

Національна Академія наук України
Інститут проблем моделювання в енергетиці


На правах рукопису

Дікарев В'ячеслав Євстафійович

**МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСІВ
ПРОСТОРОВО РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ**

Спеціальність 05.13.08 – обчислювальні машини, системи
та мережі, елементи та пристрої обчислювальної техніки
та систем керування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук



Київ - 1996

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00754129 (S)

дисертація в рукописі

Робота виконана в Інституті проблем моделювання
в енергетиці НАН України

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, *Стрельников Рчериц Павлович*;
заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних
наук, професор *Креденцер Борис Петрович*;
заслужений діяч науки і техніки України; доктор технічних
наук, професор *Новіков Володимир Стефанович*.

Провідна організація: НВК "Київський інститут автомати-
ки" Мінмашипрома України, 252107, Київ-107, вул.Нагорна 22.

Захист відбудеться "27 серпня" 1996 р. о 14 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.91.01
Інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України
252680, м.Київ-164, вул.Генерала Наумова, 15

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці
ІПМЕ НАН України

Автореферат розісланий "27 травня" 1996 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук

Семагіна Е.П.

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Спостережувана за нашого часу тенденція до створення інформаційно керуваних комплексів систем і обчислювальних мереж великих масштабів гостро ставить проблему забезпечення їх надійного та ефективного функціонування. Висока якість функціонування забезпечується, в основному, раціональною системою технічного обслуговування (ТО), а ефективність - оптимальною стратегією організації обчислювального процесу (ОП).

Однією з основних задач ТО комплексів - відновлення відказавших елементів. Зазначена проблема стає все більш актуальною у зв'язку з тим, що висока ступінь інтеграції елементної бази і зростаюча складність технології її виготовлення не дозволяє персоналу, безпосередньо обслуговувачому систему, самостійно провадити ефективний ремонт, тому що в кустарних умовах важко діагностувати несправність і неможливо забезпечити попередні показники надійності у відказаних елементів.

Виникає необхідність створення стаціонарних центрів обслуговування (ЦО), оснащених спеціальним устаткуванням по ремонту елементів та укомплектованих висококваліфікованими кадрами. Така структура ТО висунула на передній план нові складні задачі, зв'язані з кількісним визначенням показників надійності та ефективності комплексу, котрі необхідні для його оптимізації.

Сучасні обчислювальні системи, як правило, володіють властивістю відказостійкості (живучості). Вони не можуть ефективно функціонувати без надійного захисту керуючої інформації від помилок, викликаними збіями і відказами елементів. Важливість цієї проблеми очевидна, якщо врахувати, що здавалось би незначні порушення обчислювального процесу можуть призвести до аварійних ситуацій, або таких наслідків, як порушення керованого технологічного процесу, великі помилки в грошових обліках та ін.

Необхідність розв'язування перелічених задач для забез-

печення високого рівня надійності та ефективності проєктованих і експлуатованих комплексів територіально розсереджених систем визначається актуальність дисертаційної роботи.

Об'єктом дослідження є комплекси мультипроцесорних систем великих масштабів.

Метою роботи є розвиток теорії та створення нових методів сцинси узагальнених показників надійності та ефективності комплексів територіально розсереджених систем з централізованим технічним обслуговуванням, а також розробка алгоритмів їх оптимізації.

Задачі дослідження. Досягнення поставленої мети вимагає розв'язування наступних взаємозв'язаних задач:

- дослідження з єдиних теоретичних та методологічних позицій умов ефективного застосування стохастичних процесів для оцінки якості функціонування систем керування,

- розробка математичних моделей надійності функціонування обслуговуваних комплексів систем з метою дослідження різних способів їх централізованого технічного обслуговування,

- створення моделей обчислювального процесу відказостійких мультипроцесорних систем для дослідження різних стратегій обчислення і реконфігурації,

- розробка ефективних алгоритмів для пошуку раціональних структур централізованого технічного обслуговування комплексу систем і оптимальних стратегій обчислювального процесу відказостійких обчислювальних систем.

Методи дослідження. Створення наведених математичних моделей провадиться з застосуванням теорії марковських процесів (марковських ланцюгів з дискретним та неперервним часом, марковських процесів відновлення, півмарковських процесів та марковських процесів з дискретним втручанням випадку).

За основу розроблених ефективних алгоритмів оптимізації покладено дискретний принцип максимуму.

Наукова новизна. В роботі здобуті наступні нові результати:

- використовуючи спеціальний клас марковських процесів з дискретним втручанням випадку створено ряд оригінальних математичних моделей, котрі проблему надійності функціонування комплексу систем великих масштабів досліджують з різних

сторін з урахуванням великої кількості діючих водночас факторів;

- для опису обчислювального процесу, реалізованого на відказостійких обчислювальних системах, досліджено клас лінійчатих марковських процесів; для визначення математичного сполівання часу перебування лінійчатого процесу у фіксованій множині станів, складена система диференціальних рівнянь та одержано її розв'язок в явному вигляді;

- опираючись на результати запроваджуваних теоретичних досліджень лінійчатих процесів, а також використовуючи керувані півмарковські процеси, розроблено ряд моделей обчислювального процесу, реалізованого на обчислювальних системах з паралельною обробкою інформації. Ці моделі дозволяють зважити вплив на коефіцієнт продуктивності як надійносних параметрів систем і їх архітектури, так і стратегія обчислення;

- розроблені та випробувані ряд ефективних алгоритмів оптимізації показників надійності та ефективності систем з застосуванням дискретного принципу максимуму;

- сформульована та розв'язана нова в теорії надійності задача оптимізації ефективності ієрархічних систем складної структури з одним та декількома нелінійними обмеженнями.

Практична цінність. Запропоновані принципи технічного обслуговування комплексу великих систем, створені математичні моделі їх надійності та ефективності, а також розроблені алгоритми оптимізації дозволяють комплексно підходити до процесу проектування, побудови та експлуатування комплексів територіально розосереджуваних систем, що в значній мірі підвищує їх якість та ефективність функціонування в різних галузях науки і техніки.

Дослідження проводились згідно з планами науково-дослідних робіт Інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України та використовувались в ряду госпдоговорів за даною тематикою різними підприємствами при безпосередній участі автора.

1. Розробка алгоритмів та програм для дослідження централізованого технічного обслуговування систем керування технологічними процесами (Г/д № 1201-82, КІА, м.Київ).

2. Аналіз і розробка структурних та програмних засобів

забезпечення контролепридатності мікропроцесорних систем реального часу (Г/д № 1211-85-267/85, НВО "Електронприлад", м.Київ).

3. Методикі визначення надійності функціонування АСК ТП АЕС (за комплексною цільовою програмою О.П.046 (п.01.01.04.Д6), розділ "Вибір показників технічної діагностики").

4. Розробка алгоритмів та програм діагностичного забезпечення інформаційно керованої системи газоперекачувальної станції (Г/д № 1213-36, КІА, м.Київ).

5. Розробка методів математичного та машинного моделювання для упорядження раціональних процесів діагностування та забезпечення надійності складних технічних об'єктів (тема 1.7.4, шифр "Агат", виконана за Постановою Президії АН УРСР № 402 від 24.12.1987р.).

