

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

На правах рукопису

**МОНОМАРЕНКО Леонід Анатолійович**

УДК 519.21:681.142

**СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ІЗ СИТУАЦІЙНИМИ  
ПРІОРИТЕТАМИ. АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ**

05.13.04 - автоматизовані системи управління та  
системи обробки інформації

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового  
ступеня доктора технічних наук

Київ 1996

738.3

АВ 34.078

Робота в

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00754270 (P)

Науковий консультант: академік НАН України,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор КОРОЛЮК В.С.

Офіційні опоненти: член - кореспондент НАН України,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор АНІСІМОВ В.В.,  
доктор технічних наук,  
професор КРЕДЕНЦЕР Б.П.,  
доктор технічних наук,  
професор ЗАЙЧЕНКО Ю.П.

Провідна установа: інститут кібернетики НАН України  
імені Е.М.Глушкова


Захист відбудеться "15" 04 1996 г. о 15 годині на  
засіданні спеціалізованої Вченої Ради Д 01.02.08 при Національному  
технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" за  
адресою: 252056, м. Київ-56, пр. Перемоги, 37, ауд. 56 - 14.

Відгуки на автореферат у двох примірниках, завірені печаткою  
установи, просимо надсилати за адресою: 252056, м. Київ-56, пр. Пере-  
моги, 37, НТТУ "КПІ", вченому секретарю.

Із дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці НТТУ "КПІ".

Автореферат разісланий "21" 02 1996 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої Вченої Ради Д 01.02.08,  
доктор технічних наук, професор

 В.Д.Романенко

Метою дисертаційної роботи є розробка математичних моделей оптимізації та алгоритмічних методів обчислення і практичного використання ситуаційних пріоритетів в структурно-кладних системах обслуговування. Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні задачі:

- 1) вивчення характерних особливостей та класифікація пріоритетних систем часового обслуговування;
- 2) запровадження та теоретичне дослідження оптимальних ситуаційних пріоритетів;
- 3) дослідження моделей обслуговування із ситуаційними пріоритетами для різноманітних типів систем (класичних, мультиресурсних, неповнодоступних);
- 4) розробка методів обчислювання оптимальних значень ситуаційних пріоритетів;
- 5) дослідження ефективності практичного використання дисциплін обслуговування із ситуаційними пріоритетами;
- 6) розробка практичних рекомендацій по використанню дисциплін із ситуаційними пріоритетами в реальних системах управління.

На захист вноситься комплекс теоретичних досліджень, методик, математичних моделей та алгоритмів вирішення задач підвищення ефективності функціонування систем управління на базі оптимізації пріоритетного ситуаційного обслуговування, що містить в собі такі основні положення:

1. Математичні моделі процесів обслуговування в складних багатопотокових системах при різних припущеннях щодо структури черги, характеристик вхідних потоків вимог, кількості обслуговуючих приставів та законів розподілу часу обслуговування;
2. Математичні моделі процесів обслуговування в мультиресурсних системах з різними структурними особливостями;
3. Математичні моделі процесів обслуговування в неповнодоступних системах із взаємодопомогою між групами каналів та блокуванням роботи каналів;
4. Методи розрахунку і оптимізації пріоритетних дисциплін з використанням апарату лінійного і нелінійного програмування та ітеративних алгоритмів розв'язку систем квазілінійних і неабельових рівнянь;
5. Алгоритми оптимального керування системами обслуговування, що забезпечують підвищення ефективності їх експлуатації;
6. Методику використання ситуаційних пріоритетних дисциплін обслуговування при розробці та експлуатації конкретних систем управління дискретними та безперервними виробничими процесами в різних галузях промисловості.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

При вирішенні задач організації виробництва, дослідження операцій, створення розподілені: обчислювальних систем та м.реж, керування технологічними процесами та в інших практично важливих сферах людської діяльності широке застосування знаходять моделі і методи теорії масового обслуговування. Суттєвий поштовх розвитку цих методів дає повсюдне впровадження автоматизованих систем керування та обчислювальної техніки. Це пояснюється тим, що названі методи є практично єдиним математичним апаратом для побудови аналітичних моделей адекватних різновиджен.ім типам обчислювальних систем і мереж та багатьох інших структурно-склад.лих технічних систем.

В процесі вирішення деяких задач в інформаційно-керуючих системах періодично виникають запити на використання різноманітних загальних ресурсів: процесорів, каналів обміну даними, зовнішніх пристроїв і т.д. Одночасне з'явлення запитів на один і той же ресурс приводить до виникнення конфліктних ситуацій та черг. Р зв'язку з цим виникає необхідність проаналізувати процес утворення черг і визначити оптимальні шляхи керування цими чергами. Аналіз таких процесів, визначення їх характеристик відносяться до задач теорії керованих систем масового обслуговування, в тому числі масового обслуговування з ситуаційними пріоритетами, дослідження яких є одним з найольш актуальних і перспективних напрямків прикладної теорії масового обслуговування. Різноманітні теоретичні аспекти та численність застосувань керованих систем обслуговування привертють увагу широкого кола спеціалістів з прикладної математики та системного аналізу. Великий вклад у розробку методів оптимізації керованих систем обслуговування внесли В..В. Анісімов, В.А. Балибердін, Г.П. Башарін, П.П. Бочаров, О.І.Бронштейн, Г.Л.Бродецький, М.В. Бурлаков, Є.Б. Веклеров, В.М. Вишневський, А.М.Горцев, С.А.Даніелян, І.М.Духовний, Ю.П.Зайченко, В.А.Івшицький, І.М. Ковалеько, Я.А. Коган, В.С. Королук, Г.П. Климов, В.Г.Лазарев, Г.К.Мішкой, В.В.Мова, А.А.Назаров, В.В.Риков, Н.В.Яровицький, С.Ф. Яшков та інші.

В той же час є багато пр.блем, що не одержали достатнього освітлення. До таких проблем належать питання дослідження та оптимізації пріоритетних систем обслуговування із складною структурою черги. Великий інтерес викликає дослідження систем, в поведінці яких є відхилення від класичних постулатів теорії масового обслуговування. Невідповідність теоретичних (класичних) моделей і реальних процесів

обслуговування запитів в складних системах найчастіше полягає в тому, що в класичних моделях ігнорується суттєва різниця між вимогами різних вхідних потоків. Так, як правило, не враховуються такі важливі фактори, як спроможність зайняти деякими вимогами одночасно випадкового (більшого від одиниці) числа каналів (приладів), взаємодопомога між різними групами каналів, вплив оточуючого середовища на параметри роботи каналів і т.д.

Аналіз процесів обслуговування в складних системах дозволив виділити в окремі класи мультиресурсні системи з різними структурними особливостями та неповнодоступні системи із складними механізмами обслуговування.

Таким чином, актуальність проблеми витікає з необхідності підвищення адекватності математичних моделей процесів обслуговування в складних багатопотокових системах, розробки основ теорії, методів розрахунку і оптимізації пріоритетних дисциплін, розробки алгоритмів оптимального керування системами обслуговування, що забезпечують підвищення ефективності їх експлуатації.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач були використані методи теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії випадкових процесів, теорії масового обслуговування, оптимізації, теорії графів, лінійного та нелінійного програмування, теорії управління дискретними та безперервними виробництвами.

Об'єкт досліджень. Конфліктні ситуації в процесах обслуговування інформаційних потоків в структурно складних системах управління і обробки інформації.

Наукова новизна роботи полягає в постановці та вирішенні актуальної проблеми використання інформації щодо поточного стану системи при розробці систем управління на основі комплексу теоретичних досліджень, в розробці математичних моделей функціонування об'єктів і методик та алгоритмів ситуаційного пріоритетного обслуговування.

Автором разом з В.В.Мовою ще в 1969 році було вперше введено в практику поняття пріоритету, що залежить від миттєвого стану системи обслуговування, який характеризується кількістю вимог різних типів в системі (в черзі та на обслуговуванні). В подальших роботах цей вид пріоритету отримав назву ситуаційного, на відміну від пріоритету динамічного, що залежить від часу перебування вимоги в системі. Раніше при вирішенні задач оптимізації пріоритетних дисциплін зовсім не враховувалась інформація про поточний стан системи, тобто клас пріоритетів, що розглядався, був обмежений статичними пріоритетами.

Тількише того, деякі автори вказували на те, що наявність інформації щодо поточного стану системи не зможе покращити якості керування нею.

В роботах, що склали основу дисертації, вперше показано та строго доведено ефективність використання ситуаційних пріоритетів в обслуговуючих системах із скінченною чергою. Ці роботи дали поштовх розвитку досліджень в даній галузі. Зараз по суті склався оригінальний напрямок досліджень ситуаційних пріоритетних систем масового обслуговування.

В дисертаційній роботі та друківаних працях автора вперше:

- доведено ефективність використання при управлінні системами масового обслуговування із скінченною чергою інформації стосовно поточного стану системи;
- запроваджено у практику досліджень пріоритетних систем масового обслуговування поняття ситуаційного пріоритету;
- запроваджено поняття та розроблено принципи використання відносних, абсолютних (з обслуговуванням заново, дообслуговуванням та втратою вимоги) та комплексних (абсолютно-відносних) ситуаційних пріоритетів;
- розроблено математичні моделі організації обслуговування із ситуаційними пріоритетами: в системах з розподіленими скінченими чергами, системах із загальною скінченною чергою, системах із скінченною чергою змішаного типу; в системах замкненого типу при різних варіантах структури черги; в системах з ненульовим випадковим часом диспетчеризації; в системах з довільними ймовірносними законами розподілу часу обслуговування та довільними вхідними потоками з використанням методу ерлангівського та гіперерлангівського наближення; в системах з лінійними та нелінійними критеріями ефективності; в системах з орієнтацією; в системах з ненадійним приладом.
- для пуассонівських, ерлангівських та гіперерлангівських систем обслуговування розроблено математичні методи обчислення оптимальних ситуаційних пріоритетів, що ґрунтуються на методах лінійного програмування та ітераційних методах розв'язання систем квазілінійних алгебраїчних рівнянь;
- розроблено математичні моделі систем із ситуаційними пріоритетами, в яких:
  - вимоги будь-якого типу можуть використовувати одночасно випадкове (більше від одиниці) число обслуговуючих каналів (мультиресурсні системи);
  - дозволяється простій обслуговуючого каналу в той час, коли в черзі є вимоги на обслуговування (неконсервативні системи);

робота одних каналів (груп каналів) вгиває на параметри (режим) роботи інших каналів (системи із взаємозв'язком між каналами);

- розроблено математичні моделі та методи оптимізації неповнодоступних систем із ситуаційними пріоритетами;

- всі моделі мультиресурсних та неповнодоступних систем розглянуто при використанні повного набору можливих стратегій статичного розподілу ресурсів (числа місць для чекання в черзі) між конфлікуючими потоками вимог;

- для систем із нелінійним критерієм ефективності розроблено метод оптимізації ситуаційного пріоритетного обслуговування, що базується на використанні методу проекції градієнта Розена;

- для всіх розглянутих типів систем обслуговування розроблено алгоритми управління системами з використанням ситуаційних пріоритетів;

- для марковських систем обслуговування розроблено автоматизовані програмні засоби аналізу, що містять в собі перебір всіх можливих станів системи, нумерацію векторів станів, побудову графа переходів між станами системи в табличній формі, побудову, вивід та розв'язання системи алгебраїчних рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей станів системи обслуговування, побудову матриці інтенсивностей переходів;

- знайдено явний вигляд залежності середнього часу чекання вимоги певного типу від параметрів матриці управління, стаціонарних ймовірностей станів системи та навантажувальних параметрів;

- методи і моделі ситуаційного пріоритетного обслуговування доведено до програмної реалізації і використано при аналізі і оптимізації цілого ряду конкретних систем управління.

Практична цінність роботи полягає в тому, що застосування запропонованих в роботі методів, моделей, алгоритмів та програмних засобів дозволяє суттєво підвищити ефективність функціонування багатьох типів реальних структурно-складних систем обслуговування на стадії їх експлуатації за рахунок використання оптимально розрахованих ситуаційних пріоритетів.

