

УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІШНІХ СПРАВ МВС УКРАЇНИ

На правах рукопису



ГНЕННИЙ Володимир Васильович

**АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ І ПЛАНУВАННЯ РЕМОНТІВ
СКЛАДНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ
РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗ ДАНИХ**

**05.13.04 — автоматизовані системи управління
та системи обробки інформації**

А в т о р е ф е р а т

**дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук**

Харків — 1995



00778313 (Т)

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Придніпровській державній академії
будівництва та архітектури

Науковий керівник :

доктор технічних наук, професор Пашковський Геннадій Сергійович

Офіційні опоненти :

1. Доктор технічних наук, професор Мурашко Анрі Гаврилович
2. Кандидат фізико-математичних наук, доцент Заславський Володимир
Анатолійович

Провідна організація Дніпропетровський державний університет,
м.ДніпропетровськЗахист відбудеться 5 жовтня 1995 року о 13 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 02.24.03 при
Університеті внутрішніх справ МВС України за адресою:
м. Харків-80, пр. 50-річчя СРСР, 27.З дисертацією можна ознайомитись в бібліотечі Університету
внутрішніх справ МВС України.Автореферат розісланий 19 серпня 1995 рокуВчений секретар
спеціалізованої вченої ради*Сухар*І.В. Арістова
ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

AB - 32. 909-1-

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Забезпечення надійної експлуатації і безпеки технічних систем є актуальною науково-технічною проблемою. Для управління надійністю систем в першу чергу необхідно мати можливість ефективно вирішувати дві основні задачі: оцінювати поточну надійність систем та прогнозувати їх надійність в майбутньому. Розв'язування цих задач потребує розробки відповідних математичних моделей і алгоритмів, використання для їх реалізації сучасних комп'ютерних та інформаційних технологій.

Для широкого класу систем можливим є тільки періодичний контроль їх робочих параметрів, або контроль тільки на початку чи в кінці їх життєвого циклу. Дані, що одержуються при цьому, в загальному випадку відповідають планам випробувань з багаторазовим випадковим цензуруванням. Для подання та ефективного аналізу таких даних необхідно використовувати відповідні моделі. Великі можливості для цього дають реляційні моделі даних та існуючі методи і засоби їх обробки. В роботах провідних спеціалістів по теорії надійності і технічному обслуговуванню систем (Р.Барлоу, Е.Ю.Барзилович, Ф.Байхельт, В.В.Волотін, Ю.К.Беляєв, Б.В.Гнеденко, В.А.Каштанов, Х.Кумамото, Ф.Проман, Р.С.Судаков, Д.Хенлі) та по теорії баз даних (К.Дейт, Д.Мейєр, Ф.Лоховські, Д.Ульман, В.Цикритзис) питання, що пов'язані з задачами забезпечення надійності та ефективного технічного обслуговування і ремонту (ТОiP) систем та з формами подання і методами обробки цензурованих вихідних даних про їх випробування чи експлуатацію, не розглядаються комплексно. Дисертація є спробою зробити це на основі

єдиного підходу, заснованого на інтеграції вихідних даних про поточні стани елементів систем в єдиній реляційній базі даних і створенні для їх обробки взаємно зв'язаних ними математичних і імітаційних моделей. Реалізація цих моделей та алгоритмів з використанням інструментальних засобів реляційних СУБД для ПЕОМ дозволяє ефективно вирішувати задачі автоматизації усіх етапів аналізу надійності і планування ТОiP систем. В результаті в середовищі СУБД типу dBASE створено програмний моделюючий комплекс (ПМК) з широкими можливостями для дослідження надійності складних систем та дружнім інтерфейсом.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до галузевої програми Держбуду СРСР 0.15.01.121 "Реконструкція" і плану науково-дослідних робіт Придніпровської державної академії будівництва та архітектури по темі N 109 "Розробка методів оптимального проектування систем діагностування сталених резервуарів".

Розроблений в дисертації новий підхід до вирішення актуальних задач аналізу даних може застосовуватись, крім технічних галузей, в економіці, медицині, демографії, політології.

Метою роботи є розробка і реалізація математичного та програмного забезпечення ПМК для автоматизації аналізу надійності і планування ТОiP складних систем та виконання на його основі дослідження корозійної надійності резервуарів РВС-5000 для зберігання нафтопродуктів.

Основні задачі наукового дослідження: - розробка моделей та ефективних алгоритмів для розв'язку задач статистичного оцінювання і моделювання безвідмовності складних систем при вихідних даних, що відповідають планам випробувань з

багаторазовим випадковим цензуруванням і періодичним контролем параметрів;- створення математичного забезпечення ПМК для аналізу надійності і планування ТОіР складних систем на основі ПЕОМ;- розробка методики аналізу надійності і імітації стратегій ТОіР систем і відповідного програмного забезпечення ПМК та їх застосування для дослідження впливу корозії на експлуатаційну безвідмовність резервуарів для зберігання нафтопродуктів, виходячи з станів їх елементів на час проведення регламентних обстежень.

Основна ідея роботи полягає в побудові багатовимірної експериментальної функції розподілу (ЕФР) часу напрацювання до відмови систем в цілому, безпосередньо по інтегрованій в реляційній базі даних інформації про технічний стан окремих елементів та в моделюванні інтегральної функції розподілу (ІФР) часу напрацювання систем до відмови і стратегій їх ТОіР, з використанням марківських В-моделей.

Методологічною основою дослідження стали системно-структурний підхід та сучасні методи дослідження операцій, використання теорії надійності та математичної статистики, апарату реляційної алгебри і сучасних реляційних СУБД для ПЕОМ.