6. Розробка методів та алгоритмів діагностування мікропроцесорної системи контролю (Г/д № 126-87, КБ "Луч", м.Київ).

7. Розробка методів апаратно-програмних засобів підвищення надійності криогених систем на основі мікропроцесорних систем керування (Г/д № 1140-88-79, "НДІКРИОГЕНМАШ", м.Одеса).

8. Автоматизація розробки діагностичного забезпечення складних технічних систем (Г/д № 902-88-440/88, НВО "Електронприлад", м.Київ).

9. Розробка методів, структурних та програмних засобів підвищення надійності мікропроцесорних систем реального часу (Г/д № 907-89/728/07 п/я Г-4190, м.Ленінград).

10. Розробка методів та алгоритмів для відказостійкого та діагностичного забезпечення складних систем керування та обробки інформації (Г/д № 905-89, НДІ Автоматичних систем, м.Москва).

11. Розробка методів упорядження діагностичного забезпечення складних технічних об'єктів та засобів їх контролепридатності (тема 1.12.6, шифр "Діагноз", Міненерго УРСР, м.Київ).

12. Методи діагностування складних технічних систем енергетичних комплексів (Г/д № 915-91, ІНФП НАН України,

м.Київ).

13. Розробка методик випробування на міцність чухлята ПП-132 (г/д № 916-91, АНТК ім.А.Н.Туполева, м.Київ).

14. Розробка експертної системи підтримки прийняття рішення у енергетиці України (г/д № 912-92, ПЕО ОДК України, м.Київ).

Апробація результатів. Основні положення та результати роботи доповідались та отримали схвалення на:

- Української НТК "Надійність р/е апаратури" (Київ, 1972).

- III Всесоюзній конференції по проблемі "Однорідні обчислювальні системи та середовища" (Таганрог, 1972),

- VI Всесоюзній конференції по екстремальним задачам (Таллін, 1973),

- Всесоюзній конференції "Надійність в приладобудуванні і радіоелектроніці (Київ, 1974),

- Всесоюзній НТК "Стабільність та надійність інформаційних обладнань та систем" (Київ, 1974),

- НТС "Задачі дослідження та забезпечення надійності ЕОМ" (Мінськ, 1985),

- Республіканській НТК "Проблеми діагностування мікропроцесорних систем (Ужгород, 1987),

- II Всесоюзній НТК "Живучість і реконфігурація інформаційно-керуваних та обчислювальних систем" (Харків, 1988),

- XXX Всесоюзній школи-семінару ім.М.А.Гаврилова "Розвиток теорії дискретних систем ..." (Київ, 1988),

- Республіканській АНТК "Проблеми автоматизації діагностичного забезпечення електронних систем" (Вінниця, 1993),

- Міжнародній науково-практичній конференції "Моделювання процесів та технологічного обладнання у сільському господарстві" (Мелітополь, 1994),

- Першій Українській науково-практичній конференції "Надійність. Сучасний стан, проблеми, перспективи" (Київ, 1995).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 27 наукові праці, з яких одна монографія.

Обсяг та структура роботи. Дисертація виконана на 288 сторінках машинописного тексту, містить 20 малюнків, 12 таб-

лиць; складається з вступу, п'яти глав, закінчення, списку літератури з 159 найменувань та додатка.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дається обґрунтування теми дисертаційної роботи, формулюється її мета та задачі досліджень, виклад основних наукових положень, що представляються до захисту.

У першій главі зроблено аналіз сучасного стану методів та засобів технічного обслуговування (ТО) обчислювальних систем (ОС).

Проведен аналітичний огляд математичних моделей, використовуваних для рішення завдання кількісної оцінки узагальнених показників надійності ОС. Відзначено, що хоч у світовій практиці й зустрічаються приклади централізованого обслуговування технічних систем, проте вплив параметрів централізованого ТО (кількість та кваліфікація обслуговуючого персоналу, обсяг обмінного фонду елементів, територіальне розміщення та ін.) на надійність систем до цього часу не встановлена.

Уточнені вихідні положення, на яких засновано наступний виклад. Оґрунтовано вибір критеріїв оптимізації ТО і засобів дослідження. Стисло розглянуто спеціальний клас марковських процесів з дискретним втручанням випадку (МЦДВВ), вивчений автором [1], на якому базується побудова конкретних моделей просторово розподілених обчислювальних систем з централізованим ТО.

У [1] автором розроблено ряд моделей надійності комплексу систем з неперервним контролем при стохастичному, детермінованому та адаптованому централізованому обслуговуванню. Продовжимо наші дослідження і розглянемо надійність комплексу систем з пріоритетним обслуговуванням.

Цей комплекс складається з N територіально розсереджуваних систем ієрархічної структури S -го порядку. Кожна n -а система ($n=1, N$) складається з w^n однорідних елементів і у процесі функціонування може перебувати у множині станів

$E^n = (e^n(t); t \in \overline{0, v^n}; v^n \leq w^n)$, де індекс i - кількість несправних елементів. Усунення виниклих у n -ї системі несправностей здійснюється одним з l^n ($0 < l^n \leq w^n$) обслуговуючих цю систему ремонтників шляхом заміни відказаних елементів на справні із числа z^n запасних, котрими комплектується система.

По досягненні кількості несправних елементів в n -ї системі певного критичного значення k^n ($1 \leq k^n \leq z^n$) подається заявка в центр обслуговування (ЦО) на k^n елементів. Заявка виконується наступним чином. Кожна n -я система для доставлення елементів має транспортний засіб (ТЗ). Час, витрачений ТЗ для подолання відстані між системою та ЦО в обидва кінця, зображає в.в. v^n з довільною функцією розподілу (ф.р.) $N^n(t) = P(v^n < t)$. По прибутті ТЗ в ЦО здійснюється обмін несправних елементів, доставлених після обслуговування n -ї системи, на $b(k^n, s)$ полагоджених, котрими розпоряджається персонал ЦО на той час. Обмінний фонд елементів ЦО складає z^0 одиниць, а кількість обслуговуючого персоналу - l^0 ($1 < l^0 < z^0$).

Величина $b(k^n, s)$ є випадковою і має ймовірність $B_j(k^n, s)$ ($\sum_{j=1}^{k^n} B_j(k^n, s) = 1$). Індекс s в позначеннях $b(k^n, s)$ і $B_j(k^n, s)$ вказує на ранг системи і відображає факт пріоритетності в обслуговуванні заявок ($s = \overline{1, S}$). Пріоритетність досягається тим, що у відповідності з рангом системи призначається мінімальна кількість елементів $m(s)$, котрі повинні залишатися в ЦО після виконання заявки системи s -го рангу. Тоді чим вище ранг системи, тим більша ймовірність $B_j(k^n, s)$ задоволення заявки.

