ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Актуальність проблеми розвитку наукових основ та методів забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем (АТС) виходить із пріоритетних напрямків досліджень, які визначені у європейських публікаціях на порталі «Транспортні дослідження та інновації», та завдань, поставлених у Транспортній стратегії України на період до 2020 р.

Аналіз показав, що наукових досліджень з напряму «Транспортні системи», присвячених питанням розвитку і функціонування ринку авіаційних перевезень значно менше, ніж за іншими видами транспорту, немає також усталеної загальноприйнятої термінології.

В досліджених роботах С. Батмунх, М. М. Дмитрієва, Є. М. Зайцева, І. А. Козлюк, О. В. Конікової, В. П. Маслакова, О. Л. Петрашевського, К. А. Поліщука, І. П. Садловської, Л. Ю. Филимонюка, Ю. А. Чередніченка, M. Janić, M. Hirst та інших пропонуються методи забезпечення ефективного функціонування окремих авіапідприємств, та управління авіаційною галуззю в цілому. В деяких роботах науковці оперують поняттям *авіатранспортна система*, але його трактування і, відповідно, об’єкти, предмети, методології досліджень є принципово різними.

Майже всі спеціалісти, які задіяні в авіаційній галузі, зокрема Т. А. Акімова, С. Л. Омельяненко, Г. С. Прокудін та інші, доводять, що розвиток авіаперевезень пов’язаний з можливостями доступу до ринку, прикордонним управлінням і бізнес-середовищем. В сучасних наукових працях А. М. Новікової, М. Ю. Григорак, О. В. Ільєнко визнається, що провідними тенденціями на транспорті у всьому світі є перехід на логістичні технології, які, в свою чергу, передбачають розвиток міжнародних транспортних коридорів та мультимодальних перевезень. Окремі аспекти специфічних проблем проектування, експлуатації повітряних суден (ПС) та методологічні основи узгодження характеристик ПС з суб’єктами ринку авіаперевезень розглянуті в роботах В. І. Рябкова, О. Г. Гребеннікова, О. А. Ховрунової, Г. М. Юна, W. A. Gunn та інших. Останнім часом активно проводяться дослідження в області економіки і географії авіаційного транспорту, які опубліковані в роботах Г. В. Жаворонкової, М. А. Королькової, В. Б. Марінічева, Н. А. Абрамочкіної, С. С. Ісаєва, Є. С. Гінзбурга та інших сучасних науковців.

Але, виходячи з того, що сьогодні суспільство має досвід раптового банкрутства провідних авіакомпаній з кризою на ринку праці для вузькокваліфікованого авіаційного персоналу, значного довгострокового виробничого простою реконструйованих аеропортів з відповідною проблемою швидкого морального старіння технологій обслуговування пасажирів та обробки вантажу, можна зробити висновок про необхідність подальшої розробки та удосконалення управлінських рішень, які б базувалися на встановлених або уточнених закономірностях функціонування складних систем, якими є АТС.

Сучасний стан організації авіаперевезень в Україні ще не відповідає вимогам й очікуванням пасажирів та вантажної клієнтури. Наприклад, не дивлячись на значні інвестиції в модернізацію аеропорту «Бориспіль» до Євро-2012, вже у 2013 році спеціалістами та споживачами були зазначені проблеми функціонування даного

аеропорту, пов'язані з невідповідністю пропускної спроможності технологічних зон терміналів існуючому пасажиро- та вантажопотоку.

Разом з тим зростає значення ефективного використання капітальних вкладень у авіаційну галузь з точки зору досягнутого технічного рівня, технології, економіки і надійності. Адже необґрунтоване технічне рішення може обернутися багатомільйонними втратами як при будівництві нового спорудження, так і при реконструкції. До того ж стійкою тенденцією розвитку технологічних процесів обслуговування пасажирів та обробки вантажу під час авіаперевезень є не тільки ускладнення принципу їх організації, збільшення інвестицій у будівництво, обладнання, парк ПС авіапідприємств, але й необхідність всебічного зниження ймовірності затримок і збійних ситуацій.

Незважаючи на значну кількість досліджень в області транспортних систем (ТС), є необхідність у розробці *науково обґрунтованих стратегій розвитку та раціонального функціонування АТС України*. Все ще є труднощі *об'єктивної оцінки ступеня розвитку існуючої мережі авіаперевезень*, як у географічному, так і в економічному, технічному та технологічному аспектах. В даний час бракує фундаментальних досліджень, які б закладали *методи визначення перспективної мережі авіасполучень в країні та масштабів необхідного розвитку інфраструктури АТС*.

Отже, враховуючи кардинальні зміни в останні роки у функціонуванні та взаємозв'язках авіапідприємств України та сучасні напрями досліджень закордонних вчених, можна стверджувати, що встановлення науково обґрунтованих принципів, закономірностей розвитку, а також розроблення методів забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем є актуальною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках держбюджетної НДР МОН України за темою «Проблема ефективного функціонування транспортних систем і раціональної організації авіаційних перевезень, робіт і послуг» (державний реєстраційний номер 0112 U 007297) та НДР Міністерства інфраструктури України за темою «Проведення дослідження основних проблем функціонування галузі транспорту і розробка прогнозу його розвитку на період до 2020 року» (державний реєстраційний номер 0113 U 007345).

Мета роботи та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення наукових основ та методів забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем.

Для досягнення поставленої мети в роботі визначені такі основні завдання дослідження:

- узагальнити сучасний стан розвитку теорії транспортних систем;
- проаналізувати та описати фундаментальні наукові положення про авіатранспортні системи;
- розробити методологію досліджень АТС;
- описати зовнішнє середовище, структуру та закономірності функціонування АТС;

– визначити закономірності впливу зовнішнього середовища та формування мережі авіамаршрутів на ефективність функціонування АТС;

– розробити метод оцінки ефективності функціонування АТС;

– виявити особливості та закономірності розвитку АТС України;

– розробити методи забезпечення ефективного функціонування АТС та її підсистем;

– провести апробацію розроблених моделей і методів забезпечення ефективного функціонування АТС.

Об'єкт дослідження – функціонування авіатранспортних систем.

Предмет дослідження – наукові основи (наукові положення і факти, поняття, принципи, теорії, закономірності) та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань були використані теорія систем і системний аналіз, методологія багаторівневої ієрархії, положення теорії складних мереж, кореляційно-регресійний аналіз, математичне програмування, імітаційне моделювання, теорія масового обслуговування, теорія нечітких множин.

Основними джерелами інформації для проведення апробації запропонованої методології дослідження та методів забезпечення ефективного функціонування АТС були: статистичні бази даних ІСАО, Державіаслужби України, Держкомстата України, Світового банку та статистичні спостереження, отримані здобувачем під час проведення експериментів на авіапідприємствах України.

Наукова новизна одержаних результатів.

Важливі наукові рішення, які запропоновані в процесі досліджень і визначають новизну дисертації, полягають у наступному:

вперше:

– розроблено методологію ефективного функціонування АТС на основі визначення відношень між попитом на авіаційні перевезення та ресурсами, техніко-технологічними, економіко-організаційними і іншими обмеженнями;

– розроблена матрична структура інформаційних відношень між елементами АТС, завдяки якій, по-перше, враховується взаємозв'язок між споживачем, який отримує досвід використання системи, і процесом формування потенційного попиту, а, по-друге, у розробника АТС з'являється мотивація для уточнення структури АТС і особливо синергетичних зв'язків між елементами і підсистемами;

– розроблені показники ефективності АТС України на основі теорії складних мереж, що дає можливість кількісно оцінити рівень розвитку досліджуваної системи з метою її подальшого удосконалення;

– розроблено метод єдиного дворівневого підходу до взаємозв'язку розвитку АТС та авіабудівної галузі, який вносить узгодженість в організаційну структуру процесу взаємодії розробника ПС та авіакомпаній – потенційних замовників проектованого ПС;

удосконалено :

– стратифікований підхід до побудови методу багаторівневого аналізу і синтезу цілей і функцій кожної страти АТС, який, на відміну від існуючих загальних теоретичних викладок, містить параметри досліджуваної АТС;

– структуру дослідницької бази даних для аналізу ефективності функціонування АТС, в якій, на відміну від існуючих, визначені множини та джерела даних, необхідні для проведення досліджень з використанням сучасних теорій;

