

На правах рукопису

Чернишова Надія Петрівна

МОДЕЛІ, АЛГОРИТМИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
КЕРУВАННЯ РОЗВИТКОМ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПІДСИСТЕМ
ТРАНСПОРТУ (на прикладі цивільної авіації)

05.13.07 - Автоматизація технологічних процесів та виробництв у
промисловості

05.13.16 - Застосування обчислювальної техніки, математичного
моделювання і математичних методів у наукових дослідженнях

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-1994



Дисертацією є рукопис

АВ 30.183

Робота виконана на кафедрі автоматизованих систем управління Харківського політехнічного інституту

- Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент
Годлевський Михайло Дмитрович.
- Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
Александров Євген Євгенович,
- кандидат технічних наук, доцент
Попов Валерій Олексійович.
- Провідна організація - Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова
АН України, м. Київ

Захист відбудеться 23 " червня 1994 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої Вченої Ради Д 068.39.02 при Харківському політехнічному університеті (310002, Україна, Харків, МСП, вул. Фунзе, 21).

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Харківського політехнічного університету.

Автореферат розісланий "18" Травня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

КІЗИЛОВ В.У

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00777532 (V)

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність досліджень. Перехід України до ринкових відносин господарювання свідчить про перехід від зосередженої (централізованої) системи керування до розподіленої, що надає нових властивостей її функціонування й потребує спеціальних методів моделювання технології процесів планування та керування розвитком.

До недавнього часу практично усі задачі керування розв'язувалися на рівні міністерств та підпорядкованих їм галузевих інститутів, які були органами господарчого керування, а зараз реорганізуються в органи державного регулювання і координації функціонування окремих підприємств. Велика ж кількість окремих підприємств стає самостійними господарчими одиницями, перед якими виникає проблема прийняття вірних рішень з точки зору власного оптимального функціонування і розвитку.

В зосереджених системах планування в основному досліджуються моделі індивідуального вибору з однією особою, що приймає рішення, при цьому параметри цих моделей вважаються заздалегідь заданими і не змінюються у ході розв'язування задачі.

Децентралізація веде до формування комплексу взаємопов'язаних задач, котрі повинні розв'язуватись в режимі багатосторонньої взаємодії між окремими функціональними підсистемами. При цьому моделі окремих локальних задач, в разі несумісності обмежень, формуються у ході ітераційних процедур взаємодії. Несумісність обмежень виникає коли можливості або інтереси окремих підсистем не відповідають цілям, що ставлять перед ними, тому виникає потреба в корекції самих цілей, а також й області допустимих варіантів функціонування окремих підсистем. Розв'язанню таких задач на теперішній час приділялося недостатньо уваги.

Таким чином, актуальність роботи полягає у тому, що поява нових властивостей системи керування потребує спеціальних методів моделювання процесів керування, а також у необхідності створення нових підходів до розв'язування локальних задач підтримки прийняття рішень (ППР) при керуванні розвитком розподілених систем, удосконаленні моделей та алгоритмів з точки зору адекватності їх існуючим економічним умовам і їх використання у різних галузях економіки України, та в необхідності створення нових інформаційних технологій у вигляді автоматизованих робочих

місць (АРМ) для дослідників та спеціалістів, які відповідають за прийняття рішення на рівні окремих локальних задач.

Зв'язок теми дисертації з планом НДР. Дисертаційна робота виконувалася згідно плану науководослідних робіт з природознавчих і суспільних наук ДКНТ на 1981-1985 рр., т. 5, п. 48; постанови ДКНТ СРСР від 29 березня 1991 р. N 359; програми 06.02.00 п.6.2.1 ДКНТ України на 1992-1995 рр. у межах тем N ГР 79063883, N ГР 81077611, N ГР 01860008597, N ГР 01860061378.

Об'єктом дослідження є локальні задачі в розподілених ієрархічних транспортних системах (ТС).

Метою роботи є розробка математичних моделей, алгоритмів та інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень в локальних задачах технології керування розвитком технічних засобів розподіленої ієрархічної ТС на прикладі галузі цивільної авіації (ЦА).

Ці актуальні питання пов'язані з вирішуванням цілого ряду взаємопов'язаних задач, прикладами яких є досліджувані в дисертаційній роботі локальні задачі керування розвитком технічних засобів таких функціональних підсистем ЦА, як мережа аеропортів (АП) та окреме підприємство на прикладі авіакомпанії (АК).

Основні задачі комплексу, які розв'язані в дисертаційній роботі для досягнення вказаної мети:

- сформульовані вимоги до технології моделювання, адекватної до сучасних умов переходу від централізованої системи керування до розосередженої;
- розроблена математична модель задачі технології керування розвитком мережі АП на нові типи літаків;
- розроблена математична модель задачі керування розвитком АК з застосуванням ідеології системної оптимізації (СО);
- розроблено метод та алгоритм спрямованих підмножин для розв'язування задачі керування розвитком мережі АП на нові типи літаків;
- створено реалізацію RPD-алгоритму СО для отримання рішення задачі керування розвитком АК;
- розроблені інформаційні технології для ППР в обох досліджуваних в роботі локальних задачах керування розвитком технічних засобів функціональних підсистем ЦА;

- перевірено достовірність і ефективність результатів досліджень та програмних продуктів, в умовах державних інститутів ЦА та окремих Управлень ЦА.

Наукова новизна роботи полягає у побудові та досліджуванні математичних моделей, методу і алгоритмів розв'язування локальних задач актуальної проблеми керування розвитком розподіленої ієрархічної системи ЦА, а також в розробці та створенні інформаційних технологій у вигляді АРМів дослідників для ППР в цих задачах.

Нові наукові результати, які отримані внаслідок розв'язання цих задач:

1) сформована структура автоматизованої системи керування розвитком розподіленої ієрархічної системи ЦА;

2) розроблено моделі і алгоритми ППР в локальних задачах керування розвитком мережі АП для обслуговування нових типів літаків та керування розвитком авіакомпанії;

3) розроблено алгоритм спрямовуючих підмножин для розв'язування задачі керування розвитком мережі АП;

4) розроблено реалізацію RPD-алгоритму СО для сумісного розв'язування задач маршрутизації та формування структури парку літаків АК.