Результати дисертаційних досліджень реалізовані при розробці автоматизованих систем управління ділянками металургійних верстатів і числовим програмним керуванням та гнучкими виробничими системами та їх компонентами Київського ВО "Електромаг", ремонтного пункту прокатного обладнання Новолипецького металоблагу та інших машинобудівних підприємств, автоматизованих систем управління технологічними процесами прокатних станів 2000 Новолипецького металоблагу.

бінату та 2500 Магнітогорського меткомбінату, систем технічного діагностування технологічного обладнання, при аналізі процесів інформаційного обміну в локальних обчислювальних мережах та цифрових мережах інтегрального обслуговування, при розробці системи управління запасами торгівельної компанії "Аладдин".

Всі результати досліджень реалізовані в розробках НВК "Київський інститут автоматизації" під керівництвом або при безпосередній участі автора в період з 1972 року по 1995 рік.

Вірогідність поданих в дисертації результатів теоретично обґрунтовано коректним і строгим застосуванням математичного апарату і підтверджено шляхом числових експериментів та широкого впровадження їх в практику експлуатації різноманітних систем управління.

Апробація роботи. Основні положення і результати дисертації доповідались на таких конференціях та семінарах: IV Республіканській конференції із системотехніки (Київ, 1969 р.); XXI Українській республіканській конференції НТТ РЕЗ ім.Попова (Київ, 1972 р.); V Республіканській конференції із системотехніки (Київ, 1973 р.); семінарі МБНТП "Математичне забезпечення керуючих та інформаційних систем" (Москва, 1973 р.); науковій конференції "Обчислювальна математика в сучасному науково-технічному прогресі" (Київ, 1974 р.); Всесоюзній науково-технічній конференції "Математичне, програмне і інформаційне забезпечення АСУТП" (Чернівці, 1977 р.); Всесоюзній науково-технічній конференції "Проблеми математичного, програмного і інформаційного забезпечення АСУТП" (Чернівці, 1979 р.); Всесоюзній нараді "Автоматизовані системи масового обслуговування" (Москва, 1982 р.); Всесоюзній науково-технічній конференції "Досвід розробки і впровадження математичного, програмного та інформаційного забезпечення АСУТП" (Чернівці, 1984 р.); III Всесоюзній науково-технічній конференції "Програмне, алгоритмічне і технічне забезпечення АСУТП" (Ташкент, 1985 р.); III Всесоюзній конференції "Локальні обчислювальні мережі" (Рига, 1988 р.); Республіканському семінарі "Вдосконалення методів дослідження потоків подій і систем масового обслуговування" (Томськ-Одеса, 1989 р.); VII Всесоюзній науково-технічній конференції "Проблеми, задачі і досвід використання технології розробки і впровадження програмних засобів АСУТП" (Чернівці, 1990 р.); Міжнародній конференції "Локальні обчислювальні мережі" (Рига, 1990 р.); Республіканському семінарі "Вдосконалення методів дослідження потоків подій і систем масового обслуговування" (Томськ, 1990 р.); Республіканській науково-технічній школі-семінарі "Аналіз і синтез систем масового обслуговування і мереж ЕОМ" (Одеса, 1990 р.).

XI Міжнародній конференції з теорії систем - System Science (Польща, Вроцлав, 1992 р.); Науково-технічній конференції НТТ РЕЗ України "Проблеми побудови цифрових мереж інтегрального обслуговування" (Київ, 1993 р.); XII Міжнародній конференції з теорії систем - System Science (Польща, Вроцлав, 1995 р.); постійно діючих семінарах Наукової Ради з проблеми "Кібернетика" НАН України "Системний аналіз", "Алгоритмізація виробничих процесів", "Теорія організації систем", "Методи аналізу та оптимізації високонадійних систем", "Організація програмного забезпечення АСУ", "Організація керування гнучкими виробничими системами", семінарі відділу теорії ймовірностей та математичної статистики Інституту математики НАН України (Київ, 1973-1995 рр.).

Публікації. Дисертант є автором 130 друкованих наукових праць. Матеріали, що склали основу дисертації, опубліковано у 81 роботі, серед яких 4 монографії, 7 брошюр та дрезпринтів, 17 статей у провідних наукових журналах, 31 стаття у збірниках наукових праць (переважно Інституту кібернетики НАН України та Київського інституту автоматики), 20 тезисів та матеріалів міжнародних, всесоюзних та республіканських конференцій та семінарів, 2 депоновані роботи. Всі роботи надруковано у виданнях, що входять до переліку видань, в яких дозволяється друкувати матеріали докторських дисертацій.

Особистий внесок дисертанта. Всі основні результати, вибір методів досліджень, математичні моделі, формулювання основних понять та проблем, якщо інше спеціально не застерігається в тексті, належать дисертанту.

У 21 роботі, що написані разом з В.В.Мовою, частина особистого внеску дисертанта становить 50%. Із 44 робіт, що написані з іншими авторами, 39 - це роботи, що написані з аспірантами дисертанта, і 5 робіт написано разом з колегами дисертанта - інженерами. У цих роботах частину особистого внеску дисертанта можна оцінити приблизно в 60-70%. Решта 16 публікацій виконані дисертантом без співавторів.

Структура роботи. Дисертація складається із вступу, восьми розділів, що розподілені на три частини, висновків і містить 216 сторінок друкованого тексту, 26 малюнків, а також список використаної літератури, що містить 126 найменувань, та додатки.

У вступі обґрунтовується актуальність проблеми оптимізації систем обслуговування із ситуаційними пріоритетами; формулюються мета, основні задачі дослідження, положення, що виносяться на захист, наукова новизна і практична цінність роботи; наводяться дані щодо реалізації і впровадження результатів роботи, її апробації та щодо публікацій з виділенням долі особистого внеску автора, а також короткий виклад змісту розділів роботи.

В першій частині дисертації, що складається з 4 розділів, розглядаються класичні системи масового обслуговування. До таких систем відносяться повнодоступні консервативні системи без взаємодопомоги між обслуговуючими прикладами, в яких кожна вимога обслуговується одним приладом.

Перший розділ присвячено основним поняттям пріоритетного обслуговування. Наведені означення основних елементів об'єктів досліджень, таких як джерело вимог, вхідний потік, процес обслуговування, обслуговуючий прилад (канал), структура черги. Особливу увагу приділено дисципліні обслуговування. Пріоритет подано як показник, що встановлює значимість деякої вимоги у відношенні до інших вимог, між якими можлива конфліктна ситуація, і характеризується звичайно якоюсь числовою величиною. Розглянуті основні властивості керованих систем масового обслуговування. Стан системи масового обслуговування характеризується вектором з  $N$  дочисловими компонентами, що вказують на кількість вимог того або іншого виду, що знаходяться в системі, як в черзі, так і на обслуговуванні. Так, вектор  $(k, i_1, \dots, i_N)$  позначає такий стан системи, в якому обслуговується вимога  $k$ -го виду (із  $k$ -го вхідного потоку),  $i_1$  - з першого потоку,  $i_2$  - з другого, і так далі по  $i_N$  з  $N$ -го потоку. В подальшому стан  $(k, i_1, \dots, i_N)$  буде позначатися  $(k, i)$ , де  $i = (i_1, \dots, i_N)$ . Стационарну ймовірність стану  $(k, i)$  позначимо як  $\pi(k, i)$ .

Встановлено загальний критерій ефективності пріоритетного обслуговування, виписано його явний вигляд як лінійної залежності ефективності від параметрів, що характеризують структуру та завантаження системи, вартісних характеристик і стационарних ймовірностей станів, а саме

$$Z = \sum_{i=1}^N \lambda_i \left( \sum_{k \in E} \alpha_k \pi_k \right),$$

де  $\lambda_i$  - інтенсивність  $i$ -го вхідного потоку;  $E$  - множина можливих станів системи;  $\alpha_k$  - штраф через перебування системи в стані  $k$ ;  $\pi_k$  - стаціонарна ймовірність стану  $k \in E$ .

Показано, що майже всі досліджені в дисертації задачі оптимізації систем масового обслуговування в математичному плані є еквівалентом деякого марковського процесу прийняття рішень (МППР) із нескінченним часом (горизонтом) планування і без дисконтування.

Рішення задач оптимізації систем обслуговування запропоновано проводити у відповідності із наступною схемою. Як відомо, МППР із нескінченим горизонтом планування і без дисконтування вважається заданим, якщо визначені такі об'єкти:

1) керований марковський процес із скінченим фазовим простором станів (ФПС)  $E$  та інтенсивностями  $\lambda_x, x \in E$ ;

2) скінченна множина керувань  $U, U = \bigcup_{x \in E} U_x$ , де  $U_x$  - мно-

жина можливих керувань в стані  $x \in E$ ;

3) закон ймовірностей переходу  $p^u(x, y)$  із стану  $x$  до стану  $y$  за  $u$ -ви вибору в стані  $x$  керування  $u \in U_x$ , і при цьому

$$p^u(x, y) \geq 0, \sum_{y \in E} p^u(x, y) = 1, \forall x \in E, u \in U_x; \quad (1)$$

4) задано функціонал витрат (критерій)

$$\Phi^u(x) = \sum_{x \in E} K^u(x, y) p^u(x, y), x \in E, u \in U_x,$$

де  $K^u(x, y) > 0$  - втрати, що пов'язані із переходом  $x \rightarrow y$  за умови прийняття в стані  $x$  керування  $u \in U_x$ .

$\Phi^u(x)$  являє собою математичне сподівання витрат, що пов'язані з виходом із стану  $x$  за один крок за умови прийняття керування  $u$ ;  $K^u(x, y)$  рівномірно обмежена функція, тобто  $K^u(x, y) \leq C, \forall x, y \in E, u \in U_x$ .

Керування  $u \in U$  є марковським, тобто вибір керування  $U$  в стані  $x$  залежить лише від цього поточного стану і не залежить від того, яким чином система опинилась у ньому.

Задача МППР формулюється так: необхідно знайти таку стратегію керування (тобто  $p^u(x, y)$ ), щоб мінімізувати середні витрати за один крок:

$$\sum_{x \in E} \Phi^u(x) \longrightarrow \min_{u \in U} \quad (2)$$

Іноді критерій містить в собі втрати, що пов'язані із перебуванням систем., в тих або інших станах. Тоді критерій у самому загальному вигляді записується як

$$\sum_{x \in E} K(x) p^u(x) \longrightarrow \min_{u \in U} \quad (3)$$

де  $K(x)$  - втрати, що пов'язані із перебуванням системи у стані  $x$  за одиницю часу;  $p^u(x)$  - стаціонарна ймовірність стану  $x$  при стратегії керування  $u \in U$ .

Задачі (2) або (3) вирішуються, як правило, при обмеженнях, що визначаються траєкторіями відповідних марковських процесів, тобто залежностями типу (1) та системами рівнянь рівноваги (СРР), що побудовані на основі рівнянь Чепмена-Колмогорова для обчислення стаціонарних ймовірностей  $p(x)$  із врахуванням керувань  $u \in U$ . Загальний вигляд СРР є таким:

$$\lambda_x p(x) = \sum_{y \in E} \sum_{u \in U_y} \lambda_y p^u(y, x) p(y), \quad x \in E.$$

Для класу задач, що розглядається, оптимальною завжди виявляється деяка нерандомізована (детермінована) стратегія. Це означає, що всього разу, коли система опиняється у стані  $x \in E$ , необхідно приймати деяке фіксоване оптимальне для цього стану (і для системи в цілому) рішення  $u_x \in U_x$ .

Задачі МППР вирішуються звично методами динамічного або лінійного програмування. При цьому у обчислювальному аспекті обидва підходи майже рівнозначні і приводять до рівноцінних результатів.

При дослідженні моделей багатопотокових систем обслуговування (БПС) передбачалось, як правило, що всі ресурси системи (канали і буферний накопичувач для чекання вимог) в рівній мірі доступні вимогам всіх потоків. Однак, в БПС часто через нерівноцінність вимог та обмеженість ресурсів виникає проблема їх розподілу поміж конфліктуючими потоками вимог з метою покращення тих або інших характеристик системи.