Теоретична значущість та наукова новизна. В дисертації розроблено нові моделі, алгоритми та процедури для оцінювання безвідмовності складних систем в цілому безпосередньо по вихідних даних про напрацювання і технічний стан їх елементів, без попереднього обчислення таких оцінок для кожного елементу системи окремо.

Досліджено можливості марківських В-моделей для прогнозування станів систем поза інтервалом напрацювань, які маютья в вихідних даних, і моделювання впливу якості ТОіР на рівень експлуатаційної безвідмовності систем. Одержано

рекуррентні співвідношення для оцінювання параметрів марківських В-моделей, що використовуються для моделювання безвідмовності складних систем.

Розроблено концептуально-логічні структури моделей подання вихідних даних про результати експлуатації чи випробування систем, на основі яких, в середовищі СУБД, створено ПМК для автоматизації аналізу надійності і планування ТОіР складних систем. На основі розробленого ПМК, з метою його апробації і впровадження, проведено детальний аналіз корозійної надійності резервуарів РВС-5000 для зберігання нафтопродуктів з точки зору вивчення динаміки досягнення ними функціональних і абсолютних граничних станів. Одержано ймовірнісні розподіли, щодо виникнення корозійних пошкоджень в конструктивних елементах резервуарів, досліджено їх вплив на рівень безвідмовності резервуарів в цілому.

Особиста участь автора. Всі перелічені результати, від розробки моделей і алгоритмів до їх програмної реалізації і апробації на реальних вихідних даних, одержані безпосередньо самим автором дисертації.

Практична цінність одержаних результатів в тому, що вони є основою для розробки нової методики та ПМК для дослідження надійності і планування ТОіР складних систем з використанням сучасних СУБД.

Реалізація і впровадження. Розроблено методику та ПМК і за їх допомогою досліджено вплив корозії на технічний стан резервуарів типу РВС-5000, визначено тривалості міжремонтних інтервалів, які можуть забезпечувати необхідний рівень безвідмовності резервуарів при вибраних стратегіях ТОіР. Одержані результати ввійшли складовою частиною в звіт по науково-дослідній темі N 109 для СКБ "Транснафтоавтоматика".

Обґрунтованість розроблених в роботі наукових положень і прийнятої на їх основі методології вирішення поставлених задач та вірогідність отриманих в роботі чисельних і графічних результатів підтверджується використанням адекватних наукових методів, програмних і технічних засобів, достатнім представництвом експериментальних і імітаційних даних, їх непротивіччю відомим результатам досліджень інших авторів.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на Всесоюзній конференції "Проблеми оптимізації і надійності в будівельній механіці" (Вільнюс, 1988 р.), на Республіканській науково-технічній конференції "Підвищення ефективності систем нафтопродуктозабезпечення на основі технічного переобладнання" (Кіровоград, 1988 р.), на Регіональній науково-технічній конференції "Моделювання і автоматизація проектування складних технічних систем" (Калуга, 1990 р.), на Другій науково-технічній конференції "Питання надійності та оптимізації будівельних конструкцій і машин" (Севастополь, 1992 р.), а також на наукових семінарах кафедри моделювання складних систем Київського університету ім.Т.Г.Шевченка, кафедри обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпропетровського університету, кафедри прикладної математики Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.

Публікації. По темі роботи опубліковано шість праць.

Об'єм та структура роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, заключення, списку літератури та двох доповнень, містить всього 129 сторінок тексту, 53 малюнки, 20 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень, визначено цілі і основні задачі роботи, описано її структуру, викладено основні результати, що виносяться на захист.

В підрозділі 1.1 розглянуті питання, зв'язані з дослідженням надійності технічних систем по інформації про результати їх випробувань чи експлуатації за допомогою відомих підходів і методів теорії надійності, при статистичних експериментальних даних, одержаних на обмеженій кількості випробуваних об'єктів. Ці методи підрозділяються на експериментальні, коли надійність систем визначається по результатах спостережень за поведінкою систем, як єдиного цілого, та розрахунково-експериментальні, коли надійність систем визначається на основі інформації про надійність їх складових елементів. Але досить часто адекватний опис реальних вихідних даних про надійність систем стандартними параметричними законами розподілу і ефективний аналіз таких даних за допомогою традиційних методів є неможливим. В зв'язку з цим, в дисертації розробляється новий підхід до розв'язування подібних задач, який дає можливість розглядати їх з єдиної точки зору і передбачає використання для розрахунків універсального набору співвідношень та алгоритмів.

В підрозділі 1.2 розглядаються основні поняття, які використовуються в сучасній технології баз даних, та можливість, які дають сучасні СУБД для автоматизації процесів накопичення і обробки даних. Як відомо, для розв'язання конкретних практичних задач обробки даних за допомогою СУБД загального призначення, необхідно створити, в вигляді надбудови над СУБД, спеціальний програмний комплекс. Такий підхід є ефективним і для ведення і обробки статистичних баз даних