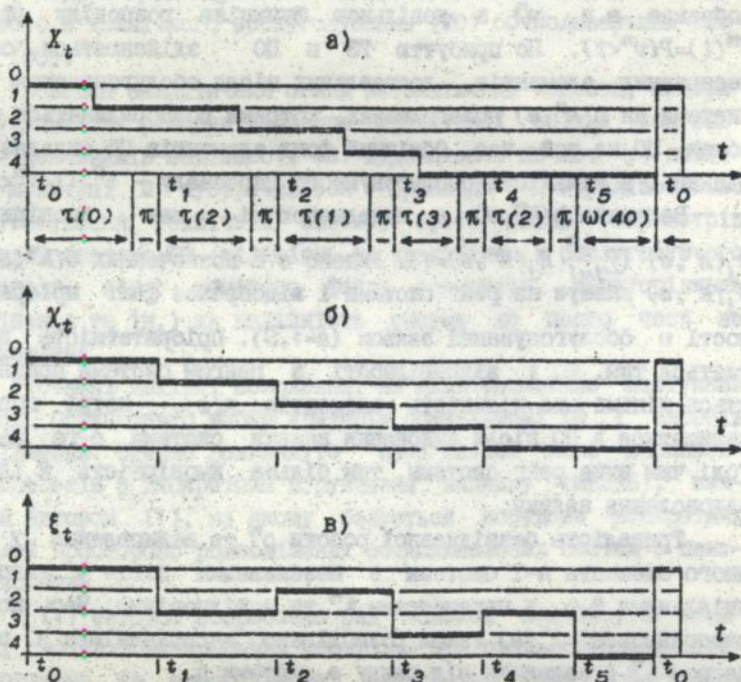
Тривалість безвідказної роботи ρ^n та відновлення γ кожного елемента n -ї системи є незалежними в.в. з експоненціальними ф.р. з параметрами λ^n та μ відповідно. Час пошуку несправностей $\kappa^n(s)$ також розподілено експоненційно з параметром λ_s^n і залежить від рангу s системи n .

Для описаної дисципліни обслуговування встановлюється алгоритмічна залежність впливу усіх перелічених факторів на коефіцієнт готовності K_g кожної системи комплексу ($n = \overline{1, N}; s = \overline{1, S}$):

$$K_2^n(s) = f\left\{w^n, v^n, l^n, z^n(s), z^n, \rho^n, l^0, z^0, \gamma, v^n, k^n, m(s)\right\}.$$

Ця алгоритмічна залежність встановлюється за допомогою МПДВВ α_t , який описує надійність системи n .

Далі досліджуються моделі надійності комплексу систем з періодичним контролем, то яких проводиться на основі контролю їх стану. При цьому ТО комплексу (контроль стану працездатності, пошук несправності, заміна та ремонт відказаних елементів) повністю зосереджено у ЦО.



Мал.1. Система з стохастичним обслуговуванням та невирогідним контролем

На мал.1 зображена еволюція процесу якості функціонуван-

ня системи з стохастичним обслуговуванням та невірогідним контролем, де X_t - реальний процес якості функціонування, χ_t - стани системи у моменти закінчення перевірок t , тривалість τ , ξ_t - спостережені стани системи, $\tau(t)$ - час наступного контролю системи, якщо в момент спостереження t , вона перебувала у стані t .

У цьому випадку пошук раціональних структур ТО комплексу систем приводить до розв'язання питання оптимального керування процесом ξ_t , котрий стохастично зв'язаний з реальним процесом функціонування χ_t системи через невірогідний контроль. Для стохастичного і детермінованого обслуговування з вірогідним та невірогідним контролем на основі теорії керування ІМП з прибутками розроблені алгоритми оцінки коефіцієнта технічного використання систем K_u .

У другій главі розглянуті питання ефективного функціонування керуваних обчислювальних систем (КОС), які призначені для керування складними об'єктами у реальному масштабі часу. Для організації належного захисту керуючої дії від помилок, викликаних збоями і відказами елементів, розв'язання задачі керування розбивається на ряд послідовних ділянок по відомим правилам. Перед виконанням кожної ділянки організується запам'ятовування усіх вихідних даних в контрольній точці (КТ) для повторного прорахунку цієї ділянки у випадку появи збою при її виконанні.

За критерій ефективності звичайно використовують час виконання керуючої програми. Пошук оптимальної стратегії ОП можна здійснити при допомозі моделей обчислювання. Надалі будемо розрізняти моделі процесу розв'язування задач з стохастичним та детермінованим обчисленням в залежності від того, чи є тривалість обчислення окремої ділянки в.в. або вона стала, тобто детермінована.

Характерною особливістю моделей рахунку, що досліджувалися до цього часу, є те, що вони орієнтовані на рішення завдань, час виконання яких сумісний з проміжками наступу збоїв (декілька годин). Збой розглядається як випадкова подія, що має певну імовірність, і ця імовірність для всіх ділянок завдання містити помилку однакова. При зазначеному допущенні КТ висуває як регенерована (марковська) для процесу моделю-

вання.

У системах управління реального часу цикл тимчасової діаграми несумісно менш інтервалів збоїв (декілька секунд, хвилин). Тому якщо, наприклад, на черговій дільниці стався збій, то на наступній дільниці його імовірність буде менш. Врахувати цю обставину можна, якщо розглядати збії не як випадкову подію з певною імовірністю, а як випадкову величину (в.в.) із своєю функцією розподілу (ф.р.), що, безумовно, є більш повною характеристикою збоїв. Якщо ця ф.р. неекспоненційна, то моделі, що обговорюються для визначення часу ригнення задач, не можуть бути застосовані, оскільки марковськими моментами будуть не КТ, а моменти наступу збоїв.

Нашим завданням є розробка більш досконалих математичних моделей рахунку задач на КОС (у яких збії інтерпретуються як в.в.) для кількісної оцінки впливу на тривалість рішення завдання різноманітних її параметрів, стратегії обчислювального процесу (ОП) та характеристик надійності КОС.

Хай задача, яка розв'язується на КОС, складається із K ділянок. Результати k -ї ділянки задачі використовуються для $(k+1)$ -ї ($k=1, K-1$). Тривалість обчислення ділянки зображає в.в. з ерланговським розподілом $\Gamma(t)$ r -го порядку і параметром λ . Випадковий характер часу обчислення ділянки обумовлено: по-перше, наявністю операторів умовного переходу; по-друге, залежністю тривалості виконання арифметичних операцій від структури чисел, які беруть у них участь.

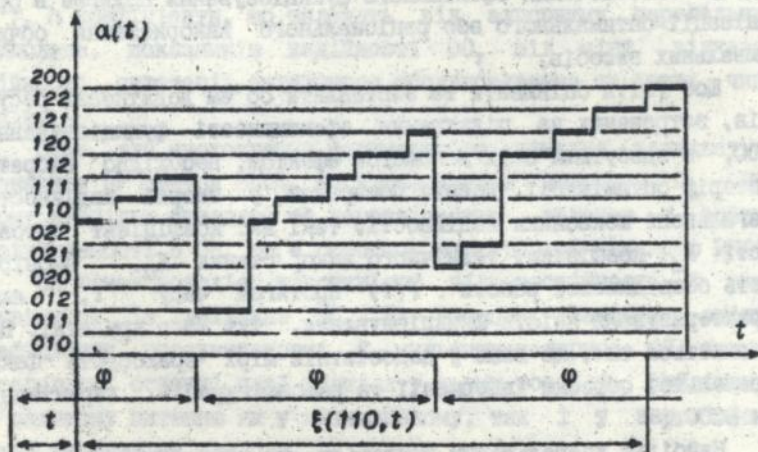
Функція розподілу $F(t)$ часу настання збоїв у загальному випадку є довільною, тобто відрізняється від експоненціального розподілу. Збій зводить до повторного розв'язування не всієї задачі, а тільки тієї ділянки, на якій цей випадок трапився. Скоєний збій виявляється по закінченню обчислення ділянки програмним шляхом.