Розглянуто стратегії статичного розподілу ресурсів на прикладі конкретної системи, а саме марковської БПС з  $N$  типами вимог. Обслуговування  $i$ - вимог здійснюється в каналах з пропускною здатністю  $v_i$  вимог / с. Вважається, що інтенсивність надходження  $i$ - вимог  $\lambda_i$  ( $p_i$ ) залежить від загальної кількості вимог даного типу в системі, а середній час обслуговування для всіх вимог є однаковим і дорівнює  $\mu^{-1}$ . Для чекання різнотипних вимог в черзі є загальний буфер розміру  $B$ . Стратегії

розподілу ресурсів, запропоновані Л. Клеїнроком визначають правила вибору гання цього буферу різнотипними вимогами.

**Повна розділеність (Complete Partitioning (CP)).** Це найбільш проста стратегія, і при її використанні вихідна БПС фактично розп. дається на  $N$  ізольован: х однопотокових систем обслуговування типу  $M/M/1/b_i$ , при цьому  $\sum_{i=1}^N b_i = B$ . Для таких моделей ФПС має вигляд

$$E_{cp}^i = \{ n : n_i = 0, \dots, b_i + 1 \}, i=1, \dots, N. \quad (4)$$

де  $n_i$  - кількість  $i$ -вимог в системі  $M/M/1/b_i$ .

**Повнодоступність (Complete Sharing (CS)).** При використанні даної стратегії вимоги будь-якого типу, що надходять, приймаються системою до тих пір, доки їх загальна кількість в буфері не досягне максимально можливого значення  $B$ . Вимога, що надійшла в момент, коли загальна довжина черги дорівнює  $B$ , втрачається незалежно від її типу, а також від стану відповідного каналу (зайнятий чи вільний). При стратегії CS ФПС системи

$$E_{cs} = \{ n : \sum_{i=1}^N b_i \leq B \}. \quad (5)$$

**Повнодоступність із індивідуальними стежками (Sharing with Maximum Queue Length (SMXQ)).** Ця стратегія припускає введення порогових значень (стеж) для загальної кількості вимог кожного типу, що знаходяться в буфері, гобто максимал: за кількість  $i$ -вимог в системі дорівнює  $b_i$ , і при досягненні цієї кількості чергова вимога даного типу, що надійшла, отримує відмову. При цьому очевидно, що

$$\sum_{i=1}^N b_i \geq B, \quad \text{тому що в протилежному випадку частина буферу розміру } B - \sum_{i=1}^N b_i$$

залишилась би невикористаною. За наявності стратегії SMXQ ФПС моделі

$$E_{smxq} = \{ n : 0 \leq \sum_{i=1}^N n_i \leq B : 0 \leq n_i \leq b_i, i = 1, \dots, N \}. \quad (6)$$

**Неповнодоступність (Sharing with Minimum Allocation (SMA)).** При використанні даної стратегії частина буферу розміром  $a_i$  виділяється

ся лише для  $i$ -вимог, а частина буферу, що залишилась  $(B - \sum_{i=1}^N a_i)$ , використовується згідно із стратегією CS. ФПС моделі

$$E_{sma} = \{ n : \sum_{i=1}^N (n_i - a_i)^+ \leq B - \sum_{i=1}^N a_i ; 0 \leq n_i \leq b_i - \sum_{j=1}^N a_j, i = 1, \dots, N \}. \quad (7)$$

де  $x^+ = \max(0, x)$ .

*Неповнодоступність із індивідуальними стежками* (Sharing with Maximum Queue and Minimum Allocation (SMQMA)). Ця стратегія є комбінацією стратегій SMXQ і SMA. Для  $i$ -вимог виділяється індивідуальна зона розміром  $a_i$  (стратегія SMA), а частина, що залишилась

$(B - \sum_{i=1}^N a_i)$ , використовується згідно із стратегією SMXQ з параметрами  $b_i$ .

ФПС моделі має вигляд

$$E_{SMQMA} = \{ n; \sum_{j=1}^N (n_j - a_j)^+ \leq B - \sum_{j=1}^N a_j; 0 \leq n_i \leq a_i - b_i, i = 1, \dots, N \}. \quad (8)$$

Найбільш загальною із розглянутих стратегій є SMQMA, тому що при відповідних значеннях параметрів  $a_i$  та  $b_i$  з неї можна одержати всі інші стратегії.

У другому розділі розглянуті питання призначення відносних ситуаційних пріоритетів в системах масового обслуговування з обмеженою чергою. Наведена класифікація систем обслуговування з обмеженою чергою. Відома символіка Кендалла-Башаріна для почачень типу систем доповнена елементами, що характеризують вид пріоритету та інші параметри:

для систем: F - замкнена, I - розімкнена, IF - змішаного типу;

для пріоритетів: A - альтернуючі; H - відносні; P - абсолютні; HP - змішані; PR, HPR - абсолютні або змішані з дообслуговуванням; PD, HPD - абсолютні або змішані з обслуговуванням заново; PI, HPI - абсолютні або змішані з повторенням обслуговування; F - фіксовані; D - динамічні; S - ситуаційні.

Розглянуто проблему визначення стаціонарних ймовірностей станів в розімкнених та замкнених системах. Проаналізовано можливі переходи між станами системи, і на цій основі побудовано системи лінійних алгебраїчних рівнянь, що витікають з прямих диференційних рівнянь Ченмена-Колмогорова, для обчислення стаціонарних ймовірностей станів систем. Для розглянутих класів систем в явному вигляді вписано критерії ефективності їх функціонування. Такі критерії є лінійними відносно стаціонарних ймовірностей станів. Розглянуто ключові для даного дослідження методи визначення оптимальних ситуаційних пріоритетів, що базуються на використанні лінійного програмування. Показано, що оптимальні значення пріоритетних параметрів (для систем з

відносними пріоритетами це будуть значення величин  $\delta^k(i)$  - ймовірностей вибору на обслуговування вимоги з  $k$ -го потоку, якщо станом системи в момент вивільнення обслуговуючого приладу буде  $i$  можуть бути лише 0 або 1. Запропоновано заміну змінних, що дозволяє звести оптимізаційну задачу до стандартної задачі лінійного програмування. Конкретний вигляд такого перетворення визначається при аналізі кожної окремої системи.

Зупинимось на системі  $M_N | M_1 | I_1^1 (1 \dots n) = r, q_i(i) = r_i, i = n+1, \dots, N | H, S$  у випадку різних  $\mu$ . Задача визначення оптимальних ситуаційних пріоритетів в цій системі може бути зведена до задачі лінійного програмування такою заміною змінних:

$$\pi^k(i) = \delta^k(i) \sum_{s=1}^N \mu_s \pi(s, i). \quad (9)$$

При цьому умова (9) є еквівалентною умові

$$\sum_{k=1}^N \pi^k(i) = \sum_{s=1}^N \mu_s \pi(s, i),$$

тому що  $\sum_{k=1}^N \pi^k(i) = \sum_{s=1}^N \delta^k(i) \sum_{k=1}^N \mu \pi(s, i) = 1 \sum_{s=1}^N \mu_s \pi(s, i)$ .

Загальну задачу можна сформулювати наступним чином: визначити такі  $\pi(k, i) \geq 0$  та  $\pi^s(i) \geq 0$ , щоб

$$Z^1 = \sum_i \alpha(i) \sum_{k=1}^N \pi(k, i) + \alpha \pi(0, 0) \Rightarrow \min \quad (10)$$

при обмеженнях

$$\left( \sum_{s=1}^N \lambda_s + \mu_k \right) \pi(k, 0) = \lambda_k \pi(0, 0) + \sum_{s=1}^N \mu_s \pi(s, 0 + e_k); \quad (11)$$

$$\left( \sum_{s=1}^n \lambda_s u(r - \sum_{l=1}^N i_l) \right) + \sum_{s=n+1}^N \lambda_s u(r_s - i_s) + \mu_k \pi(k, i) = \lambda_s u(i_s) \pi(k, i - e_s) + [u(r - \sum_{l=1}^N i_l) u(n - k + 1) + u(r_k - i_k) u_n(k - n)] \pi^k(i + e_k); \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^N \pi^k(i) u(i_k) = \pi(i); \quad (13)$$

$$k = 1, \dots, N; 0 \leq \sum_{l=1}^N i_l \leq r; 0 \leq i_j \leq r; j = n+1, \dots, N; \sum_{s=1}^N i_s > 0;$$

$$\pi(0, 0) + \sum_{k=1}^N \sum_{\Omega_2} \sum_{i_{n+1}=0}^{r_{n+1}} \sum_{i_n=0}^{r_n} \pi(k, i) = 1. \quad (14)$$

$$u(x) = \begin{cases} 1, & x < 0, \\ 0, & x \leq 0, \end{cases}$$

$e_k$  -  $k$ -й ортвектор евклідового простору.

Після вирішення цієї задачі оптимальні значення  $\delta(\cdot)$  можна обчислити за формулою

$$\delta^s(i) = \sum_{s=1}^N \gamma_s^s(i) / \sum_{k=1}^N \gamma_k \pi(k, i). \quad (15)$$

Вирішити екстремальну задачу (10) + (15) можна одним із відомих методів лінійного програмування. Однак специфічні властивості даної задачі дозволяють запропонувати метод визначення оптимальних пріоритетів, який є більш ефективним, ніж стандартні методи ЛП. Сутність методу є в тому, що рішення задачі лінійного програмування замінюється пошуком коренів спеціально побудованої системи алгебраїчних рівнянь тієї ж розмірності. Така система рівнянь будується шляхом переходу до двоїстої задачі лінійного програмування.

Третій розділ присвячено дослідженню абсолютних ситуаційних пріоритетів в системах обслуговування з обмеженою сергою. Виведено системи алгебраїчних рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей станів системи. В процесі побудови таких рівнянь проаналізовано можливі переходи між станами системи. Введені ситуаційні пріоритетні параметри, що керують поведінкою вимоги в момент надходження її до системи, а також визначають можливості тих вимог, обслуговування яких перервалося, а саме:

$\sigma_j^+(k, i)$  - ймовірність заміщення на обслуговуванні вимоги  $k$ -го типу вимогою  $j$ -го типу,  $\sigma_j^-(k, i)$  - ймовірність протилежної події;

$\sigma_j^1(k, i)$  - ймовірність того, що вимога  $j$ -го типу замістить вимогу  $i$ -го типу в черзі,  $\sigma_j^0(k, i)$  - ймовірність того, що вимога  $j$ -го типу надійде до черги, за наявності в ній вільних місць, або загубиться;

$\bar{\sigma}_j^1(k, i)$  - ймовірність того, що витіснена з обслуговування вимога  $j$ -го типу вимога  $k$ -го типу займе місце в черзі замість вимоги  $i$ -го типу,  $\bar{\sigma}_j^0(k, i)$  - ймовірність того, що вимога  $k$ -го типу, яку було витіснено з обслуговування, надійде до черги на вільне місце або покине систему.

Визначено критерій ефективності функціонування систем обслуговування із ситуаційними абсолютними пріоритетами. За допомогою спеціальної заміни змінних задачу визначення оптимальних ситуаційних пріоритетів зведено до задачі лінійного програмування.

