

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

Литвиненко Олександр Євгенійович

УДК 62-50:007:656

**МЕТОДИ ВИРОБЛЕННЯ РІШЕНЬ В
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ОПЕРАТИВНОГО
УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ
АВІАПІДПРИЄМСТВ**

05.13.06 - автоматизовані системи
управління

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ - 1993

Лб 27.286

Роботу виконаю на кафедрі технічної кібернетики Київського інституту інженерів цивільної авіації.

Науковий консультант -

доктор технічних наук професор *Волков О. А.*

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук професор *Свиридов В. В.*

доктор технічних наук професор *Євдокимов А. Г.*

доктор технічних наук професор *Михайленко В. М.*

Провідна організація -

Інститут кібернетики АН України ім. В. М. Глушкова

Захист дисертації відбудеться " 21 " червня 1993 р.

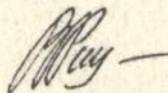
о 15-00 годині на засіданні спеціалізованої ради Д 068.14.07 по присудженню наукового ступеня доктора технічних наук при Київському політехнічному інституті.

Адреса: 252 056, м. Київ, пр. Перемоги, 37.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Київського політехнічного інституту.

Автореферат розіслано " 27 " квітня 1993 р.

зчений секретар
спеціалізованої ради



В. Д. Романенко

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00803116 (J)

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

АНОТАЦІЯ

Метою дисертаційної роботи є створення методів вироблення рішень в інтелектуальних системах оперативного управління транспортною діяльністю експлуатаційних підприємств цивільної авіації (авіапідприємств).

Досягнення цієї мети потребує розв'язання таких завдань:

- проведення системного аналізу об'єкту автоматизації, визначення мети, критеріїв, обмежень та функцій керування авіатранспортними процесами, визначення функціональної структури системи оперативного керування транспортною діяльністю авіапідприємства;
- дослідження існуючих систем управління транспортною діяльністю підприємств цивільної авіації і методів прийняття рішень в інтелектуальних системах управління;
- розробка інтелектуального методу керування складними організаційно-технічними об'єктами, до числа яких може бути віднесений фрагмент єдиної авіатранспортної системи, якого можна співставити з окремим авіапідприємством;
- інтерпретація розробленого методу керування складними об'єктами (системами) стосовно до проблеми оперативного керування транспортною діяльністю авіапідприємства;
- розробка методів оперативного коригування графіків обігу повітряних суден у відповідності з випадковим коливанням попиту на повітряні перевезення;
- розробка методів оперативного коригування графіків обігу повітряних суден у збійному стані авіатранспортної системи;
- реалізація розроблених методів вироблення рішень у складі автоматизованої системи оперативного керування транспортною діяльністю авіапідприємств.

На захист виносяться такі результати досліджень:

- інтелектуальний метод керування складними об'єктами (системами), який ґрунтується на використанні логічної моделі керування пропонуваної форми і передбачає вироблення управлінських рішень в результаті дослідження екстремальної комбінаторної задачі з нелінійною структурою;

- методи керування, що ґрунтуються на використанні спрощених логічних моделей, які виводяться з загальної форми у припущенні про незалежність способів керуючого впливу і формальну неподільність керованого об'єкту;
- інтерпретація інтелектуального методу керування складними об'єктами у застосуванні до проблеми оперативного управління транспортною діяльністю авіапідприємств;
- метод розв'язання екстремальних комбінаторних задач з нелінійною структурою, до яких зводяться задачі вироблення управлінських рішень відповідно до пропонованого методу керування складними об'єктами, а також деякі функціональні завдання оперативного керування транспортною діяльністю авіапідприємства;
- комбінаторний метод складання раціональних графіків обігу повітряних суден;
- метод складання графіків обігу повітряних суден з попередньою побудовою множини припустимих маршрутів руху;
- методи оперативного коригування графіків обігу повітряних суден у відповідності до змін попиту на повітряні перевозки;
- методи оперативного коригування графіків обігу повітряних суден у збійному стані авіатранспортної системи.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Інтенсифікація виробничих і технологічних процесів, підвищення їх складності і чутливості до випадкових факторів призводить до зростання складності задач керування і різкого збільшення обсягів інформації, яку необхідно переробити для прийняття обґрунтованого керівничого рішення. В цих умовах дійовим засобом підвищення ефективності виробництва є створення автоматизованих систем організаційного управління на базі сучасних інформаційних технологій і наукових методів вироблення керівничих рішень.

У повній мірі сказане стосується і цивільної авіації (ЦА), яка є складовою частиною єдиної транспортної системи держави. Збільшення обсягів транспортної роботи, підвищення складності авіаційної техніки і наземних засобів забезпечення польотів, зростання інтенсивності повітряного руху в умовах обмеженості різного роду ресурсів і перманентного піддавання авіатранспортної системи під вплив збурень стохастичного характеру робить автоматизацію керування виробничо-господарською і, насамперед, транспортною (основною) діяльністю ЦА об'єктивно необхідною. Створення автома-

тизованих систем управління (АСУ) транспортною роботою авіапідприємств є одним із засобів забезпечення безпеки, регулярності та економічності польотів, якості обслуговування пасажирів та клієнтури.

В галузевій АСУ ЦА, що існувала до недавнього часу і поширювала свою дію на більшу частину території колишнього СРСР, перевага віддавалась централізованому плануванню транспортної діяльності цивільної авіації з наступним узгодженням галузевих планів з регіональними органами управління. Функції АСУ підприємств ЦА обмислювались деталізацією планів, що приймалися на галузевому рівні, їх прив'язкою до конкретних об'єктів та календарних періодів, врахуванням результатів транспортної діяльності на власному літако-вертолітному парку, розрахунком показників виробничого плану та формуванням звітних документів. Функції оперативного управління транспортною роботою ЦА не були автоматизовані ні на одному з рівнів адміністративної структури галузі.

Ліквідація центральних органів управління, поява незалежних авіакомпаній, надання авіаційним підприємствам права самостійно користуватись власними ресурсами привело до необхідності створення якісно нових АСУ транспортною діяльністю авіапідприємств. Від попередніх аналогів ці системи повинні відрізнятися більш широким складом функціональних завдань, серед яких центральне місце повинні займати задачі планування і управління транспортною роботою, і наявністю могутнього математичного апарату їх розв'язання, який базується на оптимізаційних методах та теорії штучного інтелекту.

Особливу актуальність проблемі створення таких систем в наш час надає фінансова нестабільність на території СНД та гострий дефіцит різноманітних авіатransпортних ресурсів: авіаційного пального, повітряних суден, запасних частин, агрегатів, двигунів то що. В цих умовах гнучке планування та оперативне управління транспортною діяльністю може стати єдиним засобом, що забезпечує задоволення потреб у повітряних перевозках і досягнення потрібних показників виробничо-фінансового плану авіапідприємства.

Об'єктом дослідження є транспортна діяльність підприємств цивільної авіації, що розглядається як процес функціонування складного організаційно-технічного об'єкту.

Методи дослідження базуються на системному аналізі та дослідженні операцій, математичній логіці та теорії множин, математичному програмуванні та теорії штучного інтелекту.

Наукова новизна полягає в одержанні нових результатів досліджень:

- інтелектуального методу керування, який дозволяє на основі логічної моделі запропонованої форми виробляти комплексні керівничі рішення, реалізація яких здатна привести керуваній об'єкт в нормальний або максимально близький до нього стан з найменшими затратами;

- методів керування на основі спрощених логічних моделей, що виводяться із загальної у припущенні про незалежність способів керуючого впливу і формальну неподільність керованого об'єкту;
- інтерпретації створеного методу керування складними об'єктами стосовно до проблеми управління транспортною діяльністю авіапідприємства, яка дозволяє оперативно коригувати розклад руху повітряних суден у відповідності до випадкових коливань попиту на повітряні перевози;
- методу розв'язання екстремальних комбінаторних задач, математичні моделі яких мають добутки незалежних змінних;
- методу складання графіків обігу повітряних суден на основі оптимізаційної моделі комбінаторного типу;
- методу складання графіків обігу повітряних суден, який передбачає попереднє визначення припустимих маршрутів на оргграфі, що є ізоморфним сітці авіалінії;
- методів оперативного коригування графіків обігу повітряних суден з метою досягнення необхідної відповідності між попитом на повітряні перевози та пропозиціями авіатранспортних послуг;
- методів оперативного коригування графіків обігу повітряних суден, яке застосовується у збійних ситуаціях для стабілізації авіатранспортного процесу.