На мал.2 зображена еволюція процесу обліку задачі з двома трифазними ділянками (розподіл $\Gamma(t)$ має порядок $r=3$), де стан $e(k, j)$ значить, що в спостережений момент часу t обчислюється j -я фаза k -ї ділянки при відсутності ($t=1$) або наявності ($t=0$) збоїв, а $\xi(110)$ - тривалість обчислення задачі.

Необхідно визначити тривалість обчислення ξ задачі керування з урахуванням впливу збоїв.

Для розв'язання даної і наступних задач досліджено підклас МПДВВ, що утворює процес відновлення з функцією $F(t)$, названих Беляєвим Д.К. лінійчатыми марковськими процесами. З метов визначення математичного сподівання часу перебування лінійчатого процесу у фіксованій підмножині станів складена і розв'язана система диференціальних рівнянь методом варіації довільних сталих з використанням апарату характеристичних функцій.

Досліджені також моделі з детермінованим та довільним розподілом часу тривалості обчислення ділянки задачі, у яких більш повно зображені фактори, які характеризують надійність КОС (зокрема, тривалість безвідказної роботи та відновлення). Поміж збоїв здійснена диференціація по виглядам у залежності від наслідків, до яких вони приводять.



Мал.2. Еволюція процесу обліку задачі з двома трифазними ділянками.

До першого вигляду відносяться збої, котрі не руйнують програму обчислень, а приводять лише до помилок обчислення, що спричиняє повторне розв'язання тієї ділянки, на якій

скоївся збоїв. При появі збоїв другого вигляду, котрі руйнують інформацію (наприклад, псування інформації в оперативній пам'яті), необхідно задачу керування розв'язувати спочатку. Врахована також можливість виявлення збоїв не тільки програмним шляхом, але і апаратними: або миттю у момент їх виникнення, або через випадковий проміжок часу ζ з ф.р. $Z(t) = P\{\zeta < t\}$ після їх виникнення.

Третя глава присвячена розробці та дослідженню математичних моделей ефективності мультипроцесорних відказостійких обчислювальних систем (ВСОС) з паралельною обробкою інформації. Якість функціонування ВСОС визначається не тільки відказами окремих елементів, збоями, але і засобами автоматичного контролю, діагностуванням, методами організації паралельних обчислень, реконфігурації та відновлення працездатності. Таким чином, для підвищення швидкодії інформації при заданих вихідних характеристиках апаратного складу систем задача забезпечення ефективного функціонування полягає в організації оптимального або раціонального використання обчислювальних засобів.

Щоб уміти оцінювати та зіставляти об'єм додаткових ресурсів, затрачених на підвищення ефективності функціонування ВСОС, з здобутими з їх допомогою ефектом, необхідно вибрати критерій оптимізації. Досить поширений у теорії надійності узагальнені показники надійності, такі як: коефіцієнт готовності K_g , коефіцієнт технічного виконання K_u , ймовірність безвідказної роботи $P(t)$ протягом часу t , які характеризували якість функціонування, тут мало придатні. Це пояснюється тим, що вони у недостатній мірі враховують факт паралельної обробки інформації та реконфігурації, характерні для ВСОС.

Найбільш узагальненим критерієм, що характеризує можливості ВСОС, є продуктивність. Визначимо обчислювальну потужність системи як кількість вірогідних обчислень системи за одиницю часу. Під стаціонарною обчислювальною готовністю K^* будемо розуміти очікуване значення обчислювальної потужності у стаціонарному режимі.

При виборі критерію оптимізації доцільно перейти від обчислювальної готовності K^* до зв'язаної з нею безрозмірної

величині. Для цього позначимо обчислювальну потужність базового МП мультипроцесорної ОС через γ , а потужності інш. k МП, якщо вони зустрічаються у системі, висловимо у частках γ . Запроваджуємо у розгляд коефіцієнт продуктивності системи $P_s > 0$, що пов'язаний з K^* системи співвідношенням: $K^* = \gamma P_s$.

Для ОС із паралельною обробкою інформації коефіцієнт P_s може бути більше 1, а без паралельної обробки P_s завжди менш 1. Коефіцієнт продуктивності P_s оберемо за критерій оптимізації ефективності ВКОС. Визначен зв'язок поміж коефіцієнтом P_s та критеріями якості функціонування попередніх розділів: коефіцієнтом готовності K_2 та часом виконання завдання ξ .

Зростання числа обчислювальних ядер (ОЯ), що входять до складу ВКОС, призводить, природно, до збільшення продуктивності системи у цілому. Хай P - коефіцієнт продуктивності ОЯ. Тоді коефіцієнт продуктивності ВКОС, що складається із t ОЯ, можна апроксимувати лінійною залежністю $P(t) = f(tP+h)$, де f , h коефіцієнти, що залежать від алгоритму паралельних обчислень, показників надійності ОС, від міри відказостійкості, стратегії технічного обслуговування та інших чинників.

Отже, для знаходження оптимального рішення залишається визначити параметри ВКОС, що забезпечують максимум P_s . При цьому найбільш складною та нерозв'язаною задачею є оцінка продуктивності P ОЯ, що є основною структурною одиницею ВКОС.

ОЯ також володіє властивістю відказостійкості і може складатися із декілька МП. На розробці засобів оцінки коефіцієнту продуктивності P мультипроцесорних ОЯ будуть зосереджені основні наші зусилля у цьому розділі. Публікацій по наданому питанню як у вітчизняному, так і у зарубіжному друці виявити не вдалося.

Розглянемо функціонування ОЯ, складеного з трьох МП, які з'єднані логічно, електрично і функціонально для синхронного виконання сумісної роботи. Для виявлення і локалізації випадкових та тимчасових помилок, викликаними відповідно збоями та відказами компонент ОС, а також для відновлення інформації, необхідної для продовження ОП, використовуємо раціональне поєднання програмних та апаратних засобів.

Як і раніше, розв'язання задачі керування розбивається на ряд послідовних ділянок, поділених контрольними точками (КТ). Час ω виконання ділянки задачі і час ω , необхідні для організації КТ, зображує в.в. з ф.р. $K(t)=P(\kappa < t)$ та $\Omega(t)=P(\omega < t)$ відповідно.

Часи θ_1 , θ_2 наставання збоїв першого та другого вигляду розподілені експоненціально з параметрами θ_1 , θ_2 відповідно. Ідентифікація вигляду помилки здійснюється протягом випадкового часу κ з ф.р. $\Pi(t)=P(\kappa < t)$. Час β , необхідний для відновлення ОП після помилки другого вигляду, зображає в.в. з ф.р. $\Gamma(t)=P(\beta < t)$. Зазначимо, якщо при повторному розв'язанні ділянки задачі знову відбувається збій на одному і тому ж МП, то він, як правило, вишклавється. Збої по кількості викликаних ними помилок, поділяються на поодинокі і множинні. Збій, зв'язаний з нестійкою роботою МП, звичайно приводить до поодинокій помилки, а наслідком збурення оточуючого середовища частіше всього є множинні помилки, котрі проявляються у декількох МП одночасно.