5) створені інформаційні технології ППР в задачах керування розвитком мережі АП на нові типи літаків та керування розвитком АК.

Практична цінність роботи полягає в тому, що теоретичні положення доведені до рівня програмних продуктів, які дозволяють визначати варіанти реконструкції окремих АП на нові типи літаків, що вводяться в дію, та розв'язувати питання розвитку усієї мережі АП в умовах обмежених капіталовкладень й можливостей їх освоєння; а також дозволяють досліджувати питання розвитку окремих підприємств ЦА та розв'язувати на цьому рівні такі задачі, як корекція перспективного плану руху літаків, маршрутизація кореспонденцій, перерозподіл обсягів перевезень по авіалініям мережі між конкуруючими типами літаків, формування структури парку літаків АК. Отримані у роботі теоретичні результати реалізовані у вигляді діалогових систем ППР на базі IBM PC/AT і призначені для осіб, які приймають рішення і не є програмістами. Запропоновані в роботі моделі та алгоритми можуть бути ефективно використані не тільки на транспорті, але і в інших галузях господарства України для розв'язування задач ке-

рування розвитком технічних засобів як окремих технологічних процесів, так і тих, що функціонують у межах розподілених систем.

Методи досліджень. При розв'язуванні сформульованих задач були використані методи системного аналізу і програмно-цільового підходу, методологія системної оптимізації, апарат лінійного програмування, оптимізаційні методи розв'язування дискретних задач з використанням ідей методу вектору спаду.

Вірогідність одержаних у роботі результатів забезпечується коректною постановкою локальних задач технології керування розвитком мережі АП на нові типи літаків та розвитком АК в межах розподіленої ієрархічної системи ЦА, а також експериментальною перевіркою на ЕОМ адекватності розроблених моделей шляхом порівняння результатів моделювання з показниками функціонування реальних систем.

Впровадження результатів. Результати досліджень використовуються головними науково-дослідними інститутами ЦА, в Управліннях ЦА для розв'язування задач керування розвитком технічних засобів мережі та окремих аеропортів ЦА, формування оптимальної структури парку літаків при середньо-строковому плануванні.

Моделі, алгоритми та програмне забезпечення планування реконструкції аеродромних комплексів під нові типи літаків використані в 1985 році у Державному науково-дослідному інституті ЦА при розробці плану розвитку перевезень на літаках Іл-86. Використання розроблених моделей, алгоритмів та програмного забезпечення дало змогу створити надійну інформаційну основу для складання плану перспективного руху літаків, оптимізувати план розвитку аеродромної мережі для експлуатації Іл-86, визначити потребу в капітальних вкладеннях у наземну базу, поліпшити використання основних фондів, не допускаючи необґрунтовано завишених вкладень у будівництво та реконструкцію неперспективних аеропортів. Частка автора в річному економічному ефекті склала 50 тис. карбованців на рік у цінах 1983-1991 р.р.

Моделі, алгоритми та програмне забезпечення використані в 1987 році у Державному науково-дослідному інституті ЦА при розробці "Генеральної схеми польотів літаків Іл-96, Ту-204, Іл-86 до 2000р."

Результати дослідів були також використані у 1991р. в Державному проектно-пошуковому та науково-дослідному інституті Аеропроект при

розв'язуванні задач планування розвитку аеропорта Красноярськ, а також таких важливих для України аеропортів, як Харків, Луганськ, Одеса.

Розроблені моделі та алгоритми використані у 1991 році при створенні АРМів дослідників для ППР в задачах планування розвитком аеродромних комплексів аеропортів Узбекистану таких, як Ташкент, Самарканд, Нукус, Наманган.

Положення, які виносяться на захист.

1. Математична модель задачі технології керування розвитком вузлів мережі АП на нові типи літаків;

2. Математичні моделі оцінювання перспективного плану руху літаків та розвитку структури парку літаків АК на основі системної оптимізації;

3. Алгоритм спрямовуючих підмножин для розв'язування задачі керування розвитком вузлів мережі АП.

4. Реалізація RPD-алгоритму СО для сумісного розв'язування задач оцінювання перспективного плану руху літаків та розвитку структури парку літаків АК.

5. Інформаційні технології ППР для розв'язування локальних задач керування розвитком технічних засобів функціональних підсистем ЦА, які реалізовані у вигляді двох АРМів дослідників - не програмістів.

Апробація роботи. Наукові результати та основні положення роботи докладались в період 1984 -1994 років: на семінарах "Керування складними техніко-економічними системами" Харківської секції Наукової Ради з проблеми "Кібернетика" АН України (1985р., 1986р., 1988р., 1991р., 1992р., 1994р.); на семінарі "Методи вирішування та математичного забезпечення задач дискретної оптимізації" Наукової Ради з проблеми "Кібернетика" інституту кібернетики ім. В.М.Глушкова АН України 1989р.; на Всесоюзній науково-технічній конференції з проблем підвищення ефективності використання обчислювальної техніки в народному господарстві (Москва, 1984р.), на Всесоюзній науково-технічній конференції з сучасних проблем проектування, будівництва та експлуатації аеропортів (Москва, 1986р); на Всесоюзній науково-технічній конференції з сучасних проблем розвитку наземної бази цивільної авіації (Київ, 1987р.); на Всесоюзній науково-технічній конференції з методології створення й досвіду експлуатації АСУ в цивільної авіації (Рига, 1989р.); на Всесоюзній науково-технічній конференції з основних проблем розвитку наземної бази цивільної авіації (Ленінград, 1991р); на Міжнародній Укра-

Інсько-Угорський науково-технічній конференції "Комп'ютер: наука, техніка, технологія, здоров'я" (Харків, 1993р.); на науково-технічних семінарах ДержНДІ ЦА (Москва, 1984-91 рр.), ДПІ та НДІ ЦА "Аеропроект" (Москва, 1985-91 рр.). В повному обсязі робота докладалась на науковому семінарі кафедри АСУ Харківського політехнічного університету.

