

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”



**Ахмед З.А. Шараф**

УДК 519.681

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СТАРІЮЧИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ УПРАВЛЯЮЧИХ  
КОМПЛЕКСІВ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ  
ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ**

Спеціальність 05.13.06 – автоматизовані системи управління  
та прогресивні інформаційні технології

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор Раскін Лев Григорович, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри економічної кібернетики та маркетингового менеджменту.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор Нефьодов Леонід Іванович, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри автоматизації та комп’ютерно-інтегрованих технологій;  
доктор технічних наук, професор Шаронова Наталія Валеріївна, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри автоматизованих систем управління.

Провідна установа – Одеський національний політехнічний університет, кафедра прикладної математики та інформаційних технологій у бізнесі, Міністерство освіти і науки України, м. Одеса.

Захист відбудеться “22” червня 2006 року о 14-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”, за адресою: 61002, Харків – 2, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, 61002, Харків – 2, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “17” травня 2006 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Гамаюн І.П.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Ефективність сучасних складних систем, виробництв і технологічних процесів істотно залежить від їхньої надійності. У багатьох випадках виникнення відмови під час реалізації технологічного процесу приведе до необоротних наслідків і серйозних непоправних втрат (наприклад, при вирощуванні монокристалів). Природний шлях підвищення безвідмовності техніки за рахунок удосконалювання елементної бази вимагає більших витрат і вже не може забезпечити задоволення зростаючих вимог до надійності сучасних складних систем. У зв'язку із цим усе більше важливого значення набуває напрямок, пов'язаний з удосконалюванням системи експлуатації техніки, зокрема, з оптимізацією стратегії технічного обслуговування. Добре відомо, що своєчасне і якісне обслуговування технічних систем сприяє поліпшенню технічного стану, відновленню надійніших властивостей і запобіганню відмов. З іншого боку, управління стратегією технічного обслуговування, оптимізація параметрів таких стратегій неможливі без залучення належним чином організованих систем технічного діагностування (СТД) стану експлуатованих об'єктів. Методики рішення задач раціональної організації функціонування системи технічного діагностування засновані на використанні математичних моделей процесу експлуатації об'єктів діагностики в режимах застосування по призначенню, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування. Розробці таких моделей присвячена величезна кількість робіт закордонних і вітчизняних авторів. Разом з тим, незважаючи на достаток і розмаїтість публікацій по цій проблематиці, залишаються недостатньо проробленими ряд важливих задач. Ці задачі, з одного боку, пов'язані з необхідністю вдосконалювання та подальшого розвитку математичних методів побудови моделей функціонування систем діагностування, а з іншого - використання цих методів для одержання конкретних рекомендацій з розрахунку оптимальних параметрів систем діагностики. Необхідність розв'язання цих задач визначає актуальність теми дисертації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, які були виконані в рамках дисертаційної роботи, тісно пов'язані з темами науково-дослідних робіт, які виконувалися в НТУ “ХПІ” при особистій участі здобувача як виконавця: “Розробка методики оцінки ефективності системи технічного діагностування старіючих систем управління технічним процесом вирощування монокристалів” (договір про наукове співробітництво з Інститутом сцинтиляційних матеріалів, 2005 р.).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є підвищення надійності старіючих систем на основі використання математичних моделей системи технічного діагностування їх стану. Для досягнення поставленої мети в роботі були сформульовані та вирішені наступні задачі:

– розробка дискретної моделі, яка базується на понятті “подія”, системи технічного діагностування на основі математичного апарата марковських ланцюгів;

- розробка безперервних моделей системи технічного діагностування старіючих систем на основі математичного апарата марковських і напівмарковських процесів;
- розробка методики оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування старіючих систем.

*Об'єктом дослідження є процес технічного діагностування старіючих технологічних систем.*

*Предмет дослідження – математичні моделі систем технічного діагностування стану технологічних систем.*

*Методи дослідження.* Для розв'язання поставлених задач у роботі використовувалися методи теорії ймовірностей, математичної статистики, методи теорії інтегральних перетворень, теорії матриць, математичного програмування. Інформаційну базу дослідження становлять статистичні дані про відмови елементів установок по вирощуванню монокристалів, які надані Інститутом сцинтиляційних матеріалів НАНУ (м. Харків).

**Наукова новизна одержаних результатів.** У дисертаційній роботі розроблене математико-методологічне забезпечення побудови моделей систем технічного діагностування стану об'єктів, що містить наступні наукові результати:

*вперше:*

- отримано комплекс марковських і напівмарковських моделей функціонування СТД стану старіючих об'єктів діагностування (ОД), які дозволяють урахувати наявність схованих і помилкових відмов, а також ненадійність апаратури контролю (АК);
- показано, що для високонадійних технічних систем традиційні підвищені вимоги до безвідмовності АК є зайвими;
- сформульовано й вирішено задачу раціонального розподілу ресурсу, виділюваного для забезпечення безвідмовності системи, між об'єктом контролю і апаратурою контролю;
- розроблено метод відшукування оптимальної періодичності контролю систем у випадку неповної інформації про їхню безвідмовність; задача вирішена в припущенні про “найгірший” закон розподілу випадкового інтервалу між відмовами;