У залежності від кількості працездатних процесорів вивчимо три можливих режими функціонування ОП.

Режим 0: працюють три процесори. Задача розв'язується на трьох процесорах одночасно, тобто процесори працюють паралельно. Після розв'язання чергової ділянки задачі включається у роботу на час θ_0 ($\theta(t)=P(\theta_0 < t)$) засоби апаратного контролю, котрі здійснюють мажорвання результатів обчислення на трьох процесорах. Після вилучення правильного результату по правилу "2 з 3" розв'язується наступна ділянка. Таким чином, поодинокі помилки не приводять до повторного розв'язання ділянки і виконання задачі керування не затримується.

Якщо виникає множинна помилка; тобто скоївся збій більш ніж у одному процесорі, то у залежності від вигляду збоїв ОП повертається або до початку ділянки, або до початку усієї задачі. Якщо і після повторного обчислення скоється множинна помилка, то процесор, на якому двічі скоївся збій, вимикається. Проводиться реконфігурація системи протягом часу η ($H(t)=P(\eta < t)$) для продовження роботи вже тільки з обома процесорами.

Режим 1: паралельно працюють два процесори. У цьому ви-

падку мажорунання результатів здійснюється, як і раніше, апаратними засобами протягом часу θ_1 , але вже по правилу "2 з 2". Це значить, що якщо скоюється поодинока помилка хоч би у одному процесорі, не кажучи вже про множинну помилку, то здійснюється повернення до початку ділянки. Таким чином, виникнення будь-якої помилки завжди прирорить до затримки у виконанні задачі керування на час повторного обчислення ділянки. Вимкнення процесора і реконфігурація ОЯ здійснюються аналогічно режиму 0.

Режим 2: працює один процесор. Тут мажорунання результатів здійснюється тільки програмними засобами. Для цього кожна ділянка незалежно від того скоїлася на ній помилка чи ні обчислюється двічі. Здобуті результати мажоруються програмно протягом часу θ_2 ($\theta_2 > \theta_0, \theta_1$) по правилу "2 з 2".

При наявності хоч би одного збою при подвійному обчисленні ділянки, здійснюється повторення ділянки у третій раз, після чого результат мажоруються по правилу "2 з 3". Легко бачити, що час розв'язання задачі керування збільшується більш ніж у два рази. При вимкненні останнього третього процесора вичикає відк'з ОЯ і його відновлення з залученням обслуговувачого персоналу. Час ρ безвідказної роботи процесора і час γ відновлення ОЯ розподілені експоненціально з параметрами λ і μ відповідно.

На основі теорії керованих ПМП з прибутками розроблена модель і алгоритм обчислення коефіцієнта продуктивності розглянутого трьохпроцесорного ОЯ у мажорованому режимі у залежності від усіх перелічених вище факторів:

$$P = f(\alpha, \delta, \theta_2, \omega, \pi, \beta, \eta, \theta_0, \theta_1, \theta_2, \rho, \gamma).$$

Далі досліджується робота ОЯ, складеного з двох процесорів, один з яких є активним, тобто провадить процес обчислення, а другий процесор має неактивний ОП, тобто перебуває у режимі "підтримки".

При нормальному функціонуванні основний МП у черговій КТ передає своєму дублерові інформацію про свій стан та стан ОП, після чого продовжує обчислення завдання до наступної КТ. Передача інформації здійснюється протягом випадкового часу ζ

з ф.р. $Z(t) = P(\zeta < t)$.

Діагностування помилки провадиться засобами функціонального контролю (часовий та просторовий "бар'єри", підтвердження результатів обчислення контрольними співвідношеннями та ін.) протягом часу θ з ф.р. $\theta(t) = P(\theta < t)$.

Кожен з МП, що входить до складу ОЯ, має оперативну пам'ять і утримує копії операційної системи. Тому при вимкненні відказаного МП існує можливість відразу вилучити його та відправити у ремонт. При цьому функціонування не припиняється. Відказ ОЯ настає при вимкненні двох МП. Включення відновленого МП у роботу ОЯ здійснюється операційною системою протягом часу синхронізації ν ($N(t) = P(\nu < t)$). ОЯ з описаною архітектурою та стратегією ТО застосовано у системі Tandem Non Stop.

На основі створеної моделі ОЯ визначена його продуктивність у залежності від наступних факторів:

$$P = f(\alpha, \delta_1, \delta_2, \omega, \kappa, \beta, \eta, \theta, \rho, \gamma, \zeta, \nu).$$

Досліджені також можливі узагальнення даної моделі на випадок коли неможливо вилучити для ремонту відказавший МП при нормально функціонуючому іншому МП. Це має місце, зокрема, коли мікропроцесори, які утворюють ОЯ, мають загальну пам'ять, наприклад, система Stratus /32.

Другим узагальненням моделі є ОЯ з системним процесором, котрий реалізовано у системі System 4000. Він складається з трьох МП. Два з них виконують завдання, назвемо їх функціональними (МПФ); а третій МП реалізує функції операційної системи, назвемо його системним (МПС). Відказ ОЯ настає при вимкненні двох МПФ, або відказ одного МПС.

Третім узагальненням є модель дубльованого ОЯ при сигнальному контролі, тобто коли процесори мають встроений контроль, що дозволяє їм миттє виявляти збій. Це, зокрема, виключає появу помилок другого вигляду, котрі, нагадуємо, руйнують інформацію і спричиняє до повторного виконання усього завдання з самого початку.

В третій главі досліджується робота ОЯ, котрий складається з чотирьох МП, з'єднаних, логічно, електрично і

функціонально для синхронного виконання сумісної роботи. Для контролю і діагностування ОП процесори ОЯ з'єднані попарно. Кожна основна функція виконується одночасно на усіх чотирьох МП. Пристрій порівняння по результатах виконання мікрокоманд генерує сигнал помилки у випадку розходження двох результатів у одній з двох пар. Якщо у парі процесорів двічі поспіль не збігається результат, то вона вимикається для ремонту, а залишена пара МП продовжує свою роботу.

Час у ремонті пари МП розподілено експоненціально з параметром μ . Час виконання мікрокоманд і час вимкнення відказаної пари МП зображують в.в. α та η з ф.р. $K(t) = P(\alpha t)$ та $H(t) = P(\eta t)$ відповідно. Час наступу поодиноких та множинних помилок зображують в.в. δ_0 та δ_m з експоненціальними розподілами з параметрами θ_0 та θ_m відповідно.

З'єднання пар має дві переваги.

1. Не вимагається часу для автоматичного відновлення після поодинокі помилки, тобто обчислювання продовжуються без затримки.

2. Оскільки не вимагається відновлення інформації, отже нема потреби використовувати КТ.

Основним недоліком розглянутого ОЯ є досить велика надлишковість - ОЯ має чотириократне резервування. Але досягнення мікроелектроніки у створенні великих інтегральних схем нівелює цей недолік. ОЯ з описаною дисципліною ТО і корекцією ОП застосовано у системі Stratus /32, яка може мати до 32 ОЯ.