– класифікацію аеропортів для формування концепції стратегічного розвитку та функціонування мережі аеропортів України, в якій, на відміну від існуючих, пропонується використовувати в якості ознак класифікації не тільки обсяги пасажиропотоків, але й дані про стан інфраструктури аеропорту, види перевезень і соціально-економічні показники регіону, який обслуговує аеропорт;

– модель визначення граничних умов доцільності синтезу безпосадкових маршрутів з низьким рівнем попиту і придбання авіакомпаніями ПС малої пасажиромісткості для мереж з перевантаженими хабами, в якій, на відміну від існуючих моделей, пропонується враховувати додаткові параметри витрат на очікування та затримки;

– метод обґрунтування необхідної пропускної спроможності аеропортів в умовах дефіциту інформації про майбутню АТС, який, на відміну від існуючих, заснований на поєднанні положень теорії графів та лінійного програмування;

– метод поетапного управління розвитком мережі аеропортів, в якому, на відміну від існуючих методів, враховується взаємозалежність ефектів підвищення класу аеропорту і розширення множини ПС, які можуть експлуатуватися на заданій мережі авіамаршрутів для розв’язання проблеми визначення оптимального розподілу обмежених фінансових та інших ресурсів між аеропортами;

– метод оптимального розподілу ресурсів авіахендлінгової компанії за рахунок пропозиції використання теорії двоїстості та введення параметрів, які враховують сучасні технології обслуговування ПС в аеропортах;

отримало подальший розвиток:

− моделі прогнозування попиту на пасажирські перевезення в Україні, засновані на вивченні відомих на теперішній час економетричних моделей в частині уточнення факторів, які мають істотний вплив на обсяги попиту;

− метод обґрунтування вибору інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності за рахунок опису необхідних для даного завдання вхідних та вихідних параметрів, альтернатив, критеріїв функціонування аеропортів, побудови відповідних функцій приналежності термів лінгвістичних змінних та нечіткої бази знань, які впливають на множину можливих розв’язків з прийняття рішень щодо вибору аеропорту для подальшої реконструкції.

Практичне значення результатів дослідження полягає у розробленні та впроваджені:

− методики аналізу розвитку авіаційних перевезень в Україні, які базуються на теорії складних мереж, для обґрунтування кількісних показників ефективності функціонування АТС України;

– комплексу рекомендацій щодо довгострокового прогнозування обсягів авіаперевезень;

− практичних рекомендацій щодо процесу прийняття рішень з метою координації функцій підсистем АТС;

− методики розподілу ресурсів хендлінгової компанії між структурними підрозділами, експериментальні розрахунки за якою показали можливість збільшення місячного прибутку функціонуючої на авіаційному ринку України хендлінгової компанії на 2,2 % (або не менше ніж на 5 тис. дол. США);

− методики визначення оптимальної частоти рейсів та меж бронювання для кожного типу тарифів, реалізація якої дозволила отримати рішення щодо варіантів підвищення тижневого прибутку до 3,95 % в умовах функціонування провідної авіакомпанії України за рахунок оптимізації планів робіт на мережі авіамаршрутів авіакомпанії та перерозподілу відповідних ресурсів;

− методики оптимізації параметрів зон реєстрації та контролю пасажирів в аеровокзалах із дослідженням впливу зміни законів розподілу вхідного пасажиропотоку та продуктивності обслуговування на кількісні показники системи, що дозволило визначити оптимальні параметри роботи системи обслуговування пасажирів в аеропортах «Бориспіль», «Київ» та «Одеса» і скоротити час перебування пасажирів в зоні реєстрації більш ніж на 14 %;

– методики розрахунку оптимальної кількості навантажувально-розвантажувальних пунктів (НРП) вантажного складу аеропорту, в якій враховуються показники вартості обслуговування НРП та витрат на очікування автомобілів.

Наукові положення та результати дослідження впроваджено і застосовано в діяльності суб'єктів державного управління, зокрема, Державіаслужби України, ДП «ДЕРЖАВТОТРАНСНДІПРОЕКТ» та суб'єктів господарювання: ДП МА «Бориспіль», КП «Міжнародний аеропорт Одеса», КП Міжнародний аеропорт «Київ», ПАТ «Міжнародні авіалінії України», ТОВ «ІНТЕРАВІА», ТОВ «Челендж Аеропорт», ТОВ «Аеропорт Хендлінг». Методичні розробки, схеми та алгоритми упроваджено в навчальний процес, зокрема їх використано у теоретичному забезпеченні та при розробці навчально-методичних комплексів для дисциплін «Авіаційні пасажирські перевезення», «Вантажні перевезення», «Методи наукових досліджень» на кафедрі організації авіаційних перевезень в Національному авіаційному університеті МОН України.

Апробація основних наукових і практичних результатів дисертації на вказаних підприємствах підтверджується відповідними актами про впровадження.

Особистий внесок здобувача. Сформульовані у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації, які винесено на захист, одержані особисто автором і є його самостійним науковим доробком. Практичне впровадження результатів здійснено на основі особистих наукових ідей. Особистий внесок здобувача в роботах, які опубліковані у співавторстві, полягає у наступному:

– розроблення методу підвищення ефективності функціонування авіахендлінгових компаній, проведення експериментальних досліджень та виконання аналізу отриманих даних [1, 41];

– розроблення методу обґрунтування пропускної спроможності мережі аеропортів [3];

– розроблення методу оцінки ефективності декомпозиції мережі авіамаршрутів [13];

– розроблення загальної схеми та методу дослідження аспектів взаємозв'язку авіакомпанії та виробника ПС [14, 23];

– визначення основних параметрів функціонування авіаційного навчального центру [41].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та результати наукових розробок доповідались та обговорювалися на:

– Міжнародній науково-практичній конференції (МНПК) «Техніка і технологія. Здійснення наукових досліджень та реалізації проектів» (Польща, м. Краків, 2015 р.);

– VII МНПК «Актуальні питання науки, технології та виробництва» (Росія, м. Санкт-Петербург, 2015 р.);

– XXVIII-й МНПК «Перспективні напрями вітчизняної науки» (м. Запоріжжя, 2014 р.);

– Міжнародній конференції «Розвиток інформаційно-ресурсного забезпечення освіти і науки в гірничо-металургійній галузі та транспорті 2014» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.);

– Шостому Всесвітньому конгресі «Авіація у XXI столітті» – «Безпека в авіації та космічні технології» (м. Київ, 2014);

– 4-й міжнародній конференції «Математичне моделювання, оптимізація та інформаційні технології» (Молдова, м. Кишинеу, 2014);

– II-й та III-й міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми організації авіаційних перевезень та застосування авіації в галузях економіки» (м. Київ, 2013, 2014);

– Міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції «Перспективні інновації в науці, освіті, виробництві і транспорті' 2013» (http://www.sworld.com.ua/, 2013);

– Міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції «Наукові дослідження і їх практичне застосування. Сучасний стан і шляхи розвитку '2013» (http://www.sworld.com.ua/, 2013);

– IV-й МНПК «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» (м. Євпаторія, 2013);

– 19-й всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційний потенціал української науки – XXI сторіччя» (м. Запоріжжя, 2013);

– I-й Міжнародній Інтернет-конференції молодих учених і студентів «Проблеми розвитку транспортних систем в євразійському регіоні» (м. Луганськ, 2013 р.);

– МНПК «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» (м. Дніпропетровськ, 2012);

– 25-й міжнародній конференції «Перспективні комп'ютерні, управлінські та телекомунікаційні системи для залізничних доріг України» (м. Харків, 2012).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 47 наукових праць, із них: 1 монографія, 21 стаття у фахових виданнях України, 5 статей у закордонних фахових виданнях, 20 публікацій в інших періодичних науково-практичних виданнях.

При цьому особисто здобувачем написані монографія й 38 наукових статей, інші – у співавторстві.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків і додатків, списку використаних джерел із 411 найменувань, разом з якими її обсяг становить 548 сторінок. Проілюстровано роботу 99 рисунками, у ній міститься 53 таблиці, 184 формули і 14 додатків обсягом 85 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету й завдання дослідження, представлено методологічну і інформаційну основи дослідження, сформульовано наукову новизну, практичну цінність отриманих результатів, описані форми їх апробації і практичного використання.

У **першому розділі** «Фундаментальні положення науки про транспортні системи» викладений аналіз концепцій про розвиток та функціонування ТС, сформульовані етапи, зміст та завдання дослідження АТС.