*одержали подальший розвиток:*

- методи аналізу надійності складних систем високої розмірності, що використовують нову технологію розрахунку сукупності інтервально-перехідних ймовірностей, що дали теоретичне обґрунтування для застосування методів оптимізації періоду контролю;
- методи оптимізації періоду контролю старіючих систем з урахуванням високої розмірності сукупності технічних характеристик ОД і АК;

*удосконалено:*

- інформаційну технологію розрахунку періоду контролю з використанням комплексного техніко-експлуатаційного та економічного критерію.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практична цінність одержаних результатів складається в їхньому впровадженні при організації технічного обслуговування установок вирощування крупногабаритних монокристалів в Інституті скінтіляційних матеріалів. Розроблені методики використані в навчальному процесі при проведенні лекційних і лабораторних занять з курсів “Теорія випадкових процесів”, “Прогнозування випадкових процесів” на кафедрі економічної кібернетики і маркетингового менеджменту (ЕКММ) факультету інформатики і управління НТУ “ХП”.

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні результати, які винесені на захист дисертаційної роботи, одержані здобувачем особисто. Серед них: модель функціонування СТД на основі марковських ланцюгів, яка базується на понятті “подія”; марковська та напівмарковська моделі для старіючих систем, що регенерують; методика розрахунку оптимальної періодичності контролю старіючих систем.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дослідження доповідалися на Міжнародній науково - технічній конференції “Системи автоматики та автоматичне управління” (м. Севастополь, 2003 р.), Міжнародному молодіжному форумі “Радіоелектроніка та молодь у ХХІ сторіччі” (м. Харків, 2003 р.), XI-й і XII-й Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (м. Харків, 2003 р., 2005р.).

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковано 7 робіт, в тому числі 6 – у спеціалізованих фахових виданнях ВАК України.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновку, додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 214 сторінок. З них 17 ілюстрацій по тексту, 7 ілюстрацій на 7 сторінках, 8 таблиць по тексту, додаток на 30 сторінках, 87 найменувань використаних джерел на 8 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** розкрито стан проблеми, обґрунтована актуальність теми, сформульована мета роботи, показані наукова новизна та практичне значення одержаних результатів.

**У першому розділі** проведений аналіз розвитку науково-технічного напрямку “надійність техніки”. На основі цього аналізу формулюються основні напрямки забезпечення надійності систем, найважливіший з яких полягає в раціональній організації експлуатації цих систем з урахуванням умов і режимів їхнього функціонування. Найважливішою складовою частиною експлуатації систем є технічне обслуговування (ТО). При цьому ефективність використання раціональних стратегій технічного обслуговування систем стає тим більш істотною, чим вище складність системи та рівень відповідальності розв'язуваних задач (є великою небезпека збоїв, відмов, відхилень від

штатного режиму функціонування). Ці характеристики систем проявляють себе найбільшою мірою для комплексів технічних засобів автоматизованих систем управління технологічними процесами (КІЗ АСУ ТП) і локальних інформаційних управляючих систем (ЛІУС). У розділі ставиться задача визначення раціональної стратегії ТО комплексів технічних засобів за станом, яка передбачає періодичний контроль параметрів, що визначають технічний стан ОД. Рішення про проведення технічного обслуговування або ремонту приймається тоді, коли значення контрольованих параметрів досягають передкритичного рівня. Для реалізації описаної стратегії експлуатації КІЗ АСУ ТП і ЛІУС за станом необхідно вміти оцінювати та прогнозувати їхній технічний стан. Звертається увага на те, що ефективність реалізованої стратегії ТО за рівнем надійності в істотному ступені залежить від якості рішення задачі розробки математичного забезпечення методики визначення раціональної стратегії ТО КІЗ. При цьому в розділі проведено аналіз традиційно використовуваних критеріїв ефективності функціонування об'єктів діагностики (ОД) і обґрунтовується необхідність введення критерію, що враховує витрати, пов'язані з існуванням схованих і помилкових відмов. Таким показником доцільно використати стаціонарну ймовірність перебування ОД у підмножині  $G_r$  працездатних станів безлічі всіх можливих станів  $G$ ,  $G_r \subset G$ .

В розділі проведено аналіз математичних моделей систем технічного діагностування. Показано, що загальним принциповим недоліком відомих моделей функціонування СТД є відсутність спільного, комплексного аналізу залежності ефективності ОД від інтенсивностей відмов ОД і АК, а також від чисельного значення всіх інших параметрів системи. Крім того, у всіх цих моделях не враховуються можливі розходження в результатах проведення технічного обслуговування складних систем.

Розділ завершується постановкою задачі дослідження. При цьому пред'явлені вимоги до розроблюваної моделі СТД і сформульовані задачі, які модель повинна вирішувати.