Розроблено алгоритм визначення продуктивності розглянутого ОЯ:

$$P = f(\alpha, \eta, \nu_0, \nu_m, \rho, \gamma, \nu).$$

Четверта глава містить алгоритми оптимізації стратегії періодичності контролю і ефективності систем. Розроблені у попередніх главах моделі якості функціонування дозволили одержати кількісну оцінку впливу на узагальнені показники надійності (коефіцієнт готовності та технічного використання) і ефективності (коефіцієнт продуктивності) широкого діапазону параметрів систем і дисциплін ТО. Це дає можливість застосувати комплексний підхід до розв'язання оптимальних задач

надійності на основі багатовимірних методів пошуку екстремуму.

Поміж багаточисленних спроб знайти ефективні методи оптимізації задач надійності найбільш успішними зображуються метод динамічного програмування, запропонований Р.Валманом; і принцип максимуму, установлений Л.С.Понтрягіним. Переваги і недоліки динамічного програмування добре відомі: хоч він, у принципі, і дає можливість знаходити розв'язання, оптимальні у глобальному значінні, але вимоги, що пред'являються при цьому до об'єму пам'яті ОС, часто бувають високими. В той же час принцип максимуму дозволив створити більш ефективні алгоритми оптимізації.

У праці [1] автором розроблені обґрунтовані на дискретному принципі максимуму швидкозбіжні алгоритми оптимізації надійності і ефективності послідовно-паралельних систем. Нашою метою є далі дослідження принципу максимуму для оптимізації обслуговуваних систем. Для розроблених алгоритмів скрізь виконаємо порівняння з методом динамічного програмування, як найбільш потужного при розв'язанні класу задач, що розглядається.

При оптимізації систем з вірогідним періодичним контролем для пошуку оптимального вектора інтервалів контролю $T = \{t(t)\}$ (де t - стан системи у момент попередньої перевірки), застосовуємо ітераційний алгоритм, розроблений Р.А.Ховардом, який максимізує коефіцієнт технічного використання K_u . Для систем з невірогідним контролем, крім цього, приведено правило вибору оптимальної довжини історії спостережуваного процесу, стохастично зв'язаного з реальним процесом якості функціонування системи. Під час пошуку оптимального вектора T коефіцієнт K_u потрібно обчислювати при фіксованій кількості обслуговуючого персоналу, резервних та запасних елементів.

Розглянемо питання оптимізації комплексу N систем з функціональною надмірністю. Кожна n -а система може перебувати у множині станів $E^n = (e^n(t); t=0, v^n)$, де t - кількість несправних елементів. Відновлення відказаних елементів системи здійснюється l^n ($0 < l^n < v^n$) ремонтниками. Надійність n -ї системи описується стохастичним процесом Y_t^n з вектором

стаціонарних ймовірностей $y^n = (y^n(t); t \in E^n)$. В момент t стану $e^n(t)$ системи n відповідає певний рівень ефективності $f^n(t)$. Залежність $f^n(t)$ від числа працездатних елементів $(v^n - t)$ є нелінійною функцією. Вклад f^n , внесений n -ою системою у загальний вихідний ефект F , є адитивним.

Підвищення ефективності системи досягається збільшенням функціональної надмірності та кількості обслуговуючого персоналу. Це вимагає додаткових витрат, які обмежені. Хай c_1^n і c_2^n є відповідно вартість надмірного елемента та утримання ремонтника n -ї системи, пронормовані відносно певного терміну експлуатації.

Проблема оптимізації економічної ефективності F комплексу N систем при умові обмеження вартості C може бути оформлена наступним чином.

Максимізувати

$$F = \sum_{n=1}^N f^n,$$

при умові

$$\sum_{n=1}^N g^n(l, v) \leq C$$

де

$g^n(l, v)$ - вартість n -ї системи та її експлуатації:

$$g^n(l, v) = c_1^n l^n + c_2^n \left[(v^n - 1) + \exp(v^n - 1) / 4 \right],$$

f^n - ефективність n -ї системи у стаціонарному режимі:

$$f^n = \sum_{t \in E^n} f^n(t) y^n(t).$$

Застосування принципу максимуму дозволяє звести задачу до оптимізації N -ступінчатого простого процесу і розробити алгоритм, який дає можливість таким чином розподілити надмірне обладнання v і обслуговуючий персонал l , що при заданих витратах C загальних економічний ефект F досягає максимуму. У порівнянні з динамічним програмуванням для наве-

деного у роботі прикладу по кількості розглянутих варіантів принцип максимуму виявився ефективнішим більш як у 5 разів.

Зроблено узагальнення на випадок, коли на комплекс систем крім вартості накладені інші обмеження (наприклад, по вазі, об'єму та ін.). Тоді проблема оптимізації ефективності комплексу N систем з I сепарабельними обмеженнями може бути сформульована наступним чином.

Максимізувати

$$F = \sum_{n=1}^N f^n,$$

при умові

$$\sum_{n=1}^N g_t^n(\theta^n) \leq b_t, \quad t=\overline{1, I},$$

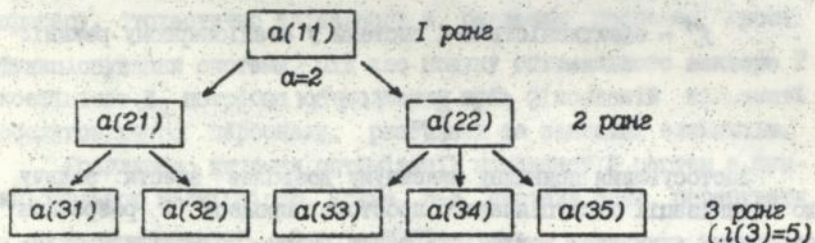
де

$g_t^n(\theta^n)$ - функція, що відображає кількість t -го ресурсу, споживаному у системі n у залежності від θ^n, τ^n ,

b_t - загальна кількість t -го ресурсу.

Розрахунок використаного для прикладу комплексу систем з двома обмеженнями по вартості і вазі методом динамічного програмування вимагає аналізу не менш як 21 варіантів, а методом принципу максимуму - усього лише 3 варіантів.

Новим використанням принципу максимуму в його застосування для оптимізації ефективності класу розгалужених ієрархічних систем: (мал.3).



Мал.3. Структурна схема ієрархічних розгалужених систем.

Комплекс A побудовано по ієрархічному принципу:

$$A = (a(sk)); \quad s=\overline{1, S}; \quad k=\overline{1, n(s)}; \quad n(1)=1,$$

де

$a(sk)$ - k -я система s -го рангу,

S - число рангів,

$n(s)$ - число систем у s -му ранзі.

Ефективність комплексу ієрархічних систем залежить як від його структури, так і від надійності комплексу у цілому і визначається сукупністю нормально функціонуючих виконавчих систем. Вклад $f(sk)$, внесений виконавчою системою $a(sk)$ у загальний вихідний ефект F комплексу, є адитивним.

Тоді проблема оптимізації F комплексу A при умові обмеження A може бути сформульована наступним чином.

