

Академія наук України
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова

На правах рукопису

БУРЛАКОВ Михайло Вікторович

УДК 65.012.122

**МОДЕЛІ, АЛГОРИТМИ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ
ПРОЦЕДУРИ ОПТИМІЗАЦІЇ СИТУАЦІЙНОГО
КЕРУВАННЯ У СИСТЕМАХ ОБСЛУГОВУВАННЯ**

05.13.13 — обчислювальні машини, комплекси, системи та мережі

05.13.06 — автоматизовані системи керування

Автореферат дисертації на здобуття ученого ступеня
доктора технічних наук

Київ 1993



Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
ЗАЙЧЕНКО Ю. П.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,
професор АНІСІМОВ В. В.,
доктор технічних наук, професор
ВІННИЦЬКИЙ В. П.,
доктор технічних наук, професор
ПАВЛОВ О. А.

Провідна установа: Білоруський державний університет.

Захист відбудеться «17» червня 1993 р. о 14⁰⁰
годині на засіданні спеціалізованої ради Д 016.45.02 при Ін-
ституті кібернетики імені В. М. Глушкова АН України за
адресою:

252207 Київ 207, проспект Академіка Глушкова, 40.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічному
архіві інституту.

Автореферат розісланий «13» травня 1993 р.

Учений секретар
спеціалізованої ради
ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Гуменюк-Сичевський В. І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАЦІ

Актуальність проблеми. Одним з найбільш перспективних шляхів підвищення ефективності функціонування інформаційно-обчислювальних та організаційно-технологічних систем дискретного типу є широке практичне впровадження сучасних досягнень теорії керованих систем масового обслуговування /теорії КСМО/, яка займається дослідженням та оптимізацією процесів масового обслуговування /ТМО/, ситуаційно керованих в залежності від поточного фазового стану систем. Велика увага, яку приділяють у рамках цієї теорії вивченню моделей КСМО, обумовлена як ефективністю математичних методів дослідження, в основу яких покладені відомі методи класичної теорії масового обслуговування /ТМО/ та оптимізаційні методи керованих випадкових процесів, так і вимогами практики, де постійно виникають задачі підвищення ефективності функціонування систем обслуговування різного типу.

Перші публікації по проблемам дослідження та оптимізації КСМО з'явилися у 60-ті роки. До теперішнього часу розроблені велими ефективні аналітичні та чисельні методи оптимізації КСМО, вивчено багато моделей цих систем. Великий вклад у розробку аналітичних методів оптимізації КСМО, а також у вивчення оптимізованих з їх допомогою керованих дисциплін обслуговування /далі - КДОА/ внесли О.І.Бронштейн, Є.Б.Веклеров, О.М.Горцев, Дж.Джексон, О.М.Лудін, Г.П.Клімов, І.О.Коротаєв, М.І.Ланін, Е.Б.Лемберг, А.А.Назаров, О.В.Печінкін, В.В.Риков, С.Ф.Терпугов, Л.Б.Шварц, Л.Шраге та ін. В області розробки та дослідження чисельних методів оптимізації КСМО, а також конкретних моделей систем найбільш вагомі результати належать О.М.Горцеву, В.С.Джевеллу, Х.Майну, А.З.Мелікозу, В.В.Мові, А.А.Назарову, Д.І.Неймарку, С.Осакі, Л.А.Пономаренку, А.М.Преображенській, Д.Уайту, Р.А.Ховарду, П.Швейцеру та ін.

Основними перевагами чисельних методів оптимізації КСМО є універсальність та порівняльна простота, що дозволяє їх використовувати для вивчення великого класу моделей КСМО, які описують ситуаційне керування багатьма реальними процесами обслуговування. Суть цих методів полягає в обмеженні кількості фазових станів досліджуваної моделі КСМО та зведенні задачі синтезу табличної керованості дисципліни обслуговування /далі - КДОТ/ до пошуку оптимальної стратегії керування напівмарковським /марковським/ випадковим процесом з кінцевою кількістю станів та керувань. Властивість універсальності чисельних методів полягає у можливості їх використання для оптимізації ситуаційного керування багатьма елементами КСМО, що впливають на процес обслуговування /вхідними потоками заявок, черго-

вістю та режимами їх обслуговування та ін./, стосовно до широких класів моделей систем. Властивість порівняльної простоти цих методів полягає у тому, що їх освоєння /з метою практичного використання/ доступне для розробників та користувачів систем обслуговування, які не є спеціалістами в області ТМО. Зауважимо, що вищезгадані властивості не є характерними для аналітичних методів оптимізації КСМО.

Незважаючи на явні позитивні якості чисельних методів оптимізації КСМО, важливі теоретичні результати, одержані в даній області досліджень, а також існуючі приклади їх успішного застосування при оптимізації реальних систем, практичне використання цих методів не стало масовим. Результати, одержані до недавнього часу в області чисельної оптимізації ситуаційного керування ПМО, хоча і були достатньо глибоко пророблені теоретично, але досить часто не мали прикладного спрямування. У процесі вивчення конкретних моделей КСМО часом ігнорувався такий важливий фактор, як трудомісткість синтезу КДОТ, яка залежить від кількості фазових станів КСМО і в багатьох випадках обумовлює можливість практичної реалізації розроблюваної моделі. Орієнтація на вивчення конкретних моделей КСМО, а не класів моделей, а також ігнорування трудомісткості синтезу КДОТ приводило до того, що розробнику було важко орієнтуватися у виборі найбільш прийняттого методу оптимізації при вирішенні конкретної прикладної задачі /особливо у тому випадку, коли потрібна була розробка нової моделі КСМО, яка не мала аналогів/.

Аналіз показує, що існуючий розрив між теоретичними результатами в області чисельної оптимізації КСМО та їх практичним використанням обумовлений, перш за все, відсутністю єдиної наукової методології, орієнтованої на широкі класи моделей КСМО, які описують ситуаційне керування багатьма реальними ПМО. Така методологія, яка складається з математичних методів і засобів, а також інженерної методики чисельної оптимізації КСМО, повинна бути заснована на найбільш перспективному в ТМО алгоритмічному підході до вивчення класів моделей систем, а також бути доступною для розробників /мати прикладне спрямування/. Розробка її здається величезно актуальною, оскільки вона відкриває шлях до створення та повсюдного впровадження технології проектування автоматизованих систем керування процесами масового обслуговування. З метою апробації та практичного освоєння даної методології, а також вирішення конкретних прикладних задач з оптимізації ПМО здається також важливим розробка /з її допомогою/ моделей КСМО, які дозволяють синтезувати КДОТ для реальних систем обслуговування.

Опису даної методології, а також розробці з її використанням моделей КСМО, призначених для оптимізації багатьох реальних процесів обслуговування з адитивними критеріями якості, і приділяється основна увага в дисертаційній праці. Крім того, тут наводяться результати дослідження двох КДОА /дисципліни Клімова та дисципліни динамічного сортування заявок/ стосовно одноканальних КСМО. Актуальність дослідження цих дисциплін обумовлена їх високою ефективністю та простотою практичної реалізації.

Мета праці та задачі досліджень. Метою дисертаційної праці є розробка методології ситуаційного керування процесами масового обслуговування, заснованій на чисельній оптимізації КСМО, та комплексу математичних моделей КСМО, які дозволяють оптимізувати багато реальних керованих процесів обслуговування з адитивними критеріями якості, а також дослідження деяких одноканальних моделей систем обслуговування, що використовують ефективні КДОА.

Для досягнення цієї мети сформульовані та вирішені такі задачі:

- аналіз та систематизація публікацій з проблем ситуаційного керування ПМО;
- виведення формул для знаходження збитків та середнього часу перебування заявок у системах типу $MIG/1/\infty$ при використанні КДОА Клімова;
- розробка та дослідження КДОА динамічного сортування заявок для одноканальних КСМО з обмеженим часом перебування;
- виявлення загальних закономірностей синтезу КДОТ для двох виділених класів моделей КСМО з адитивними критеріями якості, які описують багато реальних керованих ПМО;
- дослідження та розробка ефективних схем /обчислювальних процедур/ синтезу КДОТ для КСМО з незалежними та синхронізованими керуваннями, заснованих на рекурентній оптимізації випадкових процесів з кінцевою кількістю фазових станів та керувань;
- розробка та практичне випробування інженерної методики синтезу та дослідження КДОТ в КСМО з адитивними критеріями якості;
- розробка параметрично налагоджуваних моделей КСМО з адитивними критеріями якості /формул та алгоритмів вилічення їх параметрів/, які описують багато реальних керованих ПМО;
- розробка моделей КСМО, які описують ситуаційне керування ПМО в конкретних системах, а також дослідження ефективності КДОТ, синтезованих за допомогою програмних засобів, які реалізують ці моделі;
- розробка принципів створення інструментальних засобів автоматизації проектування КДОТ, що дозволяють мінімізувати трудоміст-

кість синтезу та дослідження КДОТ.

Методи дослідження базуються на апараті теорії імовірностей, теорії масового обслуговування, теорії керованих випадкових процесів, динамічного програмування та статистичного моделювання.

Наукова новина. В дисертації одержані наступні нові наукові результати :

1. Виведені розрахункові формули, які дозволяють знаходити збитки у системах обслуговування типу $MIG/1/1/\infty$ з КДОА Клімова та їх часові характеристики.
2. Доведена оптимальність запропонованої дисципліни динамічного сортування заявок для одноканальних КСМО з обмеженими термінами їх перебування.
3. Вирішений такий комплекс наукових проблем, зв'язаних з розробкою методології ситуаційного керування ПМО з адитивними критеріями якості, заснованій на чисельній оптимізації КСМО:
 - здійснений вибір метоців розробки математичних моделей КСМО та їх чисельної оптимізації;
 - сформульовані та доведені твердження, які визначають загальні закономірності синтезу КДОТ для двох виділених класів моделей КСМО з адитивними критеріями якості;
 - запропоновані та досліджені ефективні схеми синтезу КДОТ для КСМО з незалежними та синхронізованими керуваннями.
4. Розроблені параметрично налагоджувані моделі КСМО з адитивними критеріями якості, які дозволяють синтезувати КДОТ для багатьох реальних систем обслуговування.

Практична цінність та реалізація результатів праці. Практична важливість дисертаційної праці полягає у :

- розробці та випробуванні інженерної методики синтезу та дослідження КДОТ з адитивними критеріями якості;
- розробці моделей КСМО для оптимізації ситуаційного керування в конкретних системах обслуговування, програмної реалізації кількох з них, а також синтезуванні за їх допомогою ефективних КДОТ; одержані результати практично впроваджені та апробовані, що підтверджено актами впровадження та використання результатів дисертації;
- розробці концепції створення системи значь оптимізації керування /СЗОК/ ПМО, яка дозволяє автоматизувати процес синтезу та дослідження КДОТ для моделей КСМО з адитивними критеріями якості.

Розроблені та програмно реалізовані моделі КСМО, синтезовані за їх допомогою КДОТ, а також вивчені КДОА практично використовувались в Інституті електрозварювання ім.Є.О.Патона /м.Київ/, Інституті кібернетики ім.В.М.Глушкова АН України, Науково-експериментальному центрі автоматизації керування повітряним рухом /м.Москва/, Візьській частині №73790, Центральному НДІ машинобудування

/м.Калінінград Московськ./, Автотранспортному підприємстві № 14302 /м.Ялта/, Станції швидкої медичної допомоги /м.Київ/.

Основні положення дисертації, що виносяться на захист, складають:

1. Формули для розрахунку збитків та середнього часу перебування заявок у системах обслуговування типу $M/G/1/\infty$ з КДОА Клімова.

2. Доказ оптимальності КДОА динамічного сортування заявок в одноканальних КСМО з обмеженнями.