(СБД). Одними з найперших в питаннях створення СБД для надійнісних досліджень були роботи Ю.К.Беляєва, де було розглянуте саме поняття СБД, під якою розуміється спеціальним чином організований архів даних про надійність об'єктів. В якості найменших одиниць інформації, з яких складаються масиви даних, розглядаються порції даних. Під ними розуміються набори значень випадкових величин S_{1j}, Γ_{1j} , де j - номер порції, S_{1j} - одержані напрацювання, Γ_{1j} - мітки, кодувчі причину припинення спостережень (тип відмови). Масивами даних $Y_1(X_1, X_2, \dots, X_m)$, зв'язаних з міткою 1, називаються послідовності усіх порцій $X_j = (S_{1j}, \Gamma_{1j}, i=1, 2, \dots, I)$, в яких маютьс я напрацювання S_{1j} з міткою Γ_{1j} , значення якої дорівнює 1 або входить в множину $A_{1j} (\Gamma_{1j} \in A_{1j} \cup 1)$. Цей підхід дозволяє одержувати оцінки ймовірностей безвідмовної роботи об'єктів і їх довірчі границі незалежно від наявності апріорної інформації про типи їх функцій розподілу. Але в ньому не розглядаються в повній мірі питання про врахування ступеня цензурування випробувань та про надійнісну структуру об'єктів, про форму подання даних в базі даних, про врахування визначальних параметрів елементів систем та коваріат, які відбивають умови їх одержання. Розробка самого методу з орієнтацією на його програмну реалізацію засобами системи програмування ФОРТРАН на базі ЕС ЕОМ наклала на нього ряд обмежень з точки зору методів подання і обробки даних. Використання нових комп'ютерних технологій обробки даних суттєво відрізняє розроблений в дисертації підхід від відомих як в способах організації даних, так і в розроблених для нього математичних і імітаційних моделях та реалізуючих їх алгоритмах.

В другому розділі розглядаються питання розробки

моделей для аналізу надійності і планування ТОiP систем за допомогою запропонованого в дисертації підходу.

В підрозділі 2.1 розглядається задача статистичного оцінювання безвідмовності послідовних і паралельних систем. Ключовою є ідея забезпечення можливості оцінювання для таких систем значень ймовірностей безвідмовної роботи і їх довірчих границь безпосередньо по інформації про стани елементів систем, без необхідності попереднього розрахунку значень цих ймовірностей для кожного окремого елементу систем і можливих типів їх відмов.

В загальному випадку можливо вважати, що технічна система складається з елементів, кожен з яких може знаходитись в одному з двох станів - в працездатному, або ж в стані відмови - і має декілька типів відмов. З кожним типом відмови зв'язаний визначальний параметр p_k , а під відмовою даного конкретного типу розуміється випадкова подія, що проявляється в перевищенні відповідним параметром деякого граничного для нього значення p_k^0 .

Якщо вважати, що випробування кожного елементу системи проводяться в складі самої системи по плану без відновлення

Таблиця 1. Вихідні результати випробувань систем

Обліковий номер системи	Напряцювання систем до контролю	Визначальні параметри					
		p_1	p_2	p_3	...	p_{n-1}	p_n
1	T_1	p_1^1	p_2^1	p_3^1	...	p_{n-1}^1	p_n^1
2	T_2	p_1^2	p_2^2	p_3^2	...	p_{n-1}^2	p_n^2
...							
N	T_N	p_1^N	p_2^N	p_3^N	...	p_{n-1}^N	p_n^N

і з можливістю їх цензурування в відповідності з деякими установленними граничними значеннями визначальних параметрів для можливих типів відмов цих елементів, то одержана при цьому інформація може бути подана в вигляді таблиці 1, де кожній системі відповідають її напрацювання на момент контролю і відповідні їм значення визначальних параметрів.

Якщо послідовно, рядок за рядком аналізувати таблицю 1 з точки зору відповідності значень визначальних параметрів елементів p_k їх гранично допустимим значенням p_k^0 , то може бути сформована таблиця 2, де кожному окремому визначальному параметру відповідають напрацювання систем до відмови або до цензурування.

Таблиця 2. Напрацювання до відмов та цензурувань випробувань систем по різним визначальним параметрам

Номер параметру	Умова відмови	Напрацювання до відмови або до цензурування					
		Обліковий номер системи					
		1	2	3	...	N-1	N
1	$p_1 < p_1^0$	T_1^+	T_2^-	T_3^+	..	T_{N-1}^-	T_N^+
2	$p_2 < p_2^0$	T_1^+	T_2^-	T_3^-	...	T_{N-1}^-	T_N^+
...							
n	$p < p_n^0$	T_1^+	T_2^-	T_3^+	...	T_{N-1}^-	T_N^+
T^+ - напрацювання до відмови даного типу T^- - напрацюв. до цензурування по даному типу відмов							

Якщо прийняти, що система, яка проходить випробування, має послідовну структурну схему надійності (ССН), то логіко-математична умова її відмови може бути записана в вигляді

$$(p_1 < p_1^0) \cdot \text{OR} \cdot (p_2 < p_2^0) \cdot \text{OR} \cdot \dots \cdot \text{OR} \cdot (p_n < p_n^0). \quad (1)$$

Для системи з паралельною ССН така умова буде мати вигляд

$$(p_1 < p_1^0) \cdot \text{AND} \cdot (p_2 < p_2^0) \cdot \text{AND} \cdot \dots \cdot \text{AND} \cdot (p_n < p_n^0). \quad (2)$$

Виходячи з цих умов відмови для систем в цілому, на основі таблиці 2 можливо одержати таблицю 3, де для кожної випробуваної системи, в залежності від її ССН, закладено інформацію про кількість (для послідовної системи), або про множини типів (для паралельної системи) відмов, що відбулись в ній на момент контролю її стану.

Упорядковуючи напрацювання T_k в кожному рядку таблиці 3 по зростанню, ставлячи першими напрацювання до відмови, а потім до цензурування в випадку, коли вони рівні між собою, в таблиці 4 ми одержимо відповідні узгальнені варіаційні ряди (УВР) напрацювань систем з послідовною чи паралельною ССН. Ці варіаційні ряди будуть нести в собі всю вихідну інформацію про надійнісні властивості елементів систем, яка була в таблиці 1, з врахуванням їх впливу на надійність системи в цілому.