Публікації. По матеріалах дисертації опубліковано 13 праць.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновку та містить 110 сторінок друкованого тексту, 51 малюнок, 20 таблиць, а також список використаних джерел з 197 найменувань та додаток. У додатку приведені документи, які підтверджують впровадження результатів роботи.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступній частині** сформульовані задачі дослідження, обґрунтовано їх актуальність, виділена мета роботи і питання, що вирішуються, доведені наукова новизна і практична цінність роботи, представлено огляд та впровадження отриманих результатів.

В **першому розділі** розглянуті техніко-економічні проблеми функціонування та розвитку технічних засобів ТС такі, як розробка прогнозів попиту на перевезення пасажирів та вантажу по строках й по рівням; формування типорозмірного ряду парку пересувного складу (ПС) на перспективу; формування структури парку ПС, що містить питання оптимальних термінів постачання, списування та заміни техніки; розподіл потоків пасажирів та вантажу по транспортній мережі (ТМ); будівництво та реконструкція вузлів ТМ; керування розвитком технічних засобів ТС.

Зроблено висновок, що моделі, методи та алгоритми, які використовуються при розв'язуванні позначених задач, дуже часто ґрунтуються на централізованому характері керування ТС. Тому сьогодні, при переході до ринкових відносин, необхідно не стільки удосконалювати їх з точки зору кількісних показників, скільки удосконалювати їх у плані якості, адекватності існуючим економічним відносинам в господарстві України.

Для запобігання хаотичності розвитку галузі, в умовах перехідного періоду до ринкової структури господарювання, в цьому ж розділі запропоновано здійснювати координацію діяльності підприємств на основі трирівневої ієрархічної системи на прикладі ЦА. На кожному рівні цієї систе-

ми розв'язується ряд локальних задач, на верхньому і середньому - також координуючі задачі.

На сьогодні одним з перспективних напрямків розв'язування задач оптимального функціонування та керування розвитком ТС є ідеологія СО, суть якої полягає у послідовному уточненні на системі моделей як області допустимих рішень, так і цілі, яку спочатку поставлено перед системою. Це дозволяє розпаралелити процес оптимізації і значно зменшити вимірність окремих задач.

Зроблено постановку двох взаємопов'язаних локальних задач розвитку ієрархічної системи ЦА: на середньому рівні - задачі розвитку мережі АП на нові типи літаків, на нижньому - задачі розвитку окремої АК.

Обґрунтовано, що розробка системної методології автоматизації рівня організаційно-економічного керування в сучасних умовах є ключовим моментом автоматизації діяльності людини на цьому рівні. Таким чином, сьогодні актуальним стає створення та впровадження інформаційних технологій, однією з основних форм яких є АРМ для ППР в задачах оптимального функціонування та керування розвитком технічних засобів й технологічних процесів в галузях.

Другий розділ роботи присвячений питанням розробки моделей ППР в локальних задачах розвитку технічних засобів ЦА, що сформульовані в першому розділі.

При розв'язанні локальної задачі середнього рівня ієрархічної системи ЦА на директивній області D_0^d визначається деяке наближення - перспективний план руху літаків, що містить обсяги перевезень по авіакоординатам та типи літаків, які повинні виконувати їх. Після підставлення цього рішення у D_0 (область функціонування авіамережі) визначається множина істотних обмежень і розв'язується задача "підтягування" цих обмежень до точки у D_0^d , тобто знаходиться план реконструкції окремих АП на нові типи літаків. В умовах обмежених ресурсів (обсяги капіталовкладень та потужності будівельних підприємств) постає задача оцінки черговості і термінів реконструкції АП мережі на плановому періоді T .

У роботі досліджується ця допоміжна задача СО, модель якої має такий вигляд. Знайти вектор (x) , що забезпечує мінімум цільової функції

$$F(x) = \sum_{t=1}^T \left\{ \Delta S * f(t) + \sum_{i \in \Omega} k_i' (x_i^t - x_i^{t-1}) (1 + f(t)) \right\} - \Delta C_{ост}(T), \quad (1)$$

де

$$\Delta S^t = \sum_{\lambda \in P, i, \Omega_i^t} \Delta S_i^{\lambda t} (1 - x_i^t) + \sum_{\lambda \in P, i \in \Omega_i^t} \sum_{j \in \Omega_j^t} \Delta S_j^{\lambda t} (1 - x_j^t x_i^t) \quad (2)$$

при обмеженнях

$$x_i^t - x_i^{t-1} \geq 0, \forall i \in \bar{\Omega}_t, t = \bar{1}, \bar{T} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \Omega_i} k_i^{t-1} (x_i^t - x_i^{t-1}) \leq k_{i-1}^*, t = \bar{1}, \bar{T} \quad (4)$$

$$\sum_{l=1}^p \sum_{i \in \Omega_i} k_i^{t-1} (x_i^t - x_i^{t-1}) \leq k_{p-1}, p = \bar{1}, \bar{T} \quad (5)$$

де λ - варіант реконструкції; i, j, l - номер АП; t - рік розглядаємого періоду T ; p - підперіод планового періоду; $\bar{\Omega}_t$ - множина АП, які належать лініям мережі, де один з АП не може прийняти новий тип літака (півактивні кільця); Ω_i^t - множина АП, що належать лініям мережі, у яких обидва АП не приймають новий тип літака (активні кільця); $\bar{\Omega}_t^* = \bar{\Omega}_t \cup \Omega_i^t$ - множина АП, котрі повинні бути реконструйовані на нові типи літаків; k_i^{t-1} - капітальні вкладення на реконструкцію i -го АП; k_{p-1}, k_{i-1}^* - поверхові значення обмежень на капіталовкладення й потужності будівельних підприємств; $f(t)$ - функція важливості капітальних вкладень відносно років планового періоду. Якщо новий тип літака з якихось причин не введено, то на активних кільцях мережі виникають додаткові витрати від експлуатації інших типів $\Delta S_i^{\lambda t}$, на півактивних - $\Delta S_j^{\lambda t}$.