3. Формулювання і докази тверджень, що виявляють загальні закономірності синтезу КДОТ для двох класів моделей КСМО з адитивними критеріями якості.

4. Схеми синтезу КДОТ, які включають процедури оптимізації для систем з незалежними та синхронізованими керуваннями, а також формулювання та докази тверджень, які визначають їх властивості.

5. Інженерна методика синтезу та дослідження КДОТ для КСМО з адитивними критеріями якості.

6. Сім параметрично налагоджуваних моделей КСМО, що дозволяють синтезувати КДОТ для багатьох реальних систем обслуговування з адитивними критеріями якості.

7. Моделі КСМО, які описують ситуаційне керування процесами обслуговування у ряді конкретних систем.

8. Концепція створення СЗОК ПМО, яка дозволяє автоматизувати процес синтезу та дослідження КДОТ для великого класу моделей КСМО з адитивними критеріями якості.

Апробація одержаних результатів. Матеріали дисертації доповідались та обговорювались на : I, II, III Всесоюзних нарадах по розподілених автоматизованих системах масового обслуговування /Нальчик, 1982 ; Кишинів, 1985 ; Вінниця, 1990 /; У Всесоюзній школі-семінарі по розподілених автоматизованих системах масового обслуговування / Рига, 1988 /; Всесоюзній науково-технічній конференції "Розподілені мікропроцесорні керовані системи та локальні обчислювальні мережі" /Томськ, 1991/; II, III, IV Всесоюзних конференціях "Обчислювальні мережі комутації пакетів" /Рига, 1981, 1983, 1985 /; УП Всесоюзній школі-семінарі з обчислювальних мереж /Бреван, 1983/; I, II-III Білоруських зимових школах-семінарах з теорії масового обслуговування /Тродно, 1985, 1988, 1989, 1991; Вітебськ, 1990; Брест, 1992/; Республіканському семінарі "Проблеми автоматизації керування процесами масового обслуговування"/Київ, 1988/; Республіканській науково-технічній школі-семінарі "Аналіз і синтез систем масового обслуговування та мереж EOM" /Одеса, 1990/ та ін.

Публікації. Основні наукові результати викладені в 48 наукових працях, у тому числі в одній монографії.

Структура і об'єм праці. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, заключення, списку літератури із 325 найменувань та трьох додатків. Основна частина праці викладена на 398 сторінках, включаючи 17 таблиць та 21 малюнок. Додатки містять результати синтезу та дослідження КДОТ для двох конкретних систем обслуговування, а також акти упровадження та використання результатів дисертаційної праці.

СТИСЛИЙ ЗМІСТ ПРАЦІ

У вступі обґрунтовується актуальність, формулюється мета, наукова новина, практична важливість дисертаційної праці, основні положення, що захищаються, коротко переказується зміст праці.

У першій главі наводиться огляд публікацій з проблем ситуаційного керування процесами масового обслуговування та вивчаються дві КДОА стосовно до одноканальних систем обслуговування. Пропонується класифікувати КСМО по таких елементах: 1/ з керованою дисципліною залишання системи необслугованими повністю заявками; 2/ з керованим режимом /швидкістю/ обслуговування; 3/ з керованою структурою системи; 4/ з керованою дисципліною зайняття заявками приладів та буферних накопичувачів; 5/ з керованими цінами за обслуговування. Дається розширене тлумачення керованої дисципліни обслуговування /КДО/, під якою розуміється правило завдання керуючих впливів на керовані елементи КСМО в залежності від її поточного фазового стану; під КДОА розуміється КДО, яка оптимізована за допомогою аналітичних методів, а під КДОТ - за допомогою чисельних. Проведена в главі систематизація публікацій по даній проблематиці здійснена як по елементах КСМО, так і по методах їх оптимізації.

Дається детальний огляд праць, присвячених вивченню з допомогою аналітичних методів оптимізації систем типу $M/G/1/\infty$ з критеріями якості, які лінійно залежать від часу перебування /чекання/ заявок у системі /черзі/ або від їх кількості у ній. Вивчається КСМО, що відноситься до даного класу, з наступним функціоналом збитків:

$$L = \sum_{i=1}^m \lambda_i \left[\int_0^{\infty} \alpha_i(x) \omega_i^m(x) \beta_i(x) dx + \int_0^{\infty} (\alpha_i(x) + \beta_i(x)) \omega_i^n(x) \beta_i(x) dx \right], \quad /1/$$

де L - середні збитки за одиницю часу; m - число найпростіших вхідних потоків /типів/ заявок; λ_i - інтенсивність вхідного потоку заявок i -го типу; $\alpha_i(x)$ - штраф за перебування /чекання/ в

одиницю часу заявки i - го типу з часом обслуговування x ; $\omega_i^H(x)$ - середній час чекання цієї заявки до першого надходження на прилад; $\beta_i(x)$ - щільність розподілення часу її обслуговування; $\beta_i(x)$ - додатковий штраф за перебування заявки i - го типу у системі /черзі/ у перерваному стані; $\omega_i^H(x)$ - середній час перебування цієї заявки у перерваному стані. Як виявив Г.П.Клімов /для більш загального випадку/, мінімізація функціоналу I досягається при умові, коли найвищий пріоритет в обслуговуванні надається заявці з максимальним пріоритетним індексом $R_\varphi(\xi) = C_\varphi(\xi) / \delta_\varphi(\xi)$, де φ - тип заявки; ξ - час поточного її обслуговування; $C_\varphi(\xi)$ - штраф за перебування /чекання/ (φ, ξ) - заявки в одиницю часу; $\delta_\varphi(\xi)$ - середній час її дообслуговування / тут припускають, що $R_\varphi(\xi)$ від ξ не зменшується $V\varphi$ /.

У випадку відомої тривалості обслуговування x : $C_i^x(0) = \alpha_i(x)$, $C_i^x(\xi > 0) = \alpha_i(x) + \beta_i(x) \forall i$. У протилежному випадку, коли тривалість обслуговування невідома, $C_i(0) = \int \alpha_i(z) \beta_i(z) dz$, $C_i(\xi > 0) = \int [\alpha_i(\xi+z) + \beta_i(\xi+z)] \beta_i(\xi+z) dz / \int \beta_i(\xi+z) dz \forall i$.

У праці виводяться розрахункові формули для збитків і середнього часу перебування заявок в описаній системі з критерієм якості I та КДОА Клімова. Розглядаються три можливі випадки: 1/ типи заявок та тривалості обслуговування стають відомі у моменти їх надходження в систему; 2/ типи заявок невідомі при відомих тривалостях обслуговування; 3/ типи заявок відомі, а тривалості обслуговування ні, при цьому спостерігається час поточного обслуговування частково обслугованих заявок.

Випадак I. Середній час перебування у системі заявки i - го типу з тривалістю обслуговування t $v_i(t)$ визначається по формулі

$$v_i(t) = \omega_i^H(t) + \omega_i^H(t), \quad i = \overline{1, m},$$

де
$$\omega_i^H(t) = \left\{ \sum_{k=1}^m \lambda_k \int_{x \in X_{kl}^t} x^2 \beta_k(x) dx + \frac{t^2}{\alpha_i^2(t)} \int_{x \in X_{kl}^t} (\alpha_k(x) + \beta_k(x))^2 \beta_k(x) dx \right\} /$$

$$\{ 2 [1 - \sum_{k=1}^m \lambda_k \int_{x \in X_{kl}^t} x \beta_k(x) dx] [1 - \sum_{k=1}^m \lambda_k \int_{x \in X_{kl}^t} x \beta_k(x) dx] \},$$

$$\omega_i^H(t) = \int_0^t [1 - \sum_{k=1}^m \lambda_k \int_{x \in X_{kl}^t} x \beta_k(x) dx]^{-1} dy,$$

тут X_{kl}^t - підмножина значень $x > 0$, задовольняючих умові

$\alpha_k(x) / x(\cdot) \alpha_i(t) / t$, (\cdot) - математичний знак нерівності або рівності ($>$, \geq , $<$, \leq , $=$), $t > 0$; X_{kl}^t - підмножина значень $x > 0$, задовольняючих умові $\alpha_k(x) / x(\cdot) (\alpha_i(t) + \beta_i(t)) / y$, $0 < y < t$; X_{kl}^t - підмножина значень x , задовольняючих умові $(\alpha_k(x) + \beta_k(x)) / x(\cdot) \alpha_i(t) / t$.

Середній залишений час перебування у системі заявки i -го типу $v_i(t, \tau, z)$ з тривалістю дообслуговування $\tau \leq t$ та сумарним часом дообслуговування усіх заявок, що перебувають перед нею у черзі і на приладі, рівним Z , знаходиться із рівності

$$v_i(t, \tau, z) = \frac{z}{1 - \sum_{k=1}^m \lambda_k \int_{x \in \lambda_{ki}^{\tau t}} x \beta_k(x) dx} + \int_0^{\tau} \frac{dy}{1 - \sum_{k=1}^m \lambda_k \int_{x \in \lambda_{ki}^{\tau y}} x \beta_k(x) dx}, \quad i = \overline{1, m}.$$

Випадок 2. Тут справедливі усі розрахункові вирази, одержані у випадку 1, при умові $m=1$ / заявки усіх типів об'єднані в один / і таких осереднених параметрах :

$$\tilde{\beta}(t) = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i \beta_i(t)}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}, \quad \tilde{\alpha}(t) = \frac{\sum_{i=1}^m \alpha_i(t) \lambda_i \beta_i(t)}{\sum_{i=1}^m \lambda_i \beta_i(t)}, \quad \tilde{\beta}(t) = \frac{\sum_{i=1}^m \beta_i(t) \lambda_i \beta_i(t)}{\sum_{i=1}^m \lambda_i \beta_i(t)}.$$

Випадок 3. Середній безумовний час перебування у системі заявки i -го типу \tilde{V}_i знаходиться по формулі

$$\tilde{V}_i = \tilde{\omega}_i^H + \tilde{\omega}_i^N, \quad i = \overline{1, m},$$

де

$$\begin{aligned} \tilde{\omega}_i^H = & \left\{ \sum_{K=1}^i \lambda_K \int_0^{\infty} t^2 \beta_K(t) dt + \sum_{K=i+1}^m \lambda_K \int_{t_{Kl}^*}^{\infty} (t - t_{Kl}^*)^2 \beta_K(t) dt \right\} / \left\{ 2 \left[1 - \sum_{K=1}^{i-1} \lambda_K \delta_K(0) \right] \left[1 - \sum_{K=1}^i \lambda_K \delta_K(0) \right] \right\}, \\ \tilde{\omega}_i^N = & \sum_{j=1}^{i-1} \left[\Delta_{i-j} \int_{t_{i,j}^*}^{\infty} \beta_i(x) dx + \int_{t_{i,i-j+1}^*}^{t_{i,i-j}^*} (x - t_{i,i-j+1}^*) \beta_i(x) dx \right] / \left[1 - \sum_{K=1}^{i-j} \lambda_K \delta_K(0) \right]; \end{aligned}$$

тут $\tilde{\omega}_i^H$ - середній час перебування у системі заявки i -го типу до першого її надходження на прилад; $\tilde{\omega}_i^N$ - середній час її перебування у перерваному стані; t_{Kl}^* - найменше значення часу поточного обслуговування заявки K -го типу, при якому виконується рівність $R_K(t_{Kl}^*) = R_K(0)$; $\Delta_{i-j} = t_{i,i-j}^* - t_{i,i-j+1}^*$ інтервал часу поточного обслуговування заявки i -го типу, за який переривають її обслуговування лише заявки перших $(i-j)$ типів, що надходять у систему, $j = \overline{1, i-1}$; $\delta_K(0)$ - середній час обслуговування заявки K -го типу.

