зміни інтенсивності відмов матиме вигляд

$$\lambda(F_{s_1}, t) = \sum_{i=0}^d \sum_{k=1}^m c_{ik} F_{ks_1} t^i. \quad (4)$$

Припущено, що система пропрацювала в цих умовах протягом T_1 і потім перейшла в інший режим, умови експлуатації в якому задані набором $F_{s_2} = (F_{1s_2}, F_{2s_2}, \dots, F_{ms_2})$. Визначено закон зміни інтенсивності відмов у режимі s_2 з урахуванням ресурсу, витраченого в режимі s_1 протягом часу T_1 . Прийнято, що тривалість експлуатації в режимі s_1 протягом інтервалу T_1 еквівалентна з точки зору витраченого ресурсу тривалості експлуатації в режимі s_2 протягом T_2 , якщо $\int_0^{T_1} \lambda(F_{s_1}, t) dt = \int_0^{T_2} \lambda(F_{s_2}, t) dt$.

З урахуванням (4), отримано співвідношення

$$\sum_{i=0}^d \sum_{k=1}^m c_{ik} F_{ks_1} \frac{T_{s_1}^{i+1}}{i+1} = \sum_{i=0}^d \sum_{k=1}^m c_{ik} F_{ks_2} \frac{T_{s_2}^{i+1}}{i+1}, \quad (5)$$

яке при заданих наборах F_{s_1} , F_{s_2} і значення T_1 являє собою рівняння щодо невідомого значення T_2 , що визначає тривалість експлуатації в режимі s_2 , еквівалентну з точки зору витраченого ресурсу тривалості T_1 експлуатації в режимі s_1 .

Нехай $T_2(T_1)$ – розв’язок цього рівняння (5). При цьому, якщо тривалість експлуатації системи в режимі s_2 відраховувати, починаючи з моменту переходу в s_2 , то відповідний закон зміни інтенсивності відмов матиме вигляд $\lambda(F_{s_2}, t/T_2(T_1)) = \sum_{i=0}^d \sum_{k=1}^m c_{ik} F_{ks_2} (t + T_2(T_1))^i$

(рис. 4.).

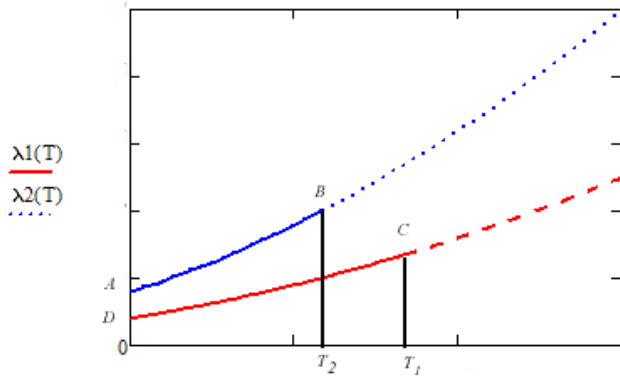


Рис.4. Облік витраченого ресурсу при заміні режиму експлуатації

Тривалість експлуатації в режимі s_2 , протягом T_2 , яка еквівалентна з точки зору витраченого ресурсу експлуатації системи в режимі s_1 протягом T_1 , відшукується з умови, що площа фігури $ODCT_1$ під кривою $\lambda(F_{s_1}, t)$ на інтервалі $[0, T_1]$ дорівнює площі $OABT_2$ під кривою $\lambda(F_{s_2}, t)$ на інтервалі $[0, T_2(T_1)]$.

Досліджено багатофакторні бівипадкові моделі безвідмовності систем. Для набору факторів $F = (F_1, F_2, \dots, F_m)$, інтенсивність відмов $\lambda(t)$, визначається співвідношенням (1).