Практична цінність. Розроблені методи вироблення оперативних рішень по керуванню транспортною діяльністю авіапідприємств забезпечують досягнення максимального задоволення попиту на повітряні перевози в умовах його випадкових коливань, обмеженості різноманітних ресурсів та збурих впливів на авіатранспортний процес. Наслідком цього є збільшення виторгу, доходів та прибутку авіаційного підприємства від транспортної діяльності за рахунок зростання обсягів повітряних перевозок та підвищення рівня комерційного завантаження повітряних суден при виконанні регулярних рейсів.

Окремі результати досліджень можуть застосовуватись і поза сферою прикладних проблем цивільної авіації. Розроблені методи керування можуть бути використані у будь-якій кібернетичній системі, поведінка якої з достатньою точністю описується логічними виразами наведеної нижче форми. Той же математичний апарат може бути застосований і в експертних системах діагностики складних об'єктів.

Метод розв'язання екстремальних комбінаторних задач також є інваріантним відносно області застосування і може бути корисним, зокрема, в системах автоматизованого проектування.

Методи складання і коригування графіків обігу повітряних суден можуть бути використані в системах планування та оперативного управління основною виробничою діяльністю інших видів транспорту. Математичний апарат цих методів може бути використаний також для розв'язання деяких прикладних задач комбінаторного аналізу та теорії розкладів.

Реалізація результатів досліджень. Розроблені методи вироблення рішень складають математичну основу експертної системи керування транспортною діяльністю підприємств цивільної авіації, створеної на кафедрі технічної кібернетики КНЦА і впровадженій в експлуатацію в Іркутському, Ленінградському, Самаркандському та Чарджоуському авіапідприємствах. Методи складання та оперативного коригування графіків обігу повітряних суден у збірних ситуаціях впроваджено у вигляді автономного програмного комплексу у Вірменському УЦА.

Апробація роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на Всесоюзних науково-технічних конференціях "Методологія створення та досвід експлуатації АСУ в цивільній авіації" (м. Рига, 1987, 1989); I-IX звітних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу КНЦА (м. Київ, 1980-1988), Міжреспубліканському семінарі "Кібернетика в дослідженні операцій і керуванні навчальним процесом" (м. Рига, 1984); Другому болгаро-радянському науково-технічному семінарі "Автоматизація проєктування: проблеми спільних досліджень та підготовки кадрів" (м. Варна НРБ, 1989); семінарах Наукової ради по проблемі "Кібернетика" АН України.

Публікації. Основні результати досліджень опубліковані в 15 наукових працях, загальний обсяг яких 90 стор. м/и тексту, та учбовому посібникові, обсяг якого складає 5 д.л. Матеріали дисертації увійшли у звіти по НДР КНЦА по темах 590-В86 (1986-1988, держ. р. N 01.86.0071753), 660-В88 (1988-1990, держ. р. N 01.89.0000618), 806-В91 (1991-1992, держ. р. N 01.91.004785), 069-ГБ91 (1992, держ. р. N UA 01.000188P).

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, шести розділів, закінчення, списку використаної літератури та додатку. Робота викладена на 314 стор. основного тексту, має 7 малюнків та 5 таблиць. Список літератури складається із 270 найменувань.

У вступі обгрунтована актуальність теми, сформульована мета і завдання дослідження, описана структура дисертації та перелічені основні наукові результати, що виносяться на захист.

У першому розділі наведені результати системного аналізу об'єкту автоматизації (авіапідприємства), розглянуті існуючі АСУ транспортною діяльністю цивільної авіації та відомі методи вироблення рішень в інтелектуальних системах керування, викладена постановка задачі дослідження.

У другому розділі подано логічну модель керування складним об'єктом, описані способи її настройки на ситуацію та формування на її основі комбінаторної моделі задачі вироблення комплексного управлінського рішення.

У третьому розділі наведені спрощені моделі керування, що виводяться з загальної у припущенні про незалежність способів керуючого впливу та формальну неподільність керованого об'єкту, викладені способи їх використання для вироблення рішень.

У четвертому розділі описано метод розв'язання екстремальних комбінаторних задач з нелінійною та лінійною структурами, до яких зводяться задачі вироблення комплексних управлінських рішень на основі запропонованих моделей керування, а також деякі функціональні задачі оперативного керування транспортною діяльністю авіапідприємства.

У п'ятому розділі подані математичні методи складання оптимальних (раціональних) графіків обігу повітряних суден на основі структурного аналізу сітки авіаліній.

У шостому розділі наведена коротка характеристика реальної експертної системи керування транспортною діяльністю авіапідприємства, подана інтерпретація інтелектуального методу керування складними об'єктами стосовно до задачі оперативного керування повітряними перевезеннями, розглянуті методи оперативного коригування графіків обігу повітряних суден.

У закінченні сформульовані основні висновки та перелічені результати досліджень.

У додатку наведені акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

1. Оперативне керування транспортною діяльністю цивільної авіації передбачає виконання двох незалежних функцій, які, користуючись термінологією класичної теорії керування, можна назвати слідуючим керуванням повітряними перевозками та стабілізацією авіатransпортного процесу. Перша з них реалізується з метою підвищення рівня задоволення попиту на повітряні перевозки в умовах його випадкових коливань та обмеженості авіатransпортних ресурсів, друга - з метою мінімізації відхилень авіатransпортного процесу, якому притаманні різноманітні збурні впливи, від діючого розкладу руху повітряних суден.

Слідуюче керування повітряними перевозками передбачає оперативне коригування розкладу руху повітряних суден та норм продажу авіаквитків на складні рейси у відповідності до поточних змін обсягу та розподілу по часу доби попиту на авіанперевозки. Необхідність врахування багатьох різноманітних умов, складність функціональних залежностей, наявність ви-

підкових факторів та ін. робить проблему слідуючого керування повітряними перевозками такою, що слабо формалізується і вимагає застосування для її розв'язання нетрадиційних підходів, притаманних системам штучного інтелекту.

Відомі методи прийняття рішень в інтелектуальних системах управління мають ряд особливостей, що роблять їх неприйнятними у даному випадку. До таких особливостей слід віднести нецлеспрямованість алгоритмів логічного виведення, відсутність можливості оптимізації керівних впливів, складність відшукування неординарних рішень та ін. Тому для вирішення проблеми оперативного керування повітряними перевозками розроблено новий метод, який базується на таких твердженнях.

Транспортна діяльність авіапідприємства розглядається як процес функціонування деякого об'єкту керування - авіатранспортної системи, що співвідноситься з авіапідприємством. Він має організаційно-технічний характер і складається з множини різnorodних взаємопов'язаних елементів: аеро-портів, авіаліній, повітряних суден та ін. Керування (авіатранспортний) процес також складається з множини взаємодіючих елементарних підпроцесів - рейсів, тобто закінчених операцій переміщення повітряного судна по встановленому маршруту (авіалінії).

Маючи динамічний характер, об'єкт керування та кожен його елемент у будь-який момент часу знаходиться в одному з можливих станів. Характеристиками стану є показники виробничо-фінансового плану, що визначаються як для авіапідприємства в цілому, так і для окремих авіаліній, рейсів, типів повітряних суден. Такими показниками є рівні використання пасажиромісткості та вантажопідйомності повітряних суден, пасажирообіг, експлуатаційні тонокілометри, наліт годин, продуктивність польотів, витрати авіаційного пального, виторг, доходи і прибуток від транспортної діяльності.

Для кожного показника, що відноситься до авіатранспортної системи в цілому або до її окремого елемента, установлений (або легко обчислюється шляхом зведення підсумкового планового рівня до поточного моменту часу) діапазон допустимих значень. Якщо значення всіх показників кожного елемента і системи в цілому одночасно належать до власних допустимих діапазонів, то вважають, що об'єкт керування знаходиться у нормальному стані, в іншому випадку - в аномальному.