Таблиця 3. Відмови і цензурування систем з врахуванням їх ССН

Тип ССН системи	Умова відмови системи	Напрацювання					
		Обліковий номер системи					
		1	2	3	...	N-1	N
Посл.	(1)	$\{L_1\}$ T_1	$\{L_2\}$ T_2	$\{L_3\}$ T_3	...	$\{L_{N-1}\}$ T_{N-1}	$\{L_N\}$ T_N
Парал.	(2)	$\langle R_1 \rangle$ T_1	$\langle R_2 \rangle$ T_2	$\langle R_3 \rangle$ T_3	...	$\langle R_{N-1} \rangle$ T_{N-1}	$\langle R_N \rangle$ T_N

$\{L_k\}$ - кількість відмов, мавших місце в k-тій системі
 $\langle R_k \rangle$ - множина типів відмов, мавших місце в k-й системі

Таблиця 4. Узагальнені варіаційні ряди випробуваних систем

Тип ССН системи	Умова відмови системи	Узагальнені варіаційні ряди систем					
		[L] t_1	[L] t_2	[L] t_3	...	[L] t_{N-1}	[L] t_N
Посл.	(1)	(R) t_1	(R) t_2	(R) t_3	...	(R) t_{N-1}	(R) t_N
Парал.	(2)	(t_1 менше або рівне t_{i+1})					

На основі УВР таблиці 4 можна розв'язати основну задачу статистичного оцінювання безвідмовності систем - знайти оцінки ймовірності безвідмовної роботи систем $P(t)$

$$P(t) = f(t, n, N, P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t), P_1^0(t), \dots, P_n^0(t)),$$

f - функція, що відповідає надійнісній структурі систем,

- багатовимірної функції їх визначальних параметрів, а також знайти її довірчі границі заданого рівня вірогідності γ , на деякому заданому інтервалі існування $[0, t_0]$ для $t_0 \leq T_N$.

Твердження 1. Оцінка ймовірності безвідмовної роботи систем з послідовною структурою, ймовірнісні властивості елементів яких подаються УВР таблиці 4, для всіх $t_1 \leq T_N$ задається виразом

$$\hat{P}(t_1) = \prod_{t_k \leq t_1} \left[1 - \frac{1}{N_k + 1} \right]^{L_k} \quad (3)$$

де N_k - кількість систем, в яких на момент t_k не відбулось відмов елементів;

L_k - суми елементів, що відмовили в системі, якій відповідає даний член УВР t_k з таблиці 4.

Твердження 2. Оцінка ймовірності безвідмовної роботи систем з паралельною схемою надійності, ймовірнісні

властивості елементів яких подаються УВР таблиці 4, для всіх

$t_1 < T_N$ задається виразом

$$\hat{P}(t_1) = 1 - \prod_{l=1}^n \left[1 - \prod_{t_{lk} < t_1} \left(1 - \frac{1}{N_{lk} + 1} \right) \right], \quad (4)$$

де $N_{lk} = N - \sum_{h=1}^k (Rh(1)) \leq t_{lk} \mid Rk(1)=1$.

Тут N_{lk} - кількість систем, в яких ще не відбулось відмови типу l на момент часу t_k для всіх $t_k < t_1$. Знаходять Π по УВР систем.

Довірчі границі оцінок значень $P(t_1)$ систем заданого рівня вірогідності γ , визначаються за допомогою функцій Клоппера-Пірсона $f_2(N, \gamma_1, \gamma)$ і $f_1(N, \gamma_1, \gamma)$, які знаходяться як розв'язки рівнянь

$$\begin{cases} 1 - \gamma = \sum_{k=0}^{\gamma_1} \binom{N}{k} X_1^{N-k} (1 - X_1)^k = J_X(N - \gamma_1, \gamma_1 + 1) \\ \gamma = \sum_{k=0}^{\gamma_1 - 1} \binom{N}{k} X_2^{N-k} (1 - X_2)^k = J_X(N - \gamma_1 + 1, \gamma_1), \end{cases} \quad (5)$$

де N - об'єм випробувань, відповідаючий даному члену УВР;

γ - заданий рівень вірогідності;

γ_1 - загальна кількість відмов для даного t_1 ;

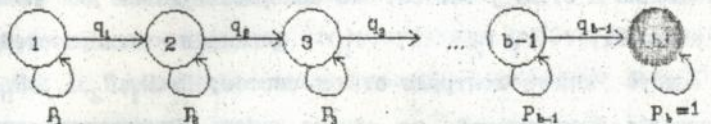
$J_X(a, b)$ - неповна бета-функція,

і позначаються як $X_1 = f_2(N, \gamma_1, \gamma) = \underline{P}(t_1)$ та $X_2 = f_1(N, \gamma_1, \gamma) = \overline{P}(t_1)$.

Числові значення цих функцій обчислюються ітеративно по чисельному алгоритму. Тим самим повністю вирішується поставлена задача статистичного оцінювання безвідмовності систем з послідовною і паралельною ССН.

В підрозділі 2.2 розглядається модель для прогнозування надійності систем. Для аналітико-ймовірнісного подання процесів деградації систем використовується запропонована в роботах Д.Богдановфа та А.Козіна так звана В-модель -

однонаправлений дискретний кінцевий напізмарківський ланцюг зі станами, в яких система послідовно перебуває протягом свого існування і останній з яких є станом відмови з точки зору вибраної умови відмови. Граф переходів такої моделі приведено на мал.1. Сам процес переходів систем з деякого



Мал.1. Граф переходів для марківської В-моделі

поточного стану j в слідувачий розглядається в моделі, як послідовність незалежних випробувань Бернуллі з параметрами p_j і q_j , а часи їх перебування в кожному стані мають при цьому геометричний закон розподілу. Матриця перехідних ймовірностей (МПИ) P для В-моделі має наддіагональний вигляд

$$P = \begin{pmatrix} p_1 & q_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_2 & q_2 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & p_{b-1} & q_{b-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ймовірності станів систем для дискретних моментів часу X , в відповідності з теорією марківських ланцюгів можуть бути подані в вигляді вектор-рядка

$$P_X = P_0 \cdot P^X = P_{X-1} \cdot P = (P_X(1), P_X(2), \dots, P_X(b))$$

де $X = 0, 1, 2$ - дискретний час,

$P_0 = (P_1, P_2, \dots, P_{b-1}, 0)$ - початковий розподіл ймовірностей станів систем,

P_j - ймовірності знаходження систем в стані j при $X=0$,

P^0 - одинична матриця розмірністю $(b \cdot b)$.