Середній залишений час перебування у системі заявки i -го типу $\tilde{v}_i(y, z)$ з поточним часом її перебування y /спостерігається/ і сумарним середнім часом дообслуговування Z усіх заявок,

які стоять у черзі і на приладі перед даною заявкою /обчислюється/, задовольняє рівності

$$\tilde{v}_i(y, z) = z / [1 - \sum_{\nu=1}^{i-K} \lambda_{\nu} \delta_{\nu}(0)] + \sum_{j=K}^{i-1} [\hat{\Delta}_{i,j} \int_{\hat{t}_{i,j}}^{\infty} b_i(x) dx + \int_{\hat{t}_{i,j}}^{\hat{t}_{i,j}^0} (x - \hat{t}_{i,j+1}) \times b_i(x) dx] / [(1 - \sum_{\nu=1}^{i-j} \lambda_{\nu} \delta_{\nu}(0)) \int_{y+0}^{\infty} b_i(x) dx],$$

де число K знаходиться із умови $t_{i,i-K+1}^* \leq y < t_{i,i-K}^*$; $\hat{t}_{i,i-K+1} = y+0$; $\hat{t}_{i,i-j} = t_{i,i-j}^*$, $\hat{\Delta}_{i-j} = \hat{t}_{i,i-j} - \hat{t}_{i,i-j+1}$, $j = K, i-1$.

Для одьоканальних систем обслуговування з обмеженим часом перебування, будь-яких вхідних потоків заявок і наявності інформації про час їх перебування та порогових значеннях у праці пропонується використовувати дисципліну динамічного сортування заявок, суть якої полягає у наступному. При надходженні заявки у систему вона розміщується у кінці черги, а потім просувається ближче до приладу, послідовно обмінюючись місцями з сусідніми, до тих пір, поки запас міцності /різниця між пороговим та розрахунковим часами перебування/ для надходжуваної заявки не стане більшим чи рівним запасу міцності сусідньої, розташованої на її місці. Якщо в результаті такої зміни значення запасів міцності у обох заявках виявляється від'ємним /розрахунковий час перебування перевершує порогове значення/, то заявка, що поступає, губиться. Іншими словами, для кожної пари сусідніх заявок повинна виконуватися умова

$$d_i \geq d_{i+1} - \tau_i \text{ при } d_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad /2/$$

де d_i, τ_i - запас міцності та час /до/обслуговування заявки, яка стоїть на i -місці з кінця у черзі /під чергою тут розуміється підпорядковане розміщення заявок у системі, включаючи і ту, яка обслуговується/; n - кількість заявок у системі.

У праці вивчаються властивості дисципліни динамічного сортування, зокрема, доводиться її оптимальність /при будь-яких вхідних потоках/ у відношенні до максимізації часу функціонування системи до першої втрати заявки. Показується, що правило динамічного сортування еквівалентне упорядкуванню заявок у черзі по збільшенню планових термінів їх обслуговування /відома дисципліна Джексона, яка упорядковує виконання заданої кількості завдань, припускає таке сортування/. Зазначена властивість дозволяє розповсюдити дисципліну динамічного сортування на випадок відсутності інформації про терміни обслуговування заявок. Доводиться властивість оптимальності і для цього випадку.

Наводяться результати експериментів для вивчених двох КДОА /дисциплін Клімова та динамічного сортування заявок/, які на конкретних прикладах дають можливість проаналізувати їх властивості та кількісно оцінити ефективність. Одержані в главі результати по вивченню цих дисциплін практично використовувались в інституті електрозварювання ім.Є.О.Патона /м.Київ//відповідний акт використання цих результатів є в дисертації/.

У другій главі викладається методологія ситуаційного керування процесами масового обслуговування, що заснована на чисельному методі синтезу КДОТ. Здійснюється вибір методу розробки математичних моделей КСМО з адитивними критеріями якості /побудування еквівалентних керованих випадкових процесів з кінцевою кількістю станів і керувань/ та чисельного методу їх оптимізації. Як перше пропонується використовувати метод укладених ланцюгів Маркова, що дозволяє накладати обмеження /для напіварковських та немарковських моделей КСМО/ на кількість фазових станів системи, а також керувати цією кількістю. Як чисельний метод оптимізування КСМО рекомендується використовувати метод динамічного програмування.

Виділяються та описуються два класи моделей КСМО з адитивними критеріями якості, що відрізняються збитками, зв'язаними зі значенням заявок у системі /для КСМО I-го класу вони визначаються простєм заявок у системі та відмовами Y_m в обслуговуванні, а для 2-го - зниженням цінності /старінням/ заявок/. Припускається, що для моделей обох класів характерна наявність повної інформації про поточний стан системи при відсутності групового надходження заявок та групового обслуговування. В дисертації приводяться критерії якості для узагальнених моделей КСМО обох класів, а також об'єднаного класу.

У праці формулюються та доводяться твердження 2.1-2.15, які виявляють загальні закономірності синтезу КДОТ виділених класів з адитивними критеріями якості. Твердження 2.1 та 2.2 визначають умови обмеження кількості заявок в КСМО I-го та 2-го класів, відповідно; твердження 2.3 та 2.4 - умови обмеження кількості фазових станів КСМО; твердження 2.5 та 2.6 - умови стаціонарності та ергодицичності процесу обслуговування; твердження 2.7 та 2.8 - умови наближення квазиоптимальної КДОТ до оптимальної; твердження 2.9-2.12 - умови зниження кількості дозволених керувань та фазових станів /2.9 та 2.10 - умови використання керованих відмов, а 2.11 та 2.12 - умови обмеження кількості частково обслугованих заявок у системі/. Причому твердження 2.1, 2.5 та 2.7 відносяться до випадку, коли в КСМО I-го класу заявки від нескінчених джерел з B відсутні, де B - штраф за відмову заявці в обслуговуванні. Твердження 2.13

узагальнює твердження 2.1 та 2.5, а твердження 2.14 - твердження 2.7 на випадок, коли такі заявки можуть надходити до системи. Твердження 2.15 узагальнює твердження 2.1-2.12 на випадок КСМО об'єднаного класу.

У главі вивчаються відомі алгоритми /схеми/ чисельної оптимізації керованих напівмарковських /марковських/ випадкових процесів з кінцевою кількістю станів та керувань відносно до синтезу КДОТ в КСМО з незалежними керуваннями /пошук керувань у кожному стані здійснюється незалежно від вибору керувань в інших станах/. Зокрема, виводяться формули для відкидання наперед неоптимальних керувань для схеми рекурентної оптимізації Швейцера. Так, у випадку керованого марковського ланцюга $T_i^K = 1 \forall i, K$, де T_i^K - тривалість кроку, під яким тут розуміється інтервал часу між сусідніми моментами здійснення керувань, для i -го стану і K -го керування/максимальна кількість ітераційних циклів m^* , на яких керування K для деякого стану i є наперед неоптимальним, визначається по формулі

$$m^* = \frac{q_i^K + \sum_j P_{ij}^K v_j(n) - m_{i,K}^* [q_i^K + \sum_j P_{ij}^K v_j(n)]}{\omega [g^+(n+1) - g^-(n+1)]}$$

де $g^{+(-)}(n+1) = \max(\min) \{ m_{i,K}^* [q_i^K + \sum_j P_{ij}^K v_j(n) - v_i(n)] \}$; q_i^K - середні крокові збитки для i -го початкового стану та K -го керування; P_{ij}^K - імовірність крокового переходу із i -го до j -го стану при K -му керуванні; $v_j(n)$ - відносна вага для j -го стану, вилічена на n -му ітераційному циклі; ω - релаксаційний множник. Аналогічна формула для керованого напівмарковського процесу має такий вигляд :

$$m^* = \frac{\{ (q_i^K + \sum_j P_{ij}^K v_j(n) - v_i(n)) / T_i^K - \min_{i,K} [(q_i^K + \sum_j P_{ij}^K v_j(n) - v_i(n)) / T_i^K] \} T_{\min}}{2\omega [g^+(n+1) - g^-(n+1)]}$$

де $T_{\min} = \min_{i,K} \{ T_i^K \}$; $g^{+(-)}(n+1) = \max(\min) \{ m_{i,K}^* [(q_i^K + \sum_j P_{ij}^K v_j(n) - v_i(n)) / T_i^K] \}$.

Істотним недоліком існуючих схем рекурентної оптимізації КДОТ є їх низька ефективність у випадку використання крокових керувань з нульовими тривалостями кроків /зокрема, керованих відмов/. У праці запропоновані дві процедури покрової оптимізації, які дозволяють істотно підвищити ефективність цих схем при наявності керованих відмов заявкам в обслуговуванні. Перша процедура розрахована на частковий випадок /фіксовані тривалості кроків та відсутність керованих відмов у базовому стані системи/. Друга процедура покрової оптимізації, яка є загальною, описується нижче.

Запроваджується поняття векторного керування, під яким розуміється вектор $\xi = (\xi_1, \xi_2)$, де ξ_1 - вектор заявок, які надходять на обслуговувачі прилади /крокове керування I-го роду/ ;

$\xi_2 = (\xi_{21}, \dots, \xi_{2\varphi}, \dots, \xi_{2M})$ - вектор заявок, які залишають систему із-за відмов в обслуговуванні / вектор керованих відмов, які називаються кроковими керуваннями 2-го роду/, де $\xi_{2\varphi}$ - кількість заявок φ -го типу, яким відмовлено в обслуговуванні, $\varphi = \overline{1, M}$, M - кількість типів заявок. Тут керовані відмови прикладаються у кінці такту /кроку/ і залежать від стану /назвем його проміжним/, в якому система знаходилась у момент часу, що безпосередньо передую моменту закінчення такту. Нехай K_i - множина можливих векторних керувань в i -му початковому стані; K_{i1} - множина крокових керувань I-го роду в даному стані; K_{i2} - множина можливих значень вектора керованих відмов ξ_2 у i -му проміжному стані; \mathcal{P}_e - множина типів заявок, що перебувають у системі в i -му стані; ℓ_i - проміжний стан, в який здійснюється перехід із i -го стану у випадку відмови в обслуговуванні заявки φ -го типу; $\Delta q_{e_j}^k$ - збитки із-за відмов в обслуговуванні групі заявок при переході із i -го проміжного до j -го кінцевого стану при $K = \xi_2$ -му керуванні; N - кількість фазових станів системи. Тоді рекурентна процедура покрової оптимізації має такий вигляд :

$$F_i(n+1) = \min_{k \in K_i} \left[\frac{q_i^k + \sum_j P_{ij}^k v_j(n) - v_i(n)}{T_i^k} \right] = \min_{k \in K_{i1}} \left[\frac{q_i^k + \sum_{\ell \in \mathcal{P}_e} P_{i\ell}^k G_\ell(n+1) - v_i(n)}{T_i^k} \right], \quad i = \overline{1, N},$$

$$\text{де } G_\ell(n+1) = \min_{k \in K_{\ell 2}} [\Delta q_{e_j}^k + v_j(n)] = \min [x_{e1}, x_{e2}], \quad x_{e1} = v_\ell(n) \text{ або } \infty$$