Вивчення низки наукових робіт, присвячених проблемам розвитку ТС, довело, що сформований понятійний апарат теорії транспортних систем (ТТС), який базується на теорії систем та системному аналізі, має значний набір специфічних термінів та понять в залежності від виду транспорту та точки зору наукових дослідників, а тому він не може бути автоматично і в повній мірі використаний в досліджені АТС.

Підходи до визначення поняття *авіатранспортна система* в сучасних дисертаційних дослідженнях є дуже різними.

Формально визначення АТС (ATS_{def}) в неявному вигляді можна записати як:

$$ATS_{def} \equiv \langle (Airports, Airlines, ATM), (D, R, TT, EM, LR, AS, EB) \rangle, \quad (1)$$

де $Airports$ – аеропорти; $Airlines$ – авіакомпанії; ATM − підсистема організації повітряного руху (ОрПР); D − попит на авіаційні перевезення; R − ресурси; TT − техніко-технологічні обмеження; EM − економіко-організаційні вимоги; LR – правові вимоги; AS – безпека; EB – екологія.

Сучасні закордонні та вітчизняні дослідження з питань ефективного функціонування ТС пропонують ряд методів розв’язання даної проблеми. Але для моделей знаходження прийнятного для практики рішення щодо ефективного функціонування конкретних АТС, зокрема АТС України, виявлена необхідність їх подальшої розробки та деталізації, опису параметрів, визначення критеріїв ефективності.

Виходячи з проведеного аналізу стану розвитку ТТС, наукових результатів, актуальних проблем та завдань ефективного функціонування АТС, було визначено необхідні етапи й зміст даного дослідження, зокрема: розробка методології досліджень АТС, опис структури, зовнішнього середовища та закономірностей розвитку АТС, аналіз АТС України, моделювання ефективного функціонування підсистем АТС.

Базуючись на методології системного підходу в **другому розділі** «Методологія досліджень авіатранспортних систем» визначені наступні етапи аналізу та моделювання функціонування АТС: окреслення меж досліджуваної АТС; описання складу та структури АТС, функцій та цілей підсистем АТС; виявлення причин, що об'єднують окремі підсистеми у АТС; зазначення надсистем, в які входить досліджувана АТС, та основних зв'язків АТС із зовнішнім середовищем; визначення основних характеристик та напрямів розвитку надсистем, які впливають на АТС; розгляд досліджуваної АТС в розвитку.

Розгляд прикладів дерев стратегічних цілей та критеріїв оцінки досягнення заданих цілей розвитку АТС деяких країн світу підтверджує тезу про актуальність проблеми пошуку «правильних» інвестицій в інфраструктуру та стратегій, які відповідають попиту та гарантують безпечне та ефективне функціонування АТС.

На етапі вибору критеріїв ефективності АТС пропонується виходити за межі визначення ефективності як досягнення оптимальності виконання відповідних процесів окремими підсистемами АТС та оцінювати її за показниками розвитку авіамережі, тобто системи аеропортів і авіамаршрутів, що їх з'єднують. Дане бачення ефективності відповідає визначеній емерджентній властивості АТС, а саме – ефективному задоволенню попиту суспільства на авіаційні перевезення.

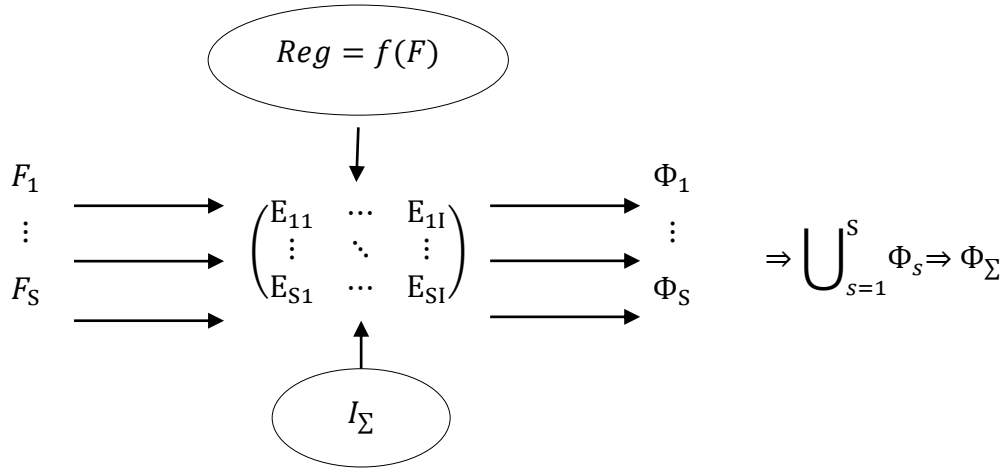
При описі ресурсів підсистем АТС пропонується враховувати:

- наявність та взаємозв'язок фізичних і нефізичних ресурсів в авіакомпанії, що дозволяє зробити критичний аналіз ефективності функціонування авіакомпаній на заданому ринку та кількісно обґрунтувати прийняття рішень щодо лібералізації авіаційних перевезень;
- розподіл ресурсів аеропорту за двома його підсистемами: наземної та повітряної (контрольованої) зонами, а також класифікацію засобів автоматизації і механізації, що спрощує дослідження «вузьких місць» пропускної спроможності;
- вплив програм розвитку національних систем організації повітряного простору на структуру ресурсів підсистеми ОрПР з метою узгодження вхідних параметрів та обмежень даної підсистеми.

АТС майже неможливо описати повно й детально, що, по суті, випливає з визначення такої системи. Основна дилема полягає у знаходженні компромісу між простотою опису, що є однією з передумов розуміння, і необхідністю врахування численних характеристик даної складної системи. Розв'язання цієї дилеми слід шукати в ієрархічному описі. В методології досліджень АТС пропонується спиратися на три відомих в теорії багаторівневих ієрархічних систем поняття: страта, шар, ешелон. Даний підхід сприяє координації опису системи, декомпозиції завдань прийняття рішень та оцінки їх впровадження в АТС.

Ієрархічна структура АТС, яка в загальному вигляді наведена на рис.1, пояснює процес формування емерджентної властивості АТС. Так для здійснення авіаперевезень кожна s-та підсистема АТС та кожний ι-ий елемент s-ї підсистеми виконує свої функції (виробництво) $F_{\iota s}$, які визначають конкретні цілі $\Phi_{\iota s}$. Для досягнення $\Phi_{\iota s}$ необхідно розв'язання певних завдань $\Omega_{\iota s}$, кожне з яких потребує відповідних методів розв'язання $\mathrm{M}_{\iota s}$. Всю цю послідовність дій можна представити у

вигляді ланцюжка $F_{\iota s} \rightarrow \Phi_{\iota s} \rightarrow \Omega_{\iota s} \rightarrow \mathrm{M}_{\iota s}$, який відповідає концепції дослідження АТС.



Reg – керівний(регулюючий) елемент (підсистема); F_s – управління s-ю підсистемою, $s = \overline{1,S}$ – ступінь ієрархії АТС; $\mathrm{E}_{s\iota}$ – ι-ий елемент s-ї підсистеми, $\iota = \overline{1,I}$, який може розглядатися як система; Φ_s – мета s-ї підсистеми; I_Σ – інформаційний вхід в систему; Φ_Σ – глобальна ціль АТС

Рисунок 1 – Матрична форма ієрархічної структури АТС

Практика функціонування деяких АТС показала, що важливі властивості системи визначаються вузлами з дуже високим ступенем (хаби). Для кількісної оцінки розвитку мережі маршрутів досліджуваної АТС запропоновано методику визначення показників, які використовуються в теорії складних мереж. Так, для оцінки *важливості вузла (аеропорту)* можна скористатися такими показниками як: *ступінь, сила, близькість, навантаження, кластерний коефіцієнт вузла*. *Ступінь вузла* характеризує кількість зв'язків вузла, а *сила* – інтенсивність взаємодії (кількість рейсів, або обсяг потоків) між пунктами мережі АТС, що досліджується. *Близькість* показує, наскільки просто вузлу x зв'язатися з іншим вузлом. Якщо вузол є центральним, то він може швидко взаємодіяти з іншими вузлами. *Навантаження вузла* характеризує частку найкоротших шляхів між усіма вузлами, які проходять через вузол *x*. Для складних мереж характерно, що два вузли, сусідніх до будь-якого вузла, часто також є сусідами між собою. Щоб охарактеризувати це явище можна скористатися показником *кластерний коефіцієнт* вузла. Зазначені та похідні від них показники (*кластерний коефіцієнт мережі, зважений коефіцієнт кластеризації, середній ступінь найближчих сусідів вузла)* у сукупності можуть адекватно відображати рівень розвитку і місце досліджуваної АТС, не тільки в національному (регіональному), але й у глобальному масштабі, що, в свою чергу, дозволяє оцінити реальний ступінь забезпечення мобільності населення заданого регіону чи країни.