Максимізувати

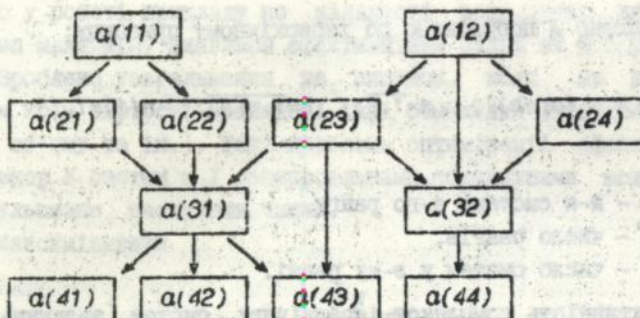
$$F = \sum_{k=1}^{n(s)} p(sk) f(sk),$$

при умові

$$\sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{n(s)} [c_1(sk)l(sk) + c_2(sk)v(sk)] \leq C,$$

де $p(sk)$ є ймовірність нормального функціонування систем $a(sk)$, яка визначається справністю усіх систем ланцюгу $a(sk) \rightarrow a(11)$.

Задача зводиться до оптимізації S -ступінчатого процесу із зв'язувчими та розділяючими ступенями. Метод динамічного програмування при розв'язанні даного і наступного класів задач, по суті, не працює, оскільки вироджується у метод прямого перебору. Тому виконати коректне порівняння неможливо. У продовж дослідження попередньої оптимізаційної задачі, розглянемо випадок, коли комплекс систем має складну структуру (мал.4).



Мал.4. Структурна схема ієрархічного комплексу з складними зв'язками систем.

Ефективність комплексу визначається, як і раніше, сукупністю нормально функціонуючих виконавчих систем. Функціонування комплексу у даному випадку описується S-ступінчатим складним процесом. Особливістю структури ієрархічного комплексу, зображеного на мал.4, є наявність у ньому усіх чотирьох типів ступенів, наприклад: зв'язуючої $a(21)$ (має один вхід і один вихід), розділяючої $a(12)$ (має один вхід і декілька виходів), з'єднуючої $a(32)$ (має декілька входів і один вихід) та складної $a(31)$ (має декілька входів і декілька виходів); що дозволяє істотно розширити клас аналізованих комплексів. Дана задача оптимізації розв'язана як для одного, так і для декількох нелінійних сепарабельних обмежень.

Задачі оптимізації багатоступінчатих процесів, розв'язувані у даній главі за допомогою методів динамічного програмування та принципу максимуму, однакові, але підходи до їх розв'язання у кожному з цих методів є цілком різні. У першому випадку розв'язання задачі починається з обчислення та запам'ятовування цілої сітки значень для усіх змінних на одному ступені, а потім цей процес повторюється від ступеня до ступеня.

У другому випадку обчислення починається з одного єдиного розв'язання для усіх ступенів, а у дальшому використовується процес його послідовного покращення. Тому при викори-

станні принципу максимуму не приходиться розглядати сім'ю оптимальних розв'язань, як у методі динамічного програмування.

Залежність кількості обчислень і об'єму пам'яті, необхідної для зберігання здобутої у процесі розв'язання інформації, від вимірності задачі для динамічного програмування з експоненціальною, а для принципу максимуму - лінійною. Отже, доки об'єм пам'яті обчислювальних машин залишається обмеженим, переваги методів, обґрунтованих на використанні принципу максимуму, важко переоцінити.

У *п'ятій* заключній главі наведені найбільш важливі практичні впровадження результатів дисертаційної роботи, виконаних для НВК "Київський інститут автоматички", Інституту нових фізичних та прикладних проблем НАН України, НВО "Електрон-прилад" (Київ), ПЕО ОДК України.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

У дисертаційній роботі за методологічну основу створення і дослідження аналітичних моделей якості функціонування просторово розподілених систем керування покладена сучасна теорія марковських процесів (марковських ланцюгів з дискретним та неперервним часом, марковських процесів відновлення, півмарковських процесів, лінійчатих марковських процесів і марковських процесів з дискретним втручанням випадку). Розробка швидкозбіжних ітераційних алгоритмів оптимізації показників надійності і ефективності проведена з єдиних теоретичних принципів, обґрунтованих на застосуванні дискретного принципу максимуму.

До основних результатів роботи необхідно віднести наступні.

1. Використовуючи спеціальний клас марковських процесів з дискретним втручанням випадку створено ряд оригінальних математичних моделей, які проблему надійності функціонування просторово розподілених систем керування досліджують, на відміну від існуючих публікацій, комплексно з урахуванням великого числа діючих одночасно факторів (надійності е.е-

ментно бази систем, їх структури і функціональної надлишковості, кількості обслуговуючого персоналу, числа запасних елементів, стратегій проведення технічного обслуговування, відстані між системами комплексу і якості інформаційних та транспортних зв'язків між ними і базовим центром обслуговування та ін.). Установлена алгоритмічна залежність множини перелічених факторів на узагальнені показники надійності роблять здобуті результати вагомими.

2. Розв'язана важлива задача оптимального керування процесом, стохастично зв'язаного з реальним процесом якості функціонування систем при невірному контролі їх станів. Знайдено алгоритм пошуку оптимальної стратегії технічного обслуговування (вектор прийняття рішення про проведення відновлюваних робіт і вектор інтервалів часу контролю).

3. Досліджено клас лінійчатих марковських процесів для опису обчислювального процесу, реалізованого на відказостійких обчислювальних системах. Для визначення математичного сподівання часу перебування лінійчатого процесу у фіксованій підмножині станів складена і розв'язана система диференціальних рівнянь методом варіації довільних сталих з використанням апарату характеристичних функцій.

4. Спираючись на результати проведених теоретичних досліджень лінійчатих процесів, а також використовуючи керовані підмарковські процеси, розроблено ряд моделей обчислювального процесу, реалізованого на обчислювальних системах з паралельною обробкою інформації, які дозволяють врахувати вплив на коефіцієнт продуктивності як надійнісних параметрів системи і їх архітектури, так і стратегій обчислення (структури обчислювальних ядер, збоїв і відказів процесорів, дисциплін технічного обслуговування, тривалості виконання ділянки задачі керування і тривалості мікрокоманди, інтервалів часу, пов'язаних з: організацією контрольних точок, аналізом вигляду несправностей, відновленням інформації після помилок, мажоруванням результатів, реконфігурацією системи; використаного засобу контролю помилок та ін.).

5. Запропоновано новий більш досконалий і перспективний критерій (коефіцієнт продуктивності) оптимізації ефективності мультипроцесорних систем і розроблено алгоритм його обчис-

лення, обґрунтований на моделях обчислювального процесу.

6. Розроблені та випробувані ряд ефективних алгоритмів оптимізації з застосуванням принципу максимуму. Усі алгоритми доведені до числових обчислень і у кожному випадку дана їх порівняльна оцінка з методом динамічного програмування, як найбільш потужного при розв'язанні класу задач, що розглядається.

7. Сформульована і розв'язана нова у теорії надійності проблема оптимізації ефективності ієрархічних систем з розгалуженою і складною структурами з одним та декількома нелінійними обмеженнями.