/якщо обслуговування заявок або простій приладів заборонені/, $x_{e2} = \min_{\varphi \in \mathcal{P}_\varphi} [\beta_\varphi + G_{e\varphi}(n+1)]$ або ∞ /якщо заборонені керовані відмови в обслуговуванні/. При $x_{e1} \leq x_{e2}$ використовуються крокові керування I-го роду, а при $x_{e1} > x_{e2}$ - 2-го. Так як $\ell_i < \ell \forall \ell, \varphi$ /кількість заявок у системі в результаті відмови в обслуговуванні зменшується/, то значення $G_\ell(n+1)$ можна знайти завжди, оскільки величини $v_\ell(n)$ і $G_{e\varphi}(n+1)$ були знайдені раніше. Ітераційний цикл у даному випадку складається із трьох кроків. На першому кроці визначаються значення $G_\ell(\cdot)$, $\ell = \overline{1, N}$, і визначаються крокові керування 2-го роду. На другому знаходяться $F_i(\cdot)$, $i = \overline{1, N}$, і крокові керування I-го роду. На третьому кроці визначаються середні збитки $g_i(\cdot)$ по одній із наведених нижче формул, а також відносні ваги $v_i(\cdot)$, $i = \overline{1, N}$:

$$g(n+1) = F_\sigma(n+1) \quad \text{і} \quad v_\sigma(n+1) = 0, \quad /3/$$

$$g(n+1) = \frac{1}{N} \sum_i F_i(n+1), \quad /4/$$

$$g_i(n+1) = \hat{g}_i^{u^*}, \quad /5/$$

де $\hat{g}_i^u = \sum_{\varphi} P_{i\varphi}^k \hat{g}_{\varphi+2}^{u-1}$, $i = \overline{1, N}$, $u = \overline{1, U}$; $\hat{g}_\varphi^u = F_\varphi(n+1)$; індекс σ відповідає базовому стану; K - оптимальне керування для i -го стану, виліче-

не на $(n+1)$ -му ітераційному циклі; $u^* \geq 1$ - кількість осереднень масиву, $\{g(\cdot)\}$;

$$v_i(n+1) + \omega g_{g(i)}(n+1) = v_i(n) + \omega F_i(n+1), \quad i = \overline{1, N},$$

де $\omega < T_i^k / (1 - P_{ii}^k) \forall i, k$. Тут формули /3/ і /4/ відповідають відомій схемі рекурентної оптимізації Швейцера та її модифікації для керованого процесу з одним ергодичним класом; формула /5/ - модифікована в дисертації схеми Неймарка-Преображенської для випадку кількох ергодичних класів / запропонована модифікація, яка полягає у введенні параметра осереднення $u^* \geq 1$, дозволила істотно прискорити сходимость цієї схеми/.

Вивчені існуючі схеми оптимізації КДОТ та запропоновані у праці їх модифікації розраховані лише на випадок повної інформації в поточному стані. Це означає, що пошук оптимального керування на кожному ітераційному циклі для любого стану проводиться незалежно від того, які керування були вибрані в інших станах. Разом з тим, є багато систем обслуговування, у яких наведена умова не виконується, що не дозволяє використовувати відомі схеми оптимізації КДОТ. У таких системах зустрічаються стани, де допускається використання лише однакових керувань. У праці подібні системи називаються системами з синхронізованими керуваннями.

В даній главі пропонуються та вивчаються дві схеми синтезу КДОТ для систем з синхронізованими керуваннями. Перша із них належить до групи територіально зосереджених систем обслуговування, у яких поточний стан КСМО аналізується в одному місці, при цьому або деякі компоненти вектора стану не спостерігаються, або проводиться укрупнення станів. Друга із запропонованих схем належить до групи територіально розподілених систем обслуговування, для яких характерно кілька місць спостережень стану системи. Причому, у зв'язку з територіальною розподіленістю елементів системи в кожному із місць спостереження фіксується лише інформація про стан відповідного вузла системи, в залежності від якої вибирається відповідна компонента вектора керування.

У праці формулюються і доводяться твердження, які виявляють загальні закономірності синтезу КДОТ для систем з синхронізованими керуваннями за допомогою запропонованих двох схем.

Викладається інженерна методика синтезу та дослідження КДОТ в КСМО з адитивними критеріями якості, яка заснована на чисельному методі синтезу КДОТ та імітаційному /статистичному/ моделюванні. Ця методика складається з наступних основних етапів: 1/аналіз

приналежності вивчаємої КСМО до виділених класів систем з адитивними критеріями якості та модифікація її характеристик /при необхідності/ з метою забезпечення можливості синтезу КДОТ з кінцевою кількістю станів; 2/ накладення обмежень на моменти керувань /введення тактування/ для напівмарковських та немарковських КСМО; 3/ обмеження кількості цілих та частково обслугованих заявок кожного типу у системі; 4/ введення вектора поточних фазових станів системи та вивід формул для оцінювання допустимої їх кількості; 5/ попереднє оцінювання кількості станів КСМО та розробка /при необхідності/ додаткових шляхів його зниження; 6/ вивід аналітичної залежності розрахункового номера стану КСМО від його поточного стечу та розробка алгоритмів формування масиву поточних фазових станів системи; 7/ обмеження можливих керувань у кожному стані; 8/ вивід формул для вилічення імовірностей крокових переходів, крокових збитків та тривалостей кроків для усіх можливих станів та керувань; 9/ вибір схеми рекурентної оптимізації КДОТ та розробка відповідного алгоритма оптимізації; 10/ розробка алгоритма статистичного моделювання процесу обслуговування заявок з використанням КДОТ та відповідного алгоритма моделювання для базової некерованої або евристичної керованої дисципліни обслуговування з метою оцінювання ефективності синтезованої КДОТ; 11/ розробка алгоритма ситуаційного диспетчерування процесом обслуговування у відповідності з використовуємою КДОТ / з урахуванням можливого її поліпшення на стадії реалізації/.

Третя глава присвячується розробці семи параметрично налагоджуваних моделей КСМО з адитивними критеріями якості, причому перші п'ять моделей належать до I-го класу КСМО з адитивними критеріями якості, а інші дві - до 2-го класу /див. вище/. Вивчені тут моделі, розробка яких здійснювалась за допомогою методології ситуаційного керування ПМО, викладенія у попередній главі праці, можуть використовуватися для синтезу КДОТ стосовно багатьох реальних систем обслуговування. Кожна з цих моделей є до деякої міри універсальною, оскільки, з одного боку, вона передбачає можливість керування багатьма параметрами та характеристиками системи, а з іншого - її можна представити у вигляді сукупності кількох найпростіших моделей КСМО. Нижче приводяться стислі словесні постановки задач по розробці даних моделей КСМО, а для одної з них /немарковської моделі/ даються формалізована постановка задачі та основні результати її вирішення /формули та алгоритми вилічення параметрів крокових переходів/.

1. Марковська многоканальна КСМО з ненадійними приладами. Розробляється марковська КСМО I-го класу, яка складається з кількох ненадійних приладів обслуговування, налагоджуваних пристроїв та буферного накопичувача необмеженої місткості. На вхід системи надходять найпростіші потоки заявок від кінцевих та нескінчених джерел, які можуть мати кінцеві терміни життя. Обслуговуючі прилади мають кілька режимів обслуговування заявок кожного типу, а при виході їх із ладу - кілька можливих типів несправностей. Збитки у системі визначаються перебуванням заявок у системі та їх виходом з неї необслугованими повністю, а також орендою ресурсів обслуговуваних приладів та налагоджуваних пристроїв. Вирішується задача синтезу КДОТ, яка мінімізує збитки у системі при заданих обмеженнях на доступну кількість заявок у неї.

2. Напівмарковська одноканальна модель КСМО з кінцевими джерелами та орієнтацією приладу. Розробляється напівмарковська КСМО I-го класу, яка складається із одного приладу обслуговування /налагоджувачого пристрою/, та буферного накопичувача необмеженої місткості, на вхід якої надходять від кінцевих та нескінчених джерел найпростіші потоки заявок /на ремонт верстатів, що вийшли з ладу/ з експоненціально розподіленими термінами життя та будь-якими розподіленнями тривалостей обслуговування, що мають декілька обмежень /щільності розподілень мають обмежені області визначення або експоненціальні "хвости"/. Припускається, що однотипні заявки можуть мати різні значення параметрів обслуговування, що відповідає різним типам несправностей верстатів. Обслуговуючий прилад має кілька режимів /швидкостей/ обслуговування заявок / при умові кратності величин швидкостей однотипних заявок/, а також параметри орієнтації на заявки, що обслуговуються. Збитки у системі визначаються перебуванням заявок у системі, виходами із системи необслугованими повністю, а також орендою ресурсів приладу обслуговування. Стає задача мінімізувати збитки у системі при заданих обмеженнях на кількість фазових станів КСМО.

3. Напівмарковська одноканальна КСМО з обмеженою місткістю буферного накопичувача. Розробляється напівмарковська КСМО I-го класу з одним обслуговуваним приладом та буферним накопичувачем кінцевої місткості. На вхід системи надходять найпростіші потоки заявок з будь-якими розподіленнями тривалостей обслуговування /при тих же обмеженнях, що у попередній моделі/ та різними розмірами різнотипних заявок. Припускається кілька режимів обслуговування заявок приладом / при умові кратності швидкостей обслуговування

однотипних заявок/. Збитки визначаються перебуванням заявок у системі, їх виходом з неї необслугованих повністю, а також орендою ресурсів приладу. Стає задача мінімізації збитків у системі при заданих обмеженнях на кількість фазових станів КСМО. Тут розглядаються два варіанти моделі системи : 1/ розміри заявок різних типів різні при достатньо малій тривалості такту δ , за який може надійти у систему не більше одної заявки; 2/ розміри заявок усіх типів однакові при будь-яких значеннях δ .

4. Напівмарковська багатоканальна КСМО зі штрафами, які залежать від часу перебування. Розроблюється напівмарковська КСМО I-го класу, яка складається із кількох обслуговуючих приладів та буферного накопичувача необмеженої місткості, на вхід якої надходять найпростіші потоки заявок з будь-якими розподіленнями термінів життя та тривалостей обслуговування /при деяких обмеженнях на їх розподілення/. Прилади мають кілька режимів /швидкостей/ обслуговування однотипних заявок / при кратності швидкостей обслуговування/. Збитки визначаються перебуванням заявок у системі /при нелінійних початкових ділянках штрафів перебування/, виходом із системи необслугованих повністю заявок, а також орендою ресурсів приладів обслуговування. Стає задача мінімізації збитків у системі при заданих обмеженнях на кількість її фазових станів.

5. Немарковська одноканальна КСМО. Розроблюється немарковська КСМО I-го класу з одним обслуговуючим приладом і необмеженою кількістю місць для чекання, для якої задано :

m_1 - кількість рекурентних вхідних потоків /типів/ заявок;

m_2 - кількість найпростіших вхідних потоків /типів/ заявок;

$A_{\varphi}(t)$ - щільність розподілення інтервалів надходження заявок із рекурентного потоку φ -го типу, причому $A_{\varphi}(t > T_{\varphi}^{\alpha}) = 0$ або

$A_{\varphi}(t > T_{\varphi}^{\alpha}) = c_{\varphi} e^{-\lambda_{\varphi} t}$ при $T_{\varphi}^{\alpha} < \infty, c_{\varphi} > 0, \lambda_{\varphi} < \infty, \varphi = \overline{1, m_1}$;

λ_{φ} - інтенсивність найпростішого вхідного потоку φ -го типу,

$\varphi = \overline{m_1 + 1, m_1 + m_2}$;

α_{φ} - інтенсивність загибелі заявки φ -го типу $\varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$ /передбачається, що терміни життя заявок мають експоненційні розподілення/;

g_{φ} - кількість етапів обслуговування заявки φ -го типу, $\varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$;

$Q_{\gamma\delta}^{\varphi}$ - імовірність переходу заявки φ -го типу з γ -го на δ -й етап обслуговування при умові закінчення γ -го етапу, $\gamma = \overline{1, g_{\varphi}}, \delta = \overline{1, g_{\varphi} + 1}, \varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$, причому $\sum_{\delta=1}^{g_{\varphi}+1} Q_{\gamma\delta}^{\varphi} = 1 \forall \gamma, \varphi$, де рівність $\delta = g_{\varphi} + 1$ означає закінчення обслуговування заявки;