Залежність інтенсивності відмов системи у формі (1) дозволяє вирішувати завдання оцінки і прогнозування надійності систем. Зокрема, імовірність безвідмовної роботи системи протягом інтервалу $[0, T]$ під час її експлуатації в умовах F визначається за формулою

$$P[0, T] = \exp\left\{-\int_0^T \lambda(F, t) dt\right\} = \exp\left\{-\sum_{i=0}^d a_i(F) \frac{T^{i+1}}{i+1}\right\}.$$

Досліджена ситуація, коли чисельні значення факторів F_1, F_2, \dots, F_m – випадкові величини з відомими законами розподілу $\varphi_1(F_1), \varphi_2(F_2), \dots, \varphi_m(F_m)$. При цьому значення інтенсивності відмов (1), а також імовірності безвідмовної роботи (3) теж будуть випадковими величинами. Математична модель описання імовірностей (3) є бівипадковою. Запропонована методика побудови бівипадкової моделі безвідмовності систем. Співвідношення (3) з урахуванням (1) записано наступним чином

$$P[0, T] = \exp\left\{-\sum_{i=0}^d \sum_{k=1}^m d_{ik} F_k\right\} = \exp\left\{-\sum_{k=1}^m F_k \sum_{i=0}^d d_{ik}\right\}. \quad (6)$$

При цьому випадкова величина $P[0, T]$ є лінійною комбінацією сукупності випадкових величин F_1, F_2, \dots, F_m . Оскільки щільності розподілу цих величин, за припущенням, відомі, то відповідно до стандартних методів теорії ймовірностей, визначена щільність розподілу випадкової величини (5).

Якщо випадкові величини F_1, F_2, \dots, F_m розподілені незалежно, їх щільності розподілу

$$\text{мають вид } \varphi_k(F_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_k} \exp\left\{-\frac{(F_k - m_k)^2}{2\sigma_k^2}\right\}, \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

Тоді щільність розподілу випадкової величини $P[0, t]$ дорівнюватиме

$$\varphi(P[0, t]) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\Sigma(t)} \exp\left\{-\frac{(P - m_\Sigma(t))^2}{2\sigma_\Sigma^2(t)}\right\},$$

де

$$m_\Sigma(t) = \sum_{k=1}^m D_k(t)m_k, \quad \sigma_\Sigma^2(t) = \sum_{k=1}^m D_k^2(t)\sigma_k^2, \quad D_k = \sum_{i=0}^d d_{ik},$$

$$\varphi(t) = \int_0^1 \varphi(P[0, t]) dp = \int_{\frac{-m_\Sigma(t)}{\sigma_\Sigma(t)}}^{\frac{1-m_\Sigma(t)}{\sigma_\Sigma(t)}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{u^2}{2}\right\} du = \frac{1}{2} \left[\Phi\left(\frac{1-m_\Sigma(t)}{\sigma_\Sigma(t)}\right) + \Phi\left(\frac{m_\Sigma(t)}{\sigma_\Sigma(t)}\right) \right].$$

Отримані співвідношення дозволяють побудувати напівмарківську модель безвідмовності системи. Для описання моделі введені: E_0 – стан нормального функціонування системи; E_1 – стан відмови системи, в якому відбувається її відновлення; $\varphi_{01}(t) = \varphi(t)$ – щільність розподілу випадкової тривалості перебування системи у стані нормального функціонування E_0 до переходу у стан відмови E_1 ; $\varphi_{10}(t)$ – щільність розподілу випадкової тривалості відновлення; $P = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ – матриця ймовірностей переходу для марківського ланцюга, вкладеного у напівмарківський процес переходів системи із стану E_0 у стан E_1 і навпаки, що описується щільностями розподілу $\varphi_{01}(t)$, $\varphi_{10}(t)$. Тоді, стаціонарний розподіл імовірностей станів системи має вигляд

$$\Phi_s = \frac{\pi_s T_s}{\sum_{k=0}^1 \pi_k T_k}, \quad s = 0, 1,$$

де (π_0, π_1) – фінальний розподіл імовірностей станів для вкладеного марківського ланцюга; T_s – середня тривалість перебування системи у стані s до відходу, $s = 0, 1$. Таким чином, з урахуванням отриманих співвідношень вирішена задача оцінки і прогнозування безвідмовності багатоелементної системи з урахуванням динаміки пріоритетів.

Ефективність функціонування складних технічних систем (СТС) істотно визначається досконалістю методів їх технічного обслуговування (ТО) і ремонту. Якість будь-якого методу обслуговування і ремонту визначається тим, наскільки повно він забезпечує відповідність між об'єктивно існуючим процесом зміни технічного стану (ТС) СТС і процесом їх технічної експлуатації, що характеризується послідовною у часі зміною різних станів: застосування за призначенням, видів обслуговування і ремонту, зберігання тощо.