ПУБЛІКАЦІ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ
(наведені на мові оригіналу)

1. Дикарев В.Е. Модели надежности и эффективности систем. - Киев: Наукова думка, 1989. - 124 с.
2. Дикарев В.Е. и др. Методика определения надежности функционирования АСУП АЭС. - ШНИИКА, Москва, 1985. - 52 с.
3. Дикарев В.Е., Шишонко Н.А. Оптимизация эффективности иерархических систем управления при ограниченной стоимости. // Точность и надежность кибернет. систем. - 1973. - N 1. - С. 80-85.
4. Дикарев В.Е., Шишонко Н.А. Анализ надежности систем с двухконтурной структурой ремонта. // Там же. - С. 85-90.
5. Dikarev V.E., Šisonok N.A. On the interval distribution of a class of markov processes. // Theor. Probability and Math. Statist. - No.10, 1976. - pp.69-72.
6. Дикарев В.Е., Шишонко Н.А. Оптимизация надежности систем при нескольких ограничениях. // Точность и надежность кибернет. систем. - 1974. - N 2. - С. 74-80.
7. Дикарев В.Е. Стратегия обслуживания комплекса систем с информационной связью. // Точность и надежность кибернет. систем. - 1974. - N 2. - С. 94-102.
8. Дикарев В.Е. Оптимизация избыточности в иерархической системе с двукратным обслуживанием. // Автомат. и телемеханика. - 1975. - N 5. - С. 60-66.

9. Дикарев В.Е. Линейчатая марковская модель процесса счета на ЦМВ. // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. - №2, 1980. - С. 210.
10. Дикарев В.Е. Техническое обслуживание при недостоверной информации о состояниях работоспособности. // Кибернетика. - №5. - 1980. - С. 81-85.
11. Дикарев В.Е. Некоторые вероятностные модели процесса счета больших задач на ЦМВ. // Электронное моделирование. - №6, 1982. - С. 95-96.
12. Дикарев В.Е. Модель централизованного технического обслуживания комплекса территориально распределенных систем. // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. - №1. - 1982. - С. 100-107.
13. Дикарев В.Е. Эффективность рехпроцессорной системы с программно-аппаратным контролем вычислений. // Электронное моделирование. - 1994. - № 4. - С. 63-67.
14. Дикарев В.Е., Шишенок Н.А. Обслуживание комплекса систем иерархической структуры. // Кибернетика и вычислительная техника. - Киев: Наукова думка, 1972. - №18. - С.58-62.
15. Дикарев В.Е. О влиянии сбоев ЦМВ на длительность решения задач. // Точность и надежность кибернет. систем. - №3. - 1975. - С.129-135.
16. Дикарев В.Е. Анализ влияния сбоев, отказов и восстановлений ЦМВ на длительность решения задач. // Точность и надежность кибернетических систем. - К.: Наукова думка, №4, 1976. - С.82-87.
17. Дикарев В.Е. Модель надежности комплекса рассредоточенных систем. // Точность и надежность электронных систем обработки информации. - Киев: Наук. думка, 1975. - С. 81-87.
18. Дикарев В.Е., Шишенок Н.А. Готовность восстанавливаемых сложных систем, подверженных групповым сбоям. // Надежность и эксплуатация радиоэлектронной аппаратуры. - КВИРТУ, Киев, 1972. - С. 7-12.
19. Дикарев В.Е., Сидоров Л.А. Количественная оценка коэффициента использования многокабельной системы связи с оптимальной периодичностью обновления. // Там же. - С.28-35.
20. Дикарев В.Е. Приближенный метод оценки надежности много-

- функциональных систем. // Гибридная вычислительная техника и электроника. - К.: Наукова думка, 1972. - С. 247-253.
21. Дикарев В.Е., Перельман М.П. Способ повышения готовности участка НУП кабельных магистралей. // Там же. - С. 277-285.
 22. Дикарев В.Е. Оптимизация эффективности иерархической системы сложной структуры при нелинейном ограничении по стоимости. // Проблемы надежности систем и средств автоматизации. - Киев: Техника, 1976. - С. 24-31.
 23. Дикарев В.Е. Оптимизация избыточности при линейных ограничениях в иерархической системе с двукратным об указанием. // Техническая диагностика, эксплуатация управляющих и вычислительных машин. - Киев: Наук. думка, 1980. - С. 113-121.
 24. Дикарев В.Е. Надежность комплекса систем при централизованном техническом обслуживании. // Техническая диагностика электронных систем. - Киев: Наукова думка, 1982. - С. 7-17.
 25. Дикарев В.Е., Берсенев А.А. Алгоритм и программа для исследования централизованного обслуживания энергетических электронных систем. // Диагностика энергетических и электронных систем. - Киев: Наукова думка, 1983. - С. 75-80.
 26. Дикарев В.Е. Обеспечение надежности металла теплоэнергетического оборудования. // Моделирование сложных процессов и систем. - Киев: Наукова думка, 1985. - С. 273-280.
 27. Дикарев В.Е. Модели счета задач на управляющих вычислительных системах. // Препр.-75. - АН УССР; Ин-т проблем моделирования в энергетике. - Киев: 1987. - 36 с.

Особисті внесок автора у працях, опублікованих у співавторстві. В [2] авторомі належить розділ 4; у працях [3-6, 14, 18] завдання поставлені проф. Шимонком Н.А., а моделі розроблені автором; у [19, 21] авторомі належать математичні формулювання задач і засоби рішення; у [25] постановка завдання і алгоритм рішення здійснені автором, програму склав Берсенев А.А.

Дикарев В.Е. Математические модели надежности и эффективности комплексов пространственно распределенных систем управления.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.08 - Вычислительные машины, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления (рукопись), Институт проблем моделирования в энергетике НАН Украины, г.Киев, 1996.

Предложены принципы технического обслуживания комплекса больших систем, созданы математические модели их надежности и эффективности, а также разработаны алгоритмы оптимизации, что позволяет комплексно подходить к процессу проектирования и эксплуатации комплексов пространственно распределенных систем и в значительной мере повышать их качество и эффективность функционирования в различных областях науки и техники.

Dikarev V.E. The mathematical models of reliability and efficiency of distributed control systems complexes.

The dissertation for a degree of doctor of technical sciences on speciality 05.13.08 - Computers, systems and networks, elements and units of computer technique and control systems (manuscript), Institute of problems of simulation in energetics of National Academy of Sciences Ukraines, Kiev, 1996.

The principles of maintenance service of complex of large systems are offered, the mathematical models their reliability and efficiency are created, as well as the algorithms of optimization are developed, that permits complexly to be suitable to process of designing and operation of complexes space of distributed of systems and largely to increase their qualities and efficiency of functioning in various areas of science and engineering.

Ключові слова: комплекс мультипроцесорних систем, технічне обслуговування, марковські процеси, дискретний принцип максимуму.

Підп. до друку ...05.96.Формат 60x84/16. Папір офсетний.Умов.
друк.арк.2,4. Умовн. фарб.-відб.2,4. Тираж 100 прим. Зам.№202

Поліграф. діль-ця Інституту електродинаміки НАН України,
252057 Київ-57, проспект Перемоги, 56.

436677

AB 35.205