**Другий розділ** присвячений розробці математичних моделей функціонування СТД. З метою оцінки ефективності СТД із урахуванням безвідмовності об'єкта контролю (ОК) і апаратури контролю запропонована дискретна марковська модель - марковський ланцюг (МЛ). При цьому введено безліч можливих станів системи:  $E_1$  – ОК працездатний, АК працездатна;  $E_2$  – ОК перевіряється працездатною АК, ОК у момент контролю відмовив;  $E_3$  – працездатний ОК перевіряється працездатною АК;  $E_4$  – працездатний ОК проходить поглиблений контроль працездатності у випадку помилкової реєстрації відмови;  $E_5$  – ОК працездатний, АК відмовила і проходить контроль працездатності.

Визначимо ймовірності переходів уведеного МЛ:  $P_{12}=P_{OK}$  – ймовірність відмови ОК на інтервалі  $T_0$  між контролями;  $P_{13}=(1-P_{OK})(1-P_{AK})$  – ймовірність того, що ОК і АК на інтервалі  $T_0$  не відмовили;  $P_{21}=D_1$  – ймовірність виявлення відмови ОК працездатною АК;  $P_{22}=1-D_1$  – ймовірність не виявлення відмови ОК працездатною АК при його контролі;  $P_{34}=G_1$  – ймовірність фіксації помил-

кової відмови ОК працездатній АК;  $P_{31}=1-G_1$  – імовірність нормального проходження контролю ОК працездатною АК;  $P_{41}=D_3$  – імовірність того, що в результаті проходження контролю помилкова відмова ідентифікована;  $P_{44}=1-D_3$  – імовірність того, що в результаті проходження поглибленого контролю помилкова відмова підтверджена ( $P_{44}=1 - P_{41}$ );  $P_{15}=P_{AK}(1-PO)$  – імовірність відмови АК за умови, що ОК не відмовив;  $P_{51}=D_2$  – імовірність виявлення відмови АК;  $P_{54}=(1-D_2)G_2$  – імовірність фіксації помилкової відмови ОК непрацездатною АК, відмова якої не виявлена;  $P_{55}=(1-D_2)(1-G_2)$  – імовірність відсутності помилкової відмови ОК непрацездатною АК, відмова якої не виявлена.

Вектор стаціонарних ймовірностей станів системи  $P=(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)$  відшукується шляхом вирішення матричної системи рівнянь  $P = PW$ ,  $W=(P_{ij})$ ,  $i=1,2,3,4,5$ ,  $j=1,2,3,4,5$  з додаванням умови нормування. При цьому найбільший інтерес представляє імовірність перебування системи в стані нормального функціонування

$$P_1 = \frac{D_1 \lambda - \lambda - D_2 \lambda - G_2 \overline{D}_3}{\lambda - \exp(-\lambda_{OK} T_0) + D_1 \overline{A}}; \quad (1)$$

Одержане співвідношення (1) дозволило сформулювати та вирішити ряд задач аналізу безвідмовності системи. По-перше, у розділі вирішена задача відшукування раціонального періоду контролю системи. Як критерій ефективності обраної стратегії контролю використовується імовірність  $P_1$  перебування системи в стані  $E_1$ , який відповідає працездатності ОК і АК. На рис. 2 представлені графіки відповідних залежностей  $P_1(T_0)$  для різних  $\lambda_{OK}$  і  $\lambda_{AK}$ .

Наступна задача, яка представляє практичний інтерес, складається у відшуванні раціонального розподілу ресурсу, який виділяється для підвищення безвідмовності системи, між апаратурою ОК і АК.

Далі в розділі обґрунтована залежність середнього часу безвідмовної роботи комплектуючих елементів апаратури від їхньої середньої вартості

Вирішена задача відшукування набору  $C_{OK}$ ,  $C_{AK}$ , максимізуючого і задовольняючого  $C_{OK} + C_{AK} = d$ , де  $d$  – обмежений ресурс, який витрачається на комплектуючі елементи системи.

Далі в розділі показано, що найбільш змістовну модель процесу експлуатації РЕС можна одержати при використанні математичного апарата теорії напівмарковських процесів, безперервних у часі, але з дискретною безліччю станів. Для опису відповідної моделі одержано матрицю ймовірностей переходів  $W$  і матрицю  $F(t)$  законів розподілу тривалості перебування в можливих станах системи до переходу в інші стани, відповідних графу станів і переходів.

Таким чином, у розділі підготовлено математичний інструмент для вирішення задачі відшукування оптимальної тривалості міжконтрольного інтервалу  $T_0$ .

У третьому розділі розробляється методика визначення оптимальної періодичності контролю для систем, що регенерують.

Для багатьох реальних систем справедливе припущення, що в результаті проведення перевірок і наступних регламентних робіт відбувається повне їхнє відновлення. При цьому явищами зносу та старінням зневажають. Такий процес експлуатації прийнято називати таким, що регенерує, і для

нього  $\lambda_{OK} \bar{\lambda}_{OK} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} \lambda_{OK} dt$  і  $\lambda_{AK} \bar{\lambda}_{AK} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} \lambda_{AK} dt$ . При цьому напівмарковський

процес стає стаціонарним, а вкладений марковський ланцюг - однорідним.