Реально використовуваний на практиці планово-попереджувальний метод обслуговування і ремонту, заснований на виконанні профілактичних робіт певних обсягів через заздалегідь заплановані інтервали часу або напрацювання незалежно від стану СТС не враховує особливості експлуатації конкретних систем. Більш ефективними є методи, реалізація яких заснована на урахуванні характеру і параметрів процесу експлуатації, а також технічного стану СТС. Це методи обслуговування і ремонту за станом.

Проведено аналіз великої кількості факторів навколишнього середовища, які впливають на технічний стан водопостачання. Основними з них є температура і вологість навколишнього повітря, атмосферний тиск, біологічні фактори (цвіль), атмосферна корозія, сонячна радіація, контактна корозія, запиленість навколишнього повітря, вітер. Ці фактори і багато інших необхідно враховувати під час організації технічного обслуговування СТС. Основним змістом технічного обслуговування будь-якої СТС є контроль технічного стану, який займає до 90% часу, відведеного на ТО. Тому завдання вироблення стратегії ТО, що визначає терміни й обсяг обслуговування, зводиться, по суті, до вибору відповідної стратегії контролю технічного стану, тобто призначення періодичності проведення перевірок і розподілу повноти контролю підсистем СТС за видами контролю. Це завдання легко вирішується для кожної конкретної системи. Проте вона суттєво ускладнюється, коли планується обслуговування сукупності об'єктів, що експлуатуються в різних умовах, що може привести до істотних відмінностей в інтенсивності їх старіння. Складна багатоелементна система складається із сукупності територіально розподілених об'єктів, кожен з яких експлуатується в своїх умовах. Нехай j -й об'єкт системи експлуатується в умовах ε_j , $j = 1, 2, \dots, n$, і відповідна цим умовам інтенсивність відмов дорівнює $\lambda(\varepsilon_j)$. Тоді ймовірність безвідмовної роботи цього об'єкта на інтервалі $[0, T]$ визначається

$$\text{співвідношенням } P_j(0, T) = \exp\left\{-\int_0^T \lambda(\varepsilon_j) dt\right\}.$$

Далі запропоновано, що технічне обслуговування об'єктів водопостачання виконується спеціально навченими бригадами, оснащеними відповідним обладнанням і матеріально-технічними засобами. При цьому прийнято, що середня тривалість обслуговування будь-якого об'єкта будь-якої з бригад дорівнює T_0 . Урахування конструктивних особливостей кожного з об'єктів, відмінностей в умовах їх експлуатації, а також різного рівня підготовки, досвіду і накопичення навиків проведення робіт з технічного обслуговування для різних бригад дозволяє оцінити ефективність призначення бригад для виконання робіт на різних об'єктах, увівши матрицю (P_{ij}) , де P_{ij} – ймовірність виконання технічного обслуговування i -ю бригадою на j -у об'єкті за час T_0 , $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$.

При цьому введена сукупність комплексних показників ефективності призначення бригад для проведення технічного обслуговування (c_{ijk}) , де $c_{ijk} = P_j(0, T_j + kT_0)P_{ij}$ – ймовірність нормального функціонування j -го об'єкта від моменту попереднього до

чергового обслуговування протягом часового інтервалу довжиною $T_j + kT_0$ після проведення обслуговування i -ю бригадою, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$, $k = 1, 2, \dots, m$.

Вирішена задача раціональної організації технічного обслуговування системи з урахуванням динамічно мінливих пріоритетів.

$$x_{ijk} \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-а бригада планується для виконання обслуговування на } j\text{-у} \\ & \text{об'єкті в } k\text{-у часовому інтервалі;} \\ & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Далі сформульована оптимізаційна задача відшукування набору $X = (x_{ijk})$, максимізуючого $F(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m c_{ijk} x_{ijk}$, якої задовольняє обмеженням $\sum_{j=1}^n x_{ijk} = 1$, $i = 1, 2, \dots, m$, $k = 1, 2, \dots, m$, $\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^m x_{ijk} = 1$, $j = 1, 2, \dots, n$.