До цільової функції моделі входять капітальні вкладення на реконструкцію аеродромних комплексів мережі АП та збільшення експлуатаційних витрат, якщо новий тип літака не введено, а також вартість реконструкційних заходів на кінець планового періоду. Обмеження (3) відповідає умові проведення реконструкції лише один раз за час T , (4) - це обмеження потужності будівельних підприємств; (5) - обмеження капіталовкладень для деякого підперіоду планового періоду.

Модель (1)-(5) є задачею булевого програмування з квадратичною цільовою функцією і лінійними обмеженнями.

Модель керування розвитком АК дозволяє розв'язати задачу маршрутизації авіакореспондентів і розміщення парку літаків АК на авіалініях, а також визначити стратегію формування парку літаків на деякому плановому періоді T шляхом розв'язування задачі визначення кількості літаків

кожного типу, що закуповуються у кожному році, арендуються АК і здаються в аренду, та для яких доцільно продовження ресурсу.

Ці задачі взаємопов'язані: так від складу парку залежить маршрутизація та розміщення літаків по мережі, з іншого боку, структура парку залежить від структури обсягів перевезень. Пропонується розв'язувати зазначені задачі сумісно, на основі ідеології СО.

Модель задачі маршрутизації та розміщення парку літаків по мережі має такий вигляд. Знайти вектор $(\xi, \bar{\xi}, \zeta, \bar{\zeta})$, що забезпечує максимум цільової функції

$$F_0(\xi, \bar{\xi}, \zeta, \bar{\zeta}) = \sum_{t=1}^T D_t^w \alpha_t \rho_t, \quad (6)$$

де

$$D_t^w = \sigma_t D_t^E - (R_t^{AT} + R_t^{BT} + R_t^{AO})$$

при обмеженнях

$$\sum_{v \in \Theta^g} \xi_v^{t\gamma} \leq P_g^{t\gamma}, g \in G_2^t, \gamma = \overline{1,4}, t = \overline{1, T} \quad (7)$$

$$\xi_v^{t\gamma} \leq \sum_{i \in I_t} \theta_{iv}^{t\gamma} \eta_i^t n_{iv} \zeta_{iv}^{t\gamma}, v \in \Theta^t, \gamma = \overline{1,4}, t = \overline{1, T} \quad (8)$$

$$\bar{\xi}_g^{t\gamma} + \sum_{v \in R_g^t} \xi_v^{t\gamma} \leq \sum_{i \in E_g^t} \bar{\theta}_{ig}^{t\gamma} \eta_i^t \bar{n}_{ig} \bar{\zeta}_{ig}^{t\gamma} + \sum_{v \in R_{i',i}^t} \theta_{iv}^{t\gamma} \eta_i^t n_{iv} \zeta_{iv}^{t\gamma}, g \in G_1^t, \gamma = \overline{1,4}, t = \overline{1, T} \quad (9)$$

$$\bar{\xi}_g^{t\gamma} \leq P_g^{t\gamma}, g \in G_1^t, \gamma = \overline{1,4}, t = \overline{1, T} \quad (10)$$

$$\sum_{k \in K^t} (\bar{\theta}_{ik}^{t\gamma} \bar{\zeta}_{ik}^{t\gamma} + \theta_{iv}^{t\gamma} \zeta_{iv}^{t\gamma}) \leq \bar{\lambda}_k^{t\gamma}, k \in N_t, i \in I', t = \overline{1, T} \quad (11)$$

$$\sum_{g \in G^t} \left(\bar{\xi}_g^{t\gamma} + \sum_{v \in R_g^t} \xi_v^{t\gamma} \right) \leq \bar{\lambda}_k^{t\gamma}, k \in N_t, t = \overline{1, T} \quad (12)$$

$$\sum_{t=1}^4 \left(\sum_{v \in \Theta^t} q_{iv} \theta_{iv}^{t\gamma} \zeta_{iv}^{t\gamma} + \sum_{g \in G_1^t} \bar{q}_{ig} \bar{\theta}_{ig}^{t\gamma} \bar{\zeta}_{ig}^{t\gamma} \right) \leq Q_t, t = \overline{1, T} \quad (13)$$

$$\sum_{v \in \Theta^t} \xi_v^{t\gamma} + \sum_{g \in G_1^t} \bar{\xi}_g^{t\gamma} \leq b_t, i \in I', t = \overline{1, T} \quad (14)$$

$$\xi_v^{t\gamma} \geq 0, \bar{\xi}_g^{t\gamma} \geq 0, \zeta_{iv}^{t\gamma} \geq 0, \bar{\zeta}_{ig}^{t\gamma} \geq 0, v \in \Theta^t, i \in I', \gamma = \overline{1,4}, t = \overline{1, T} \quad (15)$$

де D_t^w - різниця між виручкою від продажу квитків $\sigma_t D_t^E$ та витратами на забезпечення вильоту літаків R_t^{BT} , навігаційне обслуговування польотів R_t^{AO} , та комерційне обслуговування літаків в АП R_t^{AT} ; α_t - відсотки, що визначають прибуток від доходу; ρ_t - ступень значущості витрат і добутків; $\bar{\xi}_g^{t\gamma}$, $\xi_v^{t\gamma}$ - потоки пасажирів на кільці та на маршруті; $\bar{\zeta}_{ig}^{t\gamma}$, $\zeta_{iv}^{t\gamma}$ - кількість літаків

на кільці та на маршруті; i - тип літака; t - рік планового періоду; γ - сезон року (γ^* - найбільш напружений сезон); g, v - кільце мережі та маршрут авіакореспонденції; Θ^t - множина маршрутів мережі; I^t - множина типів літаків; $\bar{q}_{ij}^t, \bar{q}_{ij}^{t*}$ - кількість рейсів на кільці та на маршруті; η_i^t - коефіцієнт завантаженості кресел літаків; \bar{n}_{ij}, n_{iv} - пасажироємність літаків на кільці та на маршруті; λ_{ki}^t - оцінка кількості гарантованих обслуговувань в АП зльотно-посадкових операцій; λ_k^t - пропускна спроможність аеровокзальних комплексів АП на обслуговування пасажирів; \bar{q}_{ij}, q_{iv} - витрата пального літаком на кільці та на маршруті; Q_i - запас пального; b_i - кількість літаків i -го типу у парку АК; N_i - множина АП мережі; R_i^g - множина маршрутів g -го кільця авіамережі; Γ_k^t - множина кілець мережі у k -му АП, G_i^t - множина немаршрутизуємих кілець авіамережі.