Необхідність керуючого впливу на об'єкт (процес) виникає кожного разу, коли він опиняється в аномальному стані. Завдання керування полягає в відшукуванні такого керуючого рішення, реалізація якого здатна привести керований об'єкт в нормальний або максимально близький до нього стан. Метод керування повинен відповідати таким вимогам:

- бути здатним знаходити комплексні управлінські рішення, що передбачають одночасну реалізацію визначеного набору елементарних керуючих операцій або способів керуючого впливу, які можуть бути спрямовані на різноманітні елементи об'єкту керування;

- враховувати при виробленні рішень можливі наслідки їх практичної реалізації, що виявляються у зміні значень характеристик стану об'єкту керування та його елементів;
- мати властивості повноти та цілеспрямованості;
- мати здатність оптимізувати управлінські рішення за заданими критеріями.

Будь-яка зміна розкладу руху повітряних суден потребує коригування їх графіків обігу. Ця задача досить добре формалізована і має яскраво виражений оптимізаційний характер. Її розв'язання повинне забезпечити своєчасне виконання всіх запланованих рейсів при мінімальній кількості повітряних суден, що вводяться в експлуатацію, і найменшій тривалості їх непродуктивних простоїв.

Функція стабілізації авіатранспортного процесу реалізується у збійних ситуаціях, коли своєчасне виконання запланованих рейсів стає неможливим через несприятливі метеоумови та інші збурні фактори. Рішення, які виробляються в подібних випадках, можуть передбачати коригування первісних маршрутів руху (графіків обігу) повітряних суден з метою мінімізації відхилень від розкладу, підвищення регулярності польотів, зниження кількості рейсів, які виконуються із запізненням, скорочення сумарного часу затримки рейсів, зменшення фінансових втрат авіапідприємства.

Виходячи з реческазаного, завдання даного дослідження формулюються таким чином:

- розробити інтелектуальний метод керування складними організаційно-технічними об'єктами (системами), здатний підтримувати їх у нормальному або максимально близькому до нього стані;
- інтерпретувати метод керування складними об'єктами до проблеми оперативного управління транспортною діяльністю авіапідприємства;
- розробити метод оперативного коригування графіків обігу повітряних суден у випадку зміни розкладу руху;
- розробити метод оперативного коригування графіків обігу повітряних суден у збійних ситуаціях.

В дисертації подана функціональна структура автоматизованої системи оперативного керування транспортною діяльністю авіапідприємства, описана технологія вироблення управлінських рішень.

2. Метод керування складними організаційно-технічними об'єктами (системами) ґрунтується на таких припущеннях.

Об'єкт керування (ОК) складається з n взаємодіючих елементів s_k , $k = \overline{1, n}$. Стан кожного з них в будь-який момент часу описується вектором значень характеристик ($z_j(s_k)$, $j = \overline{1, m_k}$). Деякі з них можуть бути точно виміряні або обчислені на основі вимірюваних параметрів керованого процесу, інші - лише нечітко визначені на рівні якісних оцінок.

В результаті опиту експертів для кожної характеристики $z_j(s_k)$ визначена множина $R_j(s_k)$ способів впливу на ОК, що призводить до зміни її значення. Якщо подібні зміни оцінюються нечіткими категоріями, то як їх кількісна міра вибираються константи, знаки яких вказують напрям, а модулі ступінь зміни значень характеристик стану ОК.

Кожний спосіб впливу на ОК може передбачати здійснення (одночасне, послідовне або послідовно-паралельне) деякого набору "елементарних" керуючих операцій, які застосовуються не тільки по відношенню до елемента s_k , що розглядається, але і до означеної підмножини пов'язаних з s_k інших елементів об'єкта керування.

Реалізація будь-якого способу впливу на ОК з метою зміни значення j -ї характеристики стану елемента s_k може потягти за собою зміну значень інших характеристик стану даного елемента, а також характеристик стану решти елементів ОК, що взаємодіють з ним, що розглядається.

Модель управління складним об'єктом, що побудована на основі даних припущень, являє собою систему логічних виразів такого вигляду:

$$Y_r^0 \ \& \ Y_r^1 \ \rightarrow \ F_r^0 \ \& \ F_r^1 \ \& \ F_r^2; \quad (1)$$

$$r \in R_j(s_k), \quad j = \overline{1, m_k}, \quad k = \overline{1, n};$$

$$\text{де} \quad Y_r^0 = \bigwedge_{i \in I_r(s_k)} [U_i(s_k) \ \& \ X_i(s_k)],$$

$$Y_r^1 = \bigwedge_{k_1 \in K_r^1} V_{r_1}(s_{k_1}) \ \bigwedge_{i \in I_r(s_{k_1})} [U_i(s_{k_1}) \ \& \ X_i(s_{k_1})],$$

$$F_r^0 = D(a_{r,0}),$$

$$F_r^1 = \bigwedge_{j_1 \in I_r(s_{k_1})} [P_{r,j_1} \rightarrow D(a_{r,j_1,k_1})],$$

$$F_r^2 = \bigwedge_{k_2 \in K_r^2} \bigwedge_{j_2 \in I_r(s_{k_2})} [Q_{r,j_2}(s_{k_2}) \rightarrow D(a_{r,j_2,k_2})];$$

тут $X_i(s_k)$ - висловлення, що описує i -у керуючу операцію, яка застосовується до k -го елементу;

$U_i(s_k)$ - висловлення, що відображує умову застосування цієї операції по відношенню до даного елементу;

$I_r(s_k)$ - множина керуючих операцій, що реалізуються відповідно до r -го способу впливу на ОК по відношенню до елементу s_k ;

$V_r(s_{k1})$ - висловлення, що описує характер та параметри зв'язку між елементами s_k та s_{k1} , які необхідні для реалізації r -го способу впливу на ОК;

K_r^1 - множина номерів взаємопов'язаних з s_k елементів ОК, по відношенню до яких r -й спосіб впливу передбачає застосування керуючих операцій;

$D(a_{rjk})$ - висловлення, що описує зміну значення характеристики $z_j(s_k)$ внаслідок реалізації r -го способу впливу на ОК;

a_{rjk} - константа, що конкретизує напрям та ступінь цієї зміни;

$P_{r,j1}$ - висловлення, що описує залежність між характеристиками $z_j(s_k)$ і $z_{j1}(s_k)$, при якій можлива побічна зміна значення останньої з них внаслідок реалізації r -го ($r \in R_j(s_k)$) способу впливу на ОК, $j \neq j1$;

$J_r(s_k)$ - множина номерів характеристик стану елементів s_k , які нарівні з $z_j(s_k)$ можуть змінювати свої значення внаслідок реалізації r -го способу впливу на ОК;

$Q_{r,j2}(s_{k2})$ - висловлення, що описує залежність між характеристиками $z_j(s_k)$ та $z_{j2}(s_{k2})$, при якій реалізація r -го способу впливу на ОК ($r \in R_j(s_k)$) призводить до побічної зміни значень останньої з них, $k \neq k2$;

K_r^2 - множина номерів взаємопов'язаних з s_k елементів ОК, характеристики стану яких можуть змінювати свої значення внаслідок реалізації r -го ($r \in R_j(s_k)$) способу керуючого впливу.

Вироблення управлінського рішення, здатного привести ОК в нормальний стан, полягає у відшуванні такої комбінації способів впливу на об'єкт (такого поєднання елементарних керуючих операцій), реалізація якої призведе б до потрібних змін значень характеристик стану ОК. Формально знайдене управлінське рішення описується кон'юнктом X , що задовольняє логічний вираз

$$X \rightarrow \bigwedge_{k=1}^n \bigwedge_{j=1}^m D(b_{jk}),$$

де $D(b_{jk})$ - просте висловлення, що відображує вимогу змінити або зберегти наявне значення характеристики $z_j(s_k)$;

b_{jk} - константа, що задає напрям та ступінь цієї зміни.