Ця задача є триіндексним булевим аксіально-планарним завданням призначення. Технологія безпосереднього точного вирішення подібних завдань відсутня (за винятком, зрозуміло, повного перебору). В роботі, це завдання перетворене шляхом введення нового індексу $l = (k-1)m + i$, $i = 1, 2, \dots, m$, $k = 1, 2, \dots, m$. Тоді триіндексна матриця (c_{ijk}) розміру $(m \times n \times m)$ перетвориться на двоіндексну матрицю (c_{lj}) розміру $(m^2 \times n)$. Аналогічно цьому триіндексна матриця (x_{ijk}) перетворюється на двоіндексну (x_{lj}) . Структура двоіндексних матриць (c_{lj}) і (x_{lj}) дозволяє переформулювати задачу в такий спосіб: знайти набір (x_{lj}) , що максимізує $\Phi(x) = \sum_{l=1}^{m^2} \sum_{j=1}^n c_{lj} x_{lj}$, і задовольняє обмеженням $\sum_{j=1}^n x_{lj} = 1$,

$$l = 1, 2, \dots, m^2, \sum_{l=1}^{m^2} x_{lj} = 1, j = 1, 2, \dots, n, x_{lj} = \{0; 1\}, l = 1, 2, \dots, m^2, j = 1, 2, \dots, n.$$

При цьому отримана несиметрична задача призначення з m^2 рядками і n стовпцями. В роботі розглянута можливість спрощення завдання, яке забезпечує можливість її наближеного вирішення без істотної втрати ефективності. Введено поняття – рівень складності аварії. За результатами експертного оцінювання фахівцями, що займаються експлуатацією міської водопровідної мережі, всі аварії за рівнем складності їх усунення розділені на три групи: низький рівень складності ($l = 1$), середній рівень складності ($l = 2$), високий рівень складності ($l = 3$). Для кожної конкретної аварії рівень складності її усунення залежить від: характеру покриття в місці локалізації аварії; площі ділянки, до якої вдається локалізувати місце аварії; глибини залягання труби; характеру ґрунту; типу аварій; сезону тощо. Тривалість усунення аварії залежить від рівня її складності та кваліфікації бригади, що займається її ліквідації. За рівнем кваліфікації всі ремонтні бригади також поділяються на три категорії: низький рівень ($q = 1$), середній рівень ($q = 2$), високий рівень ($q = 3$).

Накопичені багаторічні дані про тривалість відновлення системи водопостачання після аварій різного рівня складності розбиті на вибірки за сезонами: зима ($k = 1$), весна ($k = 2$), літо ($k = 3$), осінь ($k = 4$). Ці дані дозволяють побудувати гістограми випадкової тривалості усунення аварій бригадами різної кваліфікації. Отримані гістограми були апроксимовані гладкими кривими, інтерпретуються в подальшому як щільності розподілу тривалості усунення аварії. Для апроксимації гістограм обрано універсальний трипараметричний розподіл

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1-\rho}} + \frac{1}{\sqrt{1+\rho}} \right) \cdot \sigma} \exp \left\{ -\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2} (1 + \rho \cdot \text{Sign}(t-m)) \right\},$$

де m – характеризує середнє значення випадкової величини; σ – задає середнє квадратичне відхилення; ρ – визначає асиметрію розподілу, $\rho \in [-1, 1]$.

Припустимо, що до моменту початку чергового циклу призначень бригад для ліквідації аварій є інформація про R аварії, з яких R_1 – аварій 1-го рівня складності, $1 = 1, 2, 3$. Для кожної аварії з номером $r \in \{1, 2, \dots, R\}$ відома оцінка N_r кількості жителів, відключених від подачі води у зв'язку з r -ю аварією. Тоді пріоритет r -ої аварії W_r обчислюється за формулою $W_r = N_r \cdot 1_r$, $r = 1, 2, \dots, R$. Після ранжування всіх аварій в порядку зменшення пріоритету призначення бригад управління процесом усунення аварій проводиться відповідно до таких евристичних правил:

- 1) призначення відбувається в порядку зменшення пріоритетів аварій;
- 2) для усунення аварії 1-ї умови складності призначається бригада, рівень кваліфікації якої не нижче умов складності аварій;
- 3) якщо під час реалізації правила 2 виявляється, що для усунення чергової за пріоритетом аварії немає жодної вільної бригади належного рівня, то призначається вільна бригада з найвищим рівнем кваліфікації.