Цільова функція моделі являє прибуток АК від виконання обсягів перевезень. Директивна область D_0^d будується на основі обсягів робіт, що надаються з середнього рівня ієрархічної системи ЦА, а також з рахунком інтересів самої АК.

Обмеження (7)-(10) відповідають необхідності виконання обсягів перевезень по всіх маршрутах авіамережі згідно плану руху літаків АК; (11) - обмеження пропускної здібності функціональних підсистем АП по зльотно-посадковим операціям; (12) - обмеження пропускної спроможності аеровокзальних комплексів АП на обслуговування пасажирів; (13) - обмеження на пальне; (14) - обмеження на кількість літаків кожного типу у парку АК, що визначає область D_0 допустимих варіантів функціонування АК.

Якщо обмеження (7) типу "<", це означає, що АК сама для себе визначає обсяги перевезень, які вигідні для неї з точки зору максимуму прибутку. Це приводить до того, що переріз директивної області D_0^d і області D_0 завжди існує. Якщо ж обмеження (7) типу "=", то може статися, що $D_0^d \cap D_0 = \emptyset$, тобто з'являються істотні обмеження і тоді виникає задача корекції D_0 . Це є задача розвитку структури парку літаків АК, яка розв'язується на множині істотних обмежень I^a і модель якої має слідуючий вигляд. Знайти вектор (x, y) , що надає максимуму цільової функції

$$F_1(x, y, \beta) = \sum_{i=1}^n (D_i^A - R_i^A - R_i^K - R_i^N - R_i^a) \rho^i - R_0^A \quad (16)$$

при обмеженнях

$$\sum_{t=1}^T \left(R_t^k + \sum_{i \in I^m} \alpha_{it}^3 x_i^{3t} + \sum_{i \in I^m} \alpha_{it}^A x_i^{3t} + \sum_{i \in I^m} \alpha_{it}^n x_i^{3t} \right) \leq \sum_{t=1}^T \left(\omega_t + y_t + \sum_{i \in I^m} \alpha_{it}^A (b_i^t - \beta_{it}) + \sum_{i \in I^m} \alpha_{it}^A x_i^{4t} \right) + D^H, t = \bar{1}, \bar{T} \quad (17)$$

$$\sum_{t=1}^T (x_i^{1t} - \vartheta_i^{0t}) + \delta_1 x_i^{1t} - \delta_2 \vartheta_i^{0t} + x_i^{2t} + x_i^{3t} - x_i^{4t} \geq \beta_{it} - b_i, i \in I^m, t = \bar{1}, \bar{T} \quad (18)$$

$$\sum_{t=1}^T (R_t^k + R_t^3 + R_t^A + R_t^N) \leq \sum_{t=1}^T (\omega_t + y_t + D_t^A) + D^H, r = \bar{1}, \bar{T} \quad (19)$$

$$R_t^k \leq \hat{R}_t^k \quad (20)$$

$$0 \leq x_i^{1t} \leq \hat{\mu}_i^t, 0 \leq x_i^{2t} \leq \hat{\vartheta}_i^t, 0 \leq x_i^{3t} \leq \hat{\gamma}_i^t, 0 \leq x_i^{4t} \leq \hat{\lambda}_i^t, i \in I^l, t = \bar{1}, \bar{T} \quad (21)$$

де $x = \{x_i^{jt}\}$ - варіант розвитку структури парку літаків АК; $x_i^{1t}, x_i^{2t}, x_i^{3t}, x_i^{4t}$ - відповідно кількість літаків, які закупаються, з протягнутим ресурсом, беруть та здають в аренду; y_t - кредити, які бере АК; β_{it} - необхідна кількість літаків кожного типу для досягнення цілі на D_0^t ; D_t^A - кошти від здачі літаків в аренду; $R_t^k, R_t^3, R_t^A, R_t^N$ - витрати на узяття літаків в аренду, на гасіння кредитів, на закупівлю літаків, на подовження ресурсу; остання вартість літаків на кінець планового періоду; $\alpha_{it}^3, \alpha_{it}^A, \alpha_{it}^n$ - відповідно вартість закупівлі літаків, узяття та здачі в аренду, протягнення ресурсу; ω_t - власні ресурси АК, що виділяються на розвиток парку; D^H - достатки АК на початок планового періоду; ϑ_i^{0t} - планове списання техніки; δ_1, δ_2 - відповідно коефіцієнти приведення постачання та списання літаків до середнього по року; b_i - початкова кількість літаків кожного типу; $\hat{\mu}_i^t, \hat{\vartheta}_i^t, \hat{\gamma}_i^t, \hat{\lambda}_i^t$ - значення верхніх обмежень на закупівлю літаків, протягнення ресурсу, здачу та узяття літаків в аренду.