Методологія дослідження АТС передбачає доступ та використання добре організованої детальної бази даних. Сьогодні єдиним детальним джерелом інформації для ознайомлення із результатами функціонування авіакомпаній та аеропортів України є база даних ICAO, але вона стосується лише міжнародної діяльності.

Третій розділ «Опис авіатранспортної системи» присвячений розробці концептуальної моделі функціонування АТС.

В дисертаційній роботі наведено опис матричної структури АТС, яка визначає концептуальні внутрішні зв'язки між визначеними елементами. Кожен елемент виконує свій «проект», але для досягнення ефективності системи в цілому необхідно мати велику кількість системних комунікаційних каналів і центрів прийняття спільних рішень.

Дуже важливим є організація статистичної бази за обсягами попиту на авіаційні перевезення, яка б давала змогу вивчати інформацію за реальними потоками (кореспонденціями), тобто відстеження обсягів і напрямків трансферу. Джерелом даної інформації можуть бути системи продажу і системи реєстрації потоків в аеропортах. Крім того, інформацію можна отримати із проаналізованих в дисертаційній роботі різних комерційних джерел, де фіксуються дані щодо пасажирських замовлень, зроблених через усі основні глобальні розподільчі системи (GDS). Однак, навіть за об'єднання даних з різних GDS неможливо забезпечити повного охоплення даних, оскільки тоді не враховуються прямі продажі і он-лайн бронювання. Тому є потреба у формуванні власних джерел та загальної бази даних, яка охоплюватиме всі види перевезень в рамках досліджуваної АТС.

Не дивлячись на велику різноманітність факторів, які впливають на формування попиту в ТС, проведені теоретичні дослідження підтвердили, припущення автора роботи, що основними є: соціально-економічний розвиток країни (регіону), ціни (тарифи) на перевезення та розвиток інфраструктури транспорту. Вплив саме цих факторів вивчався під час дослідження розвитку АТС і потребував додаткових баз статистичних даних ретроспективного та перспективного розвитку зовнішнього середовища АТС. Для проведення експериментальних досліджень з питань функціонування АТС розроблено та скомпоновано з різних офіціальних джерел необхідні масиви даних за запропонованою схемою дослідницької бази даних (рис. 2).

Далі в даному розділі визначено, що тенденції до концентрації ресурсів авіакомпаній в альянсах та розвитку аеропортів-хабів можуть бути обмежені наявною пропускною спроможністю. А отже, не дивлячись на привабливу з точки зору економії витрат авіакомпаній і аеропортів *хабову* модель розвитку мережі, актуальною для завантажених і зручною для масового споживача авіаційних послуг є модель *від пункту до пункту*, розвиток якої пропонується реалізовувати за *концепцією декомпозиції мережі маршрутів*. Гіпотетично вплив цієї концепції можна вимірювати в зниженні показника перевезень в пасажиро-кілометрах на завантажених маршрутах, а також в економії часу та підвищенні комфорту.

Виграш аеропортів-хабів в рамках концепції декомпозиції мережі маршрутів полягає в їх розвантаженні і, завдяки зменшенню затримок, не виключається можливість повернути частину пасажиропотоків на фідерні маршрути. Авіакомпанії можуть збільшити прибуток за рахунок зменшення затримок та можливого збільшення попиту за рахунок маршрутів «від пункту до пункту», а авіабудівні фірми мають працювати над розширенням типорозмірного ряду літаків, які відповідають

потребам, що виникають на маршрутах з різною дальністю польотів і щільністю перевезень.

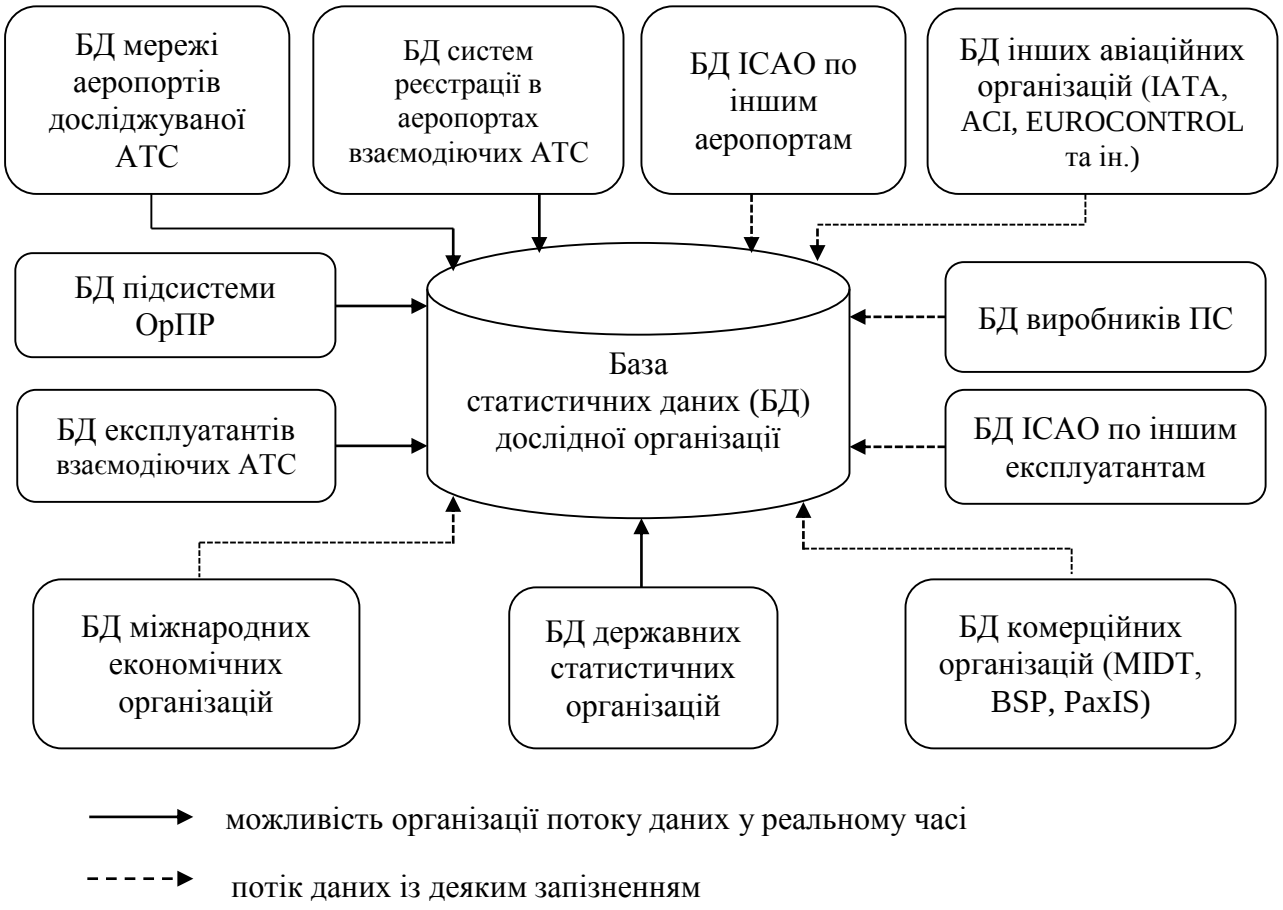


Рисунок 2 – Загальна схема організації дослідницької БД для аналізу обсягів попиту на авіаперевезення

При описі функцій підсистем АТС визначені сучасні загальносвітові напрями розвитку технологій обслуговування споживачів авіаційних перевезень, які важливі з точки зору ефективного функціонування та конкурентоспроможності АТС (наприклад, програма підтримки туристичної галузі, яка базується на нових XML стандартах передачі даних, впроваджуваних IATA, технологія «e-Freight», концепція загального менеджменту аеропорту).

У **четвертому розділі** «Аналіз авіатранспортної системи України» проведена оцінка ефективності функціонування АТС України за методологією, визначеною в другому розділі.

Проведені дослідження зовнішнього середовища АТС України показали, що в цілому соціально-економічні умови України не були сприятливими для активного розвитку авіаційних перевезень та формування значного обсягу платоспроможного попиту серед населення України.