Розглянемо для прикладу систему  $M_N | M_1 | I | q(1...N) = r | HPD, S$ .  
 Задача визначення оптимальних ситуаційних пріоритетів для даної системи зводиться до задачі лінійного програмування шляхом наступної заміни змінних:

$$\begin{aligned} \pi^k(i) &= \delta^k(i) \sum_{s=1}^N \mu_s \pi(s, i); & \bar{\pi}_k^1(s, i) &= \bar{\sigma}_k^1(s, i) \pi(s, i); \\ \pi_j^+(k, i) &= \sigma_j^+(k, i) \pi(s, i); & \bar{\pi}_k^0(s, i) &= \sigma_k^0(s, i) \pi(s, i); \\ \pi_j^-(k, i) &= \sigma_j^-(k, i) \pi(s, i). \end{aligned}$$

Задачу лінійного програмування можна сформулювати так: визначити такі  $\pi(k, i) > 0$ ,  $\pi^s(k, i) \geq 0$ ,  $\pi_j^+(k, i) \geq 0$ ,  $\pi_j^-(k, i) \geq 0$ ,  $\bar{\pi}_k^j(s, i) \geq 0$ ,  $\bar{\pi}_k^j(s, i) \geq 0$ , щоб

$$\begin{aligned} Z^2 &= \alpha \pi^k(0, 0) + \sum_i \left\{ \alpha(i) \sum_{k=1}^N [\pi(k, i) + \beta(s, i) \sum_{j=1}^N \pi_j^+(k, i) + \right. \\ &+ \gamma(k, i) \sum_{j=1}^N \sum_{s=0}^N \bar{\pi}_j^s(k, i) \cdot \chi(k, i) \sum_{j=1}^N \sum_{s=0}^N \bar{\pi}_j^s(k, i)] \left. \right\} \rightarrow \min \quad (16) \end{aligned}$$

при наступних обмеженнях:

$$\left( \sum_{s=1}^N \lambda_s + \mu_k \right) \pi(k, 0) = \lambda_k \pi(0, 0) + \sum_{s=1}^N \mu_s \pi(s, 0 + e_k); \quad k = 1, \dots, N; \quad (17)$$

$$\begin{aligned} & \left[ \sum_{s=1}^N \lambda_s u(r - \sum_{m=1}^N i_m) + \mu_k \right] \pi(k, i) + (1 - u(r - \sum_{m=1}^N i_m)) \sum_{s=1}^N \lambda_s \sum_{j=0}^N \bar{\pi}_s^j(k, i) + \\ & + \sum_{s=1}^N \lambda_s \sum_{j=1}^N u(i_j) \bar{\pi}_s^j(k, i) = \sum_{s=1}^N [\lambda_s u(i_s) \pi_s^-(k, i - e_k) + \lambda_s u(i_s) \pi_k^+(k, i + e_s)] + \\ & + \lambda_k u(i_k) \pi(k, i - e_k) + (1 - u(r - \sum_{m=1}^N i_m)) \left[ \lambda_k \sum_{s=1}^N \bar{\pi}_k^0(s, i) + \right. \\ & + \lambda_k \sum_{s=1}^N \sum_{j \neq s} \bar{\pi}_k^j(s, i + e_j - e_s) u(i_s) + \sum_{s=1}^N \lambda_s \sum_{l=1}^N u(i_s) \bar{\pi}_s^l(k, i + e_1 - e_s) \left. \right] + \\ & + u(r - \sum_{m=1}^N i_m) \pi^k(i + e_k). \end{aligned} \quad (18)$$

$$\pi(0, 0) + \sum_{k=1}^N \sum_{\Omega_2} \pi(k, 1) = 1; \quad (19)$$

$$\sum_{k=1}^N \pi^k(i) = \sum_{s=1}^N \mu_s \pi(s, i); \quad (20)$$

$$\pi_j^+(k, i) + \pi_j^-(k, i) = \pi(k, i), \quad j \neq k; \quad (21)$$

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq k}}^N \bar{\pi}_{kj}^j(k, i) + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq s}}^N \bar{\pi}_{sj}^j(k, i) = \pi(k, i) \quad (22)$$

У виразах (10) та (16) застосовано такі позначення:  $\alpha$  - штраф через простій приладу в одиницю часу;  $\alpha(i)$  - штраф за перебування (чекання вимог) у стані  $i$ ;  $\rho(k, i)$  - штраф через заміщення на обслуговуванні вимоги  $k$  - го типу;  $\gamma(k, i)$  - штраф через втрату вимоги  $k$  - го типу;  $\chi(k, i)$  - штраф через переривання обслуговування вимоги  $k$  - го типу і постановку її до черги;  $\Omega_2$  - множина станів системи,

для яких  $0 \leq \sum_{s=1}^N i_s \leq r$

Особливе місце в третьому розділі займає визначення ситуаційних пріоритетів в системах із нелінійним критерієм якості. Встановлено явний вигляд критерію, що являє собою дробно-лінійну функцію від основних параметрів системи:

$$F(Q, \pi) = \sum_{l=1}^n a_l \lambda_l W_l(Q, \pi) + \sum_{l=1}^n \sum_{i \in I_l} b_l \lambda_l q_l^i + \sum_{l=1}^n \sum_{i \in I_l} c_l \lambda_l q_l^i \quad (23)$$

де  $W_l(Q, \pi)$  - середній час перебування вимог  $l$ -го типу в черзі;  $K$  - множина всіх станів системи;  $S$  - множина можливих типів вимог, що обслуговуються;  $Q = [q_i^s]$  - стохастична матриця управління,  $i \in K$ ,  $s \in S$ ;  $q_i^s = \mu_i^s \pi_i = \text{Pr} \{ \text{управління } s \text{ в стані } k_i \}$ ,  $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N)$  - вектор стаціонарних ймовірностей станів;  $I_1, I_2$  - множини індексів векторів станів, в яких, відповідно, здійснюється переривання обслуговування та можливе витіснення вимог з черги;  $I_1, I_2$  - множини індексів, відповідно, всіх можливих станів системи та станів, в яких відбувається вибір на обслуговування;  $a_l$  - штраф за одиницю часу чекання вимоги  $l$ -го типу в черзі;  $b_l$  - штраф за втрату вимоги  $l$ -го типу;  $c_l$  - вартість одиниці часу обслуговування вимог  $l$ -го типу.

Таким чином, множина розподілів ймовірностей  $\{q_i^s\}$ ,  $i \in K$  утворює рандомізовану стратегію, де  $s \in S$  та  $q_i^s$  (елемент  $i$ -го розподілу) - ймовірність того, що рішення  $s$  здійснюється тоді, коли поточним є стан системи  $k_i$ .

За допомогою перетворень Лапласа у формі інтеграла Стілтьєса, застосованих до відповідних інтегро-диференційних рівнянь, одержано вираз для обчислення середнього часу перебування вимоги  $i$ -го типу в черзі, що є основним компонентом критерію:

$$W_i(Q, \pi) = \frac{\mu_i - \sum_{s=1, s \neq i}^n (\sum_{i \in I_2} \mu q_i^s + \sum_{i \in I_1} \lambda_s q_i^s)}{\mu_i - \left[ \sum_{s=1, s \neq i}^n \sum_{i \in I_1} \lambda_s q_i^s + \sum_{s=1, s \neq i}^n (\sum_{i \in I_2} \lambda_s q_i^s + \sum_{i \in I_1} \mu q_i^s) \right] \cdot \left( \sum_{s=1}^n \lambda_s + \mu \right)} \quad (24)$$

Таким чином, в данному випадку задача визначення ситуаційних пріоритетів зводиться до задачі нелінійного програмування з лінійними обмеженнями наступного вигляду:

$$\min F(Q, \pi);$$

$$\pi_i = [1 - (\sum_{s=1}^n \lambda_s + \mu)] \pi_i + \sum_{s=1}^n (\sum_{j \in M_1} \lambda_s q_j^s + \sum_{j \in L_1} \mu_i q_j^s), \quad j \neq i, \quad (25)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{s=1}^n q_j^s = 1, \quad q_j^s \geq 0, \quad \pi_i \geq 0, \quad i \in K, \quad s \in S. \quad (26)$$

Для вирішення цієї задачі використовувався метод проективного градієнта Розена, що дозволяє реалізовувати її в пакеті програм оптимізації (ПП ПРОЛОГ). Метод Розена належить до числа методів спуску для вирішення задач нелінійного програмування і полягає в тому, що напрямок спуску визначається проекцією градієнта на перетин гіперплощин активних обмежень вигляду (25) - (26).

В заключному параграфі розділу наведено опис програмних засобів, які для марковських систем обслуговування здійснюють аналіз станів системи, побудову, вивід на друк та розв'язання систем алгебраїчних рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей станів.

В четвертому розділі розглянуті проблеми визначення оптимальних ситуаційних пріоритетів в немарковських системах масового обслуговування. З використанням фундаментальних результатів І.М. Коваленка щодо можливості наближення довільних розподілів випадкових величин ерлангівськими або гіперерлангівськими розподілами проаналізовано можливість апроксимації законів розподілу проміжків часу між моментами надходження вимог до системи обслуговування та тривалості часу обслуговування гіперерлангівськими розподілами з відповідним чином підібраними параметрами. Сформульовано задачу оптимізації немарковських систем обслуговування з ситуаційними пріоритетами. Розглянуто немарковські системи обслуговування з розподіленими та загальною чергами. Для цих типів систем наведено системи рівнянь, щодо стаціонарних ймовірностей станів. Визначені критерії ефективності та наведені методи пошуку оптимальних значень ситуаційних пріоритетів.

У другій частині дисертації, що складається з двох розділів, розглядаються системи обслуговування, які не піддаються аналізу традиційними методами, а саме мультиресурсні (МРС) та неповнодоступні (ПНДС) системи. На відміну від класичних систем в мультиресурсних ресурсозаборні вимоги можуть вимагати для свого обслуговування одночасно більше одного каналу (ресурсу системи), а канали, що працюють, можуть викликати блокування роботи інших каналів. Розглянуті також неповнодоступні системи із блокуванням каналів та їх модифікацією між групами каналів.

П'ятий розділ дисертації присвячено математичним моделям мультитиресурсних пріоритетних систем обслуговування. Наведено невеликий за обсягом, але інформативний огляд літератури з питань дослідження мультитиресурсних систем, зроблені постановки задач оптимізації таких систем.

Для класифікації MPC розроблено систему позначень, в основі якої лежить відома символіка Кендалла-Башаріна. MPC позначається, наприклад, так :  $M_N | M_N^k | RAS(S) MRQ^k (i_1, \dots, i_n) | RAS(R) | A$ , де символи, які відносяться від класичних, мають наступний зміст: RAS(S) - прийнята стратегія розподілу S каналів;  $MRQ^k$  - мультитиресурсна система обслуговування (MultiResource Queues (MRQ)) k-го типу,  $k = 1, 2$ ; N - загальна кількість різнотипних потоків,  $N \leq S$ ;  $i_1, \dots, i_n$  - послідовність, яка вказує тип вимог, що надходять до системи; RAS(R) - прийнята стратегія розподілу місць в черзі; символ A визначає прийняту в системі дисципліну обслуговування.

Для мультитиресурсних систем з чистими втратами наведені розрахунки основних операційних характеристик. Розглянуто модель мультитиресурсних систем із чистими втратами і керованими пріоритетами. Розроблено алгоритми оптимального зайняття каналів системи з використанням ситуаційних пріоритетів.

Сумарні штрафи в системі за одиницю часу стаціонарного режиму за наявності керованих пріоритетів визначаються виразом

$$Z = \sum_{n \in E} \left\{ \sum_{i=S-f(n)+2}^S \lambda_i \gamma_i p(n) + \sum_{i=q(n)+1}^{S-f(n)+1} \sum_{j=1}^{q(n)} \lambda_i \gamma_j \alpha_j^i(n) p(n) + \sum_{i=q(n)+1}^{S-f(n)+1} \lambda_i \gamma_i \alpha_i^0(n) p(n) \right\}, \quad (27)$$

де  $\gamma_i$  - штраф за втрату одної i-вимоги.

У виразі (27) елементи суми, що містяться в дужках, мають наступний зміст: перший доданок визначає штрафи, що пов'язані із втратою i-вимоги,  $i \geq S - f(n) + 2$ , які при виконанні цієї нерівності присутні із ймовірністю 1; другий - штрафи через втрати j-вимоги,  $j=1, \dots, q(n)$ , як результату її заміщення вимогою, що надійшла,  $i = g(n) + 1, \dots, S - f(n) + 1$ , із ймовірністю  $\alpha_j^i(n)$ ; третій - штрафи через втрати i-вимоги із ймовірністю  $\alpha_i^0(n)$ , якщо в момент її надходження була фізична можливість прийняти її на обслуговування за рахунок витіснення деякої вимоги іншого типу.

Тут  $f(n) = \sum_{i=1}^S n_i$  - загальна кількість вимог у стані n;

$q(n) = S - \sum_{i=1}^S i n_i$  - кількість вільних каналів у стані n;

$g(n) = S - q(n) - f(n) + 1$ .