Для розв'язання задачі (1)-(5) розроблено алгоритм спрямовуючих підмножин, який максимально ураховує специфіку задачі і дозволяє зменшити її початкову вимірність. Цей алгоритм є модифікацією методу вектора спаду, він дає змогу зробити вибір підмножин $V^m \subset V^{n \times T}$, для яких можна організувати спрямоване перебирання усередині локальної області $O_{B^n}(x, r)$, що зменшує кількість точок розглядання й тому дає змогу збільшити радіус r області. Тут в позначеннях: $V^{n \times T}$ - дискретна множина впорядкованих наборів з $n \times T$ чисел, які приймають значення $\{0, 1\}$; n - кількість АП мережі; x - елемент множини; T - плановий період. Основна ідея,

яку реалізовано у алгоритмі полягає в уявленні цільової функції задачі як функції від цілочислених аргументів, що приймають значення років планового періоду.

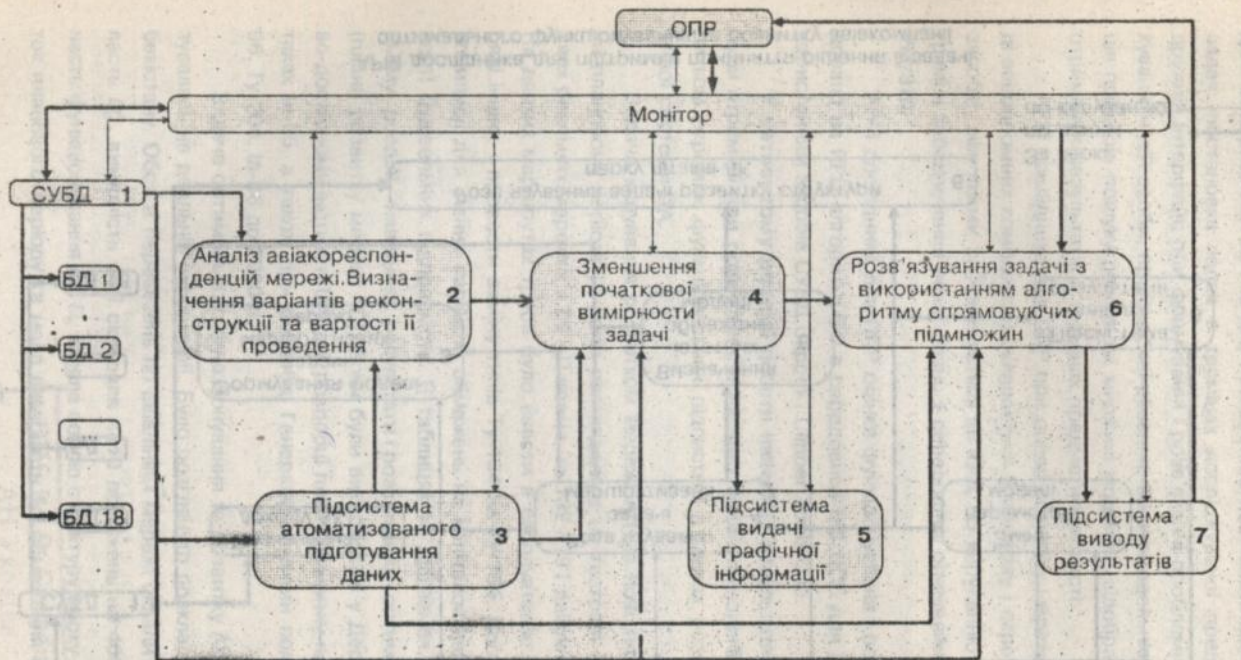
Для розв'язання задачі технології керування розвитком АК (6)-(21) використано RPD-алгоритм CO. Це дає змогу шукати рішення задачі розвитку парку літаків АК не на всій множині літаків, а тільки на підмножині істотних обмежень. Типи літаків цієї підмножини визначаються в разі підставлення в область функціонування АК (D_0) рішення, що знайдено при розв'язанні задачі маршрутизації та розподілу літаків по мережі на директивної області D_0^d . З точки зору CO при розв'язуванні задачі (6)-(15) робиться підтягування початкового плану руху літаків до істотних обмежень за рахунок зниження обсягів перевезень та розподілу їх між конкуруючими типами літаків. Коли ж розв'язується задача (16)-(21), то робиться підтягування істотних обмежень до точки на області D_0^d . Ітераційний процес вирішування цих взаємопов'язаних задач закінчується, коли множина істотних обмежень виявляється порожньою.

В третьому розділі запропоновані розробки інформаційних технологій для ППР у задачах, моделі яких подано у другому розділі роботи. Створення інформаційних технологій проведено з використанням сучасних засобів на підставі CASE-технології проектування складних систем, яка базується на IDEF0- та IDEF1-методологіях.

При цьому застосування IDEF0-методології було зроблено для проектування функціональних моделей програмних систем, що дозволило зобразити їх у вигляді ієрархічних діаграм припису.

При проектуванні інформаційної системи створених технологій побудова семантичної моделі даних предметної області здійснювалась на підставі IDEF1-методології з використанням ER-діаграм Чена, компонентами яких є сутності, відношення між ними та їх атрибути. В семантичній моделі використано такі сутності, як АК, АП - "батьки"; та авіалінія, парк літаків, тип літака - "потомки". В розробленій інформаційній моделі сутності пов'язані між собою специфічними відношеннями ("один-до-одного") та неспецифічними ("один-до-багатьох"). При розробці баз даних інформаційного забезпечення локальних задач ППР керування розвитком авіамережі та АК модель даних нормалізувалась з збереженням цілності даних.