Перед розв'язанням цієї задачі здійснюється настройка загальної моделі (1) на конкретну ситуацію, що склалася в системі управління на момент прийняття рішення. Формально вона зводиться до визначення значень логічних висловлень $U_i(s_k)$, що описують припустимі умови застосування керуючих операцій, а також висловлень $V_i(s_k)$, P_{ij} та $Q_{ij}(s_k)$, що відображують структурні особливості об'єкта керування як цілісної множини взаємодіючих елементів. В результаті настройки моделі управління на ситуацію визначаються такі множини:

K^k - множина номерів елементів ОК, для яких у даній ситуації існують способи безпосередньої зміни значень характеристик стану;

I_k - множина керуючих операцій, які у ситуації, що склалася, можуть бути реалізовані по відношенню до k -го елемента об'єкта керування;

$R_j^{mn}(s_k)$ - множина способів керуючого впливу, які можуть бути реалізовані у даній ситуації для безпосередньої або посередньої зміни значень характеристики $z_j(s_k)$;

K^{mn} - множина номерів елементів ОК, характеристики стану яких можуть змінювати свої значення у ситуації, що склалася, під впливом прямих або непрямих способів керуючого впливу;

I_k^{mn} - множина номерів таких характеристик, що відносяться до k -го елемента ОК.

Припускається, що при одночасній реалізації двох і більше способів керуючого впливу результируючий напрям і ступінь зміни значення будь-якої характеристики стану ОК визначається сумою констант, що відображають напрям та ступінь зміни рівня даної характеристики кожним із способів, що реалізуються, зокрема.

Проблема керування організаційно-технічними об'єктами має комбінаторний та оптимізаційний характер. Для залучення до її розв'язання методів комбінаторної оптимізації необхідно кожному логічному висловленню $X_i(s_k)$, що описує i -у керуючу операцію стосовно до k -го елемента ОК, співставити бульову змінну $x_{ik} \in \{0,1\}$. Це дозволяє звести задачу вироблення управлінського рішення до дослідження комбінаторної моделі, основою якої складає система двосторонніх нерівностей.

$$b_k - e''_k \leq f_k(x) \leq b_k + e''_k, \quad j \in J_k, k \in K^m; \quad (2)$$

$$\text{тут} \quad f_k(x) = \sum_{r \in R_k^*(x_k)} a_{rjk} \prod_{i \in K} \prod_{i \in I_k} x_{ik};$$

K_r - множина номерів елементів ОК, по відношенні до яких передбачається застосування керуючих операцій відповідно до r -го способу впливу на об'єкт;

e'_k та e''_k - гранично припустимі відхилення фактичного значення характеристики $z_k(s_k)$ від потрібного.

Вектор x^* значень булевих змінних x_{ik} , $i \in I_k, k \in K^m$, що задовольняє систему нерівностей (2), визначає шукане управлінське рішення, здатне привести ОК в нормальний стан:

$$X = \bigwedge_{i \in K^m} \bigwedge_{i \in I_k} X_k(s_k) \bigwedge_{i \in I_k} X_k(s_k) \quad (3)$$

де I_k^1 та I_k^0 - підмножини керуючих операцій, які підлягають і не підлягають, відповідно, реалізації по відношенню до k -го елемента об'єкту керування:

$$I_k^1 = \{i \in I_k : x_{ik}^* = 1\}, \quad I_k^0 = \{i \in I_k : x_{ik}^* = 0\}. \quad (4)$$

Множина способів керуючого впливу, які необхідно реалізувати для приведення ОК в нормальний стан, визначається по формулі:

$$R(X) = \{r : (\forall k \in K_r) \{I_k(s_k) \subseteq I_k^1\}\}.$$

Несумісність системи (2) при умові бівалентності незалежних змінних означає, що привести ОК в нормальний стан передбаченими моделлю (1) засобами в ситуації, що склалася, неможливо. У подібних випадках перед системою керування може бути поставлена мета максимально наблизити стан ОК до нормального.

Нехай \bar{K} - множина номерів елементів ОК, характеристики стану яких не можуть бути доведені до потрібних рівнів, а \bar{J}_k - множина номерів таких характеристик, що відносяться до k -го елемента об'єкту керування.

Комбінаторна модель задачі вироблення управлінського рішення, здатного максимально наблизити ОК до нормального стану, має в собі:

- набір цільових функцій $f_k(x)$, $j \in \bar{J}_k, k \in \bar{K}$, що прагнуть до мінімуму, якщо значення відповідної характеристики стану потрібно зменшити, або до максимуму, якщо - збільшити;

— систему обмежень, утворену із двосторонніх нерівностей виду (2), сформованих для таких діапазонів значень параметрів k та j :

$$(k \in K^{nm} \setminus \bar{K}, j \in J_k^{nm}), (k \in \bar{K} \setminus \bar{K}, j \in J_k^{nm} \setminus \bar{J}_k),$$

де $\bar{K} = \{k \in \bar{K} : J_k^{nm} = \bar{J}_k\}$.

Наявність кількох цільових функцій робить задачу наближення ОК до нормального стану задачею векторної оптимізації. Згідно з принципом оптимальності по Парето вона перетворюється на однокритеріальну форму. Як критеріальна функція виступає або зважена сума цільових функцій $f_k(x)$, $j \in \bar{J}_k$, $k \in \bar{K}$, або одна з них при обмеженні значень решти.

Комбінаторна модель задачі вироблення управлінського рішення може мати також такі компоненти:

- критеріальну функцію, значення якої характеризують величину фінансових та інших витрат на реалізацію керуючих операцій або способів впливу на об'єкт керування;
- критеріальну функцію, що відображує ступінь переваги (пріоритети) керуючих операцій або способів керуючого впливу;
- обмеження на витрати різного роду ресурсів, необхідних для практичної реалізації керуючих операцій;
- обмеження на кількість випадків застосування тієї або іншої керуючої операції та ін.

Перетворена до однокритеріальної форми задача вироблення управлінського рішення на основі логічної моделі керування (1) зводиться до виду екстремальних комбінаторних задач з нелінійною структурою. Вектор x^* значень булевих змінних x_{ik} , $i \in I_k$, $k \in K^n$, що задовольняє формальну постановку задачі, визначає згідно з виразами (3) - (4) шукане управлінське рішення X , що приводить ОК в нормальний або максимально близький до нього стан.

3. Модель управління (1) та, відповідно, процедура вироблення рішення можуть бути спрощені, якщо виконуються (разом чи зокрема) умови взаємної незалежності способів керуючого впливу та формальної неподільності об'єкту керування.

Перша з них означає, що серед множини способів управління немає двох таких, які передбачають застосування єдиної керуючої операції по відношенні до одного й того ж об'єкту керування. В подібних випадках ліву частину (Y_i^0 & Y_i^1) моделі (1) можна подати у вигляді кон'юнкції $U_i \& X_i$, де X_i - складне висловлення, що описує інтегративну керуючу операцію, яка реалізується відповідно до g -го способу впливу на ОК, а

U , - складне висловлення, що конкретизує всю сукупність умов її практичного застосування. Це дозволяє перетворити задачу вироблення управлінського рішення, здатного привести або максимально наблизити ОК до нормального стану, у лінійну форму екстремальних комбінаторних задач.

Умова формальної неподільності об'єкту керування виявляється у тому, що керуючі операції, передбачувані кожним способом впливу на ОК, застосовуються до єдиного елементу керованого об'єкту, а наслідки практичної реалізації будь-якого з таких способів виявляються у зміні значень характеристик стану єдиного елементу ОК.

Виконання цієї умови означає, що постановка задачі керування дозволяє розглядати ОК як такий, що складається або з одного елемента, або з множини елементів, взаємні зв'язки яких можна знехтувати. Отже, задача керування може розв'язуватись для керованого об'єкту в цілому або для кожного його елементу окремо. В останньому випадку роль ОК грає один із його елементів, що розглядається ізольовано від інших. Це дозволяє виключити з моделі керування (1) вказівники елементів керованого об'єкту і вважати, що керуючі операції застосовуються до ОК в цілому, а його стан визначається значеннями узагальнених характеристик.

Модель управління формально неподільним об'єктом виводиться із загальної моделі (1) у припущенні, що для кожного g -го способу керуючого впливу $K_g^1 = \emptyset$ та $K_g^2 = \emptyset$. Задача вироблення управлінського рішення перетворюється до виду екстремальних комбінаторних задач з нелінійною структурою (якщо одночасно з умовою формальної неподільності ОК не виконується умова незалежності способів керуючого впливу). Але порівняно з загальним випадком вона відрізняється меншою вимірністю та простотою функціональних зв'язків.