$b_{\gamma\delta}(t)$ - щільність розподілення тривалості обслуговування δ -го

етапу заявки φ -го типу при базовій швидкості обслуговування, причому $\beta_{\varphi\delta}(t > T_{\varphi\delta}^{\delta}) = 0$ або $\beta_{\varphi\delta}(t > T_{\varphi\delta}^{\delta}) = d_{\varphi\delta} e^{-\delta_{\varphi\delta} t}$ при $T_{\varphi\delta}^{\delta} < \infty$, $d_{\varphi\delta} > 0$, $\delta_{\varphi\delta} < \infty$, $\delta = \overline{1, \delta_{\varphi}}$, $\varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$;

$\Pi_{\varphi\delta}$ - кількість режимів обслуговування заявки φ -го типу на δ -му етапі, $\delta = \overline{1, \delta_{\varphi}}$, $\varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$;

$\theta_{\varphi\delta}^{\pi}$ коефіцієнт кратності швидкості обслуговування у π -му режимі заявки φ -го типу на δ -му етапі, $\pi = \overline{1, \Pi_{\varphi\delta}}$, $\delta = \overline{1, \delta_{\varphi}}$, $\varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$, де $\theta_{\varphi\delta}^{\pi} = V_{\varphi\delta}^{\pi} / V_{\varphi\delta}^*$ - ціле число, рівне відношенню швидкості обслуговування у π -му режимі δ -го етапу заявки φ -го типу $V_{\varphi\delta}^{\pi}$ до базової швидкості $V_{\varphi\delta}^*$;

α_{φ} - штраф за перебування у системі за одиницю часу заявки φ -го типу, $\varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$;

β_{φ} - штраф за вихід із системи необслугованої повністю заявки

φ -го типу, $\varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$;

$\chi_{\varphi\delta}^{\pi}$ - штраф за оренду ресурсів обслуговуючого приладу за одиницю часу при обслуговуванні у π -му режимі заявки φ -го типу, яка знаходиться на δ -му етапі, $\pi = \overline{1, \Pi_{\varphi\delta}}$, $\delta = \overline{1, \delta_{\varphi}}$, $\varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$.

Задається, що обслуговування кожної заявки починається з першого етапу, причому заявка інформує систему як про момент закінчення поточного етапу обслуговування, так і про номер етапу, куди відбувся перехід. Стає задача синтезу КДОТ, яка мінімізує при заданих обмеженнях на кількість фазових станів КСМО такий функціонал збитків:

$$L_{z_0} = \lim_{T \rightarrow \infty} M \left\{ \frac{1}{T} \left[\sum_i (\alpha_{\varphi_i} t_i + \sum_{\pi, \delta} \chi_{\varphi_i \delta}^{\pi} \Delta t_{\varphi_i \delta}^{\pi}) + \sum_j \beta_{\varphi_j} \right] \right\},$$

де L_{z_0} - середні збитки у системі за одиницю часу при умові, що початковий стан КСМО є Z_0 / тут припускається наявність залежності L_{z_0} від Z_0 , що характерно для неергодичного процесу обслуговування /; M - символ математичного чекання; T - тривалість спостереження; α_{φ_i} - штраф за перебування у КСМО за одиницю часу заявки φ_i -го типу, яка надійшла у систему i -ю по рядку, t_i - термін перебування цієї заявки у системі; $\chi_{\varphi_i \delta}^{\pi}$ - штраф за оренду ресурсів приладу, обслуговуючого дану заявку на δ -му етапі у π -му режимі, $\Delta t_{\varphi_i \delta}^{\pi}$ - відповідний термін її перебування на приладі; β_{φ_j} - штраф за відмову в обслуговуванні заявки φ_j -го типу чи за її загибель, яка вийшла із системи необслугована повністю j -та по порядку.

З метою обмеження кількості фазових станів КСМО запроваджується несинхронізоване тактування з фіксованою тривалістю такту, рівною $\delta > 0$, при цьому керування процесом обслуговування відбувається у моменти закінчення тактів. Для повного опису стану кожної

заявки у системі достатньо зазначити номер поточного етапу обслуговування та кількість обслугованих фаз на даному етапі /якщо заявка є частково обслугованою/, а також кількість тактів, які пройшли з моменту закінчення такту надходження останньої заявки даного типу / якщо вона відноситься до рекурентного вхідного потоку/. Накладемо обмеження на кількість цілих та частково обслугованих заявок у системі. Нехай сумарна кількість заявок не перевищує величини $S < \infty$, при цьому кількість частково обслугованих заявок кожного типу може бути не більше одної. Тоді вектор поточного стану КСМО має такий вигляд:

$$\dot{z} = (l, n, h, k),$$

де $l = (l_1, \dots, l_p, \dots, l_m)$ - вектор фаз / тактів / надходження заявок із рекурентних потоків, l_p - кількість тактів, які прийшли з моменту закінчення такту надходження останньої заявки φ -го типу до початку поточного такту, $l_p = 0, l_p - 1, \varphi = \overline{1, m_1} / T_p^a / \delta \leq l_p < T_p^a / \delta + 1$ при $a_p(t > T_p^a) = 0$ або $T_p^a / \delta + 1 \leq l_p < T_p^a / \delta + 2$ при $a_p(t > T_p^a) = c_p e^{-\lambda_p t}, \varphi = \overline{1, m_1}, \delta$ - тривалість такту /; $n = (n_1, \dots, n_p, \dots, n_{m_1+m_2})$ - вектор заявок у системі, n_p - кількість заявок φ -го типу у системі, $\varphi = \overline{1, m_1+m_2}, \sum_{\varphi=1}^{m_1+m_2} n_p \leq S$; $h = (h_1, \dots, h_p, \dots, h_{m_1+m_2})$ - вектор поточних етапів обслуговування частково обслугованої заявки φ -го типу, $h_p = \overline{1, g_p}, \varphi = \overline{1, m_1+m_2}$; $k = (k_1, \dots, k_p, \dots, k_{m_1+m_2})$ - вектор обслугованих фаз частково обслугованих заявок, k_p - кількість обслугованих фаз / у переліку на базову швидкість / поточного h_p -го етапу частково обслугованої заявки φ -го типу, $k_p = 0, k_p - 1, \varphi = \overline{1, m_1+m_2} / T_{php}^b / \delta \leq k_p < T_{php}^b / \delta + 1$ при $b_{php}(t > T_{php}^b) = 0$ або $T_{php}^b / \delta + 1 \leq k_p < T_{php}^b / \delta + 2$ при $b_{php}(t > T_{php}^b) = d_{php} e^{-\lambda_{php} t}, \varphi = \overline{1, m_1+m_2}$.

Кількість станів КСМО задовольняє наступній нерівності:

$$N_c \leq \left(\prod_{\varphi=1}^{m_1} l_p^* \right) \left(\prod_{\varphi=1}^{m_1+m_2} \sum_{s=1}^{m_1+m_2} K_{ps} \right) C_{m_1+m_2}^{m_1+m_2+s},$$

де N_c - кількість станів системи, C_n^m - кількість сполучень із n по m .

Зводяться обмеження на кількість можливих керувань у кожному стані. Задається, що із двох однотипних заявок у першу чергу треба обслуговувати частково обслуговану, а відкидати цілу заявку.

Опишемо можливі керування таким чином:

I/ $\xi = (\xi_1, \xi_2)$ - крокове керування I-го роду: при $\xi_1 > 0$ та $\xi_2 > 0$ - обслуговування заявки ξ_1 -го типу у ξ_2 -му режимі; при $\xi_1 = \xi_2 = 0$ - простій приладу при відсутності заявок у системі; ξ - е керування дозволяється прикласти при $n_{\Sigma} = \sum_{\varphi=1}^{m_1+m_2} n_p \leq S - \delta \cdot m_1$, де $\delta < \infty$ - максимально дозволена кількість заявок із найпростіших

потоків, які можуть надійти за один такт; m_i - те саме у відношенні до заявок із рекурентних потоків /тут припускають, що за один такт може надійти не більше одної однотипної заявки із рекурентного потоку/;

2/ \bar{z} - крокове керування 2-го роду /керувана відмова в обслуговуванні / - залишення системи необслугованою повністю заявкою ξ - го типу; \bar{z} - е керування дозволяється прикладати при $n_x \leq S$.

Позначено: $P_\varphi(\ell)$ - імовірність надходження у систему заявки φ - го типу із рекурентного потоку у ℓ - му по порядку такті /лічення ведеться від такту надходження попередньої заявки даного типу /; $\Delta T_\varphi(\ell)$ - середній інтервал часу між моментом надходження заявки φ - го типу і моментом закінчення поточного такту при умові, що цей такт е ℓ - м; $P'_\xi(h, \kappa, \theta)$ - імовірність закінчення у поточному такті h - го етапу обслуговування заявки ξ - го типу, яка знаходиться на приладі і обслуговується зі швидкістю у θ раз більше базової, при умові, що до цього заявка обслуговувалась на даному етапі κ фаз / у переліку на базову швидкість /; $\Delta T'_\xi(\kappa, \theta)$ - середній інтервал часу між моментом закінчення обслуговування заявки ξ - го типу та кінцем поточного такту при умові, що швидкість обслуговування у даному такті в θ раз більше базової, а до цього заявка обслуговувалась на останньому g_i - му, етапі κ тактів / у переліку на базову швидкість/. Тоді

$$P_\varphi(\ell) = \frac{\int_0^{\ell} \int_0^{\ell-x} a_\varphi(x-y) dx dy}{\int_0^{\ell} \int_0^{\ell-x} a_\varphi(x-y) dx dy},$$

$$\Delta T_\varphi(\ell) = \frac{\int_0^{\ell} \int_0^{\ell-x} [x - (\ell+1)] a_\varphi(x-y) dx dy}{\int_0^{\ell} \int_0^{\ell-x} a_\varphi(x-y) dx dy},$$

$$P'_\xi(h, \kappa, \theta) = \frac{\int_0^{\theta} \beta_{h\kappa}(x) dx}{\int_0^{\theta} \beta_{h\kappa}(x) dx}, \quad \ell = 0, \ell_\varphi - 1, \varphi = 1, m_1;$$

$$K = 0, K_{1h}^\pi - 1, \theta = \theta_{1h}^\pi, \pi = 1, \pi_{1h}^\pi, h = 1, g_1, \xi = 1, m_1, m_2;$$

$$\Delta T'_\xi(\kappa, \theta) = \frac{\int_0^{\theta} (x - \kappa\theta) \beta_{\xi g_1}(x) dx}{\int_0^{\theta} \beta_{\xi g_1}(x) dx},$$

$$K = 0, K_{1g_1}^\pi - 1, \theta = \theta_{1g_1}^\pi, \pi = 1, \pi_{1g_1}^\pi, \xi = 1, m_1, m_2.$$

Вводяться наступні позначення: $P_{ij}^k, \tau_{ij}^k, \tau_{ij}^k$ - відносно імовірність крокового переходу, крокові збитки та середня тривалість кроку при переході системи із стану $i \equiv Z = (\ell, n, h, \kappa)$ у $j \equiv Z = (\bar{\ell}, \bar{n}, \bar{h}, \bar{\kappa})$ при K - му керуванні $K \equiv \xi$ або $K \equiv \bar{\xi}$; $I_{\varphi 1}$ - індикатор загибелі частково обслугованої заявки φ - го типу, $I_{\varphi 2}$ -

індикатор загибелі одної із цілих заявок φ - го типу, $\varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$;

Δ_φ - кількість заявок φ - го типу, які надійшли у систему за даний такт, $\varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$; β_ξ - номер етапу, куди відбувся перехід обслуговуваної заявки ξ - го типу, яка знаходиться на початку даного такту на h_ξ - му етапі і вже обслугований на ньому K_ξ фаз /у перерахунку на базову швидкість/, при умові його закінчення у поточному такті, $\beta_\xi = \overline{0, g_\xi + 1}$, $\xi = \overline{1, m_1 + m_2}$, причому $\beta_\xi = 0$, якщо етап не закінчився, і $\beta_\xi = g_\xi + 1$, якщо обслуговування заявки повністю завершилося; J_ξ - індикатор закінчення обслуговування заявки ξ - го типу, $J_\xi = \overline{1, m_1 + m_2}$ / $J_\xi = 1$ при $\beta_\xi = g_\xi + 1$ і $J_\xi = 0$ у протилежному випадку/; $\lambda_\Sigma = \sum_{\varphi=1}^{m_1+m_2} \lambda_\varphi$ - сумарна інтенсивність найпростіших вхідних потоків заявок. Нижче приводиться алгоритм та розрахункові формули вилічення параметрів крокових переходів КСМО

P, τ, τ / зауважимо, що у схемах оптимізації використовуються параметри $P_{ij}^k, q_{ij}^k = \sum_j P_{ij}^k \tau_{ij}^k$ та $T_{ij}^k = \sum_j R_{ij}^k \tau_{ij}^k$.