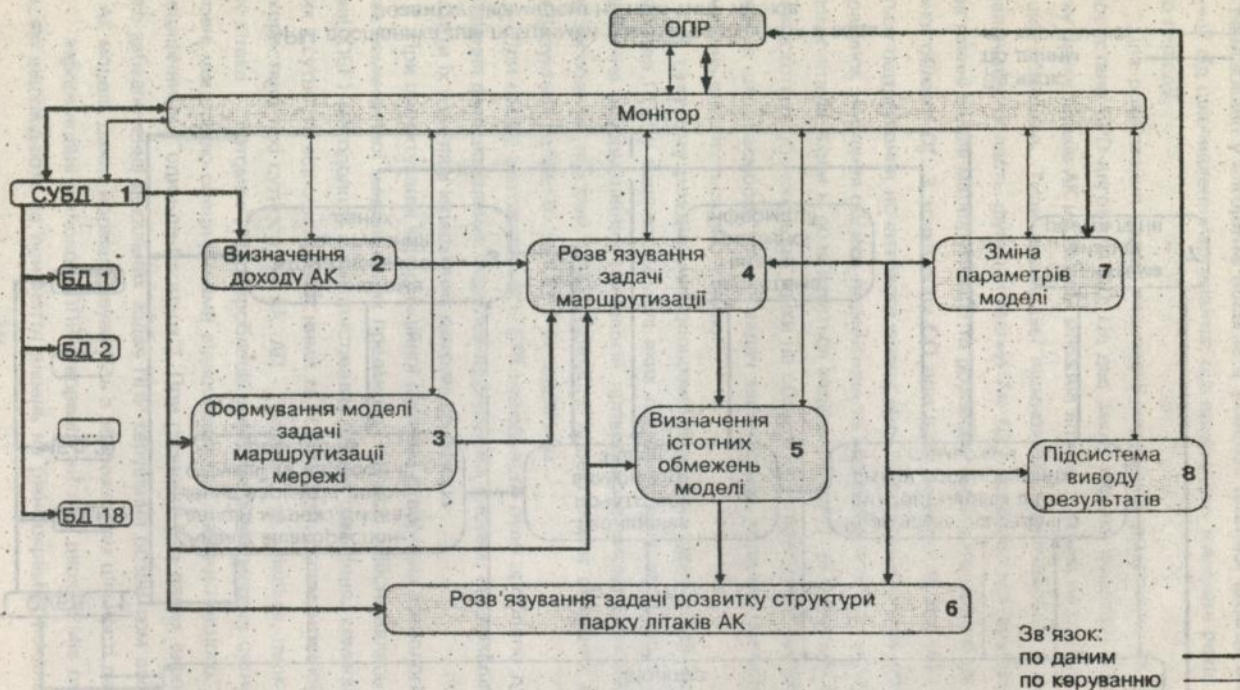
Інформаційні технології ППР створені у вигляді двох АРМів дослідників, які відповідають за прийняття рішень на рівні окремих локальних за-



АРМ дослідника для підтримки прийняття рішення в задачі розвитку авіамережі на нові типи літаків

Зв'язок:
по даним —————
по керуванню ————





APM дослідника для підтримки прийняття рішення в задачі оптимального функціонування та розвитку авіакомпанії

дач. Використання АРМів дає принципово нові можливості розв'язування задач: постановка задач в термінах досліджуваної предметної області; дружній інтерфейс при формуванні і розв'язанні проблемних задач з врахуванням дій особи, приймаючої рішення; багатомодельність і автоматизація процесів пошуку рішень на множині моделей; відображення та аналіз отриманих результатів в термінах предметної області.

АРМ дослідника для ППР при оцінці розвитку мережі АП (на прикладі аеродромних комплексів) складається з монітору і окремих програмних засобів, між якими забезпечується зв'язок по керуванню та даним. Програмне забезпечення реалізовано у середовищі операційної системи CMS VM/370.

АРМ дослідника для ППР оцінки функціонування і розвитку АК побудовано на RPD-алгоритмі CO в середовищі MS DOS для IBM PC/AT з використанням засобів СУБД Clipper і Clipper Tools One.

У четвертому розділі роботи наведено результати досліджень, які були отримані при розв'язанні локальних задач технології керування розвитком окремих функціональних підсистем в межах розподіленої ієрархічної системи ЦА.

Задача керування розвитком мережі АП на нові типи літаків (1)-(5) на плановому періоді 10 років розглядалась на тестовій інформації та на двох реальних мережах з 89 АП кожна, та 132 і 191 авіалініями відповідно. На деяких маршрутах треба було ввести в експлуатацію тип Іл-86, та на ряді інших - провести заміну типів Ту-134 на Ту-154. Досліджування проводились для різних варіантів обмежень на капіталовкладення та потужності будівельних підприємств. В таблицях та діаграмах, які містяться в цьому розділі, наведено результати розв'язання оптимізаційної задачі (плани розвитку мережі АП). Вони були використані у Державному науково-дослідному інституті ЦА при розробці плану розвитку перевезень на літаках Іл-86, а також при розробці Генеральної схеми польотів літаків Іл-96, Ту-204, Іл-86 до 2000 р.

Задача оптимального функціонування та розвитку АК (6)-(19) розв'язувалась на реальній інформації. Було розглянуто розклад руху літаків Узбекистану. Обсяги перевезень по авіалініям мережі склали директивну область D_0^d , вимірність якої складала 4810 обмежень на 4600 змінних. Область функціонування АК D_0 являла собою структуру парку літаків на початок планового періоду та мала вимірність 54 обмеження на 142 змінних.

Задача розглядалась на системі моделей в разі, коли $D_0^d \cap D_0 = 0$. Після розв'язання задачі маршрутизації до множини істотних обмежень увійшли такі типи літаків, як Іл-86, Ту-154, Як-40, та Ан-24. Таким чином, задача розвитку та формування структури парку літаків АК вирішувалась з точки зору закупівлі, узяття та здачі в аренду, подовження ресурсу саме цих типів, а також кредитів АК для розвитку. Результати розв'язання задачі наведено в таблицях та діаграмах, які містяться в цьому розділі.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. Сформовано структуру автоматизованої системи підтримки прийняття рішень при керуванні розвитком розподіленої ієрархічної системи ЦА. Запропонована структура ураховує ринкові умови господарювання і призначена для перехідного періоду від централізованого планування до розосередженого.

2. Розроблено модель підтримки прийняття рішень в локальній задачі керування розвитком мережі АП для обслуговування нових типів літаків.

3. Розроблено модель підтримки прийняття рішень в локальних задачах маршрутизації та керування розвитком АК.