4. Після виконання необхідних перетворень задача вироблення управлінського рішення на основі моделі керування (1) формулюється таким чином: максимізувати критеріальну функцію

$$f(x) = \sum_{r \in R_0} c_r \varphi_r(x) \quad (5)$$

при дотриманні обмежень

$$\sum_{r \in R_j} a_{jr} \varphi_r(x) \leq b_j, \quad j = \overline{1, n}; \quad (6)$$

де $\varphi_i(x) = \prod_{i \in I_i} x_i$; $x_i \in \{0, 1\}$, $i = \overline{1, m}$.

Тут R_0 та R_j - множини номерів функцій $\varphi_r(x)$, що входять відповідно в критеріальну функцію та j -е обмеження задачі; I_r - множина номерів шуканих змінних, добуток яких утворює функцію $\varphi_r(x)$; a_{jr} , b_j , c_r - дійсні числа.

Для розв'язання задач класу (5) - (6) розроблено метод, що ґрунтується на відомій ідеї напрямленого перебору варіантів. Він полягає у послідовному дробленні множини варіантів розв'язання задачі, яке проводиться доти, доки не установлюється оптимальний план x^* або факт несумісності системи обмежень.

Розбиття множини варіантів розв'язання задачі (або будь-якої її підмножини) на дві неперетинні підмножини меншої потужності здійснюється шляхом фіксації значень однієї з незалежних змінних. Для подальшого розбиття на кожному етапі розв'язання задачі вибирається така підмножина варіантів, якій відповідає максимальна оцінка критеріальної функції. Одержувані внаслідок розбиття нові підмножини варіантів зазнають формального аналізу з метою виявлення підмножин, в яких немає припустимих планів; обмежень, що перестали бути активними по відношенню до планів підмножин, які аналізуються; незалежних змінних, які у припустимих доповнюючих планах даної підмножини можуть приймати строго визначені значення.

Припустимо, у повній множині G варіантів виділено L підмножин G_k , $k=1, \bar{L}$, що не перетинаються і містять в собі припустимі плани.

Оцінкою $\xi(G_k)$ критеріальної функції на k -й підмножині варіантів є максимальне значення $f(x)$, $x \in G_k$, обчислене при додержанні необхідної умови існування розв'язків системи нерівностей (6) для бівалентних незалежних змінних. Ця умова виражається у вигляді двостороннього обмеження, що накладається на кількість незалежних змінних, які у доповнюючих планах даної підмножини можуть приймати значення одиниці.

Аналіз підмножини варіантів полягає у визначенні їх властивостей, які можуть бути використані для звуження області пошуку розв'язків задачі, скорочення кількості кроків алгоритму, що приводять до скінченного результату, зменшення об'ємів інформації, яка опрацьовується на кожному етапі обчислювального процесу.

Властивості будь-якої підмножини варіантів визначаються властивостями нерівностей, які входять у відповідну систему обмежень, що виводяться із початкової системи (6) шляхом підставлення в неї часткового плану даної підмножини.

Нехай I_k - множина номерів незалежних змінних, значення яких в планах k -ї підмножини варіантів не зафіксовані; J_k - множина номерів обмежень, активних по відношенню до планів підмножини G_k ; R_k - множина номерів функцій $\varphi_r(x)$, $r \in R_k$, що не перетворюються частковим планом підмножини G_k в константу; R_k^1 - множина номерів функцій $\varphi_r(x)$, $r \in R_k$, що отримали в планах k -ї підмножини варіантів значення одиниці.

На множині R_k виділяються такі підмножини:

$$R_k^2 = \{r \in R_k : a_r < 0\}, \quad R_k^3 = \{r \in R_k : a_r > 0\}.$$

$$R_{jk}^1(r') = \{r'\} \cup \{r \in R_{jk}^2 : a_p \leq a_{p'}\},$$

$$R_{jk}^2(r'') = \{r''\} \cup \{r \in R_{jk}^3 : a_p \geq a_{p''}\},$$

$$R_{jk}^3(r') = \{r \in R_{jk}^4 : I_{rk} \subseteq I_{jk}^4(r')\},$$

$$R_{jk}^4(r'') = \{r \in R_{jk}^5(r'') : |J_{rk}| = 1\},$$

$$R_{jk}^5(r'') = \{r \in R_{jk}^6 : I_{rk} \cap I_{jk}^5(r'') \neq \emptyset\};$$

$$\text{тут } I_{rk} = I_r \cap I_k; \quad I_{jk}^v(r') = \bigcup_{r \in R_{jk}^v(r')} I_{rk}, \quad v \in \{2,5\}.$$

$$\text{Нехай також} \quad \varphi_{rk}(x) = \prod_{i \in I_{rk}} x_i; \quad b_{jk} = b_j - \sum_{r \in R_{jk}^1} a_{p'};$$

$$s_{jk}^v = \sum_{r \in R_{jk}^v} a_{p'}, \quad s_{jk}^v(r') = \sum_{r \in R_{jk}^v(r')} a_{p'}; \quad v \in \{2,3,4,5,6\}.$$

Властивості k-ї підмножини варіантів формулюються у вигляді чотирьох тверджень.

ТВЕРДЖЕННЯ 1. Підмножина G_k не містить в собі припустимих планів, якщо для деякого $j \in J_k$ виконується умова

$$\begin{aligned} & (R_{jk}^1 = \emptyset) \ \& \ (b_{jk} < 0) \ \vee \ (R_{jk}^2 \neq \emptyset) \ \& \ (s_{jk}^2 > b_{jk}) \ \vee \\ & \vee \ (R_{jk}^3 \neq \emptyset) \ \& \ (\exists r' \in R_{jk}^3) \{ [R_{jk}^4(r') \neq \emptyset] \ \& \\ & \quad \& \ (s_{jk}^3 - a_{p'} > b_{jk}) \ \& \ [s_{jk}^3 + s_{jk}^4(r') > b_{jk}] \} \ \vee \\ & \vee \ (R_{jk}^5 \neq \emptyset) \ \& \ (\exists r'' \in R_{jk}^5) \{ [R_{jk}^6(r'') \neq \emptyset] \ \& \\ & \quad \& \ (s_{jk}^5 + a_{p''} > b_{jk}) \ \& \ [s_{jk}^5 - s_{jk}^6(r'') > b_{jk}] \} . \end{aligned}$$

ТВЕРДЖЕННЯ 2. Обмеження $j \in J_k$ не є активним по відношенню до планів підмножини G_k , якщо

$$(R_{jk}^1 = \emptyset) \ \& \ (b_{jk} \geq 0) \ \vee \ (R_{jk}^2 \neq \emptyset) \ \& \ (s_{jk}^2 \leq b_{jk}).$$

ТВЕРДЖЕННЯ 3. Якщо $R_{jk}^2 \neq \emptyset$ ($j \in J_k$) і для деякого $r' \in R_{jk}^2$ виконується умова

$$[R_{jk}^4(r') = \emptyset] \ \& \ (s_{jk}^2 \leq b_{jk} \leq s_{jk}^2 - a_{p'}) \ \vee$$

$$\forall \{R_k^1(r) \neq \emptyset\} \& \{s_k^2 + s_k^1(r) \leq b_k < s_k^2 - a_r\},$$

то з доповнюючих планів підмножини G_k припустимими можуть бути лише ті, в яких

$$\{\forall r \in R_k^1(r')\} \{\varphi_k(x) = 1\}.$$

ТВЕРДЖЕННЯ 4. Якщо $R_k^3 \neq \emptyset$ ($j \in J_k$) і для деякого $r'' \in R_k^3$ виконується умова

$$(R_k^2 = \emptyset) \& (0 \leq b_k < a_{r''}) \forall$$

$$\forall (R_k^3 \neq \emptyset) \& \{R_k^1(r'') = \emptyset\} \& \{s_k^2 \leq b_k < s_k^2 + a_{r''}\} \forall$$

$$\forall \{R_k^3(r'') \neq \emptyset\} \& \{s_k^2 - s_k^1(r'') \leq b_k < s_k^2 + a_{r''}\},$$

то із доповнюючих планів підмножини G_k припустимими можуть бути лише ті, в яких

$$\{\forall r \in R_k^3(r'')\} \{\varphi_k(x) = 0\}.$$

Процедура аналізу підмножини варіантів полягає у почерговій перевірці умов кожного з сформульованих тверджень для всіх активних обмежень, приведених у відповідність до підмножини, що піддається аналізу. В залежності від результатів цієї перевірки здійснюється та або інша послідовність дій, адекватних визначенню властивостей системи нерівностей: виключення з подальшого розгляду підмножин, які не містять в собі припустимих планів, та обмежень, які перестали бути активними по відношенню до планів підмножини, що піддається аналізу; присвоєння незалежним змінним єдино можливих значень тощо.