З урахуванням одержаних співвідношень знайдені вираження для фінальних ймовірностей  $\pi_j$  перебування системи на безлічі можливих станів.

Далі в розділі досліджена залежність величини оптимального періоду контролю від технічних характеристик системи. Для довільних законів розподілу випадкової тривалості безвідмовної роботи об'єкта контролю  $\xi$  та апаратури контролю  $\zeta$  використовувалася імітаційна модель, організована за календарним принципом. При цьому формувалися випадкові величини інтервалів між відмовами відповідно до законів  $P_{OK} \bar{P}_{OK}$ ,  $P_{AK} \bar{P}_{AK}$ , наданих формулами (4).

За допомогою імітаційної моделі для заданого набору технічних характеристик СТД ( $D_1, D_2, D_3, G_1, G_2$ ) і обраного значення  $T_0$  оцінювався середній час перебування системи в стані нормального функціонування. Далі, варіацією  $T_0$  визначався оптимальний період контролю для цього набору технічних характеристик системи.

Результати роботи імітаційної моделі використані для побудови регресійної моделі, яка описує залежність величини оптимального періоду контролю від чисельного значення технічних характеристик.

У цій моделі враховані можливі впливи самих технічних характеристик і їхніх парних взаємодій. Загальне число невідомих параметрів рівняння регресії дорівнює 29. Для їхнього оцінювання необхідне проведення 250 - 300 прорахунків. Додаткова трудність при одночасному оцінюванні такої великої кількості параметрів складається в необхідності "рівномірного" заповнення виникаючого тут семимірному простору параметрів крапками, що відповідають прорахункам. Організація такого експерименту є трудомісткою. У зв'язку з цим у роботі запропонована інша технологія вирішення сформульованої задачі, яка заснована на ідеї параметризації.

Уведено модель, що описує шукану залежність:

Відшукання коефіцієнтів рівнянь регресії проведено з використанням повного п'ятифакторного експерименту. У результаті були одержані співвідношення:

$$a_0(F) = 0.68 + 0.0566D_1 + 0.0112D_2 + 0.0027D_3 + 0.0113G_1 - 0.0008G_2,$$



$$a_1(F) = 0.0154 + 0.0016D_1 + 0.00021D_2 + 0.00014D_3 + 0.0012G_1 + 0.00004G_2,$$

$$a_2(F) = 0.0002 + 0.0005D_1 + 0.00008D_2 + 0.00006D_3 + 0.0003G_1 + 0.00004G_2.$$

Підстановка одержаних виражень дає співвідношення, що дозволяє розрахувати оптимальний період контролю залежно від значень технічних параметрів системи.

Аналіз одержаних результатів дозволив зробити наступні висновки.

Збільшення інтенсивності відмов ОК і АК приводить до зниження імовірності перебування в  $E_1$  і зменшенню періоду контролю.

Зміна інтенсивності відмов ОК впливає значно сильніше, ніж зміна інтенсивності відмов АК. На всіх рисунках криві, які відповідають різним значенням  $\lambda_{AK}$  (що відрізняються на порядок), практично зливаються. Це означає, що підвищення надійності АК не дозволяє домогтися істотного приросту  $\pi_1(T_o)$  і тому пред'явлення більш твердих вимог до надійності АК у порівнянні з вимогами до надійності ОК є недоцільним.

Значення імовірності  $D_1$  виявлення відмов ОК для працездатної до початку перевірки АК робить найбільш істотний вплив як на величину  $K_p$ , так і на величину оптимального періоду  $T_o$ . Причому, збільшення  $D_1$  приводить до збільшення величини  $\pi_1(T_o)$  і  $T_o$ . Від величини імовірності  $D_1$  залежить час перебування модуля в стані з невиявленою відмовою. Ця обставина і спричиняє “чутливість”  $\pi_1(T_o)$  і величини оптимального періоду контролю до значення ймовірності  $D_1$ .

Значення імовірності реєстрації помилкової відмови несправної апаратури контролю  $G_2$  робить дуже слабкий вплив на величини  $\pi_1(T_o)$  і  $T_o$ , що пояснюється малою імовірністю відмови АК. З іншого боку, збільшення імовірності реєстрації помилкової відмови справною апаратурою контролю впливає, істотно збільшуючи період контролю й величину  $\pi_1(T_o)$ . Зміни ймовірностей виявлення відмов АК та ідентифікації помилкової відмови ОК ( $D_2$  і  $D_3$ ) практично не впливають на величини  $T_o$  і  $\pi_1(T_o)$  через відносно високий рівень надійності апаратури.

**Четвертий розділ** присвячений розробці методики визначення оптимальної періодичності контролю повільно старіючих систем.

У роботі прийнято, що якщо процес відновлення системи не забезпечує регенерацію її технічного стану, то систему необхідно вважати повільно старіючою.

Одержані в розділі 3 співвідношення для оптимальної періодичності контролю ґрунтувалися на припущенні, що тривалість перехідного процесу ПМП досить мала в порівнянні з періодом контролю. При цьому кусочно-постійна апроксимація законів зміни інтенсивностей відмов є припустимою, що приводить до стаціонарності напівмарковського процесу, що описує надійнісну еволюцію системи на кожному з інтервалів сталості параметрів ПМП. У загальному випадку згадане допущення може привести до грубих помилок.