ξ - е керування / при $n_\Sigma \leq S - \Delta^* m_1$ /:

з імовірністю $P_{ij}^{\xi} = \left\{ \prod_{\varphi=1}^{m_1} [(\Delta_\varphi P_\varphi(\ell) + (1 - \Delta_\varphi)(1 - P_\varphi(\ell))](\alpha_{\varphi 1} I_{\varphi 1}(1 - I_{\varphi 2}) \delta y(n_\varphi) + \alpha_{\varphi 2}(1 - I_{\varphi 1}) I_{\varphi 2} (n_\varphi - 1) \delta y(n_\varphi) + \Delta_\varphi \Delta T_\varphi(\ell_\varphi)) + (1 - I_{\varphi 1})(1 - I_{\varphi 2})(1 - \alpha_{\varphi 1}(n_\varphi \delta + \Delta_\varphi \Delta T_\varphi(\ell_\varphi))) \right\} \left\{ \prod_{\varphi=m_1+1}^{m_1+m_2} \left[\frac{(\lambda_\varphi \delta)^{\Delta_\varphi}}{\Delta_\varphi!} (\alpha_{\varphi 1} \delta (I_{\varphi 1}(1 - I_{\varphi 2}) y(n_\varphi) + (1 - I_{\varphi 1}) I_{\varphi 2} ((n_\varphi - 1) y(n_\varphi) + \frac{\Delta_\varphi}{2})) + (1 - I_{\varphi 1})(1 - I_{\varphi 2})(1 - \alpha_{\varphi 1} \delta (n_\varphi + \frac{\Delta_\varphi}{2})) \right] e^{-\lambda_\Sigma \delta} [y(\beta_{\xi 1}, h_{\xi 1}, K_{\xi 1}, \theta_{\xi 1, h_{\xi 1}}^{\beta_{\xi 1}}) Q_{h_{\xi 1}, \beta_{\xi 1}}^{\beta_{\xi 1}} + (1 - y(\beta_{\xi 1}, h_{\xi 1}, K_{\xi 1}, \theta_{\xi 1, h_{\xi 1}}^{\beta_{\xi 1}}))] \right\}$ при $\Delta_\varphi = \overline{0, 1}, \varphi = \overline{1, m_1}$;

$\sum_{\varphi=m_1+1}^{m_1+m_2} \Delta_\varphi \leq \Delta^*$; $I_{\varphi 1} = \overline{0, 1}, I_{\varphi 2} = \overline{0, 1}, \varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$; $\beta_{\xi 1} = \overline{0, g_{\xi 1} + 1}$;
 $\bar{\ell}_\varphi := 0$ при $\Delta_\varphi = 1, \bar{\ell}_\varphi := \ell_\varphi + 1$ при $\Delta_\varphi = 0 \wedge (\ell_\varphi < \ell_\varphi^* - 1), \bar{\ell}_\varphi := \ell_\varphi$
 при $\Delta_\varphi = 0 \wedge (\ell_\varphi = \ell_\varphi^* - 1),$

$\varphi = \overline{1, m_1}$;

$\bar{n}_\varphi := n_\varphi + \Delta_\varphi - I_{\varphi 1} - I_{\varphi 2}$ при $\varphi \neq \xi_1, \bar{n}_{\xi_1} := n_{\xi_1} - J_{\xi_1} - I_{\varphi 1}(1 - J_{\xi_1}) - I_{\xi_1, 2},$

$\varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$;

$\bar{h}_\varphi := h_\varphi$ при $\varphi \neq \xi_1, \wedge I_{\varphi 1} = 0 \vee \varphi = \xi_1, \wedge \beta_{\xi 1} = 0 \wedge I_{\xi_1, 1} = 0, \bar{h}_{\xi_1} := \beta_{\xi_1}$,
 при $(1 \leq \beta_{\xi_1} \leq g_{\xi_1}) \wedge I_{\xi_1, 1} = 0, \bar{h}_\varphi := 1$ при $I_{\varphi 1} = 1 \vee \varphi = \xi_1, \wedge (\beta_{\xi_1} = g_{\xi_1} + 1) \wedge$

$\wedge I_{\xi_1, 1} = 0,$

$\varphi = \overline{1, m_1 + m_2}$;

$\bar{K}_\varphi := K_\varphi$ при $\varphi \neq \xi_1, \wedge I_{\varphi 1} = 0 \vee \varphi = \xi_1, \wedge \beta_{\xi 1} = 0 \wedge (K_{\xi_1} = K_{\xi_1, 1}^* - 1) \wedge I_{\xi_1, 1} = 0,$

$\bar{K}_{\xi_1} := K_{\xi_1} + \theta_{\xi_1, h_{\xi_1}}^{\beta_{\xi_1}}$ при $\beta_{\xi_1} = 0 \wedge (K_{\xi_1} < K_{\xi_1, 1}^* - \theta_{\xi_1, h_{\xi_1}}^{\beta_{\xi_1}}) \wedge I_{\xi_1, 1} = 0, \bar{K}_{\xi_1} := K_{\xi_1, 1}^* - 1$ при $\beta_{\xi_1} = 0 \wedge (K_{\xi_1} > K_{\xi_1, 1}^* - \theta_{\xi_1, h_{\xi_1}}^{\beta_{\xi_1}}) \wedge I_{\xi_1, 1} = 0, \bar{K}_\varphi := 0$ при $I_{\varphi 1} = 1 \vee \varphi = \xi_1, \wedge \beta_{\xi 1} > 0 \wedge$

$$\Delta I_{\xi_1} = 0,$$

$$\varphi = \overline{1, m_1 + m_2};$$

$$Z_{ij}^{\xi} := \sum_{\varphi=1}^{m_1+m_2} (\alpha_{\varphi} n_{\varphi} d^{\varphi} + (I_{\varphi 1} + I_{\varphi 2})(\beta_{\varphi} - \alpha_{\varphi} d^{\varphi}/2)) + \sum_{\varphi=1}^{m_1} \alpha_{\varphi} \Delta_{\varphi} \Delta T_{\varphi}(\ell_{\varphi}) +$$

$$+ \sum_{\varphi=m_1+1}^{m_1+m_2} \alpha_{\varphi} \Delta_{\varphi} d^{\varphi}/2 + \chi_{\xi_1, \xi_2}^{\xi_2} d^{\varphi} - J_{\xi_1}(\alpha_{\xi_1} + \chi_{\xi_1, \xi_2}^{\xi_2}) \Delta T_{\xi_1}'(K_{\xi_1}, \theta_{\xi_1, \xi_2}^{\xi_2}); \tau_{ij}^{\xi} := d^{\varphi}$$

де керування $\xi = (\xi_1, \xi_2)$ - обслуговування за такт d^{φ} заявки ξ_1 - го типу у ξ_2 - му режимі / $\xi_1 > 0$ і $\xi_2 > 0$ при $n_{\xi_1} > 0$ / або простій приладу при відсутності заявок у системі / $\xi_1 = \xi_2 = 0$ при $n_{\xi_1} = 0$ / ;
 $y(x) = 1$ при $x > 0$ і $y(x) = 0$ при $x = 0$; $Q_{h_{\xi_1}, 0}^{\xi_1} = 0$, $\sum_{\rho_{\xi_1}=1}^{g_{\xi_1}+1} Q_{h_{\xi_1}, \rho_{\xi_1}}^{\xi_1} = 1$;
 $P_{\xi_1}'(\cdot) = P_{\xi_1} = \alpha_{\xi_1} = \chi_{\xi_1, \xi_2}^{\xi_2} = 0$ при $\xi_1 = \xi_2 = 0$; параметри \bar{n}_{ξ_1} , \bar{h}_{ξ_1} , \bar{K}_{ξ_1} вилічуються при $\xi_1 > 0$;

ξ - е керування / при $n_{\xi} > 0$ /;

з імовірністю $P_{ij}^{\xi} = 1$:

$$\bar{\ell}_{\varphi} := \ell_{\varphi}, \varphi = \overline{1, m_1};$$

$$\bar{n}_{\varphi} := n_{\varphi} \text{ при } \varphi \neq \xi_1, \bar{n}_{\xi} := n_{\xi} - i, \varphi = \overline{1, m_1 + m_2};$$

$$\bar{h}_{\varphi} := h_{\varphi} \text{ і } \bar{K}_{\varphi} := K_{\varphi} \text{ при } \varphi \neq \xi_1, \bar{h}_{\xi} := h_{\xi}; \bar{K}_{\xi} := K_{\xi} \text{ при } n_{\xi} > 1,$$

$$\bar{h}_{\xi} := 1 \text{ і } \bar{K}_{\xi} := 0 \text{ при } n_{\xi} = 1,$$

$$\varphi = \overline{1, m_1 + m_2};$$

$$Z_{ij}^{\bar{\xi}} := \beta_{\xi}; \tau_{ij}^{\bar{\xi}} := 0,$$

де керування $\bar{\xi}$ - відмова в обслуговуванні заявці ξ - го типу.

У праці вивчаються властивості описаної вище моделі КСМО за допомогою тверджень, доведених у другій главі, які виявляють загальні закономірності синтезу КДОТ в КСМО I - го класу. Крім того, обґрунтовується вибір схем чисельної оптимізації.

6. Напівмарковська одноканальна КСМО з кінцевими термінами старіння заявок. Розроблюється напівмарковська КСМО 2 - го класу, яка складається із одного приладу обслуговування та буферного накопичувача необмеженої місткості, куци надходять найпростіші потоки заявок з кінцевими термінами їх повного старіння, експоненційними розподіленнями тривалостей життя та будь-якими розподіленнями термінів обслуговування / при тих же обмеженнях на вид останніх розподілень, що у попередніх моделях/. Прилад має кілька режимів /швидкостей/ обслуговування однотипних заявок, причому виконується умова кратності цих швидкостей. Збитки у системі визначаються зниженням цінності / старінням/ заявок, які знаходяться у системі, а також орендою ресурсів обслуговуючого приладу. Вирішується задача синтезу КДОТ, яка мінімізує збитки в КСМО при заданих обмеженнях на кількість фазових станів системи.

7. Напівмарковська багатоканальна КСМО з кінцевими термінами старіння заявок. Розроблюється напівмарковська модель КСМО 2-го класу, яка відрізняється від попередньої моделі тим, що має кілька приладів обслуговування, а тривалості життя заявок мають будь-які розподілення.

У четвертій главі вивчаються математичні моделі КСМО, які були програмно реалізовані, або розроблені у процесі проведення науково-дослідних та передпроектних робіт. Для реалізованих моделей приводяться результати експериментів, зв'язаних з синтезом та дослідженням КДОТ. Одержані результати, що включають розроблені моделі КСМО, відповідні програмні засоби синтезу та дослідження КДОТ, а також синтезовані з їх допомогою оптимальні /квазиоптимальні/ КДОТ практично використовувались у конкретних розробках або були апробовані спеціалістами-експертами у відповідних прикладних областях. Підтвердженням цьому є акти упровадження та використання цих результатів, які приведені у дисертації.