Інтенсивності потоків між станами ФІС Е за наявності керованих пріоритетів - РС (Controlable Priority) визначаються із виразів.

$$\theta(n, n') = \begin{cases} \lambda_i p(n), & \text{якщо } q(n) \geq i, n' = n + e_i; \\ \lambda_i \alpha_i^{0(n)} p(n), & \text{якщо } i = q(n) + 1, \dots, S - f(n) + 1, n' = n; \\ \lambda_i \alpha_i^{j(n)} p(n), & \text{якщо } i = q(n) + 1, \dots, S - f(n) + 1, n' = n + \\ & + e_i - e_j, j = 1, \dots, g(n); \\ n_i \mu_i p(n), & \text{якщо } n' = n - e_i \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (28)$$

Після цього можна скласти СРР для даної МРС:

$$\begin{aligned} & \left\{ \sum_{i=1}^{q(n)} \lambda_i + \sum_{i=1}^S n_i \mu_i + \sum_{i=q(n)+1}^S \sum_{j=1}^{g(n)} \lambda_i \alpha_i^{j(n)} \right\} p(n) = \\ & = \sum_{i=1}^S \lambda_i p(n - e_i) u(n_i) + \sum_{i=1}^{q(n)} (n_i + 1) \mu_i p(n + e_i) + \\ & + \sum_{i=q(n)+1}^{S-f(n)+1} \sum_{j=1}^{g(n)} \lambda_i \alpha_i^{j(n-e_i+e_j)} p(n - e_i + e_j), n \in E; \\ & \sum_{n \in E} p(n) = 1. \end{aligned} \quad (29)$$

Таким чином, задача пошуку оптимальних значень РС формулюється так: необхідно знайти такі значення  $a_i^j(n)$ , щоб мінімувати вираз (27) при обмеженнях (29). Після вирішення одержаної оптимізаційної задачі відомими методами математичного програмування визначається оптимальна нерандомізована стратегія зайняття каналів в МРС. Ця стратегія реалізується в МРС за допомогою розробленого в дисертації алгоритму. Нерандомізованість стратегії забезпечується тим, що оптимальні значення РС  $a_i^j(n)$  обов'язково дорівнюють 0 або 1.

Основну увагу в розділі приділено аналізу і оптимізації мультиресурсних систем обслуговування з чергами. Для таких систем досліджено механізми прийняття до системи і обслуговування вимог, визначено фазовий простір станів, запроваджено ситуаційні пріоритети. Побудовано систему рівнянь рівноваги для визначення стаціонарних ймовірностей станів системи, визначено критерій ефективності функціонування системи, вказано метод розрахунку оптимальних пріоритетних параметрів. Розроблено алгоритми, що реалізують процедури оптимального управління мультиресурсними системами в моменти надходження до системи вимог різного роду та в моменти закінчення процесу обслуговування вилуги. В цьому розділі розглянуто оригінальну модель замкненої мультиресурсної системи з блокуванням джерел вимог. Для такої системи вирішено задачу оптимізації дисципліни обслуговування з ситуацій-

ними пріоритетами, побудовано алгоритм управління системою при надходженні вимог.

За наявності в системі РС інтенсивності потоків між станами ФПС системи визначаються таким виразом:

$$P(n, n') = \begin{cases} \lambda_{ij} p(n), & \text{якщо } n_i = 0, q(n) \geq j, n' = n + j e_i; \\ \lambda_{ij} p(n) \alpha_{ij}^r(n), & \text{якщо } n_i = 0, q(n) < j \leq q(n) + n_r, \\ & n' = n + j e_i - n_r e_r; \\ \mu_i(n) p(n), & \text{якщо } n_i \neq 0, n' = n - n_i e_i; \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (30)$$

Система рівнянь рівноваги даної моделі за наявності РС має вигляд

$$\begin{aligned} & \left[ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{q(n)} \lambda_{ij} \delta(n_i, 0) + \sum_{i=1}^N \mu_i(n) + \right. \\ & \left. \sum_{i,r=1}^N \sum_{j=q(n)+1}^S \lambda_{ij} \alpha_{ij}^r(n) \delta(n_i, 0) I(q(n) + n_r \geq j) \right] p(n) = \\ & = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S \lambda_{ij} p(n - j e_i) \delta(n_i, j) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{q(n)} \mu_i(j) p(n + j e_i) \delta(n_i, 0) + \\ & + \sum_{i,r=1}^N \sum_{j=q(n)+1}^S \lambda_{ij} \delta(n_i, j) I(q(n) + n_r \geq j) p(n - j e_i + n_r e_r); \\ & \sum_{n \in E} p(n) = 1, n \in E; \delta(n_i, j) = \begin{cases} 1, & x = y, \\ 0, & x \neq y, \end{cases} \end{aligned} \quad (31)$$

де  $S$  - кількість каналів обслуговування;  $N$  - кількість джерел вимог;  $\lambda_{ij}$  - інтенсивність надходження вимог від  $i$ -го джерела, що потребують  $j$  каналів для обслуговування,  $i=1, \dots, N, j=1, \dots, S$ .

Сумарні штрафи в системі за одиницю часу стаціонарного режиму за наявності РС визначаються наступною формулою:

$$H = \sum_{i=1}^N \sum_{j=q(n)+1}^S \{ \lambda_{ij} h_{ij} p(n) \delta(n_i, 0) [ I(q(n) + \max_{i=1, N} n_i < j + I(q(n) + \max_{i=1, N} n_i \geq j) \alpha_{ij}^r(n) + \sum_{r=1}^N \lambda_{ij} h_{r, n_r} \alpha_{ij}^r(n) p(n) \delta(n_i, 0) I(q(n) + n_r \geq j) ] \}, \quad (32)$$

де  $h_{ij}$  - штраф за втрату однієї  $j$ -вимоги  $i$ -го джерела.

У виразі (32) елементи суми мають такий зміст. Перший доданок визначає штрафи, що пов'язані із втратою  $j$ -вимоги  $i$ -го джерела, внаслідок того, що в момент її надходження була відсутня необхідна кількість вільних каналів і в системі не було такої вимоги, заміщення якої дозволило б отримати необхідну кількість (не менш ніж  $j$ ) таких каналів. Другий доданок визначає штрафи, що пов'язані із втратою  $j$ -вимоги  $i$ -го джерела внаслідок того, що в момент її надходження була відсутня необхідна кількість вільних каналів при цьому заміщення деякої вимоги могло звільнити необхідну кількість каналів, але таке рішення не

приймається із імовірністю  $\alpha_{ij}^0(\mathbf{n})$ . Третій доданок визначає штрафи, що пов'язані із заміщенням  $j$ -вимогою  $i$ -го джерела вимоги  $g$ -го джерела із імовірністю  $\alpha_{ij}^0(\mathbf{n})$ , якщо в момент надходження  $j$ -вимоги кількість вільних каналів була меншою від  $j$ , в результаті такого заміщення їх кількість стала би більшою або рівною  $j$ .

Таким чином, задача пошуку оптимальної стратегії зайняття каналів в даній системі полягає у визначенні таких значень РС  $\alpha_{ij}^0(\mathbf{n})$ , при яких досягається мінімум функціоналу (32). При цьому СРР (31) служить обмеженнями оптимізаційної задачі.

У шостому розділі розглянуто математичні моделі неповнодоступних систем із зв'язками між каналами, а саме системи, де стан каналів одної групи впливає на швидкість обслуговування вимог в каналах іншої групи. Вирішено задачі оптимізації процесів обслуговування вимог в неповнодоступних системах із чистими втратами, в системах із чергою перед одною групою каналів, в системах із блокуванням роботи каналів. Для всіх типів систем визначено операційні характеристики, наведено методи розрахунку оптимальних ситуаційних пріоритетів, побудовано алгоритми оптимального управління поведінкою вимог в моменти їх надходження до системи та в моменти закінчення обслуговування.

Стан НПС з чергою перед однією групою каналів в довільний момент часу описується тривимірним вектором  $\mathbf{n} = n_1 n_2 n_3$ , компоненти якого мають такий зміст:  $n_1$  - кількість вимог у черзі;  $n_2$  - характеристика каналів, причому

$$n_2 = \begin{cases} 0, & \text{якщо канал вільний;} \\ j, & \text{якщо канал працює із } j\text{-ою швидкістю, } j = 1, 2; \end{cases}$$

$n_3 = 1, 2$  - стан випадкового середовища.

Тоді ФПС даної моделі буде мати вигляд

$$E = \{ \mathbf{n}: n_1 = 0, \dots, R, n_2 = 0, \dots, 2, n_3 = 1, 2 \}. \quad (33)$$

Загальні втрати в системі  $H$  визначаються через стаціонарні ймовірності станів  $p(\mathbf{n})$ ,  $\mathbf{n} \in E$ :

$$H = \lambda h \sum_{\mathbf{n} \in E_0} p(\mathbf{n}) + c \sum_{\mathbf{n} \in E} n_1 p(\mathbf{n}) + \sum_{i=1}^2 d_i \mu_i^{-1} \sum_{\mathbf{n} \in E_i} p(\mathbf{n}) \quad (34)$$

де  $E_0 := \{ \mathbf{n} \in E: \mathbf{n} + \mathbf{e}_1 \in E \}$ ;  $E_i := \{ \mathbf{n} \in E: n_3 = i \}$ ,  $i = 1, 2$ .

Складники виразу (34) мають наступний зміст. Перший з них оцінює втрати, що викликані відмовами в обслуговуванні вимог, що надходять, через відсутність вільних місць в накопичувачу; другий оцінює втрати, що викликані чеканням вимог в черзі; третій - втрати при роботі каналу в різних режимах обслуговування.

Мінімізувати функціонал (34) можна за рахунок введення оптимальних РС. Ці РС повинні визначати ймовірності прийняття різних рішень в моменти надходження вимог та закінчення обслуговування, а також в моменти зміни стану випадкового середовища:

$\alpha_j^1(\mathbf{n})$  - ймовірність вибору на обслуговування вимоги, при  $n_2 = 0$ ;  
 $\alpha_j^2(\mathbf{n})$  - ймовірність того, що вимога, яка надійшла, приєднається до черги (при  $n_2 = 0$ );

$\beta_j^1(\mathbf{n})$  - ймовірність вибору вимоги на обслуговування ( $n_1 > 0$ ,  $n_3 = 1$ );

$\beta_j^2(\mathbf{n})$  - ймовірність залишення каналу вільним при надходженні вимоги;

$\gamma_j^1(\mathbf{n})$  - ймовірність вибору вимоги на обслуговування при зміні стану середовища;

$\gamma_j^2(\mathbf{n})$  - ймовірність залишення каналу вільним при зміні стану середовища.

Система рівнянь рівноваги для даної моделі має вигляд:

$$\begin{aligned}
 & (\lambda u(R - n_1 - 1) + \sum_{j=1}^2 v_{ji} \delta(n_2, j)) p(\mathbf{n}) \delta(n_3, 0) = \lambda p(\mathbf{n} - \mathbf{e}_1) (1 - \delta(n_1, 0)) * \\
 & * \sum_{j=1}^2 \alpha_j^2(\mathbf{n} - \mathbf{e}_1) \delta(n_3, j) + (1 - \delta(n_1, 0)) \sum_{j=1}^2 \mu_j p(\mathbf{n} + j\mathbf{e}_2) \beta_j^2(\mathbf{n} + j\mathbf{e}_2) + \\
 & + \delta(n_1, 0) \sum_{j=1}^2 \mu_j p(\mathbf{n} + j\mathbf{e}_2) + \delta(n_1, 0) \sum_{i,j=1}^2 \gamma_{ij} p(\mathbf{n} + \delta(i, 2) + \delta(i, 1)) \mathbf{e}_3) \delta(n_3, j) + \\
 & + (1 - \delta(n_1, 0)) \sum_{i,j=1}^2 v_{ji} p(\mathbf{n} + (\delta(i, 2) - \delta(i, 1)) \mathbf{e}_3) \gamma_i^2(\mathbf{n} + \delta(i, 2) - \delta(i, 1)) \mathbf{e}_3) \delta(n_3, j); \quad (35)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (\lambda u(R - n_1 - 1) + \sum_{j=1}^2 v_{ji} \delta(n_3, j) + \mu_j) p(\mathbf{n}) \delta(n_2, j) = \lambda p(\mathbf{n} - \mathbf{e}_1) (1 - \delta(n_1, 0)) + \\
 & + \lambda p(\mathbf{n} - j\mathbf{e}_2) \alpha_j^1(\mathbf{n} - j\mathbf{e}_2) \delta(n_3, j) + \sum_{i=1}^2 \mu_i p(\mathbf{n} + \mathbf{e}_1) \delta(n_2, i) \delta(n_3, j) * \\
 & \beta_j^1(\mathbf{n} + \mathbf{e}_1) u(R - n_1 - 1) + \sum_{i=1}^2 v_{ji} p(\mathbf{n} + \mathbf{e}_1 - j\mathbf{e}_2 + (\delta(j, 1) - \delta(j, 2)) \mathbf{e}_3) * \\
 & * \gamma_i^1(\mathbf{n} + \mathbf{e}_1 - j\mathbf{e}_2 + (\delta(j, 1) - \delta(j, 2)) \mathbf{e}_3) \delta(n_3, j) u(R - n_1 - 1) +
 \end{aligned}$$

$$\sum_{i,j=1}^2 v_{ij} p(\mathbf{n} + \delta(j, 1) - \delta(j, 2)) \mathbf{e}_3) \delta(n_3, j), \quad i, j = 1, 2; \quad i \neq j; \quad \sum_{\mathbf{n} \in E} p(\mathbf{n}) = 1. \quad (36)$$

Таким чином, задача оптимізації НПС з чергою зводиться до мінімізації функціоналу (34) при обмеженнях (35), (36). Результатом розв'язку цієї задачі є оптимальні значення РС, за допомогою яких побудовані прості та ефективні алгоритми оптимального керування даною системою.