Природною характеристикою безвідмовності старіючих систем є закон розподілу тривалості перебування системи на безлічі працездатних станів до першого переходу в безліч станів, в яких система виведена з режиму функціонування (відмова або контроль). Цей закон розподілу одержано з використанням інтервально-перехідних ймовірностей, що встановлюють для пари станів  $(i, j)$  умовну ймовірність того, що в момент  $t$  система буде перебувати в стані  $j$ , якщо в момент  $t=0$  вона була у стані  $i$ .

Запишемо систему алгебраїчних рівнянь у матричному виді. Для цього введемо матриці  $\Phi \bar{\mathbb{R}} = \Phi_{ij} \bar{\mathbb{R}}$ ,  $f \bar{\mathbb{R}} = f_{ij} \bar{\mathbb{R}}$  і діагональну матрицю  $\psi \bar{\mathbb{R}} = \delta_{ij} \psi_i \bar{\mathbb{R}}$ . Крім цього, уведемо спеціальний тип множення матриць, позначивши його знаком “ $\otimes$ ”. Якщо  $A, B, C$  – квадратні матриці, то запис  $C=A \otimes B$  означає, що елементи матриці  $C$  є добутком відповідних елементів матриць  $A$  і  $B$ , тобто  $c_{ij}=a_{ij}b_{ij}$ . З урахуванням уведених позначень система рівнянь після перетворення переписується у вигляді

$$\Phi^* \bar{\mathbb{R}} = \mathbb{1} - W \otimes f^* \bar{\mathbb{R}} \psi^* \bar{\mathbb{R}}.$$

Співвідношення визначає зображення по Лапласу шуканої матриці інтервально-перехідних ймовірностей. На жаль, одержати точне рішення в явному виді вдається тільки в найпростіших ситуаціях. Справа в тому, що для реальних щільностей розподілу випадкових величин, що описують функціонування системи (наприклад, релеєвський, нормальний розподіл) лапласове зображення є досить складним. Матриця цих зображень, помножена покомпонентно на матрицю  $W$  й віднята потім з одиничної матриці, звертається. Одержана зворотна матриця, помножена на матрицю  $\Psi^*$ , дає в результаті матрицю  $\Phi^* \bar{\mathbb{R}}$ , аналітичний опис елементів якої вдається одержати реально тільки для найпростішого випадку, коли число станів системи дорівнює двом. У зв'язку із цим у роботі запропонована методика чисельного вирішення задачі для довільної розмірності, що полягає в наступному.

Виберемо сукупність значень  $s_i \in \mathbb{R}_1, s_2, \dots, s_n \in (0, \infty)$ . Далі для кожного  $s_i$  по формулі (10) розрахуємо набір матриць  $\Phi^*(s)$ . Ця процедура для кожного обраного числового значення  $s_i \in \mathbb{R}_1, s_2, \dots, s_n, i = \overline{1, n}$ , легко реалізується шляхом виконання елементарних операцій із числовими матрицями  $W, f^* \bar{\mathbb{R}}, \psi^* \bar{\mathbb{R}}$ . Тепер для кожного елемента  $(i, j)$  матриці  $\Phi^* \bar{\mathbb{R}}$  маємо відповідний набір чисел  $\Phi_{ij}^* \bar{\mathbb{R}}_1, \Phi_{ij}^* \bar{\mathbb{R}}_2, \dots, \Phi_{ij}^* \bar{\mathbb{R}}_n$ , з використанням якого одержимо апроксимацію функції  $\Phi_{ij}^* \bar{\mathbb{R}}$ . Точність апроксимації визначається належним набором значень  $s_1, s_2, \dots, s_n$  і може бути зроблена як завгодно високою. При цьому важливо, що апроксимацію  $\Phi_{ij}^* \bar{\mathbb{R}}$  можна шукати в наперед заданому класі функцій, наприклад, серед дробово-раціональних функцій, можливість

розкладання яких на елементарні дроби забезпечує легкість і зручність виконання зворотного перетворення Лапласа для одержання шуканих інтервально-перехідних ймовірностей  $\Phi_{ij}$ .

Характер зміни інтервально-перехідних ймовірностей  $\Phi_{ij}$  проілюстрований на рис. 4. Далі в розділі розглядається задача відшукування оптимальної періодичності контролю при неповній інформації про безвідмовність системи. Задача відновлення закону розподілу випадкової величини інтервалу між відмовами не може бути вирішена з необхідною точністю для високо надійних систем, що рідко відмовляють. Однак реальної інформації про відмови таких систем, як правило, виявляється досить для вирішення більш простої задачі статистичної оцінки основних числових характеристик випадкової тривалості інтервалу між відмовами - математичного очікування та дисперсії. У цій ситуації відшукування оптимальної періодичності контролю природно здійснювати в припущенні про "найгірший" законі розподілу інтервалу між відмовами серед всіх законів з обчисленими значеннями моментів. Одержуване при цьому значення періоду контролю дозволяє оцінити нижню границю можливих значень періоду контролю. Для вирішення задачі використовується сучасний математичний апарат - континуальне лінійне програмування (КЛП).