Описані у главі моделі КСМО можна об'єднати у дві групи. До першої з них входять чотири одноканальні моделі КСМО, три з яких відносяться до 1-го класу, а одна - до 2-го. Розробка цих моделей не була зв'язана з конкретними об'єктами упровадження, хоч із їх допомогою можна оптимізувати ряд реальних процесів обслуговування. Дані моделі були практично реалізовані у рамках програмних систем СТРАТЕГ та ДИСПЕТЧЕР, які були впроваджені в Ін-ті кібернетики ім. В.М.Глушкова АН України і використовувались для оптимізації функціонування конкретних проблемно-орієнтованих систем /зокрема автоматизованих систем наукових досліджень/, що дозволило підвищити їх продуктивність на 10-30% і вище. У другу групу входять моделі КСМО, які розроблялись під конкретні системи. Нижче приведено опис моделей з цієї групи та результатів їх експериментальних досліджень.

1. Дві моделі керуваного інформаційного обміну в системі зв'язку АЛОХА. З метою підвищення ефективності інформаційного обміну по супутниковим каналам зв'язку, що працюють у режимі синхронної АЛОХи пропонується такий спосіб керування. Він складається в оцінюванні поточного стану системи зв'язку по вихідних потоках пакетів з каналах, в залежності від якого оптимально перерозподіляються повторно видаючи /старі/ пакети між каналами /переназначаються канали між абонентами/ та вибирається імовірності видачі нових /які тільки надійшли/ і старих пакетів у канал. В главі вивчаються дві математичні моделі КСМО /двоканальна та одноканальна/, що реалізують запропонований спосіб керування відповідно двома та одним супутниковими

каналами випадкового доступу і дозволяють синтезувати квазіоптимальні дисципліни доступу. Для двоканальної моделі КСМО : вектор поточного стану системи $Z = (n_1, n_2)$, де n_d - кількість старих пакетів у черзі до d -го каналу, $d = \overline{1, 2}$; кількість фазових станів КСМО $N_c = (S+1)(S+2)/2$, де S - допустима сумарна кількість пакетів у системі; вектор крокових керувань $\xi = (\xi_0, \xi_{11}, \xi_{12}, \xi_{21}, \xi_{22})$, де ξ_0 - параметр переозначення каналів між абонентами для передачі старих пакетів; $\xi_{d1} - \xi_{d1}$ - та імовірність видачі нового пакета і $\xi_{d2} - \xi_{d2}$ - та імовірність видачі старого пакета в d -ий канал, $d = \overline{1, 2}$. Для одноканальної моделі КСМО /без перерозподілу старих пакетів між каналами/ : $Z = n_1$; $N_c = S+1$; $\xi = (\xi_{11}, \xi_{12})$. У праці приводяться результати експериментів, зв'язаних з синтезом та дослідженням КДОТ по керуванню доступом абонентів до двох та одного каналів випадкового доступу у широкому інтервалі значень параметрів системи зв'язку. Аналіз одержаних результатів показує, що найбільша ефективність ситуаційного керування досягалася при перерозподілі пакетів між каналами/зниження збитків на один канал становило до 13% і вище у порівнянні з відомим алгоритмом ІМАРСАТ керування доступом до пучка із чотирьох каналів. Розроблені, програмно реалізовані та вивчені моделі КСМО були практично упроваджені в НЦ АҚПР /м.Москва/.

2. Модель керованого інформаційного обміну у двовузловій напівдуплексній мережі зв'язку. Розроблюється та програмно реалізується КСМО, яка дозволяє синтезувати КДОТ для ситуаційного керування інформаційним обміном у системі /мережі/ зв'язку, що складається із двох територіально розподілених вузлів, зв'язаних каналом без перешкод, який допускає одночасну передачу пакетів лише в одному напрямку. Кожний вузол може знаходитись у режимі передачі /активний/ або приймання /пасивний/, причому зміна режимів здійснюється активним вузлом в залежності від його поточного стану /стан пасивного вузла не спостерігається/. У кожному вузол надходить біноміальний потік пакетів фіксованого розміру зі штрафами за перебування у системі і відмови в обслуговуванні /передачі/. Стає і вирішується задача синтезувати КДОТ для різних значень параметрів зв'язку, що задає замовник, оцінити ефективність знайдених дисциплін шляхом порівняння з декількома евристичними керованими дисциплінами, а також з оптимальними КДОТ, синтезованими у припущенні повного спостереження поточного стану системи /ідеальний випадок/. Вектор поточного стану КСМО $Z = (z_1, z_2, z_3, z_4)$, де z_d - кількість пакетів у

\bar{D} -му вузлі, $\bar{D} = \sqrt{1,2}$; Z_3 - кількість тактів, які пройшли з моменту останнього змінення напрямку передачі; Z_4 - поточний номер передаючого /активного/ вузла. Кількість станів КСМО $N_c = 2(S_1+1) \times (S_2+1)R$, де S_D - допустима кількість пакетів у \bar{D} -му вузлі, $\bar{D} = \sqrt{1,2}$; R - допустима кількість тактів непереривного спостереження вузла у режимі передачі /приймання// тут тривалість такту дорівнює часу передачі одного пакету/. У праці наводяться результати експерименту, зв'язаного з синтезом та дослідженням КДОТ, у широкому діапазоні вхідних даних, що задає замовник. У процесі синтезу використовувалась одна із двох схем для КСМО з синхронізованими керуваннями, запропонованих та вивчених у другій главі праці, яка відноситься до територіально розподілених систем обслуговування. Аналіз одержаних результатів показує, що збитки у мережі при використанні синтезованих КДОТ зменшуються до 25% у порівнянні з використанням евристичних керованих дисциплін обслуговування. Розроблена, програмно реалізована та вивчена модель керованого інформаційного обміну у двувузловій напівдуплексній мережі зв'язку була практично упродовжена у в/ч №73790.

3. Модель керованого інформаційного обміну у супутниковій мережі зв'язку одного типу. Розроблюється модель КСМО для двоспрямованої кільцевої супутникової мережі зв'язку з абсолютно надійними елементами при відсутності перешкод у каналах, що складається із $(N+1)$ вузлів, в одному із яких знаходиться джерело повідомлень, а в інших N транзитних вузлах - споживачі. Для повідомлень (i, j) -го типу / j -го потоку для i -го споживача/ задаються кількість пакетів у повідомленні, штрафи за небування повідомлень у мережі та відмови їм у передачі, а також термін доставки пакетів споживачам у прямому та протилежному напрямках. Стає задача мінімізувати збитки у мережі за допомогою ситуаційного керування маршрутуванням та диспетчеруванням пакетів у мережі. Розроблена модель КСМО практично використовувалась у ЦНДІМАШ /м.Катінінград Московськ/.

4. Дві моделі керованого процесу обслуговування термінових викликів бригадою таксомоторів. З метою підвищення ефективності обслуговування термінових викликів /"на зараз"/ таксомоторами пропонується виплачувати грошову компенсацію клієнту, пропорційну часу його чекання подачі машини. При цьому необхідно керувати черговістю обслуговування термінових викликів та їх прийомом до виконання таким чином, щоб максимізувати прибуток таксопарку від їх обслуговування, або хоч би гарантувати невід'ємність цієї величини.

ни. Розроблюються дві марковські моделі КСМО, які описують два способи організації обслуговування термінових викликів з компенсацією затримок. Перша з них дозволяє синтезувати чисельним шляхом КДОТ, яка максимізує прибуток від обслуговування термінових викликів спеціалізованою бригадою таксомоторів. Для другої, істотно більш простої моделі /розглядається випадок обслуговування термінових викликів разом з викликами інших типів/, наводиться правило /дисципліна/ прийняття термінового виклику до виконання, що гарантує /у середньому/ додатню величину прибутку. Ця дисципліна була програмно реалізована в автоматизованому робочому місці лінійного диспетчера таксопарку в АТП І4302 /м.Ялта/.

5. Модель керованого процесу обслуговування викликів підстанцією швидкої медичної допомоги. Пропонується модель КСМО, яка дозволяє оптимізувати /за допомогою синтезуючих КДОТ/ процес обслуговування викликів спеціалізованими бригадами підстанції швидкої медичної допомоги. Оптимізація припускається у рамках заданих обмежень на кількість фазових станів системи, а критерієм якості пропонується використовувати середню кількість летальних наслідків за одиницю часу із-за несвочасного обслуговування викликів. Вектор поточного стану КСМО $Z = (\Delta_1, \dots, \Delta_j, \dots, \Delta_N; \Delta_{N+1}; K)$, де Δ_j - вектор кількості заявок на j -му місці у черзі /відповідає j -му такту перебування викликів у черзі/, $j = 1, N+1$; K - кількість звільнених спеціалізованих бригад швидкої допомоги. Запропонована модель КСМО разом з методикою оптимізації та дослідження процесу обслуговування викликів службами швидкої допомоги використовувалась при розробці перспективного плану удосконалення Київської станції швидкої медичної допомоги.

У п'ятій главі викладаються основні технічні характеристики та функціональні можливості програмної системи СТРАТЕГ та інструментальної програмної системи ДИСПЕТЧЕР, розроблених за безпосередньою участю автора, які призначені для синтезу та дослідження КДОТ для систем обслуговування, керований процес функціонування яких може бути описаний вищезгаданими першими чотирма моделями КСМО. Формулюються умови, при яких шлях розробки індивідуальних програмних блоків для реалізованих моделей КСМО може виявитися перспективним. Указується можливість зниження трудомісткості розробки програм статистичного моделювання. Викладається узагальнений алгоритм моделювання керованого процесу обслуговування. Обґрунтовується необхідність створення інструментальних програмних засобів, які автоматизують процес розробки прикладних програм синтезу та досліджен-

ня КДОТ для конкретних систем обслуговування.

Пропонується концепція створення /сукупність поглядів на розробку/ системи знань оптимізації керування ПМО, призначеної для автоматизації генерації програм синтезу та дослідження КДОТ для великого класу моделей КСМО з адитивними критеріями якості, яка є найважливішою ланкою технології проектування автоматизованих систем керування процесами масового обслуговування. Формулюються загальні принципи побудовання СЗОК ПМО, основним із яких є її орієнтація на деякий глобальний клас моделей КСМО з адитивними критеріями якості, що дозволяють чисельну оптимізацію їх функціонування та описують багато реальних керованих процесів обслуговування /при відсутності знань розробника у відповідній області теорії КСМО/. В рамках глобального класу система обслуговування уявляється як сукупність динамічних та статичних об'єктів, елементів, а також правил та характеристик зміни станів об'єктів, взаємодії їх між собою, появи в системі та виходу з неї /останнє відноситься до динамічних об'єктів/. Динамічними об'єктами є обслуговуючі прилади та заявки. Кожний прилад характеризується ресурсами, а заявка - сукупністю робіт, які повинні бути виконані у процесі взаємодії з обслуговуваним приладом /у загальному випадку не виключається групова взаємодія приладів і заявок/. До статичних об'єктів відносяться середовища. Середовище визначає фізичні умови, які впливають на процес взаємодії, появи та зникнення динамічних об'єктів. Елементами у системі є буферні накопичувачі, призначені для розміщення динамічних об'єктів. Поточний фазовий стан КСМО визначається як сукупність станів об'єктів, що знаходяться у системі. Під кроковим керуванням системою розуміється сукупність елементів керувань, які прикладають до динамічних об'єктів у дозволений момент керування.