Розглянемо НПС із блокуванням роботи каналів. На вхід НПС, що має дві групи каналів, надходять вимоги двох типів: постачаючі ( $\mu$ -

вимоги) та витрачаючі ( $\sigma$ -вимог.). Кожна група каналів пристосована для обслуговування певного типу вимог. Механізм обслуговування є таким, що в кожний момент часу в системі може працювати тільки одна група каналів. Витрачаючі вимоги утворюють найпростіший потік першого роду з параметром  $\lambda_\sigma$ , а постачаючі вимоги - найпростіший потік другого роду з параметром  $\lambda_n(N - n_n)$ , де  $N$  - загальна кількість постачаючих вимог, що циркулюють в системі,  $n_n$  - кількість  $n$ -вимог, що знаходяться на обслуговуванні та в черзі.

В системі прийнято такі ситуаційні пріоритети:

$\alpha_\sigma^+(\mathbf{n})$  - ймовірність вибору на обслуговування вимоги ( $n_2 > 0$ ) при надходженні  $\sigma$ -вимоги до системи;

$\alpha_\sigma^-(\mathbf{n})$  - ймовірність приєднання  $\sigma$ -вимоги до черги, за наявності в ній вільних місць;

$\beta_\sigma^+(\mathbf{n})$  - ймовірність вибору  $\sigma$ -вимоги на обслуговування в момент звільнення приладу;

$\beta_\sigma^-(\mathbf{n})$  - ймовірність залишення  $\sigma$ -вимоги в черзі в момент звільнення приладу;

$\gamma_n^+(\mathbf{n})$  - ймовірність вибору на обслуговування  $n$ -вимоги;

$\gamma_n^-(\mathbf{n})$  - ймовірність вибору на обслуговування  $n_\sigma = \min \{S_\sigma, n_\sigma\}$   $\sigma$ -вимог ( $S_\sigma$  - кількість каналів, що обслуговують  $\sigma$  вимоги);

Сумарні втрати в системі обчислюються із такого виразу

$$\begin{aligned}
 H = & \sum_{n \in E} (\lambda_\sigma h_\sigma' p(\mathbf{n}) \delta(n_\sigma, R_\sigma) + \alpha_\sigma^-(\mathbf{n}) u(n_0) u(S_0 - n_0) \delta(n_0, R_0) + \\
 & + \delta(n_0, 0) u(n_n) \delta(n_0, R_0) + \sum_{n_\sigma=1}^{R_\sigma} n_\sigma h_\sigma' p(\mathbf{n}) + \sum_{n_n=1}^N n_n h_n p(\mathbf{n}) u(n_0) + \\
 & + \sum_{n_n=2}^N (n_n - 1) h_n p(\mathbf{n}) \delta(n_0, 0)). \quad (37)
 \end{aligned}$$

Перші три доданки у виразі (37) оцінюють втрати через відмови в обслуговуванні  $\sigma$ -вимоги при переповненій черзі; четвертий оцінює втрати від чекання в черзі  $\sigma$ -вимог, а п'ятий і шостий доданки оцінюють втрати від чекання  $n$ -вимог в черзі.

Після цього можна скласти систему рівнянь рівноваги для даної моделі НПС:

$$\begin{aligned}
 & [\lambda_\sigma u(S_\sigma + R_\sigma - n_0 - n_\sigma) + \lambda_n (S - n_n) + \mu_0 n_0 + \mu_n \delta(n_0, 0) u(n_n)] p(\mathbf{n}) = \\
 & = (n_0 + 1) \mu_\sigma p(\mathbf{n} + e_1) \delta(n_n, 0) u(S_0 - n_0 - 1) + \mu_n p(\mathbf{n} + e_3) \delta(n_0, 0) + \\
 & + \lambda_\sigma p(\mathbf{n} - e_2) \delta(n_0, S_\sigma) u(R_\sigma - n_\sigma) + \lambda_n (N - n_n) u(n_0) p(\mathbf{n} - e_3) + \\
 & + (n_0 + 1) \mu_\sigma p(\mathbf{n} + e_1 + e_2) \beta_\sigma^+(\mathbf{n} + e_1 + e_2) u(n_n) + (n_0 + 1) \mu_\sigma p(\mathbf{n} + e_1) *
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & * \beta_e^-(n+e_1) u(n_n) + \lambda_a p(n-e_1) \alpha_a^+(n-e_1) u(n_0) u(S_0-n_0) u(n_n) + \\
 & + \lambda_a p(n-e_2) \alpha_a^-(n) u(n_0) u(S_0-n_0) u(R_a-n_a) + \mu_n p(n+e_3) \delta(n_0, 0) + \\
 & + \mu_n p(n+n_0 e_2) \gamma_a(n+n_0 e_2) u(n_n) + \mu_n p(n+e_3) \gamma_n(n+e_3) u(n_n); \quad (38) \\
 & \sum_{n \in E} p(n) = 1. \quad (39)
 \end{aligned}$$

Одержані після розв'язання задачі мінімізації (37) при обмеженнях (38) - (39) оптимальні значення РС дозволили запропонувати ефективні і такі, що достатньо просто реалізуються, алгоритми керування даною НПС.

У третьій частині дисертації, що складається з двох розділів, розглянуті питання використання математичних моделей систем обслуговування із ситуаційними пріоритетами для аналізу та оптимізації виробничих систем та процесів.

Сьомий розділ дисертації присвячено використанню ситуаційних пріоритетів в системах управління машинобудівних підприємств. Розглянуто ситуаційні моделі диспетчерського управління дискретним виробництвом. Всі моделі задач диспетчеризації класифіковані за типом орієнтації верстата, за можливою поведінкою черги, за врахуванням ремонтно-відновлювальних характеристик верстатів. Задачі формалізовані за допомогою схеми управління системами масового обслуговування із ситуаційними пріоритетами. Сформульовано оптимізаційні задачі, побудовано алгоритми управління системами. Okремо розглянуто задачу оптимального розподілу керуючої інформації на ділянках металообробних верстатів з числовим програмним управлінням. Показано, що задача зводиться до побудови алгоритму управління замкненою системою масового обслуговування з ситуаційними пріоритетами.

У восьмому розділі дисертації розглянуті питання використання ситуаційних пріоритетів в процесах управління в промисловості та торгівлі. Найбільшу увагу приділено розгляду математичних моделей і алгоритмів обробки інформації в АСУТП безперервних сталів горячої прокатки. Показано, що такою математичною моделлю буде відповідним чином вибрана керована багатопотокова система обслуговування. Введені формальні показники системи обслуговування, розглянуто поведінку системи в альтернативних ситуаціях, впроваджено ситуаційні пріоритетні параметри. Сформульовано задачу оптимізації введеного критерію ефективності як задачу лінійного програмування. Розглянуто задачу управління в'утрішньошахтним електровозним тринспортом. Показано, що вона зводиться до задачі управління системою масового обслуговування з розподіленіми обмеженими чергами та ситуаційними пріоритетами. Okремо досліджено ієрархічну систему запасів пірамідального типу. Подібні системи широко розповсюджені в торгівлі та матеріально-технічному постачанні. Сформульовано оптимізаційну

задачу для відповідної системи масового обслуговування. Для реалізації ситуаційної пріоритетної дисципліни запропоновано схемне рішення - автомат-порадник диспетчера, який можна використовувати за відсутності або недоцільності використання засобів обчислювальної техніки.

В окремому розділі наведено основні теоретичні та практичні результати дослідження, сформульовано висновки.

У додатку наведені документи стосовно впровадження в виробництво розроблених методів, математичних моделей та алгоритмів.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ.

В дисертації здійснене теоретичне узагальнення і вирішення наукової проблеми, що має важливе народногосподарське значення, - проблеми розробки математичних моделей оптимізації та методів обчислення і практичного використання в системах управління ситуаційних пріоритетів. Дослідження виконане з позицій висунутої автором концепції врахування поточного стану систем при оптимальному розв'язанні конфліктних ситуацій в процесі їх функціонування.

В дисертації одержано такі основні теоретичні і практичні результати:

1. Доведено доцільність та ефективність використання при керуванні системами масового обслуговування із скінченною чергою інформації щодо поточного стану системи. Запроваджено в практику досліджень пріоритетних систем масового обслуговування поняття ситуаційного пріоритету, що залежить від наявності певної кількості вимог різних типів в черзі та на обслуговуванні.

Доведено, що загальний критерій ефективності організації пріоритетного обслуговування можна виразити як функцію від стаціонарних ймовірностей станів системи, штрафів за перебування системи в цих станах та навантажувальних параметрів.

Показано, що оптимізація систем обслуговування в математичному плані є еквівалентом деякого марковського процесу прийняття рішень із нескінченним горизонтом планування і без дисконтування. Наведено загальну систему оптимізації. Запропоновано використовувати при оптимізації систем обслуговування методи лінійного програмування.

Проаналізовано основні стратегії статичного розподілу ресурсів (каналів і буферних накопичувачів) багатопотокових систем, з урахуванням чого вирішуються задачі оптимізації.

НБ ім. В. Стефанишина  
АН України

Наведено класифікацію систем обслуговування, доповнено відому символіку Кендалла-Башаріна.

2. Запроваджено гн'язтя та розроблено принципи використання відносних, абсолютних (з обслуговуванням заново, дообслуговуванням та втратою вимоги) та комплексних (абсолютно-відносних) ситуаційних пріоритетів.

Розроблено математичні моделі організації обслуговування із ситуаційними пріоритетами в системах: з розподіленими скінченними чергами; із загальною скінченною чергою; із скінченною чергою змішаного типу (три варіанта); замкненого типу при різних структурних варіантах; ненульовим випадковим часом диспетчеризації; із довільними ймовірнісними законами розподілу часу обслуговування та проміжків часу між моментами надходження вимог (з використанням методів гіперерлангівського наближення); із лінійними та нелінійними критеріями ефективності; із надійними та ненадійними приладами.

3. Для всіх типів розглянутих пуассонівських та гіперерлангівських систем обслуговування визначено фазові простори станів, проаналізовано можливі переходи між станами, одержано системи рівнянь рівноваги для знаходження стаціонарних ймовірностей станів, визначено критерії ефективності, розроблено математичні методи обчислення оптимальних ситуаційних пріоритетів, що ґрунтуються на методах лінійного програмування та ітераційних методах розв'язування систем квазілінійних алгебраїчних рівнянь.

Для систем з нелінійним критерієм ефективності розроблено метод оптимізації ситуаційного пріоритетного обслуговування, що базується на використанні методу проекції градієнта Розена.

4. Для марковських систем обслуговування розроблено програмні засоби автоматизованого аналізу, що включають направлений перебір всіх станів системи, кодування векторів станів, побудову графів переходів в табличній формі, побудову, вивід та зв'язання системи алгебраїчних рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей станів. Відповідні ППП передано до СГФАП колишнього Мінприладу.