Інтегральній функції розподілу напрацювань систем, як їх надійнісній моделі, відповідає динаміка ймовірності $P_X(b)$ знаходження систем в поглинаючому стані b в різні моменти

часу їх функціонування.

В підрозділі 2.3 розглянуті питання, пов'язані з плануванням ТОiP систем. Якщо позначити: τ_j - ймовірність виявлення знаходження обстежуваної системи в стані j при умові, що система перебуває в стані j; Π - ймовірність знаходження в стані j систем, які використовуються для замін при ремонтах; $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_b)$ - розподіл ймовірностей, що описує якість контролю станів систем, $\Pi = (\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_b)$ - розподіл ймовірностей, що описує якість виконуваних при ремонті замін; k - стан, починаючи з якого системи необхідно виводити в ремонт, то при n-ному ремонті доля систем, що фактично ремонтуються буде

$$p_{\Gamma}^{(n)} = \sum_j^b \tau_j p_X(j),$$

а ймовірності перебування систем після їх n-ного ремонту в стані j будуть

$$p_0^{(n)}(j) = \begin{cases} p_{X_n}(j) + \Pi_j \cdot p_{\Gamma}^{(n)}, & j=1, 2, \dots, k-1 \\ (1-\tau_j) p_{X_n}(j) + \Pi_j \cdot p_{\Gamma}^{(n)}, & j=k, \dots, b. \end{cases}$$

Час початку n-ного ремонту може бути визначено, виходячи з граничного рівня $Q_{\Gamma P}$ безвідмовності систем та співвідношень

$$p_{X_n}(b) \leq Q_{\Gamma P}, \quad (6)$$

$$p_{X_n} = p_0^{(n-1)} \cdot P^{X_n - X_{n-1}}, \quad (7)$$

- де p_{X_n} - вектор-рядок ймовірностей станів системи на початку n-го ремонту;
 $p_0^{(n-1)}$ - вектор-рядок ймовірностей станів системи після (n-1)-го ремонту;
 P - матриця перехідних ймовірностей системи;
 X_n - час початку i-го ремонту.

Розглянуті співвідношення з одного боку дають можли-

вість моделювати вплив параметрів ТОiP на міжремонтні проміжки, що забезпечують заданий рівень безвідмовності систем, а з іншого – досліджувати, як змінюється поточна надійність систем в залежності від послідовності моментів проведення їх ремонтів, при фіксованій якості контролю та заміні. Тим самим, задачі поточного оцінювання та прогнозування безвідмовності систем, з врахуванням надійнісних властивостей їх елементів і впливу процесів відновлення при ТОiP, будуть вирішеними.

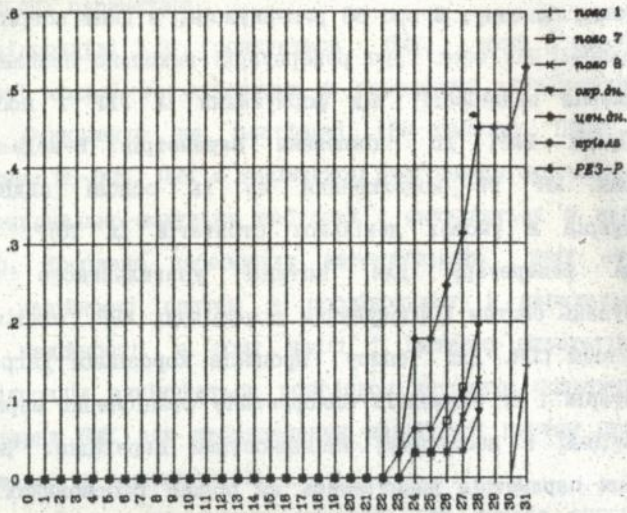
В третьому розділі розглянуті питання відображення концептуально-логічної моделі області дослідження в реляційну базу даних і програмної реалізації розроблених моделей та алгоритмів. В підрозділах 3.1, 3.2 розглянуті реляційні моделі подання даних про поточні стани елементів систем та загальна структура бази даних для аналізу надійності і моделювання ТОiP систем. Існуючі об'єкти та їх відношення замінюються на ідеалізовані об'єкти і математичні відношення між ними. Результатом є реляційна схема бази даних – перелік відношень та їх атрибутів, заданих на деякій множині значень. База даних, завдяки інтеграції в ній всіх даних, дає змогу вирішувати всі задачі, пов'язані з їх обробкою, як послідовність виконання взаємозв'язаних спільними даними процедур. При цьому сам процес формування узагальненого варіаційного ряду напрацювань систем, з точки зору теорії надійності, може тлумачитись, як імітація деякого плану біноміальних випробувань систем в цілому, з позиції визначення відповідності поточних станів їх елементів прийнятій логіко-математичній умові відмови типу (1) або (2), яка враховує як надійнісну структуру цих систем, так і прийнятні для їх елементів гранично допустимі значення

визначальних параметрів.