Припустимо, на деякому етапі розв'язання задачі (5) - (6) одержано підмножину G^* припустимих планів. Якщо серед них є такий план x^* що

$$f(x^*) = \max \{f(x), x \in G^*\} \geq \max \{\xi(G_k), k \in \overline{1, L}\},$$

то він є оптимальним розв'язком задачі.

Метод розв'язання екстремальних комбінаторних задач з лінійною структурою виводиться з описаного вище у припущенні, що $(\forall r)(|I_r| = 1)$.

5. Рішення, що виробляються в системах оперативного керування транспортною діяльністю авіапідприємств, у більшості випадків потребують коригування спершу складених графіків обігу повітряних суден (ГОС). Для цього застосовуються математичні методи, які є розвитком методів складення ГОС.

ГОС складаються для умовної доби на основі аналізу структури сітки авіаліній та плану руху повітряних суден (ПРС). Сітка авіаліній з накладенням на неї добовим ПРС моделюється орієнтованим графом, у якому вершини з'являються з аеропортами, а дуги - з рейсами. Моделюючий граф описується сім'єю вузлових підмножин дуг. Результатом структурного аналізу сітки авіаліній та плану руху повітряних суден є визначення різноманітних параметрів та множин, необхідних для формалізації задачі складення ГОС.

Критеріями оптимальності графіків обігу можуть бути економічні критерії транспортної діяльності авіапідприємства, які (за винятком витрат на повітряні перевози) в кінцевому рахунку визначаються рівнем комерційного завантаження повітряних суден при виконанні рейсів. В умовах конкуренції інших видів транспорту і порівняно високих авіатransпортних тарифів цей рівень (при фіксованому ПРС, який складено у відповідності з прогнозом попиту на повітряні перевози) залежить від того, наскільки розклад руху повітряних суден зручний для потенціальних пасажирів. Кількісною оцінкою цієї зручності може бути ступінь збігу розподілу по часу попиту на повітряні перевози та пропозиції авіатransпортних послуг.

Розподіл попиту на повітряні перевози вздовж g -го зв'язку авіатransпортної сітки задається на відрітку часу $[a, \omega]$ функцією щільності попиту $\Phi_g(t)$. Розподіл пропозиції авіатransпортних послуг визначається часом початку виконання рейсів вздовж зв'язків авіатransпортної сітки з врахуванням вантажонідоємності (пасажиромісткості) повітряних суден.

В дисертації подано два методи складення ГОС. Перший з них (комбінаторний) передбачає використання математичної моделі, в якій незалежними величинами є буліві змінні, що описують маршрути руху повітряних суден, та неперервні змінні, що характеризують тривалість непродуктивних простоїв повітряних суден перед виконанням рейсів. У сукупності значення цих змінних, які устанавлюються внаслідок розв'язання задачі, визначають шукані графіки обігу і, таким чином, розклад руху повітряних суден.

Коефіцієнт пасажирського завантаження повітряного судна обчислюється як відношення кількості перевезених пасажирів до кількості наданих для цього місць. Імовірна кількість пасажирів, які будуть перевезені i -м рейсом вздовж g -го зв'язку авіатransпортної сітки, визначається як $\min\{p_{ig}, \xi_{ig}\}$, де p_{ig} - кількість пасажирських місць, а ξ_{ig} - об'єм попиту на пасажирські перевози i -м рейсом вздовж g -го зв'язку, який обчислюється з врахуванням розподілу попиту у часі:

$$\xi_{ir} = \sigma_r \int_{\alpha_r}^{\omega_r} \Phi_r(t) dt / \int_{\alpha_r}^{\omega_r} \Phi_r(t) dt ;$$

тут σ_r - об'єм попиту на пасажирські перевозики вздовж r -го зв'язку авіатранспортної сітки; α_r та ω_r - межі зони попиту на i -й рейс у початковому аеропорту r -го зв'язку, які визначаються часом початку виконання даного рейсу.

Складність функціональної залежності рівня пасажирського завантаження повітряних суден від часу початку виконання рейсів не дозволяє пов'язати економічні критерії транспортної діяльності авіапідприємства безпосередньо з незалежними змінними, що описують графіки обігу, досить простими аналітичними виразами, які могли б бути використані як критеріальні функції. Тому в математичну модель задачі складання ГОС вводяться обмеження на час початку виконання рейсів, дотримання яких сприяє досягненню потрібного рівня пасажирського завантаження повітряних суден.

У математичну модель входять також критеріальні функції, що дозволяють оптимізувати ГОС по кількості повітряних суден, які необхідно ввести в експлуатацію для виконання всіх запланованих рейсів, та сумарної тривалості непродуктивних міжрейсових простоїв повітряних суден. В систему обмежень входять співвідношення, які:

- забезпечують включення кожного із запланованих рейсів у графік обігу одного з повітряних суден;
- відображують вимогу, щоб маршрут руху кожного повітряного судна складався з припустимої кількості рейсів;
- забезпечують неперервність маршрутів руху повітряних суден;
- відображують вимогу, щоб кожна позиція у графіку обігу повітряного судна була зайнята не більш ніж одним рейсом;
- лімітують наліт годин та тривалість експлуатації кожного повітряного судна;
- задають потрібні інтервали часу між моментами проходження повітряними суднами точок перетину повітряних трас;
- накладаються на час початку та закінчення виконання рейсів режимом роботи аеропортів.

Згідно з методом, що розглядається, задача побудови ГОС декомпонується на дві задачі, які розв'язуються послідовно: побудову маршрутів руху повітряних суден та призначення часу початку виконання рейсів. Перша з них зводиться до виду екстремальних комбінаторних задач з нелінійною структурою і розв'язується описаним раніше методом. Задача призначення

часу початку виконання рейсів формується як задача кусково-лінійного програмування, але шляхом введення додаткових логічних змінних перетворюється до стандартного виду задач лінійної частково-цілочисельної оптимізації. Для її розв'язання використовується метод, утворений внаслідок злиття методів напрямленого перебору варіантів та симплексного алгоритму.

Другий метод складання ГОС передбачає попереднє формування для кожного повітряного судна множини припустимих маршрутів руху, які задовольняють обмеження по нальоту години та тривалості його експлуатації. Для цього використовується спеціально розроблений метод побудови маршрутів заданої довжини на зорієнтованому графі, що моделює сітку авіаліній з накладеним на неї добором ПРС. Далі для кожного повітряного судна вибирається один з припустимих маршрутів руху. Задача вибору маршрутів формується як екстремальна комбінаторна задача з лінійною структурою і розв'язується описаним раніше методом, модифікованим у розрахунок на лінійну форму математичної моделі. Після цього розв'язується задача призначення часу початку виконання рейсів, що зводиться, як і в першому випадку, до стандартного виду задач лінійного частково-цілочисельного програмування.

Математичні моделі оптимізаційних задач, що розв'язуються згідно з другим методом складання ГОС, містять критеріальні функції та обмеження, аналогічні тим, які були названі при розгляді комбінаторного методу. Попереднє виділення припустимих маршрутів дозволяє скоротити вимірність цих задач та описувати графіки обігу повітряних суден меншою кількістю змінних: логічними, що визначають вибір маршрутів руху, та неперервними, що характеризують тривалість непродуктивних простоїв повітряних суден перед виконанням рейсів. Однак при великій кількості рейсів виділення всіх припустимих маршрутів руху повітряних суден може вимагати надміру великих витрат машинного часу.