5. Розроблено математичні моделі багатопотокових систем із ситуаційними пріоритетами, в яких не виконуються основні класичні постулати:

1) вимоги будь-якого типу можуть використовувати одночасно випадкове (більше від одиниці) число обслуговуючих каналів (мультиресурсні системи);

2) дозволяється простій обслуговуючого каналу в той час, коли в черзі є вимоги, що потребують обслуговування (нексервативні мультиресурсні системи);

3) робота одних каналів (груп каналів) впливає на параметри (режим) роботи інших каналів (неповнодоступні та мультиресурсні системи із взаємодією між каналами).

Для всіх розглянутих типів систем розроблено алгоритми керування системами з використанням ситуаційних пріоритетів.

6. Методи і моделі ситуаційного пріоритетного обслуговування доведено до програмної реалізації і використано при аналізі і оптимізації ряду конкретних автоматизованих систем управління і обробки інформації.

Результати дисертаційних досліджень реалізовано при розробці автоматизованих систем управління групами металообробних верстатів з ЧПУ та гнучкими виробничими системами і їх компонентами інструментального цеха Київського ВО "Електронмаш" та ремонтного цеха прокатного обладнання Новолипецького меткомбінату, автоматизованих систем управління технологічними процесами прокатних станів 2000 Новолипецького меткомбінату та 2500 Магнітогорського меткомбінату, систем технічного діагностування технологічного обладнання, системи управління запасами торгівельної компанії "Аладдин", систем управління внутрішньошахтним електровозним транспортом шахт № 4 "Нововолинська" та "Жовтнева" комбінату "Донецьквугілля".

Застосування розроблених в дисертації методів, моделей, алгоритмів та програмних засобів дозволило суттєво підвищити ефективність функціонування систем управління на стадії їх експлуатації за рахунок використання оптимально розрахованих ситуаційних пріоритетів.

Частка в загальному економічному ефекті від запровадження математичного забезпечення, що виконувалось під науковим керівництвом та за безпосередньої участі автора, тільки по роботах Київського інституту автоматики складає 777,1 тис. крб. на рік у діючому на момент запровадження (1977-1989 р.р.) масштабі цін.

Основні положення дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Мова В.В., Пономаренко Л.А., Калиновский А.М. Организация приоритетного обслуживания в АСУ.- К.: Техніка, 1977.- 160 с.
2. Меліков А.З., Пономаренко Л.А., Рюмшин Н.А. Математические модели многопоточковых систем обслуживания.- К.: Техніка, 1991.- 265 с.
3. Пономаренко Л.А. Организующая система // Автоматизация технологических процессов в прокатном производстве.- Москва: Металлургия.- 1979.- С.141-148.
4. Основы создания гибких автоматизированных производств / Л.А. Пономаренко, Л.В. Адамович, В.Т.Музычук, А.Е. Гридасов / Под ред. Б.Б. Тимофеева. - К.: Техніка, 1986.- 144 с.
5. Пономаренко Л.А., Мова В.В. Алгоритмы управления обслуживающими системами с очередью.- К.: 1972.- 26 с. (Препр./ АН Украины. Ин-т кибернетики; 72-06).
6. Мова В.В., Пономаренко Л.А., Паламарчук В.А. Методы диспетчеризации в системах массового обслуживания.- К.: 1973.- 48 с. (Препр./ АН Украины. Ин-т кибернетики; 73-60).
7. Пономаренко Л.А., Буадзе В.В. Математические модели и алгоритмы сбора и обработки информации в АСУ ТП непрерывных стансов горячей прокатки.- К.: 1976.- 37 с. (Препр./ АН Украины. Ин-т кибернетики; 76-76).
8. Мова В.В., Пономаренко Л.А., Титов А.В. Алгоритмы определения оптимальных абсолютно-относительных ситуационных приоритетов в системах с конечной очередью.- К.: 1976.- 55 с. (Препр./ АН Украины. Ин-т кибернетики; 76-81).
9. Пономаренко Л.А., Боровик В.Н., Пономаренко Т.Б. Ситуационные модели динамической диспетчеризации дискретного производства.- К.: 1979.- 28 с. (Препр./ АН Украины. Ин-т кибернетики; 79-61).
10. Боровик В.Н., Пономаренко Л.А., Пономаренко Т.Б. Вопросы создания автоматизированных систем диспетчерского управления дискретным производством.- К.: 1980.- 26 с. (Об-во "Знани." УССР. РДНТЭП).
11. Меліков А.З., Пономаренко Л.А. Математические модели мультисервисных систем обслуживания и их оптимизация.- К.: 1990.- 19 с. (Препр./ АН Украины. Ин-т кибернетики; 90-8).
12. Мова В.В., Пономаренко Л.А. Об оптимальных приоритетах, зависящих от состояния обслуживающей системы с ограниченным числом мест для ожидания // Известия АН СССР. Техническая кибернетика.- 1974.- № 5.- С. 74 - 81.
13. Мова В.В., Пономаренко Л.А., Егорова Т.Б. Алгоритм диспетчеризации в системе программного управления группой станков // Механизация и автоматизация управления.- 1974.- № 4.- С.25-29.
14. Пономаренко Л.А., Паламарчук В.А., Хмелевая А.В. Синтез автомата для управления системой массового обслуживания с ограничен-

ной очередью // Механизация и автоматизация управления. - 1974. - № 6.- С. 20 - 23.

15. Сбитнев А.И., Цареградский Д.Е., Пономаренко Л.А. Набор диспетчерских модулей математического обеспечения одного класса АСУТП на базе ЦВМ М6000 // Управляющие системы и машины, - 1975. - №2.- С. 49-52.

16. Пономаренко Л.А., Жучкова И.В. Применение ситуационных приоритетов при распределении ресурсов информационно-управляющих систем // Электронное моделирование.- 1986.- т.8, № 6.- С. 95 - 97.

17. Пономаренко Л.А., Меликов А.З. Ситуационное управление многоканальной системой с переменной структурой обслуживания неоднородного потока // Изв. АН Азерб. Респ. Сер. физ.-техн. и мат. наук.- 1986.- Т.7, № 6.- С.79-83.

18. Пономаренко Л.А., Меликов А.З. Диспетчеризация заявок в мультиресурсных системах с чистыми потерями // Кибернетика.- 1989.- № 1.- С.109-112.

19. Пономаренко Л.А., Меликов А.З. Замкнутые мультиресурсные системы массового обслуживания с управляемыми приоритетами // Кибернетика.- 1989.- № 5.- С.90 -93.

20. Пономаренко Л.А., Меликов А.З. Оптимизация марковских непереносимых сетей со сложными механизмами обслуживания // Автоматика и вычислительная техника.- 1989.- № 3.- С.33-37.

21. Пономаренко Л.А., Меликов А.З. Алгоритмы управления в непереносимых марковских сетях со сложными механизмами обслуживания и очередями // Ред.ж. Автоматика и вычислительная техника.- Рига, 1989.- 11 с. Деп. в ВИНТИ, № 5011-В89.

22. Пономаренко Л.А., Меликов А.З. Нахождение оптимальной дисциплины обслуживания в мультиресурсной системе с конечным временем переключения // Электронное моделирование.- 1989.- Т.11, № 2.- С.67-70.

23. Меликов А.З., Пономаренко Л.А. Метод расчета и выбор структурных параметров одного класса автоматизированных систем обслуживания // Ред. ж. Электронное моделирование.- К.:1989.- 9 с. Деп. в ВИНТИ 8.12.89 г., № 7305 - В89.

24. Меликов А.З., Пономаренко Л.А. Численный метод оптимизации многопоточковых систем обслуживания // Автоматика.- 1990.- № 2. - С. 85 - 88.

25. Меликов А.З., Пономаренко Л.А. Алгоритм управления непереносимой системой со взаимосвязью между группами каналов // Автоматика и телемеханика.- 1990.- № 2.- С. 87 - 93.

26. Меликов А.З., Пономаренко Л.А. Нахождение оптимальной стратегии доступа в цифровых сетях интегрального обслуживания // Автоматика и вычислительная техника.- 1992.- № 2.- С. 28 - 36.

27. Меликов А.З., Пономаренко Л.А. Оптимизация цифровой сети интегрального обслуживания с конечным числом пользователей и блокировками // Автоматика и телемеханика.- 1992.- № 6.- С. 34 - 38.

28. Меликов А.З., Пономаренко Л.А. Мультиресурсные системы массового обслуживания с частично коммутируемыми каналами // Электронное моделирование.- 1992. - Т.14., № 2.- С. 87 - 91.

29. Мова В.В., Пономаренко Л.А. Обоснование одного способа управления в системах массового обслуживания // Системы и средства автоматического управления.- К.: Ин-т автоматики.- 1970.- С. 47 - 56.

30. Мова В.В., Пономаренко Л.А. Управление системой массового обслуживания с конечной очередью // Промышленная кибернетика.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1971.- С. 328 - 338.

31. Мова В.В., Пономаренко Л.А. Итеративный алгоритм определения динамических приоритетов в системах массового обслуживания // Общая теория систем.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1973.- С. 17 - 24.

32. Мова В.В., Пономаренко Л.А., Паламарчук В.А. Управляемая система массового обслуживания с ограниченной общей очередью // Системный анализ и алгоритмизация производственных процессов.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1973.- С.14 - 22.

33. Мова В.В., Пономаренко Л.А., Паламарчук В.А. Эффективность динамических управлений в системах обработки информации // Системный анализ и алгоритмизация производственных процессов.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1973.- С.23 - 30.

34. Мова В.В., Пономаренко Л.А. Итеративный метод определения оптимального управления системами, описываемыми конечными цепями Маркова // Математические модели сложных систем.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1973.- С. 16 - 23

35. Мова В.В., Пономаренко Л.А. Управляемая обслуживающая система с обратной связью // Математические модели сложных систем.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1973.- С. 23 - 28.

36. Мова В.В., Пономаренко Л.А. Управление системой массового обслуживания с конечным числом мест для ожидания // Промышленная системология.- К.: Техніка.- 1974.- С. 33 - 42.

37. Мова В.В., Пономаренко Л.А., Калиновский А.М. Принципы построения диспетчера в гиперэрланговских многолинейных системах массового обслуживания с ограниченной очередью // Системный анализ.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1974.- С. 49 - 57.

38. Мова В.В., Пономаренко Л.А., Калиновский А.М. Некоторые вопросы диспетчеризации потоков сообщений в информационных системах // Теория организации информационных систем.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1974.- С. 72 - 77.

39. Пономаренко Л.А. Замкнутая система обработки информации со случайным временем диспетчеризации // Теория организации информационных систем.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1974.- С. 77 - 81.

40. Пономаренко Л.А. Комплексный подход к исследованию систем массового обслуживания со смешанными приоритетами // Системный анализ.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1974.- С. 20 - 31.

41. Пономаренко Л.А. Методы оптимизации систем массового обслуживания // Системология - 74.- К.: Об-во "Знання" України.- 1974.- С. 33.

42. Пономаренко Л.А. Математические методы и модели приема и обработки сообщений в управляющих ЦВМ // Разработка и внедрение АСУ и систем автоматизации.- К.: Ин-т автоматизи.- 1974.- С. 62 - 72.

43. Мова В.В., Пономаренко Л.А. Принципы построения математических моделей динамической диспетчеризации в обслуживающих системах // Математические модели сложных систем.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1974.- С. 25 - 30.

44. Мова В.В., Пономаренко Л.А. Об обслуживании двух потоков требований системой со случайным временем диспетчеризации // Математические модели сложных систем. - К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1974.- С. 48 - 51.

45. Пономаренко Л.А. Один метод управления системой со смешанными приоритетами // Применение ВТ для автоматизации производственных процессов.- К.: Техніка.- 1975.- С. 73 - 76.

46. Пономаренко Л.А. Один метод оптимизации процесса приема и обработки сообщений в управляющих ЦВМ // Автоматизированные системы управления технологическими процессами.- К.: Ин-т автоматизи.- 1976.- С. 44 - 46.