На ринку пасажирських перевезень останніми роками працює близько 30 авіакомпаній, зареєстрованих в Україні, але більше 80% ринку належало лише

декільком, серед яких провідними були два перевізника: «Міжнародні авіалінії України» (МАУ) та Аеросвіт.

За даними Світового банку частка України у світовому обсязі авіаперевезень вантажів становила у 2013 р. приблизно 0,0083%. Основними авіаційними вантажоперевізниками є АНТК «Антонов» і МАУ.

В Україні налічується понад 40 аеропортів і аеродромів. У кожній області є як мінімум один аеропорт. У 2013 р. в Україні функціонували 26 аеропортів. Практично 100% потоків (98% авіапасажирів та 93% поштовантажопотоків) обслуговується у 8 аеропортах України, причому аеропортом «Бориспіль» за 2013 р. обслуговано 52% загального пасажиропотоку (7,9 млн пас.), аеропортом «Київ» – 12,1% (1,8 млн пас.). Для порівняння зауважимо, що в Польщі п'ятьма аеропортами у 2011 р. було обслуговано майже 17 млн пас., а одинадцятьма аеропортами Німеччині у 2010 р. – 172 млн. Обсяг існуючого попиту на послуги аеропортів України є значно нижчим за їх пропускну спроможність.

На першому етапі розв'язання завдання обґрунтування концепції розвитку аеропортової мережі України і доцільності фінансування з державного бюджету всієї мережі або окремих аеропортів пропонується визначити роль кожного аеропорту в загальній мережі АТС України шляхом їх класифікації.

Для досягнення балансу в розподілі ресурсів між аеропортами України і встановлення ознак класифікації, а також для визначення ролі кожного аеропорту в АТС країни необхідно провести аналіз авіаційних та неавіаційних факторів. Дані фактори можуть бути виражені через такі категорії продуктивності: вид діяльності, інфраструктура, доступність аеропорту й економіка регіону (рис. 3).

Рисунок 3 – Процес формування ознак класифікації

Враховуючи ознаки зазначені на рис. 3, пропонується наступна класифікація аеропортів України з метою подальшого визначення пріоритетності їх фінансування:

1) за видом діяльності:

A. Комерційні основні: аеропорти, які мають частку регулярних рейсів більше 50%; знаходяться в регіонах з високими і середніми соціально-економічними показниками (визначається за рейтингом регіонів країни); мають код аеродрому за ICAO не нижче 4*D*, клас RFFC не нижче 7; кількість пасажирів, що вилітають, − не менше 1 млн на рік.

B. Комерційні: аеропорти, які знаходяться в регіонах з високими і середніми соціально-економічними показниками; обслуговують регулярні та нерегулярні рейси, мають код аеродрому за ICAO не нижче 4*C*, клас RFFC не нижче 5.

C. Комерційні вантажні основні: аеропорти, які знаходяться в регіонах з високими і середніми соціально-економічними показниками; обслуговують регулярні та нерегулярні вантажні рейси.

D. Комерційні вантажні: аеропорти, які знаходяться в регіонах з низькими соціально-економічними показниками; обслуговують регулярні та нерегулярні вантажні рейси.

E. Авіація загального призначення: аеропорти, які обслуговують лише нерегулярні рейси та авіакомпанії, які виконують бізнес-рейси, тренувальні польоти та надають послуги із застосування авіації в національній економіці;

2) за обслуговуванням регулярної маршрутної мережі:

I. Основний авіавузол: не менше 20% регулярних маршрутів від загальної кількості регулярних маршрутів країни.

II. Допоміжний авіавузол: не менше 5% і не більше 20% регулярних маршрутів від загальної кількості регулярних маршрутів країни.

III. Другорядний авіавузол: менше 5% регулярних маршрутів від загальної кількості регулярних маршрутів країни.

Результати дослідження пасажиропотоків на авіамаршрутах основних аеропортів України показали, що кількість перевезених пасажирів знаходиться, в основному, в діапазоні від 1 тис. до 50 тис. пас. на рік (рис. 4). Протяжність основної частини авіамаршрутів становить від 0,8 тис. км до 2,0 тис. км. Помітна також тенденція до зменшення загального обсягу пасажиропотоку на мережі зі збільшенням протяжності авіамаршруту, що можна пояснити незначною пропозицією далекомагістральних рейсів з боку авіакомпаній і перевагою трансферних рейсів через Москву і європейські хаби, які обирали пасажири України на момент дослідження. Частота рейсів на авіамаршрутах з аеропортів України також має тенденцію до зниження зі збільшенням протяжності, хоча більшою мірою визначається економічними зв’язками та іншими факторами.

Отже, стратегіями щодо формування мережі маршрутів авіакомпаній, які працюють в АТС України, можуть бути:

1) виходячи з бізнес-моделі фідерного перевізника для європейських авіакомпаній, оптимізувати розклад рейсів за основним напрямками (Москва (за умови стабілізації політичної ситуації), Франкфурт, Лондон, Тель-Авів, Відень, Прага, Варшава) за критерієм «мінімальний стикувальний час» для трансферу на далекомагістральні рейси. Дана стратегія потребує глибокого дослідження

трансферного пасажиропотоку, пунктом відправлення чи призначення якого є Київ, Донецьк, Одеса, Дніпропетровськ, Сімферополь, Львів, Харків;

2) розвивати власну мережу далекомагістральних рейсів, але орієнтуючись на основну частину пасажиропотоку, який формується не в Україні, а за кордоном. Тобто розвивати основні аеропорти України як якісні трансферні вузли. Згідно з проведеним вище аналізом економічного становища в Україні, внутрішній попит на авіаперевезення є ще досить слабким і значне збільшення його не передбачається. Дана стратегія потребує значних інвестицій в розвиток парку далекомагістральних ПС авіакомпаній, адже аналіз показав, що українські авіакомпанії мають переважно близько- та середньомагістральні ПС. При цьому також треба оптимізувати розклад за критерієм «мінімальний стикувальний час», розробити відповідні конкурентоздатні тарифи.

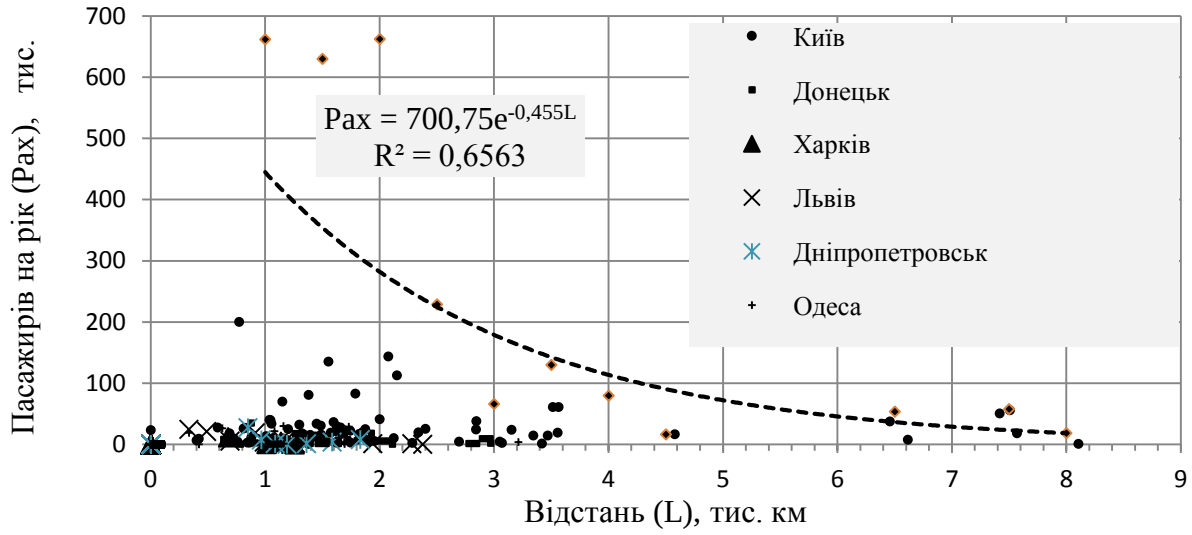


Рисунок 4 – Розподіл пасажиропотоку за протяжністю авіамаршрутів (складено за даними ICAO, 2011 р.)

Аналіз ефективності функціонування АТС України було проведено за методом, який базується на теорії складних мереж.