У праці дається критерій якості для узагальненої моделі КСМО глобального класу. Описуються три підкласи моделей КСМО з адитивними критеріями якості, які відносяться до глобального класу та можуть бути реалізовані у СЗОК ПМО у вигляді відповідних баз знань. Дається приблизні формати записів динамічних інформаційних масивів системи. Викладається універсальна процедура вилічення параметрів крокових переходів моделі КСМО. Дається перелік інформації про генеровану модель та параметри керування, яку необхідно ввести у систему знань. Формулюються вимоги до мовних засобів системи, описується структура та склад її програмного забезпечення. Наводяться основні технічні характеристики гіпотетичної СЗОК ПМО.

ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

У дисертаційній праці розроблені методологія ситуаційного керування процесами масового обслуговування, яка заснована на чисельній оптимізації КСМО, та комплекс математичних моделей КСМО, що дозволяють синтезувати КДОТ для багатьох реальних керованих процесів обслуговування, а також вивчені дві КДОА стосовно одноканальних систем обслуговування. Основні результати праці зводяться до такого:

1. Виведені формули для розрахунку збитків та середніх термінів перебування заявок у системах типу $MIG/1/\infty$ з КДОТ Климова, які дозволяють кількісно оцінювати ефективність та часові параметри цієї дисципліни.

2. Запропонована дисципліна динамічного сортування заявок в одноканальних системах з обмеженими термінами перебування та доведена її оптимальність.

3. Вирішено такий комплекс наукових та інженерних проблем, зв'язаних з розробкою методології ситуаційного керування ПМО: 1/здійснений вибір методів розробки математичних моделей КСМО та їх чисельної оптимізації; 2/виявлені та досліджені загальні закономірності синтезу КДОТ для двох виділених класів моделей КСМО з адитивними критеріями якості; 3/досліджені та розроблені ефективні схеми синтезу КДОТ в КСМО з незалежними та синхронізованими керуваннями, які засновані на рекурентній оптимізації полумарковських /марковських/ випадкових процесів з кінцевою кількістю станів і керувань; 4/розроблена інженерна методика синтезу та дослідження КДОТ в КСМО з адитивними критеріями якості, яка заснована на чисельному методі синтезу оптимальних /квазіоптимальних/ КДОТ та імітаційному /статистичному/ моделюванні процесів обслуговування.

4. Розроблені сім параметрично налагоджуваних моделей КСМО /п'ять моделей зі збитками від перебування заявок у системі і від відмов U_m в обслуговуванні та дві зі збитками із-за старіння заявок/, що дозволяють синтезувати КДОТ для багатьох реальних систем обслуговування.

5. Розроблені моделі КСМО, які призначені для оптимізації ситуаційного керування у ряді конкретних систем обслуговування, а також програмно реалізовані, досліджені та впроваджені деякі з них, що дозволило істотно підвищити ефективність функціонування ряду інформаційно-обчислювальних систем /зокрема, системи зв'язку АЛЮХА, двоузлової напівдуплексної мережі зв'язку та ін./.

6. Запропонована концепція створення системи знань оптимізації керування ПМО, призначеної для автоматизації процесу синтезу та дослідження КДОТ для великого класу моделей КСМО з адитивними критеріями якості, що дозволяє звести до мінімуму трудомісткість цього процесу.

7. Одержані у праці теоретичні та практичні результати використовувались у конкретних розробках, а також в процесі проведення науково-дослідних та передпроектних робіт, що підтверджено відповідними актами їх упровадження та використання.

Основні результати дисертації опубліковані у таких працях:

1. Бурлаков М.В. Об оптимальных абсолютных ситуационных приоритетах в системах массового обслуживания //Преобразователи формы информации для микропроцессорных систем. - Киев: Ин-т кибернетики им.В.М.Глушкова АН УССР, 1982. - С.59-63.

2. Бурлаков М.В., Египко В.М., Спирин А.Ю. Алгоритмы ситуационного управления в одноканальных системах массового обслуживания. - Киев, 1983. - 36с. - (Препр./АН УССР. Ин-т кибернетики им.В.М.Глушкова; 83-33).

3. Бурлаков М.В. Определение минимальных потерь на ожидание в одноканальной системе массового обслуживания //Автоматика и телемеханика. - 1984. - №1. - С.81-85.

4. Бурлаков М.В. Об оптимальных относительных ситуационных приоритетах в системах массового обслуживания //Кибернетика. - 1984. - №2. - С.80-83.

5. Бурлаков М.В. Об оптимизации процесса функционирования одноканальной системы массового обслуживания с конечной очередью // Автоматика и телемеханика. - 1984. - №8. - С.87-92.

6. Бурлаков М.В., Египко В.М., Синицын И.П. Ситуационное обслуживание заявок с конечным временем старения. - Киев, 1984. - 32 с. - (Препр./АН УССР. Ин-т кибернетики им.В.М.Глушкова; 84-46).

7. Бурлаков М.В., Шаповал Е.И. Об одном способе обслуживания заявок в системах с ограничениями //Вестн. Киев.политехн.ин-та. Техн.кибернетика. - 1984. - Вып.8. - С.52-54.

8. Бурлаков М.В. Алгоритм адаптивного обслуживания заявок с конечным временем старения //Адаптивные системы автоматического управления. - 1985. - Вып.13. - С.98-101.

9. Бурлаков М.В., Павлишин С.В., Синицын И.П. О применении одного алгоритма ускоренной оптимизации полумарковского процесса в управляемых СМО //Вестн. Киев.политехн.ин-та. Техн.кибернетика. -

1985. - Вып.9. - С.55-58.

10. Бурлаков М.В., Подоляк Е.Е., Шаповал Е.И. О динамической сортировке заявок в системах с ограниченным временем пребывания // Автоматика и телемеханика. - 1985. - №10. - С.39-43.

11. Пакет программ синтеза управляемых дисциплин обслуживания /М.В.Бурлаков, В.М.Египко, И.П.Синицын, А.Ю.Спирин //Управляющие системы и машины. - 1985. - №3. - С.95-97.

12. Бурлаков М.В. Адаптивное обслуживание заявок с зависящими от времени пребывания ценами потерь //Адаптивные системы автоматического управления. - 1986. - Вып.14. - С.79-84.

13. Бурлаков М.В., Египко В.М., Титаренко Т.И. Ситуационное управление в марковских СМО. - Киев, 1986. - 30с. - (Препр. /АН УССР. Ин-т кибернетики им.В.М.Г*ушкова; 86-24).

14. Бурлаков М.В. Оценка текущего времени пребывания заявок в СМО с дисциплиной обслуживания Шраге //Вестн. Киев.политехн.ин-та. Техн.кибернетика. - 1987. - Вып.11. - С.67-70.

15. Бурлаков М.В. Ситуационное управление в системах массового обслуживания с неограниченным буфером и управляемыми отказами в обслуживании //Автоматика и телемеханика. - 1987. - №1. - С.66-75.

16. Бурлаков М.В. Об оптимизации очередности ремонта технологического оборудования //Электрон. моделирование. - 1987. - №3. - С.93-96.

17. Бурлаков М.В. О снижении числа состояний СМО с зависящими от времени пребывания ценами потерь //Адаптивные системы автоматического управления. - 1987. - Вып.15. - С.100-104.

18. Бурлаков М.В. Определение минимальных потерь от пребывания разнотипных требований в системах обслуживания // Там же. - 1988. - Вып.16. - С.148-153.

19. Бурлаков М.В. Ситуационное управление в системах массового обслуживания с нелинейно зависящими от времени пребывания критериями качества // Там же. - С.128-133.

20. Бурлаков М.В. Проблемы автоматизации управления процессами массового обслуживания: Методические рекомендации.-Киев: 0-во "Знание" УССР, 1988. - 16с.

21. Бурлаков М.В., Рыков В.В. Проблемы повышения эффективности функционирования систем массового обслуживания // Тез.докл. У Всесоюз.школы-семинара по распределенным автоматизированным системам массового обслуживания. - М., 1988. - С.234-285.

22. Титаренко Т.И., Спирин А.Д., Бурлаков М.В. Исследование

эффективности управляемых дисциплин обслуживания в марковских СМО // Там же. - С.366-367.

23. Синицын И.П., Бурлаков М.В. Об автоматизации проектирования управляемых дисциплин обслуживания. - Киев, 1988. - Ис. - Деп. в ВИНТИ 02.09.88, № 6823-В89.

24. Бурлаков М.В. Универсальная схема рекуррентной оптимизации УСМО с управляемыми отказами //Методы исследования информационно-вычислительных систем: Тез.докл. - Минск, 1989. - С.24-25.

25. Бурлаков М.В. Ситуационное управление в немарковских системах обслуживания //Автоматика и телемеханика. - 1989. - №5. - С.76-88.

26. Бурлаков М.В. Принципы построения инструментальных программных средств автоматизации проектирования управляемых дисциплин обслуживания //Совершенствование методов исследования потоков событий и систем массового обслуживания: Тез.докл. - Томск, 1989. - С.8-12.

27. Бурлаков М.В., Синицын И.П. Оптимальное обслуживание вызовов службами скорой медицинской помощи //Адаптивные системы автоматического управления. - 1989. - Вып.17. - С.92-96.

28. Бурлаков М.В. Об исключении неоптимальных управлений в схеме рекуррентной оптимизации //Анализ и синтез систем массового обслуживания и сетей ЭВМ: Тез.докл. - Ч.2. - Одесса, 1990. - С.9-13.

29. Бурлаков М.В., Заяченко Ю.П., Гнатовский В.Н. Об оптимизации информационного обмена в кольцевой сети одного типа //Математические методы исследования сетей связи и сетей ЭВМ: Тез.докл. - Минск, 1990. - С.25-26.

30. Лукьянец А.В., Бурлаков М.В., Спириин А.Е. Универсальная программа оптимизации управляемых дисциплин обслуживания // Там же. - С.69-70.

31. Об автоматизации управления городской службой скорой медицинской помощи /М.В.Бурлаков, Л.И.Городченко, И.П.Синицын, А.Г.Корнейко //Сов.здравоохранение. - 1990. - №5. - С.20-23.

32. Программная система исследования процессов обслуживания на IBM PC /В.М.Египко, А.Ю.Спириин, А.В.Лукьянец, М.В.Бурлаков // Управляющие системы и машины. - 1990. - №4. - С.103-110.

33. Бурлаков М.В. Ситуационное управление в системах массового обслуживания. - Киев:Наук.думка, 1991. - 160с.

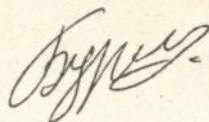
34. Бурлаков М.В. Проблемы разработки системы знаний оптимизации управления процессами массового обслуживания. - Киев, 1991. -

46с. - Деп. в УкрНИИТИ 09.10.91, №1327 - УК91.

35. Бурлаков М.В. Рекуррентная схема оптимизации полумарковского процесса с синхронизированными управлениями //Сети связи и сети ЭВМ как модели массового обслуживания: Тез.докл. - Минск, 1991. - С.33-34.

36. Бурлаков М.В. Схема оптимизации информационных процессов в территориально распределенных системах и сетях //Распределенные микропроцессорные управляющие системы и локальные вычислительные сети: Тез.докл. - Томск, 1991. - С.46-48.

37. Бурлаков М.В. Оптимизация информационного обмена в спутниковых системах случайного доступа // Автоматика и вычислительная техника. - 1992. - №4. - С.28-34.



Підп. до друку. 21.04.93.Формат 60x84/16. Папір друк. № 3.
Офс.друк. Ум.друк.арк. 1,86. Ум.фарб.відб.2,09. Обл.-вид.арк.2,0.
Зам. 693. Тир. 50 прим.

Редакційно-видавничий відділ з поліграфічною ділянкою
Інституту кібернетики Імені В.М.Глушкова АН України
252207 Київ-207, проспект Академіка Глушкова, 40

AB 27.38

AB 27.387