6. Метод керування складними об'єктами є теоритичною базою методу оперативного управління повітряними перевозками. Як елементи об'єкта керування, до яких застосовуються керуючі операції, розглядаються регулярні рейси, що виконуються повітряними суднами авіа підприємства. Оперативні рішення по керуванню повітряними перевозками виробляються на умовний (тобто не "прив'язаний" до календарних дат) тиждень - одиницю часу, на яку проектується розклад руху повітряних суден.

Модель управління повітряними перевозками складається з логічних виразів типу $Y_n \rightarrow F_n$, де Y_n - складне висловлення, яке описує n -й засіб керуючого впливу на авіатранспортну систему і умова її використання; F_n - складне висловлення, яке відображає зміну значень показників транспортної діяльності авіа підприємства в результаті практичної реалізації даного засобу.

Способи керуючого впливу на авіатранспортну систему можна поділити на три групи. В першу групу входять ті з них, котрі передбачають одночасне застосування керуючої операції по відношенню до пари рейсів

- прямого й зворотного - і поширюють свою дію на умовний тиждень в цілому. Ця група об'єднує способи керуючого впливу, пов'язані з відміною рейсів та відсіченням далеких ділянок повітряних ліній.

Другу групу утворюють способи, які також потребують застосування керуючої операції одночасно по відношенню до прямого й зворотного рейсів, але поширюють свою дію лише на конкретний день тижня. До їх числа належать способи управлінського впливу, які передбачають зміну частоти виконання рейсів, заміну типу повітряного судна, введення додаткових рейсів.

Третю групу складають способи, які передбачають застосування керуючих операцій по відношенню до окремих рейсів (як прямих, так і зворотних) і поширюють свою дію на умовний тиждень в цілому. В цю групу входять способи керуючого впливу, пов'язані зі зміною часу початку виконання рейсів, виключенням з маршруту пунктів проміжної посадки, коригуванням норм продажу авіаквитків.

Згідно з приведеною класифікацією в моделі керування повітряними перевозками для виразу Y_m використовуються три такі форми:

$$Y_m^1 = [U_m(i) \& X_m(i)] \& V_m(i) \& [U_m(i') \& X_m(i')],$$

$$Y_m^2 = [U_m^n(i) \& X_m(i)] \& V_m^n(i) \& [U_m^n(i') \& X_m^n(i')],$$

$$Y_m^3 = [U_m(i) \& X_m(i)];$$

тут i та i' - номери прямого і зворотного йому рейсів відповідно; n та n' - номери днів умовної доби, коли вони виконуються; $X_m(i)$ та $X_m^n(i)$ - висловлення, що конкретизують m -у керуючу операцію у відношенні до i -го рейсу, яка розповсюджується, відповідно, на умовну добу в цілому та її n -й день зокрема; $U_m(i)$ та $U_m^n(i)$ - висловлення, що визначають припустимі умови використання такої операції; $V_m(i)$ та $V_m^n(i)$ - висловлення, які описують відношення між рейсами i та i' , необхідні для реалізації даного засобу керуючого впливу.

Для формування комбінаторної моделі задачі вироблення керівних рішень кожному логічному висловленню $X_m(i)$ ставиться у відповідність буліва змінна $x_{mi} \in \{0,1\}$, а висловленню $X_m^n(i)$ - змінна $x_{mi}^n \in \{0,1\}$. Основу такої моделі складає система рівнянь і нерівностей

$$\sum_{k \in K_j} \sum_{m \in M_k} y_{mj}(x) \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} b_j, \quad j \in J;$$

де J - множина номерів показників виробничо-фінансового плану авіапідприємства; K_j - множина номерів груп способів керуючого впливу, які можуть бути реалізовані в даній ситуації для зміни значення j -го показника; M_d - множина номерів таких способів, які входять в k -у групу; b_j - константа, яка характеризує потрібний приріст j -го показника; $U_{mjd}(x)$ - функція булевих змінних, значення якої характеризують можливі прирости j -го показника внаслідок реалізації m -го засобу керуючого впливу k -ї групи.

В математичну модель задачі вироблення оперативних рішень по керуванню повітряними перевозками входять також обмеження, які:

- забезпечують адекватне попарне поєднання прямих та зворотних рейсів, по відношенню до яких одночасно застосовуються керуючі операції першої та другої груп;
- встановлюють граничні значення лімітованих показників (заліт годин, витрати пального);
- задають припустимі діапазони сумарних приростів об'ємів авіатранспортних послуг на повітряних зв'язках сітки авіаліній та ін.

Модель може мати також цільові функції, що дозволяють оптимізувати шукане управлінське рішення по одному або кількох показниках транспортної діяльності авіапідприємства.

Задача вироблення оперативних рішень по управлінню повітряними перевозками перетворюється до виду екстремальних комбінаторних задач і розв'язується з допомогою описаного раніше методу. Вектор значень булевих змінних, що задовольняє формальку постановки задачі, задає склад керуючих операцій, які необхідно реалізувати відносно визначених рейсів для досягнення потрібних результатів транспортної діяльності авіапідприємства.

Якщо управлінське рішення передбачає зміну первинної кількості або часу початку виконання рейсів, зміну титу повітряного судна або відтинання ділянок авіаліній, відбувається коригування графіків обігу повітряних суден. Для цього використовуються ті методи, що і для складання ГОС, але базові математичні моделі доповнюються групами обмежень, які:

- фіксують передбачений розкладом час початку виконання рейсів, яких не зачіпають зміни, що вносяться;
- забезпечують потрібну узгодженість між часовими параметрами рейсів з фіксованими і невизначеними поки термінами виконання.

Аналогічні методи використовуються і для коригування графіків обігу повітряних суден у збійних ситуаціях. В цьому випадку в базові математичні моделі вносяться такі обмеження, які:

- фіксують передбачений розкладом час початку виконання рейсів, на які збійна ситуація не поширюється;
- задають найбільш ранній (що прогнозується) термін початку виконання решти рейсів;
- забезпечують потрібне узгодження між часовими параметрами рейсів, що виконуються за розкладом і з відхиленнями від нього.

У вигляді критеріальної функції використовується зважена сума відхилень скоригованих моментів початку виконання рейсів від передбачених розкладом руху повітряних суден.

Зміни, що вносяться в базові математичні моделі, не змінюють класу задач та алгоритмів їх розв'язання.

Розроблені методи вироблення рішень реалізовані в автоматизованій системі оперативного управління транспортною діяльністю авіапідприємств, яка створена на кафедрі технічної кібернетики Київського інституту інженерів цивільної авіації.

Система здійснює облік транспортної діяльності авіапідприємства, розрахунок показників виробничо-фінансового плану, формування звітних документів, аналіз авіатранспортних процесів, вироблення оперативних рішень по керуванню транспортною роботою експлуатаційного підприємства цивільної авіації.

Система являє собою ієрархічно організовану сукупність взаємопов'язаних автоматизованих робочих місць (АРМ) трьох типів: АРМ керівника авіапідприємства, АРМ інженера планово-економічного відділу, АРМ техніка служби організації перевозок.

Технічною базою системи є локальна сітка персональних комп'ютерів IBM PC AT. При необхідності система може експлуатуватися на базі автономної ЕОМ зазначеного типу.

Програмна реалізація системи здійснена з використанням інструментальних засобів пакету Сіпррег.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1. Досліджена проблема оперативного керування транспортною діяльністю авіапідприємства. Визначено структуру цілей, критеріїв та функціональних обмежень, що визначають вибір управлінських рішень. Запропоновано функціональну структуру автоматизованої системи оперативного управління транспортною діяльністю авіапідприємства.

Система складається з двох підсистем: слідуючого керування повітряними перевозками та стабілізації авіатранспортного процесу. Перша здійснює оперативне коригування розкладу руху повітряних суден у відповідності з поточними коливаннями попиту на авіаперевозки. Зміни розкладу руху потребують коригування графіків обігу повітряних суден.

Друга підсистема здійснює разове коригування маршрутів руху (графіків обігу) повітряних суден у збійних ситуаціях, коли своєчасне виконання запланованих рейсів при збереженні первинних маршрутів стає неможливим через несприятливі метеоумови та інші збурні фактори.

Задача коригування повітряними перевозками є така, що слабо формалізується, і потребує застосування інтелектуальних методів розв'язання. При цьому транспортна діяльність авіапідприємства розглядається як процес функціонування складного організаційно-технічного об'єкту керування.