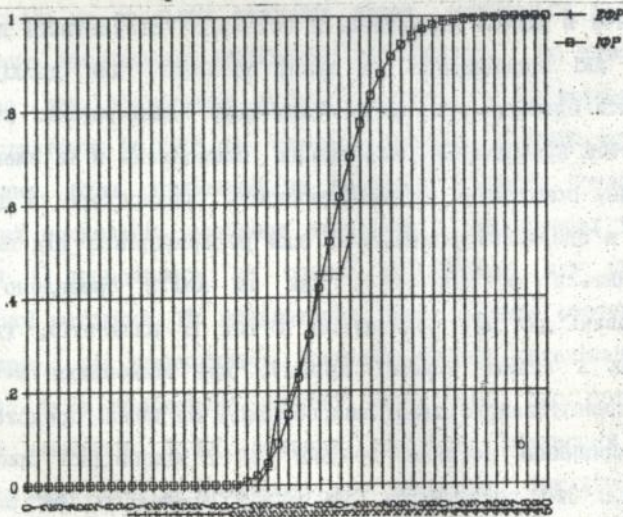
В підрозділі 3.3 описується ПМК, який реалізує розроблені моделі та алгоритми в середовищі dBASE-подібної СУБД і функціонує на платформі IBM-сумісних ПЕОМ під управлінням MS-DOS. ПМК є закінченою програмною системою, що має функціонально-модульну побудову і складається з набору процедур. Комплекс забезпечує автоматизацію всіх етапів аналізу надійності систем з послідовними і паралельними схемами надійності, в тому числі і імітацію стратегій їх ТОiP. Підрозділ закінчується розглядом методики практичного використання ПМК для забезпечення надійності систем при їх проектуванні та експлуатації.

В останньому, четвертому розділі, як спроба апробації викладеного в попередніх розділах підходу і реалізуючих його засобів на реальних вихідних даних, описується процес практичного дослідження надійності резервуарів, що використовуються для зберігання нафтопродуктів, та моделювання деяких стратегій їх ТОiP по станах. Виконані в даній роботі дослідження, були спрямовані на вивчення процесів розвитку корозійних пошкоджень основних елементів в резервуарах типу РВС-5000 і проводились на основі розробленої для цього спеціальної методики. По результатах регламентних обстежень резервуарів, які проводились спеціалізованими організаціями ГКНП РФ, було сформовано вихідну базу даних про поточні стани їх елементів. В БД, зокрема, містилась інформація про умови експлуатації резервуарів, про проектні, фактичні та мінімально допустимі товщини їх елементів та про терміни часу, протягом якого вони експлуатувались. По схожих умовах експлуатації з БД було відібрано для подальшого аналізу інформацію про 44 резервуари, що використовувались для

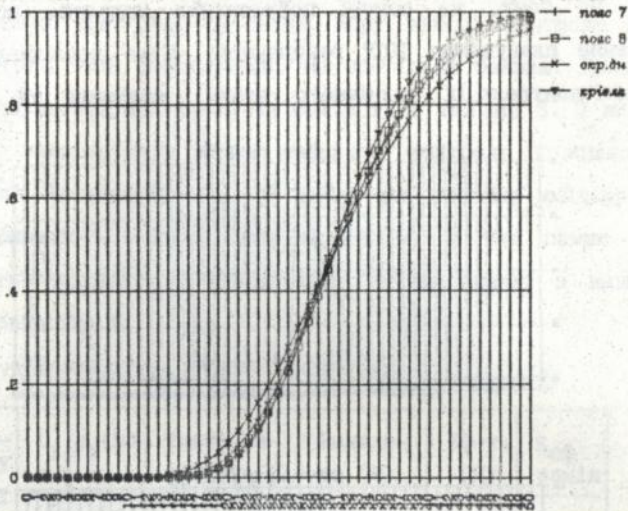
зберігання бензину, й про 68 резервуарів, в яких зберігалось дизтопливо. Для обох груп резервуарів виконано повний цикл дослідження надійності, від формування їх УВР і побудови відповідних ЕФР, до оцінювання параметрів В-моделей і побудови ІФР та моделювання на їх основі надійності резервуарів в умовах декількох стратегій їх ТОіР. Умова відмови резервуару для імітації узагальненого плану випробувань систем і формування відповідних УВР відповідала послідовній ССН. Для опису процесів корозійної деградації резервуарів і їх елементів використано стаціонарні марківські В-моделі з постійними ймовірностями переходів. Числові значення параметрів визначались на основі сформованих УВР. Значення мінімально допустимих товщин елементів резервуарів, які використовувались для завдання умови відмови, приймались виходячи з діючих нормативів й останніх результатів досліджень, які проводяться по даній проблемі. Для досліджених об'єктів одержано нові результати щодо ймовірнісних закономірностей накопичення корозійних пошкоджень в їх елементах і впливу пошкоджень на безвідмовність резервуарів в цілому. Деякі з одержаних результатів для резервуарів з під бензину приводяться на мал. 2-4. Так на мал.2 приведено ЕФР, побудовані для цих резервуарів і тих їх елементів, (днища, верхніх і нижніх поясів, кривлі), які відмовляли з точки зору промітованого плану випробувань. На мал.3 представлено для порівняння поєднані графіки ЕФР і відповідної прийнятій В-моделі ІФР резервуарів. На мал.4 приведено ІФР окремих елементів резервуарів, які відмовляли при імітації випробувань. Відповідно до прийнятої В-моделі, резервуари до своєї відмови послідовно проходять через 20 проміжкових станів. Ймовірності знаходження резервуарів в цих станах, в