У четвертому розділі проведено дослідження залежності частоти відмов від умов експлуатації елементів системи за реальними статистичними даними (за 2008-2010 рр.) про технічний стан сталевих труб Харківського водопроводу. Отримані статистичні дані зведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідні статистичні дані (фрагмент)

№	Адреса технічно зношеного трубопроводу (сталеві труби)	Діаметр трубопроводу, мм	Рік укладання	Довжина технічно зношеної ділянки, м	Тиск у трубопроводі, м.вод.ст.	Глибина закладення труби, м	Характеристика ґрунту - сухий	Наявність блукаючих струмів	Наявність динамічних навантажень на трубопроводі	Середня кількість відмов
		F1	T	F2	F3	F4	F5	F6	F7	Y
1	пр. Московський, 140-247	300	1963	40	60	4,00	+	-	+	4
2	Салтівське шосе, 266	150	1978	50	60	4,00	+	-	-	4,67
3	пр-т Стадіонний, 14/1	150	1963	100	60	3,00	+	-	+	4,1
4	вул. Корчагінців, 7	100	1977	220	60	3,00	+	-	-	4,5
5	вул. Краснодарска, 171 б-а	150	1978	90	80	3,00	+	-	-	4,2

На основі методики, викладеної в розділі 2, введена модель, що описує залежність середньої частоти відмов від умов експлуатації елементів системи трубопроводів, яка має вигляд

$$y(\epsilon) = b_{00} + b_{01}F_1 + b_{02}F_2 + \dots + b_{07}F_7 + b_{0,456}F_4F_5F_6 + b_{10}t + b_{11}F_1t + b_{12}F_2t + \dots + b_{17}F_7t + b_{1,456}F_4F_5F_6t. \quad (7)$$

До цієї моделі введено взаємодію факторів F_4 , F_5 і F_6 , вплив якої виявлено в ході попереднього дослідження. Можливий вплив віку введено в модель конструктивно. Коефіцієнти рівняння регресії (7) знайдені методом найменших квадратів. При цьому отримано вектор коефіцієнтів рівняння регресії (7)

b_{00}	b_{01}	b_{02}	b_{03}	b_{04}	b_{05}	b_{06}	b_{07}	$b_{0,456}$
2,27	-1,02	1,83	3,32	-1,85	-0,27	0,46	0,55	3,59
b_{10}	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{15}	b_{16}	b_{17}	$b_{1,456}$
0,05	0,02	-0,02	-0,06	0,05	-0,01	0,01	-0,02	-0,01

Аналіз величин коефіцієнтів показує, що всі фактори і введена взаємодія впливають на частоту відмов. При цьому найбільш істотно збільшують частоту відмов фактор F_2 – довжина ділянки, фактор F_3 – величина тиску в трубі і потрійна взаємодія факторів $F_4F_5F_6$ у випадку, коли глибина закладення труби мала, ґрунт мокрий і є блукаючі струми. Збільшення діаметра труби і глибини закладення знижує частоту відмов.

Аналогічно викладеному вище була проведена обробка статистичних даних про технічний стан чавунних труб Харківського водопроводу. Отримані статистичні дані зведені до таблиці 2. Внаслідок попередньої обробки даних про відмови не виявлена статистично

значуща залежність взаємодії факторів і тривалості експлуатації труб. У зв'язку з цим введена модель відмов

$$y(\varepsilon) = b_0 + b_1 F_1 + \dots + b_7 F_7 + b_{12} F_1 F_2 + \dots + b_{67} F_6 F_7. \quad (8)$$

Таблиця 2

Вихідні статистичні дані (фрагмент)

№	Адреса технічно зношеного трубопроводу	Діаметр трубопроводу, мм	Рік укладання трубопроводу	Довжина технічно зношеної ділянки м	Тиск у трубопроводі, м.вод.ст.	Глибина закладення труби, м	Характеристика ґрунту - сухий	Наявність блукаючих струмів	Наявність динамічних навантажень на трубопроводі	Середня кількість відмов
		F1	T	F2	F3	F4	F5	F6	F7	Y
1	вул. Ахсарова, пр. Перемоги	500	1980	2800	55,0	3,0	+	+	+	3,33
2	вул. Балакірева-Космонавтів	400	1966	800	70,0	3,0	+	+	+	4,67
3	вул. Балакірева-Асхарова, 25	700	1981	3200	55,0	2,5	+	+	+	4,67
4	вул. Ревкомівська, Клочківська, Пасіонарії	450	1974	1850	50,0	2,5	+	+	+	3,67
5	вул. Архітекторів, 40	200	1983	260	45,0	3,0	+	+	+	2,67