2. Розроблено інтелектуальний метод керування складними організаційно-технічними об'єктами, який ґрунтується на використанні логічної моделі керування запропонованої форми. Метод передбачає вироблення комплексного управлінського рішення, здатного привести об'єкт керування в нормальний або найбільш близький до нормального стан з мінімальними витратами. Вироблення управлінського рішення зводиться до дослідження екстремальної комбінаторної задачі з нелінійною структурою.

3. Розроблено методи керування на основі зпрощених логічних моделей, які виводяться із загальної у припущенні про формальну неподільність об'єкту керування та взаємну незалежність способів керуючого впливу. Слушність першого припущення дозволяє суттєво зпростити комбінаторну модель задачі вироблення управлінського рішення, слушність другого - зробити її лінійною.

4. Розроблено метод розв'язання екстремальних комбінаторних задач з нелінійною структурою. Метод реалізує ідею напрямленого перебору варіантів стосовно до оптимізаційних задач, математичні моделі яких містять в собі добутки незалежних змінних. Сформульовано твердження, що постулюють властивості підмножин варіантів, запропоновано структуру алгоритму, здійснено інтерпретацію методу для комбінаторних моделей лінійної форми. Використання цих тверджень у процесі аналізу підмножин варіантів суттєво звужує область пошуку і дозволяє знаходити розв'язання NP-повних комбінаторних задач за прийнятною кількістю кроків алгоритму.

5. Розроблено комбінаторний метод складання графіків обігу повітряних суден, який передбачає послідовне розв'язання двох задач: побудову маршрутів руху повітряних суден та призначення часу початку виконання рейсів. Перша з них перетворюється до виду екстремальних комбінаторних задач з нелінійною структурою. Друга формулюється як задача кусково-лінійного програмування, але шляхом введення додаткових логічних змінних

зводиться до вигляду частково-цілочисельних задач лінійної оптимізації. Для її розв'язання використовується метод, створений внаслідок об'єднання методу напрямленого перебору варіантів та симплексного алгоритму.

6. Розроблено метод складання графіків обігу повітряних суден на множині припустимих маршрутів. Для виділення останніх використовується спеціально розроблений метод побудови маршрутів заданої довжини на орієнтованому графі, що моделює структуру сітки авіаліній з накладеним на неї планом руху. Далі проводиться призначення повітряних суден на маршрути та встановлюється час початку виконання рейсів. Перша з цих задач перетворюється до лінійної форми екстремальних комбінаторних задач, друга - до стандартного виду задач лінійного частково-цілочисельного програмування.

7. Розроблено метод оперативного керування повітряними перевозками, що є інтерпретацією інтелектуального методу керування складними організаційно-технічними об'єктами стосовно до транспортної діяльності авіапідприємства. Метод передбачає вироблення управлінських рішень, які ведуть до підвищення рівня задоволення попиту на повітряні перевезки та одержання максимальних доходів авіапідприємств за рахунок збільшення коефіцієнту комерційного завантаження повітряних суден та зростання об'єму транспортної роботи.

8. Розроблено методи оперативного коригування графіків обігу повітряних суден при зміні розкладу руху. Вони ґрунтуються на методах складання ГОС, але потребують введення в базові математичні моделі додаткових обмежень, викликаних наявністю рейсів, час початку виконання яких зафіксовано.

9. Розроблено методи оперативного коригування маршрутів руху (графіків обігу) повітряних суден у збійних ситуаціях. Вони також ґрунтуються на методах складання ГОС, однак передбачають доповнення базових моделей математичними виразами, обумовленими наявністю рейсів як з фіксованим, так і з обмеженням знизу часом початку їх виконання. В моделі вводяться також додаткові цільові функції, використання яких сприяє зкороченню тривалості періоду стабілізації авіатransпортного процесу.

10. На основі розроблених методів створено автоматизовану систему управління транспортною діяльністю цивільної авіації, яку впроваджено в експлуатацію в Іркутському, Ленінабадському, Самаркандському та Чарджоуському авіаційних підприємствах. Методи складання та оперативного коригування графіків обігу повітряних суден впроваджено також у вигляді автономного програмного комплексу у Вірменському УЦА.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Огороднейчук И.Ф., Кузмин А.Я., Литвиненко А.Е. М дифицированные алгоритмы шагового поиска // Теоретическая электротехника и машинное проектирование электронных цепей. - Киев: Наукова думка, 1973. - с. 267-274.
2. Литвиненко А.Е. Логико-вероятностная модель сети авиалиний // Автоматические системы контроля и управления. - Киев: ИК АН УССР, 1974. - с. 13-16.
3. Литвиненко А.Е. К вопросу моделирования структуры авиатранспортной сети // Автоматизированные системы управления в гражданской авиации. - Киев: КИИГА, 1975. - с. 57-60.
4. Волков А.А., Волколупова Р.Т., Литвиненко А.Е. Постановка задачи оптимального управления однородными потоками в транспортных сетях // Исследование операций в сложных системах. - Киев: 1977. - с. 3-17. Препринт 77-18. АН УССР, Ин-т кибернетики.
5. Литвиненко А.Е., Горанов Д.В. Программа составления оптимальных (по критерию прибыли) графиков оборота самолетов // Укр. РФАП. - Киев: 1979. - рег. N 5335.
6. Литвиненко А.Е. Метод решения экстремальных комбинаторных задач с нелинейной структурой // Кибернетика, 1983. - N 5. - с. 83-87.
7. Литвиненко А.Е. Формальный метод составления рационального расписания движения самолетов // Совершенствование управления производством в авиапредприятиях и регулярность полетов самолетов. - Ленинград: ОЛАГА, 1984. - с. 143-151.
8. Литвиненко А.Е. Об одном формальном методе составления расписания учебных занятий в вузе // Кибернетика и исследование операций в управлении учебным процессом. - Рига: РПИ, 1984. - с. 49-51.
9. Литвиненко А.Е. Возможность использования математических методов для дальнейшего совершенствования управления транспортной работой гражданской авиации // Методология создания и опыт эксплуатации АСУ в гражданской авиации. - Рига: ЦНИИ АСУ ГА, 1987. - с. 64-65.
10. Литвиненко А.Е., Прокудин Г.С. Математическая модель оценки качества расписания движения самолетов // Математические и электронные модели сложных систем и динамических процессов. - Киев: КИИГА, 1988. - с. 25-31.

11. Литвиненко А.Е. Комбинаторный метод построения графиков оборота самолетов // Совершенствование хозяйственного механизма в гражданской авиации. - Киев: КНИГА, 1988. - с. 69-74.

12. Литвиненко А.Е. Система принятия решений на уровне командира объединенного авиаотряда // Методология создания и опыт эксплуатации АСУ в гражданской авиации. - Рига: ЦНИИ АСУ ГА, 1989. - с.35-36.

13. Литвиненко А.Е. Комбинаторный метод выбора оптимальных проектных решений в системах автоматизированного проектирования // Автоматизация проектирования: проблемы совместных исследований и подготовки кадров. Сборник тезисов докладов Второго болгаро-советского семинара. Варна: МДУ "Фр.Х.Кюри", 1989. - с. 9.

14. Литвиненко А.Е. Комбинаторный подход к выработке решений в экспертных системах управления // Экспертные системы. - Киев: КНИГА, 1991. (в печати).

15. Литвиненко А.Е. Комбинаторный метод выработки решений в экспертных системах управления сложными объектами // Кибернетика и системный анализ, 1992. - N 5. - с. 81-86.

16. Литвиненко А.Е. Технические средства управления и вычислительные машины: Учебное пособие. - Киев: КНИГА, 1987. - 52 с.

17. Литвиненко А.Е. Моделирование производственных процессов в автоматизированных системах управления гражданской авиации: Учебное пособие. - Киев: КНИГА, 1988. - 72 с.



Підписано до друку 19.04.93. Формат 60x84/16. Папір друкарський.
Умн.-вид.арк. 1,63. Обл.-вид.арк 1,73. Тираж 100 прим.
Замовлення № 84 - І. Вид. № 322/III. Ціна 506 крб. 07 коп.

Видівництво КІЩА.
252058. Київ-58, проспект Космонавта Комарова, 1.

AB 27.286