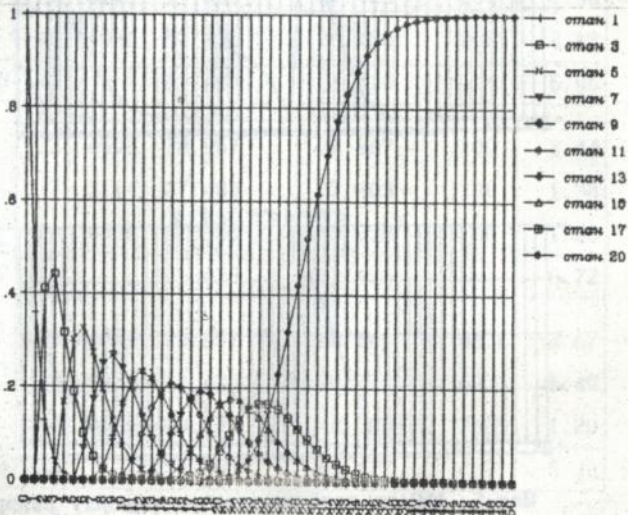
Мал.2. ЕФР для резервуарів, зберігавших бензин
 ($\hat{T}_{\text{ср}} = 29.65$ років, $D_T = 15.85$)



Мал.3. ЕФР і відповідаюча їй з В-моделі ІФР
 (продукт: бензин, $b=20$, $p=0.3591$, $q=0.6409$)



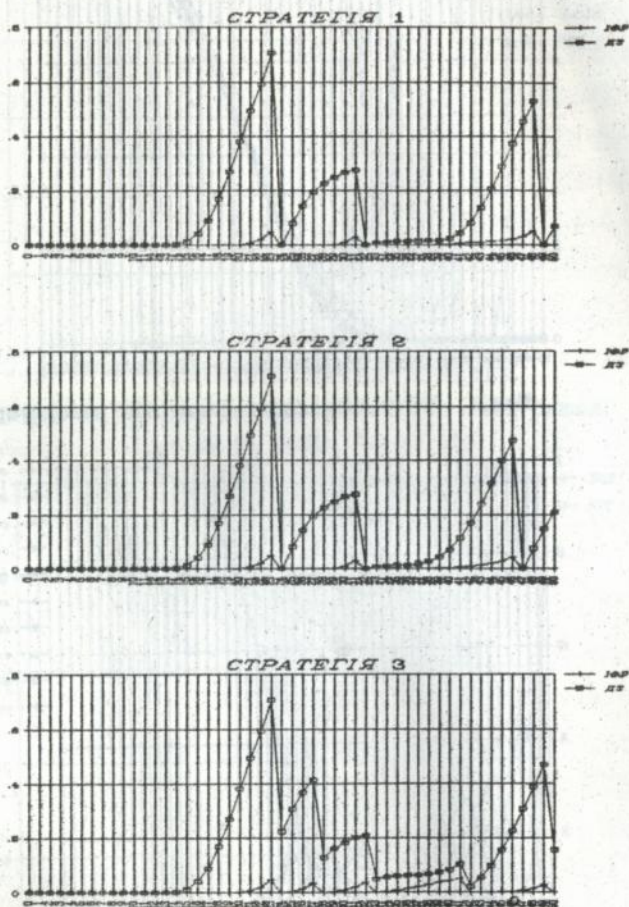
Мал.4. ІОР відмовляючих елементів резервуарів



Мал.5. Імовірності станів резервуарів для різних строків їх експлуатації без ТОіР (продукт: бензин, $b=20$, $p=0.3591$, $q=0.6409$)

різні моменти їх функціонування (без врахування впливу ТОіР) приведено на мал.5.

По тому, на основі побудованих моделей, розглянуті питання планування ТОІР резервуарів. Було досліджено вплив якості контролю їх технічного стану, політики та якості



Мал.6. ІФР та доли вимагаючих ремонту резервуарів для трьох різних стратегій ТОІР

виконуваних заміन елементів на міжремонтні проміжки, що забезпечують заданий рівень їх корозійної надійності.

Промодельовано три різні з точки зору якості контролю й замін стратегії ТОiP резервуарів, що зберігали бензин. Деякі одержані результати приведено на мал.6 та в таблиці 5. З них видно, що використання більш якісного контролю і кращої якості замін (стратегії 1 і 2) майже на третину збільшує середню тривалість міжремонтних проміжків, а тим самим і ефективність експлуатації резервуарів, в порівнянні з менш якісною стратегією 3.

Таблиця 5. Ефективність стратегій ТОiP.

N стратегії	N ремонту	t_i	$p_X(b)$	Треба замінити (%)	Виявлено (%)	Еф-ть (%)	$k_{\text{еф}}$ замін
1	1	23	.4593	70.967	70.967	100	3.44
	2	7	.3114	27.403	27.403	100	1.38
	3	16	.4846	53.050	53.050	100	2.13
$t_{\text{ср}}=15.3$		46		151.420	151.420		6.95
2	1	23	.4593	70.967	70.967	100	3.44
	2	7	.3114	27.403	27.403	100	1.38
	3	14	.4339	47.503	53.050	100	1.90
$t_{\text{ср}}=14.7$		44		151.420	151.420		6.72
3	1	23	.4593	70.967	48.601	68.6	2.67
	2	3	.3433	41.436	28.876	69.7	1.49
	3	4	.3653	20.295	16.000	76.5	1.20
$t_{\text{ср}}=10.0$		30		133.295	93.477		5.36

Всі одержані в роботі чисельні і графічні результати вірно відбивають закономірності протікання корозійного зносу резервуарів в умовах прийнятих стратегій ТОiP і дозволяють робити обґрунтовані висновки, щодо ефективності тієї чи іншої стратегії. Вони підтверджують адекватність і вірогід-

ність розроблених в дисертації моделей і алгоритмів та ефективність використання розробленого на їх основі і реалізованого в середовищі СУБД ПМК, для автоматизації оцінювання поточної надійності об'єктів та розробки обґрунтованих систем їх ТОіР.

В заключній частині перелічено основні результати, одержані при виконанні дисертації, розглянуто можливі напрямки їх використання і розвитку.