Для отримання вектора B використано метод найменших квадратів. Вектор має наступний вид

b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{15}	b_{16}	b_{17}	b_{23}
0,48	-1,18	0,54	1,58	-0,43	0,20	-0,34	0,24	0,68	0,32	0,13	0,16	0,09	0,08	0,12
b_{24}	b_{25}	b_{26}	b_{27}	b_{34}	b_{35}	b_{36}	b_{37}	b_{45}	b_{46}	b_{47}	b_{56}	b_{57}	b_{67}	
0,16	0,07	0,13	0,13	0,16	0,04	0,16	0,12	0,06	0,10	0,08	-0,09	0,04	-0,09	

Співвідношення (7) і (8) дають можливість розрахувати очікувані значення середньої частоти відмов для будь-якого набору факторів, що описують умови експлуатації елементів системи водопроводу. Ці дані з використанням методики, розробленої у розділах 2 і 3, дозволяють розрахувати розподіл імовірностей станів елементів системи, у тому числі ймовірність перебування системи у стані нормального функціонування, а також оптимальний період контролю системи. Отримані при цьому числові характеристики забезпечують можливість раціонального керування організацією технічного обслуговування системи водопостачання.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу оптимізації системи управління технічним обслуговуванням багатоелементних об'єктів з урахуванням умов і режимів їх експлуатації.

Основні результати досліджень:

1. Обґрунтована методика аналізу функціонування системи управління технічного обслуговування на основі марківських і напівмарківських моделей з неперервним часом. Введена стохастична модель обліку умов і режиму експлуатації системи, яка враховує неекспоненціальність законів розподілу випадкової тривалості безвідмовної роботи системи, нестационарність потоку відмов, залежність від умов експлуатації. Отримано співвідношення для розрахунку оцінок параметрів моделі. Показано, що запропонована методика обробки статистичних даних про відмови системи не вимагає однорідності вибірки.

2. Запропоновано напівмарківську модель виникнення відмов в системі водопостачання. Отримано співвідношення для розрахунку оптимального періоду контролю системи. Показано необхідність введення і розгляду для системи водопроводу моделі поступових відмов.

3. Запропоновано методику оцінки та прогнозування безвідмовності складних систем з урахуванням динаміки умов їх експлуатації. Методика дозволяє при зміні режиму і умов експлуатації коректно врахувати ресурс, витрачений до цієї зміни. Введені й розглянуті багатofакторні бівипадкові моделі безвідмовності систем, що виникають у ситуаціях, коли параметри законів розподілу випадкових факторів, що впливають на систему, самі є випадковими величинами.

4. Показано, що наявність системи виявлення пошкоджень істотно збільшує ймовірність перебування системи у стані нормального функціонування, та період її контролю.

5. Запропоновано методику управління технічним обслуговуванням старіючих багатоелементних систем міського водопостачання з урахуванням їх старіння і динаміки їх пріоритетів. Методика враховує територіальну розподіленість об'єктів і відмінності в умовах експлуатації. Отримано співвідношення для розрахунку розподілу ймовірностей станів системи.

6. Запропоновано методику наближеного розв'язання задачі управління організацією технічного обслуговування, яка заснована на розробленій технології розрахунку пріоритету аварії.

7. Запропоновано математичну модель, що описує залежність середньої частоти відмов від величини факторів, які визначають умови експлуатації елементів системи водопроводу. Проведено оцінку значень факторів та їх взаємодій, що забезпечує можливість безпосереднього розрахунку прогнозованого значення частоти відмов для заданих умов експлуатації. Виявлено чинники (довжина ділянки, діаметр труби, величина тиску в трубі, глибина закладення труби) та взаємодії, які найбільш істотно впливають на частоту відмов.

8. Результати роботи впроваджені у КП ВТП «Вода» (м. Харків) в Інституті сцинтиляційних матеріалів (м. Харків) і в навчальному процесі кафедри комп'ютерного моніторингу і логістики НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кадигроб С.В. Организация технического обслуживания многоэлементной системы с учетом динамики приоритетов / О.В. Серая, С.В. Кадигроб // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС. – 2009. – Вип. 3(77). – С. 28–31.