Аналіз мережі G АТС України проводився за даними 2011 р. Мережа включала $\mathbb{N} = 96$ вершин ($X = \{1,2 \dots 7\}$ українських та $Y = \{1,2 \dots 89\}$ зарубіжних аеропортів) та $E = 1070$ ребер, які означають наявність прямих рейсів між аеропортами мережі. Середній ступінь мережі становив $\langle k_{\mathbb{N}}^{G} \rangle = \frac{2E}{\mathbb{N}} = 22{,}06$, тим часом як максимальний ступінь дорівнював 86 (табл. 1). Згідно даних 2011 р. вузол Київ (аеропорт «Бориспіль») був єдиним навантаженим (важливим) пунктом у розвитку мережі АТС України.

Аеропорт «Бориспіль» має найнижчий коефіцієнт кластеризації (0,249), що свідчить про велику кількість зв'язків (авіамаршрутів) з аеропортами, які не мають зв'язків між собою. Низькі показники регіональних вузлів підтверджують необхідність розробки стратегій реалізації (або ліквідації) наявного потенціалу. Коефіцієнт асортативності, якій дорівнює -0,68, свідчить, що мережа демонструє

дисасортативне змішування. Тобто вузли з високим ступенем (Київ, Одеса) зв'язуються в основному з вузлами з низьким ступенем (наприклад, Батумі, Астана, Бішкек, Кельн та інші). Отримавши даний показник можна стверджувати, що тенденція до дисасортативного змішування в АТС України є переважаючою.

Таблиця 1 – Результати розрахунків показників, які характеризують ефективність функціонування АТС України (використано дані ICAO, 2011 р.)

Вузол	Ступінь, k_x	Середній ступінь найближчих сусідів, k^x_{nn}	Зважений середній ступінь найближчих сусідів, $k^x_{nn,w}$	Сила вершини, s_x	Навантаження, $B(x)$	Коефіцієнт кластеризації, c_x	Зважений коефіцієнт кластеризації, c^w_x
Київ	86	76,55	131,9	24787	0,724	0,249	0,24
Донецьк	15	96,07	191,35	1663	0,002	0,514	0,41
Харків	4	72,25	200,75	583	0,000	0,667	0,59
Львів	13	110,54	89,52	1570	0,003	0,513	0,16
Дніпропетровськ	8	86,38	202,43	1261	0,000	0,571	0,39
Одеса	21	58,71	130,20	2888	0,016	0,448	0,23
Сімферополь	8	111,88	175,66	551	0,002	0,500	0,27
Середній коефіцієнт кластеризації						0,49	0,32
Коефіцієнт асортативності						–0,68	

Визначені показники розвитку мережі АТС України дають підстави кількісно підтвердити невідповідність функціонування та розвитку аеропорту «Бориспіль» хабовій стратегії на європейському ринку. І однією з причин невідповідності є існуюча мережа АТС, яка формувалася українськими та іноземними авіакомпаніями протягом останніх двох десятиліть.

У **п'ятому розділі** «Моделювання функціонування авіакомпанії на мережі авіамаршрутів» наведено розроблені методи забезпечення ефективного функціонування і розвитку авіакомпанії з урахуванням її початкового стану і можливих ресурсних та технологічних обмежень.

Нехай задано планований період T. У кожному з підперіодів відомий обсяг перевезень на кожному з розглянутих маршрутів. На початку планованого періоду t_1 є певний парк ПС $\Pi(t_1)$, який в кожному з підперіодів $t \in [1, T]$ може поповнюватися доступними на ринку ПС певних типів. Відомо також початковий стан аеропортів $\mathrm{X}(t_1)$, тобто клас кожного аеропорту. Необхідно визначити таку динаміку зміни: структури мережі авіамаршрутів $A(t)$, стану аеропортів $\mathrm{X}(t)$ та складу парку ПС $\Pi(t)$, щоб задовольнити попит населення і галузей економіки на авіаційні перевезення з максимальною ефективністю

$$F\big(\Pi(t), \mathrm{X}(t), A(t)\big), \tag{2}$$

де $\Pi(t)$, $\mathrm{X}(t)$ та $A(t)$ – вектор-функції розвитку трійки відповідних підсистем АТС.

Досвід розв'язання подібного роду завдань показує, що в такій постановці завдання (2) практично не вирішується. Тому виявивши релевантні чинники і на підставі принципів декомпозиції операційних моделей у часі та функціональному просторі це складне завдання поділяється на ряд взаємопов'язаних завдань більш простої структури і меншої розмірності: прогнозування попиту на авіаційні перевезення; моделювання функціонування авіакомпаній; формування мережі авіамаршрутів; оптимізації доходів авіакомпанії; взаємозв'язку розвитку АТС та авіабудівної галузі.

1. Прогнозування попиту на авіаційні перевезення

Для розробки довгострокового прогнозу досліджуваної АТС були протестовані однофакторні і багатофакторні регресійні моделі в різних функціональних формах.

Серед розглянутих моделей були відібрані такі:

$$Pax = 0{,}226\ GDP_{pc} + 1052{,}04, \tag{3}$$

$R^2 = 0{,}9604;\quad t(0{,}05; 12) = 1{,}7823 < t_{GDP_{pc}} = 17{,}07;\quad DW = 0{,}583 < d_l = 1{,}05;$

$$Pax = 0{,}167\ GDP_{pc} + 0{,}119 Tourism - 165{,}536, \tag{4}$$

$R^2 = 0{,}983;\quad t(0{,}05; 11) = 1{,}7959 < t_{GDP_{pc}} = 10{,}76, t_{Tourism} = 4{,}45;\quad DW = 1{,}32 > d_l = 0{,}91;$

$$PaxFlow = 0{,}367 GDP_{pc} + 2528{,}41, \tag{5}$$

$R^2 = 0{,}958;\quad t(0{,}05; 11) = 1{,}7959 < t_{GDP_{pc}} = 17{,}10;\quad DW = 0{,}774 < d_l = 0{,}97\ ;$

$$PaxFlow = 0{,}300\ GDP_{pc} + 0{,}182 Tourism + 151{,}241, \tag{6}$$

$R^2 = 0{,}981;\quad t(0{,}05; 9) = 1{,}8331 < t_{GDP_{pc}} = 9{,}75, t_{Tourism} = 2{,}8;\quad DW = 0{,}67 < d_l = 0{,}81,$

де Pax, $PaxFlow$ – кількість перевезених пасажирів авіакомпаніями України та пасажиропотік аеропортів України відповідно, тис. осіб; GDP_{pc} – ВВП на душу населення, грн/особу; $Tourism$ – кількість іноземних громадян, які відвідали Україну, тис. осіб; t – тестова статистика (t-критерій Стьюдента); DW – статистика Дурбіна-Уотсона.

Для довгострокового прогнозування на 25–50 років була використана логістична крива (7), яка враховує періоди розвитку ринку: зародження, активний розвиток, насичення:

$$Pax \vee PaxFlow(t) = \frac{K}{1+\alpha exp(-bt)}, \tag{7}$$

де t – час; K – оцінний параметр (асимптота, потенційна місткість ринку), b – фактор росту – середній темп приросту в перші роки (у відносних показниках); α – константа, яку визначають за формулою:

$$\alpha = \frac{K - Pax \vee PaxFlow_1}{Pax \vee PaxFlow_1}. \tag{8}$$

Для визначення K пропонується використовувати показники ринку авіаційних перевезень у розвинених країнах, схожих за культурними особливостями та географічним характеристикам, наприклад, Франції, Німеччини, Туреччини. У разі прогнозування пасажиропотоку в аеропортах України асимптота може бути визначена сумарною максимальною пропускною спроможністю вузлів, адже основні з них були істотно модернізовані під час підготовки до Євро-2012.