47. Пономаренко Л.А., Структура системы прерывания с ситуационными приоритетами в АСУТП станов горячей прокатки // Разработка автоматизированных систем управления технологическими процессами.- Тбилиси: Сабчота Сакартвело.- 1976.- С.3-16.

48. Пономаренко Л.А., Жучкова И.В. Определение времени ожидания в СМО с ситуационными приоритетами при построении математических моделей АСУТП // Модели и алгоритмы автоматизированных систем в промышленности.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1982.- С. 45 - 50.

49. Пономаренко Л.А., Жучкова И.В. Исследование систем массового обслуживания с ситуационными приоритетами методом случайных блужданий // Математические методы и модели в автоматизированных системах управления и переработки информации.- К.: Ин-т автоматизи.- 1982.- С.21 - 26.

50. Пономаренко Л.А., Меликов А.З. Управление системой массового обслуживания со спаренным обслуживающим прибором // Теоретические и прикладные вопросы проектирования алгоритмического и программного обеспечения АСУ.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины, 1983.- С. 73-78.

51. Пономаренко Л.А., Жучкова И.В. Анализ и оптимизация процедур информационного обмена в системе технического диагностирования технологического оборудования ШСГП // Автоматизация технологических процессов широкополосных станов горячей прокатки.- К.: Ин-т автоматизи.- 1984.- С. 70 - 73.

52. Пономаренко Л.А., Меликов А.З. Ситуационное управление процессами обслуживания потребителей на распределительных нефтеба-

зах // Модели планирования и управления транспортными системами.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1984.- С. 86 - 89.

53. Пономаренко Л.А., Мерковский А.А., Орлов Б.А. Алгоритмы ситуационного управления автоматизированной транспортной системой гибкого инструментального производства // Проектирование автоматизированных систем в промышленности.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1985.- С. 17 - 20.

54. Пономаренко Л.А., Мерковский А.А., Бураковская О.Л. Модели ситуационного управления в гибких производственных системах // Проектирование промышленных систем повышенной живучести.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1986.- С. 22 - 26.

55. Пономаренко Л.А., Бураковская О.Л. Задачи ситуационного управления работой участка станков с ЧПУ в условиях инструментального гибкого автоматизированного производства // Математическое моделирование и программное обеспечение в АСУТП.- К.: Ин-т автоматизи.- 1987.- С. 15 - 17.

56. Пономаренко Л.А., Меликов А.З. Приближенный метод оптимизации замкнутых систем обслуживания большой размерности // Методы проектирования и оптимизации АСУ в промышленности.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1990.- С.23-28.

57. Пономаренко Л.А., Демченко М.Б. Вопросы оптимизации распределения ресурсов в системах обработки информации сетевой структуры // Моделирование динамических процессов в городском хозяйстве.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1994.- С. 58 - 62.

58. Пономаренко Л.А., Демченко М.Б. Ситуационная модель автоматизированного планирования учебного процесса // Моделирование динамических процессов в городском хозяйстве.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1994.- С. 62 - 67.

59. Пономаренко Л.А., Жучкова И.В., Стеценко С.В. Расчет и оптимизация приоритетов в тиг.овы. а системах технического диагностирования. Пакет прикладных программ // СОФАП Минприбора при Киевском ПКБ АСУ. № гос.регистрации 157100303-01.- К.- 1984.

60. Мова В.В., Пономаренко Л.А. Об управлении в одном классе систем массового обслуживания // Труды IV Республиканской конференции по системотехнике.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1969.- т.2.- С. 97 - 100.

61. Пономаренко Л.А. Оперативная организация вычислений в управляющих ЦВМ // Тезисы докл. XXI Укр.республ.конф. НТОРЭС.- К.: УкрНИИНТИ.- 1972.- С. 12 - 13.

62. Пономаренко Л.А. Математическая модель организации вычислений в управляющих ЦВМ // Тезисы докл. V Укр.республ.конф.по системотехнике.- К.: Ин-т кибернетики АН Украины.- 1973.- С.77-80.

63. Мова В.В., Пономаренко Л.А., Паламарчук В.А. Алгоритм диспетчеризации в управляющих системах с ограниченным объемом буферных накопителей // Материалы семинара "Математическое обеспечение управляющих и информационных систем".- Москва: МДНТП.- 1973.- С. 37 - 41.

64. Мова В.В., Пономаренко Л.А. Вычислительный метод определения оптимального управления Марковским процессом с конечным числом состояний // Материалы научн. конф. "Вычислительная математика в современном научно-техническом прогрессе". Том "Вычислительные методы в мат.физич.е, теории управления и оптимизации".- Вып. 2.- К.- 1974.- С. 95 - 99.

65. Пономаренко Л.А. Оптимизационные задачи приоритетного обслуживания в АСУТП станог горячей прокатки // Тезисы докл. Всесоюзно.научно-техн. конф. "Математическое, программное и информационное обеспечение АСУТП", часть 1.- Москва.- 1977.- С. 134 - 135.

66. Пономаренко Л.А. Модели и алгоритмы ситуационного приоритетного обслуживания и их использование в АСУТП // Материалы Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы математического, программного и информационного обеспечения АСУТП", часть 2.- Черновцы: ЧФКИА.- 1979.- С. 89 - 90.

67. Пономаренко Л.А., Жучкова И.В. Определение ситуационных приоритетов в СМО с нелинейным критерием эффективности // Тезисы докл. Всесоюзного совещания "Автоматизированные системы массового обслуживания".- Москва: ИПУ.- 1982.- С. 188 - 189.

68. Пономаренко Л.А., Жучкова И.В., Стеценко С.В. Автоматизированный расчет ситуационных приоритетов при оптимизации процедур информационного обмена в микропроцессорных АСУТП // Опыт разработки и внедрения математического, программного и информационного обеспечения АСУ технологическими процессами.- Москва: ЦНИИТЭИприборостроения.- 1984.- С. 46.

69. Пономаренко Л.А. Алгоритм ситуационного диспетчирования в системе управления гибким автоматизированным производством механообработки // Опыт разработки и внедрения математического, программного и информационного обеспечения АСУ технологическими процессами. - Москва: ЦНИИТЭИприборостроения.- 1984.- С. 10 - 11.

70. Пономаренко Л.А., Бураковская О.Л. Алгоритм ситуационного управления технологическим процессом инструментального гибкого автоматизированного производства // Труды III Всесоюзно.научн.-техн.коф. "Программное, алгоритмическое и техническое обеспечение АСУТП", часть 3.- Ташкент.- 1985.- С. 86 - 87.

71. Пономаренко Л.А., Жучкова И.В. Оптимальное назначение приоритетов при организации доступа в локальных вычислительных сетях АСУТП // Локальные вычислительные сети (Локсеть-88). Тезисы докл. III Всесоюзно.коф.- том I.- Рига. - 1988.- С. 149 - 153.

72. Пономаренко Л.А., Жучкова И.В., Стеценко С.В. Автоматизированный анализ марковских СМО в стационарном состоянии // Труды респ. семинара "Совершенствование методов исследования потоков событий и систем массового обслуживания".- Томск: Томский университет.- 1989.- С.127.

73. Пономаренко Л.А. Метод оптимизации многопоточковых систем обслуживания и их применение при разработке АСУТП // VII Всесоюз. научно-техническая конф. "Проблемы, задачи и опыт применения технологий разработки и внедрения программных средств АСУТП. Тезисы докладов.- Черновцы.- 1990.- С. 85.

74. Меликов А.З. Пономаренко Л.А. Метод надежностного синтеза структуры и состава локальной вычислительной сети распределенной АСУТП // Труды Междунар.конф. "Локальные вычислительные сети" (ЛОКСЕТЬ 90).- Рига: ИЭВТ АН Латвии.- 1990.- С. 102 - 106.

75. Пономаренко Л.А. Опыт практического применения ситуационных приоритетных дисциплин в системах обслуживания // Труды респ.семинара "Совершенствование методов исследования потоков событий и систем массового обслуживания". - Томск: Томский университет.- 1990.- С. 49.

76. Меликов А.З., Пономаренко Л.А. Математическая модель для исследования вычислительных систем с совместным занятием ресурсов // Тезисы докл. респ. научно-техн. школы-семинара "Анализ и синтез систем массового обслуживания и сетей ЭВМ", часть 1.- 1990.- С. 145 - 149.

77. Melikov A.Z., Ponomarenko L.A. Finding optimal strategy of access in multiresource queue // Proc. International Conf. on Syst. Sci. XI.- Wroclaw (Poland).- 1992.- P.96.

78. Пономаренко Л.А. Исследование цифровых сетей интегрального обслуживания методами мультиресурсных систем // Тезисы докл. н. - т. конф. " Проблемы построения цифровых сетей интегрального обслуживания" - К.: НТО РЭС Украины. - 1993. - с. 38 - 40.

79. Системы ситуационного приоритетного управления с ориентацией / Демченко М.Б., Пономаренко Л.А., Боровик В.Н.; Киев. Ин-т автоматике - К.; 1995. - 19 с. - Рус. - Деп. в ГНТБ Украины 16.02.95, №362 - Ук 95.

80. Melikov A.Z., Abbasov A.M., Ponomarenko L.A. On the approach to optimal control of queuing systems with multiple classes of customers // Proc. International Conf. Syst. Sci. XII - Wroclaw (Poland).- 1995.- P. 507-515.

81. Ситуационные модели систем автоматизированного управления учебным процессом в компьютеризованных учебных классах / Пономаренко Л.А., Демченко М.Б. ; Киев. ин-т автоматике. - К., 1995. - 11 с. - Рус. - Деп. в ГНТБ Украины 16.08.95, №1935 - Ук 95.

## АННОТАЦИЯ

Пономаренко Л.А.

Системы обслуживания с ситуационными приоритетами. Анализ и оптимизация.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.04 - "Автоматизированные системы управления и системы обработки информации", Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев, 1996.

Диссертация посвящена разработке математических моделей оптимизации и алгоритмических методов вычисления и практического использования ситуационных приоритетов в структурно-сложных системах обслуживания. Защищается комплекс теоретических исследований, методик, математических моделей и алгоритмов решения задач повышения эффективности функционирования систем управления на базе оптимизации приоритетного ситуационного обслуживания. Получены новые результаты в области создания математических моделей процессов обслуживания в сложных системах при разных предположениях относительно структуры очереди, характеристик входных потоков заявок, количества обслуживающих приборов и законов распределения времени обслуживания, математических моделей процессов обслуживания в мультиресурсных системах с разными структурными особенностями и неполнодоступных системах со взаимопомощью между группами каналов и блокированием работы каналов, методов расчета и оптимизации приоритетных дисциплин с использованием аппарата линейного и нелинейного программирования, алгоритмов оптимального управления системами обслуживания, методов использования ситуационных приоритетных дисциплин обслуживания при разработке и эксплуатации систем управления производственными процессами.

## ANNOTATION

Ponomarenko L.A.

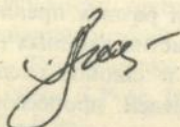
Queues with state dependent priority system.  
Analysis and optimization. Manuscript.

Dr. Sciences dissertation on specialty 05.13.04 - "Automatically managing systems and information processing systems". National technical university of Ukraine "Kiev Politechnical Institute", Kiev, 1996.

This dissertation is devoted to mathematical methods of optimization and algorithmically methods of computing elaborating and direct using of state dependent priorities in service systems with complicated models and most effective methods of increasing the function productivity of the

managing systems, based on state dependent priority service optimization is supported. New results were obtained in the field of construction of the service processing mathematical model with the different assumptions concerning the queue structure, arriving customer streams characteristics, number of servers and time distribution rules. A set of service processing in multiresource queues with different structural peculiarities, access sharing queues with mutual aid between server groups and server blocking mathematical models was developed. Computation and optimization methods using the linear and non-linear programming were created to improve priority disciplines and to increase their productivity. Results obtained were included into the structure of automated control systems of different technological processes and enterprises.

Ключові слова: ситуаційний пріоритет, система обслуговування, оптимізація.



Институт автоматиз. Тир. 100 Зек. 20.24.94

AB 2.0.10.2A

442300

AB 34.078  
**AB 34.078**

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

*[Faint signature or handwritten mark]*

Faint, illegible text at the bottom of the page, possibly bleed-through.