Здобувачем розроблено модель системи технічного обслуговування та розробка рекомендацій з організації технічного обслуговування.

2. Кадигроб С.В. Многофакторные бислучайные модели безотказности систем / О.В. Серая, С.В. Кадигроб // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХП» . – 2009. – № 10. – С. 34 –39.

Здобувачем вибрано та розроблено математичний апарат оцінювання безвідмовності системи.

3. Кадигроб С.В. Оценка и прогнозирование безотказности сложных систем с учетом динамики условий эксплуатации / С.В. Кадигроб, О.В.Серая // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2010. – Вип. 2(14).– С. 88–92.

Здобувачем обґрунтована модель залежності безвідмовності від умов експлуатації.

4. Кадигроб С.В. Нечеткие полумарковские модели систем / С.В. Кадигроб, Т.И. Каткова // Системи обробки інформації. – ХУПС, 2011. – №4 (94). – С.24–28.

Здобувачем розроблено математичний апарат для побудови напівмарківської моделі.

5. Кадигроб С.В. Регрессионный анализ зависимости интенсивности отказов элементов водопроводной сети от условий эксплуатации / Л.Г. Раскин, С.В. Кадигроб // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, аварії, здоров'я НТУ «ХП». – Харків: НТУ «ХП» . – 2011. – Ч IV – С. 366.

Здобувачем розроблена математична модель багатфакторної регресії.

6. Кадигроб С.В. Полумарковская модель системы технического обслуживания распределенного объекта / С.В. Кадигроб // Сьома наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба "Новітні технології – для захисту

повітряного простору": тези доповідей, 13 – 14 квітня 2011 року. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба. – 2011. – С. 168-169.

АНОТАЦІЇ

Кадигроб С.В. Управление системой технического обслуживания в многоэлементной сети городского водопровода. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.03 – системы и процессы управления. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, 2012 г.

Диссертация посвящена разработке эффективной системы водоснабжения путем оптимизации параметров системы управления техническим обслуживанием (СТО) на основе математических моделей эксплуатации стареющих технологических систем с учетом динамики и случайного характера условий их эксплуатации.

Рассмотрена методика анализа функционирования системы технического обслуживания на основе марковской модели с непрерывным временем и выявлены их недостатки. Обоснована методика учета условий и режима эксплуатации системы с использованием многофакторных регрессионных моделей. Получены соотношения для расчета оценок параметров моделей. Предложена полумарковская модель функционирования СТО. Получены соотношения для расчета оптимального периода контроля системы. Показана необходимость ввода и использования для системы водопровода технологии учета постепенных отказов. Показано, что наличие системы обнаружения повреждений существенно увеличивает вероятность пребывания системы в состоянии нормального функционирования и период её контроля. Рассмотрены нечеткие полумарковские модели СТО. Получены соотношения для расчета финального распределения вероятностей состояний системы.

Предложена методика оценки и прогнозирования безотказности сложных систем с учетом динамики условий их эксплуатации. Введены и рассмотрены многофакторные бислучайные модели безотказности систем, возникающие в ситуациях, когда параметры законов распределения случайных факторов, воздействующих на систему, сами являются случайными величинами. Предложена методика рациональной организации технического обслуживания системы объектов с учетом динамики условий их эксплуатации. Введено понятие приоритет аварии, при расчете которого учитывается уровень сложности аварии, глубина залегания трубы, площадь участка, для которой удастся локализовать место аварии. Предложена методика приближенного решения задачи организации технического обслуживания, основанная на технологии расчета приоритета аварии.

Проведена представительная статистическая обработка реальных данных об отказах стальных и чугунных труб Харьковского водопровода. Предложена математическая модель, описывающая зависимость средней частоты отказов от величины факторов, определяющих условия эксплуатации элементов системы водопровода. Проведена оценка значений факторов и их взаимодействий, обеспечивающая возможность непосредственного расчета

прогнозируемого значения частоты отказов для заданных условий эксплуатации. Выявлены факторы и взаимодействия, наиболее существенно влияющие на частоту отказов. Сравнение безотказности стальных и чугунных труб свидетельствует о заметно лучших надежностных характеристиках чугунных труб, а также о меньшем влиянии эксплуатационных факторов на их надежность.