Відповідно до теорії КЛП "найгірша" щільність розподілу відшукується в класі лінійних комбінацій дельта-функцій Дірака.

Одержана щільність розподілу випадкової тривалості безвідмовної роботи забезпечує максимальну імовірність відмови на інтервалі  $[0, R_0]$  при заданих значеннях моментів розподілу  $\mu_1$  й  $\mu_2$ , тобто є "найгіршою". Показано, що "найгірший" розподіл нав'язує частоту контролю майже вдвічі більшу, ніж експонентний і, таким чином, визначає нижню границю можливих значень періоду контролю.

**У п'ятому розділі** проводиться розрахунок оптимальної періодичності контролю промислових установок вирощування монокристалів. Комплекс технічних засобів, що входять в установку для вирощування кристалів, має високу надійність. Тверді вимоги до безвідмовності системи пов'язані з високою вартістю кристалів і неможливістю усунути дефект у кристалі, якщо такий з'явився в результаті відмови якого-небудь елемента системи. У зв'язку із цим виникаючі епізодичні відмови рідкі (1-2 у рік), миттєво діагностуються та негайно усуваються. Набагато більшу небезпеку представляють сховані відмови в системі, головним чином, пов'язані з порушенням електричних контактів у розніманнях, у результаті чого виникає нестабільність діаметра зростаючого кристала, що досягає 5-6%.

Крім того, існує ще одне джерело схованих відмов. У системі управління установкою зросту найважливішу роль грає аналоговий привід постійного струму, що задає швидкість витягування монокристала з розплаву, тобто, фактично, швидкість кристалізації. Зміна параметрів приводу в часі приводить до монотонної зміни штатної швидкості витягування кристала та пропорційній зміні

діаметра зростаючого монокристала. У приводах, які сьогодні коштують на виробничих установках вирощування, відхід швидкості становить до 5% у добу, що приводить до відповідного відходу діаметра кристала від заданого значення в 1-2%.

Таким чином, сумарна нестабільність діаметра зростаючого кристала під дією всіх схованих відмов може скласти 6-8%, що зовсім неприпустимо у виробничих умовах, тому що приводить до значних економічних втрат через різке погіршення якості вирощених кристалів. У 2004 році ці втрати за приблизними оцінками склали 30-40 тисяч доларів США.

Для оптимізації періоду контролю установок з урахуванням виникнення схованих відмов уведена напівмарковська модель функціонування системи технічного діагностування стану обсягу контролю при наступних допущеннях:

- об'єкт контролю (система вирощування кристалів) контролюється із заданою періодичністю  $T_0$ , тривалість контролю  $T_k$ ;
- на інтервалі між контролями ОК з імовірністю  $P_{OK}$  відмовляє та продовжує функціонувати в стані схованої відмови з погіршенням якості;
- схована відмова виявляється при черговому контролі з імовірністю, рівною 1;
- імовірність помилкової відмови дорівнює 0;
- потік відмов - нестационарний пуассоновський;
- інтенсивності  $\lambda_m$  на  $m$ -му інтервалі.

Показано, що фінальна імовірність  $\pi_1(T_0)$  перебування системи в стані нормального функціонування визначається співвідношенням:

Максимізація вираження по  $T_0$  дає значення оптимального періоду контролю.

Проведені розрахунки показують, що, з погляду середньої тривалості перебування системи в стані нормального функціонування, оптимальний період контролю навіть для найстаріших установок становить порядку 24 днів.

Разом з тим цей критерій не враховує тієї важливої обставини, що вартість кристала, вирощеного в умовах схованої відмови, залежить від часу існування цієї відмови. У зв'язку із цим критерій ефективності СТД модифікований. Прийнято, що вартість монокристала, вирощеного в умовах існування схованої відмови знижується до рівня  $\beta$  % від номінальної, залежного від часу існування схованої відмови. Показано, що середня вартість виготовлених протягом  $T_0$  кристалів (в одиницях вартості кристала, вирощеного в умовах нормального функціонування установки) дорівнює

$$R(x) = \frac{T_0 x}{T_b x + T_k} \left[ \exp - (1 - e^{-\lambda x T_b}) x T_b + \beta \exp - (1 - e^{-\lambda x T_b}) x T_b e^{-\lambda x T_b} \right]$$

Тут інтенсивність відмов  $\lambda$  відповідає середньому для обраного інтервалу експлуатації значенню сумарної інтенсивності відмов установки. Аналіз цих графіків показує, що в реальному діапазоні значень інтенсивності відмов установок профілактичний контроль рознімань варто проводити після кожного вирощування.

У **додатках** наведені графіки залежності ймовірностей перебування системи у стані нормального функціонування від тривалості періоду контролю, а також таблиці відмов рівнеміра.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача підвищення надійності старіючих систем шляхом оптимізації параметрів системи технічного діагностування їх станів. Основні результати і висновки дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Відповідно до мети дослідження в дисертації розроблений комплекс математичних моделей систем технічного діагностування стану старіючих технологічних систем, що враховують наявність схованих і помилкових відмов, а також ненадійність апаратури контролю.