4. Розроблено алгоритм спрямовуючих підмножин для розв'язування задачі керування розвитком мережі АП, який максимально ураховує специфіку задачі й дозволяє зменшити її початкову вимірність, та забезпечити спрямовуюче перебирання точок локальної області.

5. Реалізовано застосування RPD-алгоритму СО для сумісного розв'язування задач маршрутизації та формування структури парку літаків АК.

6. Створено два АРМи, які є продукцією нових інформаційних технологій, для підтримки прийняття рішень керування розвитком технічних засобів функціональних підсистем на різних рівнях ієрархічної системи ЦА.

7. Моделі, алгоритми СО та створені інформаційні технології для підтримки прийняття рішення в локальних задачах керування розвитком в межах розподіленої ієрархічної системи ЦА застосовані у головних науково-дослідних інститутах ЦА, Управліннях і окремих аеропортах ЦА.

8. Розроблений апарат має сферу прикладання, яка виходить за межі технологічних процесів на транспорті, і може бути ефективно використан для керування розвитком технічних засобів окремих функціональних

підсистем в межах розподілених техніко-економічних систем різного призначення.

Основні положення роботи відображені у таких публікаціях.

1) Гладкий П.М., Зелинский П.М., Маргания Ю.В., Чернышева Н. П. Решение задачи об оптимальном использовании самолетов для перевозки грузов // Вестн. Харьк. политехн. ин-та, N 199. Прикладная математика и процессы управления. - Харьков: Вища школа, 1983. - Вып. 3. С. 21-23.

2) Годлевский М.Д., Чернышева Н.П., Никифоров А.В. Алгоритм реконструкции сети аэродромов под старший тип с учетом ограничений на капитальные вложения // Вестн. Харьк. политехн. ин-та, N 220. Техн. кибернетика и ее прил. Харьков: Вища школа, 1985. - Вып. 5. - С. 32-34.

3) Доронина Т.И., Годлевский М.Д., Чернышева Н.П. Задача реконструкции сети аэродромов в динамической постановке с учетом ограничений на капитальные вложения // Труды ГосНИИ ГА, N 245. Вопросы совершенствования эффективности и управления производством гражданской авиации. - М.: ГосНИИ ГА, 1985. - С. 56-60.

4) Годлевский М.Д., Чернышева Н.П., Цыгулева С.П. Применение комбинаторных методов для решения задачи реконструкции сети аэродромов с учетом ограничений на капитальные вложения // Вестн. Харьк. политехн. ин-та, N 229. Техн. кибернетика и ее прил. Харьков: Вища школа, 1986. - Вып. 6. - С. 64-66.

5) Доронина Т.И., Годлевский М.Д., Чернышева Н.П. Разработка предложений к планам развития аэродромной сети с учетом перспективных планов движения самолетов // Тез. докл. Всесоюзной научно-технической конференции по современным проблемам проектирования, строительства и эксплуатации аэропортов. - М.: ГПИ и НИИ ГА Аэропроект, 1986. - С. 6-7.

6) Доронина Т.И., Годлевский М.Д., Чернышева Н.П. Формирование предложений к перспективным планам развития аэродромной сети гражданской авиации // Труды ГосНИИ ГА, N 245. Экономические вопросы развития гражданской авиации в новых условиях хозяйствования. - М.: ГосНИИ ГА, 1987. - С. 45-50.

7) Годлевский М.Д., Чернышева Н.П., Гавко В.Г. Обеспечение подготовки исходной информации для реконструкции аэродромов // Труды ГосНИИ ГА, N 269. Сооружения и оборудования аэропортов. - М.: ГПИ и НИИ ГА Аэропроект, 1987. - С. 3-6.

8) Чернышева Н.П. О возможности применения системной оптимизации для решения задачи реконструкции сети аэродромных комплексов // Вестн. Харьк. политехн. ин-та, N 263. Техн. кибернетика и ее прил. Харьков: Вища школа, 1989. - Вып. 9. - С. 37-40.

9) Чернышева Н.П., Годлевский М.Д. Совместная оптимизация развития сети аэродромных комплексов и плана движения воздушных судов на региональном уровне // Тез. докл. Всесоюзной научно-технической конференции "Методология создания и опыт эксплуатации АСУ в гражданской авиации" - Рига: ЦНИИ АСУ ГА, 1989. - С. 133-134

10) Годлевский М.Д., Чернышева Н.П. Модификация метода вектора спада применительно к задаче планирования развития транспортной системы // Труды ИК АН УССР "Численные методы и технология разработки пакетов прикладных программ" - Киев: Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова АН УССР, 1990 - С. 72-76

11) Годлевский М.Д., Чернышева Н.П. Оптимизационно-имитационный подход к развитию функциональных подсистем комплекса технических средств гражданской авиации // Вестн. Харьк. политехн. ин-та, N 277. Техн. кибернетика и ее прил. Харьков: Вища школа, 1990. - Вып. 10. - С. 54-57

12) Годлевский М.Д., Чернышева Н.П. Управление развитием авиакомпании на основе RPD-алгоритма системной оптимизации // Вестн. Харьк. политехн. ин-та, N 2. Техн. кибернетика и ее прил. Харьков: Вища школа, 1992. - Вып. 11. - С. 95-99.

13) Никифоров А.В., Чернышева Н.П. Формирование структуры комплекса технических средств транспортных узлов и предприятий на основе идеологии системной оптимизации и имитационного моделирования // Тезисы доклада Международной научно-технической конференции "Компьютер, наука, техника, технология, здоровье" - Украина, Харьковский политехнический институт, Венгрия Мишкольцкий университет, Харьков, 1993.

Підп. до друку *СЧ СЧ*. Формат 60×84^{1/2} мм. Папір *Т.м.*
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. *60*. Умовн. фарбо-підб. *1.У.* Облік-анд. арк. *10*. Тір. *100 пр.*
Зам. *466*

Харківське орендне поліграфічне підприємство.
310093 Харків, вул. Сверлова, 115.

4157472

AB 30.183

AB 30.183