Ключевые слова: неопределенность состояния системы, неполнота априорной информации, управление техническим обслуживанием систем водоснабжения, марковские и полумарковские модели системы.

Кадигроб С.В. Управління системою технічного обслуговування в багатоеlementній мережі міського водопроводу. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 - системи та процеси управління □ Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", 2012.

Дисертація присвячена розробці ефективної системи водопостачання шляхом оптимізації параметрів системи управління технічним обслуговуванням (СТО) на основі математичних моделей експлуатації старіючих технологічних систем з урахуванням динаміки і випадкового характеру умов їх експлуатації.

Розглянуто методику аналізу функціонування системи технічного обслуговування на основі марковської моделі з неперервним часом та виявлені їх недоліки. Введена модель обліку умов і режиму експлуатації системи. Отримано співвідношення для розрахунку оцінок параметрів моделі. Запропоновано напівмарківська модель функціонування СТО. Отримано формулу для розрахунку оптимального періоду контролю системи.

Запропоновано методику оцінки та прогнозування безвідмовності складних систем з урахуванням динаміки умов їх експлуатації. Введено й розглянуто багатofакторні бівипадкові моделі безвідмовності систем, що виникають у ситуаціях, коли параметри законів розподілу випадкових факторів, самі є випадковими величинами. Запропоновано методику раціональної організації технічного обслуговування системи об'єктів з урахуванням динаміки умов їх експлуатації.

Проведена представницька статистична обробка реальних даних про відмови сталевих і чавунних труб Харківського водопроводу. Запропоновано

математичну модель, що описує залежність середньої частоти відмов від факторів, що визначають умови експлуатації елементів системи водопроводу. Проведено оцінку значень факторів та їх взаємодій, що забезпечує можливість безпосереднього розрахунку прогнозованого значення частоти відмов для заданих умов експлуатації. Виявлено чинники та взаємодії, які найбільш істотно впливають на частоту відмов.

Ключові слова: невизначеність стану системи, неповнота апріорної інформації, управління технічним обслуговуванням систем водопостачання, марківські і напівмарківські моделі системи.

Kadigrob S.V. System control of technical services in multiple-unit municipal water supply network. Manuscript. Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences: Specialty 05.13.03 – Systems and Control Processes. National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2012.

The thesis is devoted to the development of an effective water supply system by optimizing the parameters of the control system of technical services (STS) on the basis of mathematical models of the operation of the aging technological systems taking into account the dynamics and the random nature of their operating conditions.

The method of analysis of the system function of technical services based on a Markov model with continuous time is considered and their drawbacks are revealed. A model of accounting and an operating mode of the system are introduced. The equations for calculating estimates of model parameters are derived. A semi-Markov model of the SRS is suggested. The equations for calculating the optimal period of monitoring system are derived.

A method of assessment and prediction of reliability of complex systems is suggested taking into consideration the dynamics of their operating conditions. The thesis introduces and considers multifactorial bicausal models of systems reliability that arise in situations when the parameters of the distribution laws of random factors affecting the system are themselves random variables. The technique of the rational organization of the technical services of object systems is suggested taking into account the dynamics of their operating conditions.

A representative statistical analysis of real data on failures of steel and cast iron pipes of Kharkov water supply system is conducted. The thesis suggests a mathematical model describing the dependence of the average failure rate on the magnitude of the factors that determine the operating conditions of water supply system components. The research conducts the estimation of the values of factors and their interactions, providing the opportunity to directly calculate the predicted values of failure rates for given conditions of operation. The thesis reveals the factors and interactions that have the most significant influence on the frequency of failures.

Key words: the uncertainty of system status, the incompleteness of a priori information, technical services control of water supply systems, Markov and semi-Markov models of system.



Підписано до друку 27.08.2012 р. Формат 60x90/16
Папір офсетний. Друк ризографічний.
Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 примірників. Замовлення № 07\08.12

Надруковано у друкарні Видавництва "Досконалий Друк",
Свідоцтво про державну реєстрацію № 21681062 від 16.04.2002 р.,
03187, м. Київ, вул. Академіка Заболотного 20-А.
тел.: 2721791; факс: 4903312; e-mail: info@doskdruk.com.ua