2. Показано, що для високонадійних технологічних систем традиційні підвищені вимоги до безвідмовності апаратур контролю зайві. Вирішена задача раціонального розподілу ресурсу, виділюваного для підвищення безвідмовності системи, між апаратурною ОК і АК.

3. Показано, що запропонована модель СТД забезпечує можливість розрахунку оптимального періоду контролю з урахуванням специфічних законів розподілу тривалості безвідмовного функціонування ОК і АК, можливості існування схованих і помилкових відмов, розходжень в ймовірностях виявлення відмов об'єкта діагностики справною та несправною апаратурами контролю, розходження в ймовірностях фіксації помилкової відмови справною й несправною апаратурами контролю, розходження в ймовірностях правильної ідентифікації помилкової відмови при проходженні штатного та поглибленого контролю, а також спільного впливу технічних характеристик на ефективність системи технічного обслуговування.

4. Розроблено методику розрахунку інтервально-перехідних ймовірностей для напівмарковської системи високої розмірності, що є теоретичною основою використання традиційних методів розрахунку оптимального періоду контролю для старіючих технологічних систем.

5. В умовах неповної інформації про безвідмовність системи запропоновано методику оптимізації періоду контролю, яка заснована на відшуканні “найгіршого” закону розподілу інтервалу між відмовами. Показано, що в конкретній задачі оптимізації стратегії технічного обслуговування установок для вирощування монокристалів традиційний технічний критерій (імовірність перебування системи в стані нормального функціонування) не забезпечує одержання періоду контролю, оптимального з погляду економічного критерію - середня вартість вирощування кристалів. Уста-

новлено, що для реальних апаратур, використовуваних для вирощування монокристалів, профілактичне обслуговування доцільно проводити після кожного вирощування.

6. Практичне значення результатів роботи підтверджено актом Інституту сцинтиляційних матеріалів та довідкою НТУ “ХПІ” про використання результатів дисертаційної роботи. Результати досліджень використано у курсах лекцій кафедри ЕКММ НТУ “ХПІ”: “Теорія випадкових процесів”, “Прогнозування випадкових процесів”.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Раскин Л.Г., Серая О.В., Ахмед З.А. Шараф. Быстрый датчик случайных величин с заданным законом распределения // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”.- Харків: НТУ “ХПІ”.-2002. - №9. – Т.6. – С.107-110.

Здобувачем був запропонований підхід перебудови заданого закону розподілу до вигляду, вигідному для використання методу зворотних функцій.

2. Раскин Л.Г., Ахмед З.А. Шараф. Оптимизация стратегии контроля работоспособности сложных систем при неполной информации об их надежности // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”.- Харків: НТУ “ХПІ”.- 2002. - №13. – С.34-38.

Здобувачем була розроблена методика відшукування стратегії контролю при неповній інформації про стан системи.

3. Раскин Л.Г., Ахмед З.А. Шараф. Методика исследования полумарковских моделей стареющих систем с большим числом состояний // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”.- Харків: НТУ “ХПІ”.-2003.-№2.-Т.7.- С.57-60.

Здобувачем була розроблена напівмарковська модель старіючих систем.

4. Раскин Л.Г., Ахмед З.А. Шараф. Отыскание рациональной стратегии технического обслуживания сложных систем по состоянию // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”.- Харків: НТУ “ХПІ”.- 2003. - №6. – Т.1. – С.63-68.

Здобувачем була запропонована методика відшукування раціональної стратегії обслуговування по стану.

5. Раскин Л.Г., Ахмед З.А. Шараф. Оценка эффективности непараметрических критериев обнаружения тренда интенсивности отказов // Системы автоматизации и автоматическое управление. – Севастополь: Сев. НТУ. – 2003. – С.70-74.

Здобувачем була запропонована методика оцінки ефективності критеріїв виявлення тренду.

6. Раскин Л.Г., Ахмед З.А. Шараф. Оценка тренда интенсивности отказов стареющих систем // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”.- Харків: НТУ “ХПІ”.- 2003. - №18. – С.47-50.

Здобувачем була заснована технологія оцінки тренда відмов старіючих систем.

7. Раскин Л.Г., Ахмед З.А. Шараф. Методика исследования переходного режима для полумарковских моделей эксплуатации систем // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. - Харків: НТУ “ХПІ”. – 2004. - №45. – С.141-146.

Здобувачем був проаналізований перехідний режим для напівмарковських систем.

## АНОТАЦІЇ

**Ахмед З.А. Шараф.** Підвищення надійності старіючих інформаційних управляючих комплексів шляхом оптимізації параметрів систем технічної діагностики. - Рукопис.

Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 - автоматизовані системи управління та прогресивних інформаційних технологій. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”. Харків. – 2005.

Дисертаційна робота присвячена розв’язанню актуальної проблеми підвищення ефективності функціонування складних інформаційних управляючих систем за рахунок оптимізації параметрів системи технічного діагностування (СТД).