Розрахунки показали, що у 2020 р. обсяг пасажирських перевезень авіаційним транспортом України може досягти близько 11,2 млн. пас. при оптимістичному сценарії, або – 8,6 млн пас. при найбільш ймовірному. Середньорічний приріст обсягів, отриманий при використанні моделі (4), становить 1,15 ÷ 4,77 % в залежності від сценарію розвитку соціально-економічного середовища. Що стосується пасажиропотоку аеропортів України, то найбільш імовірним можна вважати результат, отриманий за допомогою моделі (6), – 15,1 млн пас. у 2020 р. Даний показник відповідає середньому приросту 0,31% на рік, що є відображенням складного політичного та соціально-економічного середовища в Україні. При збереженні позитивної динаміки пасажиропотоку в аеропортах України, згідно з моделлю (6) можна очікувати, що цей показник досягне до 2020 р. значення 19,2 млн пас., що відповідає середньорічному приросту 3,69%. Даний сценарій розвитку авіаперевезень відповідає оптимістичним очікуванням. Модель (7) як експеримент була використана для розробки прогнозу до 2030 р. Розрахунки за даною моделлю показали, що, за умови позитивних умов розвитку ринку авіаційних перевезень в Україні, пасажиропотоки на рівні 35–40 млн можна очікувати у 2030 р. Якщо як прототип брати рівень авіаперевезень розвинених країн, то, за сприятливих умов розвитку, ємність ринку України у 2030 р. може досягти від 34,2 до 75,1 млн пас.

2. Поточне планування функціонування авіакомпанії на мережі маршрутів з низьким рівнем попиту

Математично модель руху пасажиропотоків на існуючій і у варіантах розширеної мережі, парку існуючих і у варіантах оновленого парку літаків (з меншим значенням кількості потрібних крісел S_i у літаку типу i) можна записати в такому вигляді:

максимізувати лінійну форму

$$Profit_r = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{m_r}\sum_{j=1}^{a_r}(\tau_{jt}\mathrm{p}_{ijt} - \mathrm{c}_{ijt})q_{ijt} - \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{m_r}\sum_{j=1}^{a_r}\mathrm{c}_{\mathrm{D}_{ij}}\mathrm{D}_{jt}^{a}\xi_{jt}^{a}q_{ijt} - \\ - \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{m_r}\sum_{j=1}^{a_r}\mathrm{c}_{\mathrm{D}_{pax\,j}}\mathrm{D}_{jt}^{pax}\vartheta_{jt}^{pax}\mathrm{p}_{ijt}q_{ijt},\ r = 0,1,\dots,R \qquad (9)$$

за обмежень

$$\sum_{i=1}^{m_r}\mathrm{p}_{ijt}q_{ijt} \geq d_{jt},\ \ j = 1,\dots,\ a_r,\ \ t = 1,\dots,T, \qquad (10)$$

$$\sum_{j=1}^{a_r}q_{ijt} \leq \mathrm{a}_{it},\quad i = 1,\dots,m_r,\ t = 1,\dots,T, \qquad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{m_r}q_{ijt} \leq \mathrm{S}_{jt},\quad j = 1,\dots,a_r,\ t = 1,\dots,T, \qquad (12)$$

$$q_{ijt} \geq 0,\quad i = 1,\dots,m_r,\ j = 1,\dots,\ a_r,\quad t = 1,\dots,T, \qquad (13)$$

де індекси: i – тип ПС; j – номер маршруту; t – підперіод (місяць); r – варіант декомпозиції мережі та складу парку ПС; $Profit_{r=0}$ – очікуваний сумарний річний прибуток авіакомпанії на існуючій мережі при існуючому складі парку ПС; $Profit_{r=1,\dots,R}$ – очікуваний сумарний річний прибуток авіакомпанії при r-му варіанті декомпозиції мережі маршрутів і відповідних варіантах оновлення парку ПС; τ_{jt} – ціна квитка в одному напрямку, грош. од.; d_{jt}– очікуваний середньомісячний пасажирський попит, пас.; c_{ijt} – середньомісячні експлуатаційні витрати i-го ПС на маршруті j, грош. од.; p_{ijt}– середньомісячна продуктивність одного рейсу ПС, сотні пас.; a_{it}– кількість ПС i-го типу у парку авіакомпанії; q_{ijt} – кількість ПС (невідома змінна); a_r – кількість маршрутів в декомпозиції r; m_r – кількість типів ПС в декомпозиції r; $c_{D_{ij}}$ – витрати у зв'язку із затримкою ПС i-го типу, грош. од. на год.; $D_{f_{jt}}$ – середній час затримки на маршруті j, год.; ξ_{jt}^a – ймовірність затримки рейсу на маршруті j; $c_{D_{pax\,j}}$ – витрати пасажира у зв'язку із затримкою в аеропорту на маршруті j, грош. од. на год.; $D_{d_{jt}}$ – час затримки пасажира в аеропорту на маршруті j (в розрахунках приймається не менше, ніж мінімальний час стиковки), год.; ϑ_{jt}^{pax} – середньостатистична частка трансферних пасажирів на маршруті j; S_{jt} – кількість слотів в аеропортах для маршруту j у підперіод t.

У моделях (9)–(13) як мережа маршрутів, так і парк ПС у всіх варіантах $r \in \{1, \dots R\}$ декомпозиції розглядаються лише як доповнені версії моделі варіанту $r = 0$, хоча в практичних задачах умова рекурсії не обов'язкова.

Якщо $\{1, \dots, R\}$ – множина варіантів декомпозиції розширеної мережі, то найкращий варіант r^{opt} визначається тривіально за умови, що отриманий ефект:

$$Effect = \max_{r\in\{1,\dots,R\}} \max_{q_{ijt}} Profit_r(q_{ijt}) - \max_{q_{ijt}} Profit_0(q_{ijt}) > 0. \qquad (14)$$

За запропонованим методом декомпозиції мережі маршрутів проведено експериментальні розрахунки з врахуванням умов функціонування українських авіакомпаній.

3. Методи планування частоти рейсів на мережі маршрутів авіакомпанії

Для розв'язання завдання визначення оптимальної частоти на заданій мережі маршрутів авіакомпанії запропонована наступна модель:
максимізувати

$$Profit_t = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{a}\left[\left(\tau_{jt}\text{кз}_{ijt}S_i - c_{ijt}\right)\nu_{ijt}\right], \qquad t = \overline{1,T} \qquad (15)$$

за обмежень

$$\sum_{i=1}^{m} \text{кз}_{ijt}S_i\nu_{ijt} \geq d_{jt},\ j = \overline{1,a}, \qquad (16)$$

$$\sum_{j=1}^{a} h_{ij}\nu_{ijt} \leq H_{it},\ i = \overline{1,m}, \qquad (17)$$

$$\sum_{i=1}^{m} \nu_{ijt} \geq \nu_{ijt}^{min},\ j = \overline{1,a}, \qquad (18)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{a} v_{ijt} \le S_{jt}^{max},\ j=\overline{1,a}, \quad (19)$$

$$v_{ijt} \in Z^{+}, i=\overline{1,m},\ j=\overline{1,a}, \quad (20)$$

де c_{ijt} – операційні витрати на рейс, S_i – ємність ПС, $кз_{ijt}$ – середній коефіцієнт завантаження рейсу, h_{ij}– середній час нальоту ПС, H_{it} – максимальний наліт, v_{ijt}^{min}– мінімальна кількість регулярних рейсів, S_{jt}^{max} – максимальна кількість слотів в аеропортах маршруту j, які може використати авіакомпанія у заданий період часу t, Z^{+}– множина додатних цілих чисел.

Критерієм ефективності у даному завданні може бути як максимальний загальний прибуток, так і мінімальні загальні витрати.

Адекватність моделі (15)–(20) було доведено в ході експериментальних розрахунків для визначення оптимальної частоти рейсів на тиждень за заданих умов, які максимально наближені до умов функціонування авіакомпанії МАУ. Мережа, що розглядалася, включала п’ять аеропортів вильоту та п’ятдесят два аеропорти призначення. В парку ПС авіакомпанії налічувалося сорок літаків восьми типів. У ППП LINDO було отримано оптимальний розв’язок моделі (15)–(20), який може допомогти менеджеру з планування частоти рейсів на маршруті обґрунтувати кількість рейсів не лише за маршрутом, але й за типами ПС. Згідно отриманому розв’язку, при заданому обсязі пасажиропотоків на деяких маршрутах, наприклад із Києва до Москви, Астани, Стамбула слід скоротити частоту рейсів, тоді як за іншими маршрутами можна додати рейси, наприклад, на маршруті Київ–Прага. Крім того, можна внести зміни в прогноз обсягів авіаперевезень і оцінити, як зміниться частота на маршруті, розподіл ПС за авіамаршутами та сумарний прибуток авіакомпанії.

4. Оптимізація доходів авіакомпанії

У розв’язанні завдань оптимальної стратегії продажів авіаквитків та визначення обсягу понадлімітного бронювання важливим є поточне прогнозування.