В додатку 1 приведено структури основних файлів бази даних, в додатку 2 - вихідні тексти програмних модулів розробленого ПМК.

Основні наукові і практичні результати:

1. Розроблено математичні моделі та алгоритми для оцінювання безвідмовності систем по їх УВР на основі використання реляційних баз даних.

2. Досліджено і використано можливості марківських В-моделей для чисельного опису та моделювання деградаційних процесів, які протікають в складних системах.

3. На основі розроблених моделей, алгоритмів і процедур в середовищі реляційної СУБД створено ПМК.

4. З використанням ПМК і розробленої для його використання методики виконано надійнісний аналіз резервуарів РВС-5000, що зберігали нафтопродукти, з точки зору впливу на їх надійність корозійного зносу елементів, промодельовано типові стратегії їх ТОіР і досліджено їх вплив на експлуатаційну надійність резервуарів та тривалість відповідних міжремонтних інтервалів.

По темі дисертації опубліковано наступні роботи:

1. Використання СУБД для визначення надійності елементів резервуарів / Гненний В.В. // Підвищення ефективності і якості будівництва в нових умовах господарювання / УМК ВО.

- Київ, 1992. - С.45-51. - Бібліогр.: 4 назв. - Рос.

2. Моделювання стратегій ТОiP технічних систем з використанням марківських В-моделей / Гненний В.В. // Інтенсифікація робочих процесів будівельного виробництва / ІСДО. - Київ, 1993. - С.59-63. - Бібліогр.:2 назв. - Рос.

3. Використання марківських В-моделей та засобів СУЕД для визначення строків проведення ремонтів технічних систем / Гненний В.В. // Пр.2-ї наук.-техн. конф.: Питання надійності і оптимізації будівельних конструкцій та машин, Севастополь, 2-7 вересня, 1991. / ЦНДБК, Ін-т проблем механіки АН СРСР.-Сімферополь, 1992. - Ч.1. - С.25. - Рос.

4. Використання СУЕД в надійнісному проектуванні складних систем / Гненний В.В. // Пр. регіон. конф.: Моделювання та автоматизація проектування складних технічних систем, Калуга, жовтень, 1990. / МГТУ ім.М.Е.Баумана.-Калуга, 1990. - Ч.1. - С.105. - Рос.

5. Прогнозування кількісних характеристик процесів старіння будівельних конструкцій / Гненний В.В., Кулик Г.І., Пашковський Г.С. // Пр. Всесоюз. конф.: Проблеми оптимізації і надійності в будівельній механіці, Вільнюс, 4-6 жовтня, 1988. / ГІКНО СРСР, Вільнюс. інж.-буд. ін-т. - Москва, Вільнюс, 1988. - Ч.1. - С.52. - Рос.

6. До питання оцінювання ризику аварій резервуарів / Гненний В.В., Кулик Г.І. // Пр. Республ. конф.: Підвищення ефективності системи нафтопродуктозабезпечення на основі технічного переозброєння, Кіровоград, 21-23 жовтня, 1988. / ГІКНІ України. - Київ, 1988.-Ч.1.-С.107-108. - Бібліогр.: 1 назв. - Рос.

Особистий вклад автора. В роботах, написаних в співавторстві, пошукувачу належать наступні результати: [5] - розробка і використання ПМК для формування і статистичної обробки банку даних про дефекти резервуарів, визначення частот виникнення різних типів дефектів в елементах резервуарів; [6] - обробка інформації про різні типи дефектів резервуарів та розробка математичної моделі надійності резервуарів на основі марківських ланцюгів.

Abstract

Gnenny V.V. Reliability analysis and repair planning for complex systems by relationship data bases.

The thesis (a manuscript) for acquiring a candidate of technical science degree according to speciality 05.13.04-automatic control and information processing systems, University of inward affair MIA of the Ukraine, Kharkov, 1995.

The scientific work that containing theoretical and practical research about automation of the statistical estimation and forecasting unrefusebility for complex systems and also of planning their maintenance on the basis of application the relationship DBSM for personal computers is defenced.

The corresponding mathematical models, algorithms and procedures were alaborated and on basis of it, by dBASE-similar DBMS, the program modeling complex was released. Research of the corrosion influence on the unrefusebility petroleum products reservoir tanks according to the strategys that had been used for their maintenance was carried.

АНОТАЦІЯ

Гненний В.В. Аналіз надійності і планування ремонтів складних систем з використанням реляційних баз даних. Дисертація (рукопис) на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.04 - автоматизированние системы управления и системы обработки информации. Университет внутренних дел МВД Украины, Харьков, 1995.

Защищается научная работа, которая содержит теоретические и практические исследования по вопросам автоматизации статистического оценивания и прогнозирования безотказности сложных систем, а также планирования их ТОиР на основе применения реляционных СУБД для ПЭВМ. Разработаны соответствующие математические модели, алгоритмы и процедуры и на их основе в среде dBASE-подобной СУБД реализован программный моделирующий комплекс, с помощью которого выполнен анализ влияния процессов коррозии на функциональную безотказность эксплуатации резервуаров типа РВС-5000, хранивших нефтепродукты, в условиях используемых при их эксплуатации стратегий ТОиР.

Ключові слова: надійність, ремонт, система, база даних, автоматизація, корозія, резервуар.

Відповідальна за випуск Арістова І. В.

Підписано до друку 1.08.95. Формат 60x84/16. Папір друкарський. Офсетний друк. Умови.
друк. арк. 1,39. Умови. фарб.-відб. 1,39. Тираж 100. Замовлення N 375. Замовлене.
ВІПОП "Дніпро", 320070, м. Дніпропетровськ, вул. Сєрова, 7.

454575

AB 32909

AB 32.909