Відповідно до мети дослідження в дисертації розроблено комплекс математичних моделей систем технічного діагностування стану старіючих технологічних систем, що враховують наявність схованих і помилкових відмов, а також ненадійність апаратури контролю.

З використанням розроблених моделей сформульована та вирішена задача визначення раціональної стратегії технічного обслуговування системи за станом. Одержані в роботі співвідношення дозволяють розрахувати оптимальний період контролю системи для заданого набору чисельних значень основних технічних характеристик системи (інтенсивність відмов об'єкта контролю і апаратури контролю, імовірність виявлення відмови працездатною апаратурою контролю та тією, що відмовила, імовірність помилкової відмови і т.д.).

Запропонована в роботі напівмарковська модель системи технічного діагностування використана для розрахунку оптимальної періодичності контролю установок з вирощування монокристалів залежно від інтенсивності відмов.

**Ключові слова:** надійність інформаційних систем, система технічного діагностування, марковська та напівмарковська моделі, оптимізація періоду контролю системи, ортогональне факторне планування.

**Ахмед З.А. Шараф.** Повышение надежности стареющих информационных управляющих комплексов путем оптимизации параметров систем технической диагностики. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизированные системы управления и прогрессивные информационные технологии. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт” Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2005.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной проблемы повышения эффективности функционирования сложных информационных управляющих систем за счет оптимизации параметров системы технического диагностирования (СТД).

В соответствии с целью исследования в диссертации разработан комплекс математических моделей систем технического диагностирования состояния стареющих технологических систем, учитывающих наличие скрытых и ложных отказов, а также ненадежность аппаратуры контроля.

Полученные в работе соотношения позволяют рассчитать оптимальный период контроля системы для заданного набора численных значений основных технических характеристик системы.

Предложенная в работе методика, использующая идеи параметризации и ортогонального факторного планирования, позволяет осуществить анализ раздельного влияния технических характеристик на эффективность системы технического обслуживания, а также оценить результаты совместного влияния этих характеристик в любой комбинации.

Показано, что для стареющих систем использование традиционных технологий отыскания оптимального периода контроля возможно только с учетом продолжительности переходного процесса установления распределения интервально-переходных вероятностей. Предложена методика расчета интервально – переходных вероятностей для полумарковской системы высокой размерности, основанная на использовании дробно-рациональной аппроксимации лапласова изображения системы интегральных уравнений относительно искомых интервально-переходных характеристик системы.

Рассмотрена методика оптимизации периода контроля при неполной информации о безотказности системы. Анализ процесса функционирования установок по выращиванию монокристаллов выявил, что перемежающиеся нарушения контактов разъемов вызывают возникновение скрытых отказов, ухудшающих качества кристалла. Предложенная в работе полумарковская модель системы технического диагностирования использована для расчета оптимальной периодичности контроля установок по выращиванию монокристаллов в зависимости от интенсивности отказов.

Установлено, что даже для наиболее “старой” аппаратуры (продолжительность эксплуатации порядка 20 лет) нет необходимости проведения контроля чаще, чем после 580-680 часов работы. С другой стороны, показано, что объективно безупречный технический критерий – вероятность пребывания системы в состоянии нормального функционирования – не обеспечивает получение оптимального периода контроля с точки зрения экономического критерия – максимума средней стоимости выращивания кристаллов. В связи с этим предложен другой критерий – максимум су-



ммарной стоимости изготовленных монокристаллов. Показано, что профилактический контроль разъемов целесообразно проводить после каждого выращивания.

**Ключевые слова:** надежность информационных систем, система технического диагностирования, марковская и полумарковская модели, оптимизация периода контроля системы, ортогональное факторное планирование.

**Ahmed Z.A. Sharaf.** Increasing reliability of legacy information management complexes by optimizing the parameters of system of technical diagnostics. – Typescript.

Thesis work for competition of scientific degree of candidate of science by specialty 05.13.06 – Computer Aided Management Systems and Progressive Information Technologies. National Technical University “Kharkov Polytechnical Institute” Ministry of Science and Education of Ukraine, Kharkov, 2005.

Thesis work is devoted to solving topical problem of increasing efficiency of functioning of complex information management systems due to optimizing the parameters of system of technical diagnostics (STD).

According to research objective in thesis work the complex of mathematical models of systems of technical diagnostics of state of legacy technological systems are developed. These models take into account of hidden and false refusals and unreliability of control apparatus too.

Based on developed models the problem of definition of efficient strategy of technical service of system by a state is formulated and solved. Reached in work equations allow us to calculate optimal period of control of system for defined numeric values of technical parameters of system (refusal intensity of object of control and control apparatus, possibility of detection of refusal of failure or efficient control apparatus, etc.)

Proposed in work semi Markov’s model of system of technical diagnostics is used for calculation of optimal periodicity of control of plants for mono-crystal growth depending on refusal intensity.

**Keywords:** reliability of information systems, system of technical diagnostics, Markov’s and semi Markov’s models, optimization of period of control of system, orthogonal factorial planning.