Побудова оптимальної стратегії продажів авіаквитків з урахуванням стохастичної природи попиту на авіаквитки передбачає визначення межі бронювання для кожного типу тарифів з метою максимізації прибутку при врахуванні ємності ПС, призначених на рейси згідно розкладу польотів. Тобто оптимальна стратегія продажу включає оптимізацію доходів (Yield Management) на кожному рейсі. Тестування моделі Yield Management у частині поточного прогнозування попиту на пасажирські перевезення на прикладі, наближеному до умов функціонування авіакомпанії МАУ показало, що застосування функції розподілу нормального закону в моделі граничного очікуваного доходу може застосовуватися в цілях підвищення ефективності функціонування авіакомпанії у фазі поточних операцій.

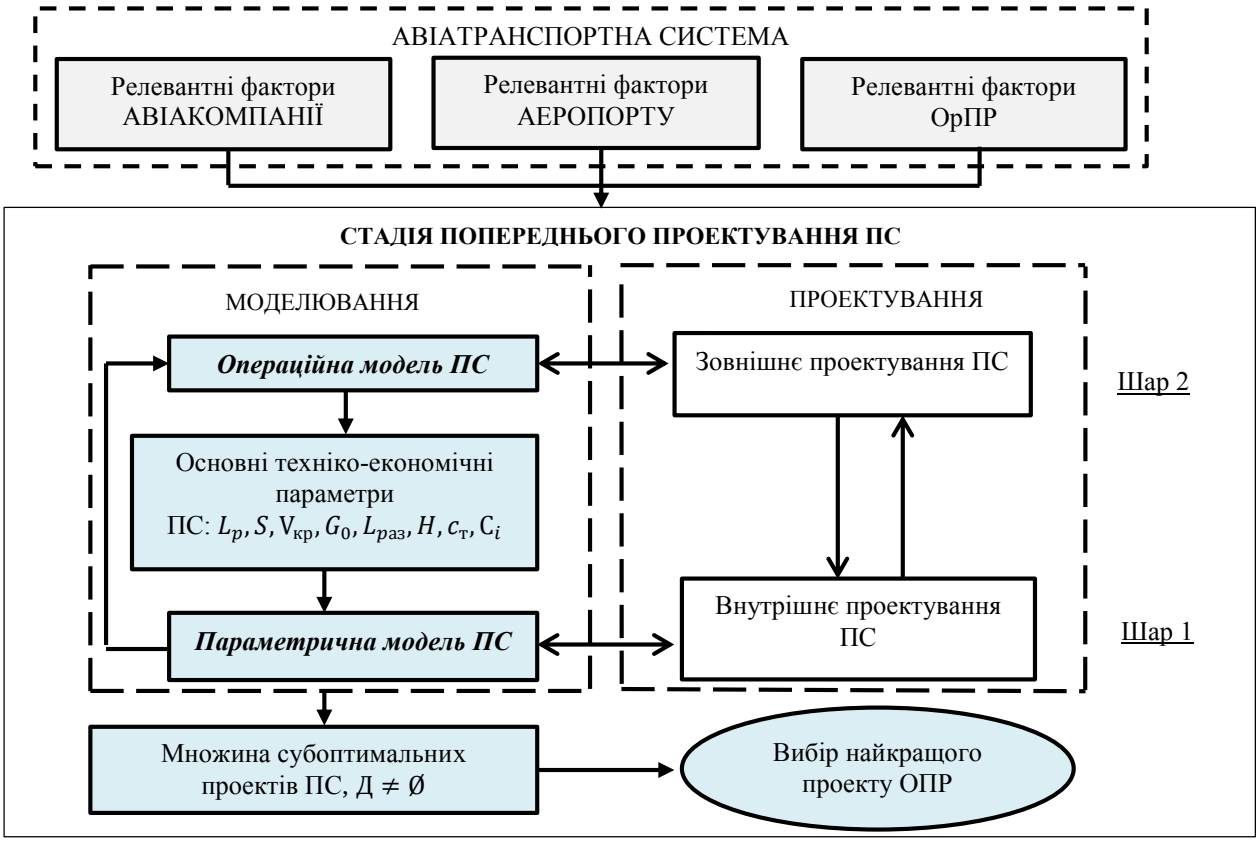
5. Взаємозв’язок АТС та авіабудівної галузі

Практичні питання, пов’язані з розробкою, створенням та експлуатацією ПС, потребують розв’язання двох завдань. Перше пов’язане з формалізацією процесу функціонування віртуального повітряного флоту, що представляє собою умовний сумарний парк ПС авіакомпаній, які потенційно можуть замовити проектоване ПС, з побудовою математичної моделі, визначенням оптимальних режимів

функціонування з метою досягнення максимальної ефективності всього процесу при фіксованих витратах. Це завдання прийнято називати *зовнішнім проектуванням* ПС.

Розв'язання другого завдання пов'язане з реалізацією оптимальних характеристик і параметрів ПС як у цілому, так і його агрегатів, вузлів і деталей. Це завдання називатимемо *внутрішнім проектуванням* ПС, оскільки дане завдання охоплює коло питань, обумовлених внутрішніми взаємозв'язками підсистем ПС та вимог, отриманих із розв'язанням першого завдання.

Як елемент віртуального повітряного флоту, проектоване ПС через свої техніко-економічні характеристики впливає на економічну ефективність зазначеного флоту. Техніко-економічні характеристики ПС, в свою чергу, є функціями параметрів ПС, які визначаються в процесі внутрішнього проектування. Таким чином, виникає проблема встановлення зв'язку між вибором проектних параметрів на етапі внутрішнього проектування та техніко-економічних характеристик на етапі зовнішнього проектування й оцінювання їх з точки зору ефективного функціонування віртуального флоту. Це і є приклад багатошарової ієрархії прийняття рішень, наведений на рис. 5.



L_p – розрахункова дальність польоту, км; S – кількість крісел; $V_{кр}$ – крейсерська швидкість, км/год.; G_0 – максимальна злітна вага, кг; $L_{раз}$ – довжина розбігу, м; H – середньорічний наліт, год.; $c_т$ – питома витрата пального, г/пас•км; C_i – ціна ПС, млн грн.

Рисунок 5 – Двошарова ієрархія визначення основних параметрів ПС на стадії попереднього проектування

Системний підхід до зовнішнього проектування ПС полягає в тому, що дане завдання поділяється на дві взаємопов'язані моделі: параметричну та операційну. При параметричному моделюванні ПС використовується модель, яка відображає взаємодію деяких домінуючих властивостей ПС, які кількісно представлені у вигляді набору параметрів $\chi = (\chi_1, \dots, \chi_\eta)$. При операційному моделюванні (оскільки проектоване ПС розглядається в сукупності з іншими ПС, які беруть участь у транспортній операції, природно назвати моделі цього типу операційними) як об'єкт виступає безпосередньо ПС. На параметричному рівні генерується деяка кінцева множина проектних варіантів ПС, з якої за допомогою операційної моделі формується множина субоптимальних варіантів Д. Найкращий проект $\chi^* \in$ Д вибирає особа, що приймає рішення (ОПР), враховуючи при цьому ряд додаткових параметрів і відносин, які, як правило, не формалізуються на етапі попереднього проектування. Для побудови множини Д можна використовувати також статистичні методи, морфологічний метод, неформальні методи, що засновані на «знанні спеціаліста», методи нечітких множин.

Модель зовнішнього проектування ПС в розгорнутому виді можна записати як модель функціонування авіакомпанії при стратегічному плануванні:

максимізувати лінійну форму

$$\mathrm{TC}_{AK} = \sum_{t=1}^{T} \sum_{j=1}^{a_t} \sum_{i \in I} \frac{1}{(1-e)^t} \{ \mathrm{c}_{ijt} q_{ijt} + \mathrm{c}_{it} q_{it}^p - \mathrm{O}_{it}^T \} \tag{21}$$

за обмежень

$$\sum_{i \in I} p_{ijt} q_{ijt} \geq d_{jt}, \; j = \overline{1, a_t}; \; t = \overline{1, T}, \tag{22}$$

$$\sum_{i \in I} \nu_{ijt} q_{ijt} \geq \nu_{jt}^*, \; j = \overline{1, a_b}, \; a_b \leq a_t; \; t = \overline{1, T}, \tag{23}$$

$$\sum_{j=1}^{a_t} q_{ijt} \leq \mathrm{a}_{it} + \sum_{\tau=1}^{t} \Theta_{i\tau t} q_{it}^p, \; i \in I; \; t = \overline{1, T}, \tag{24}$$

$$\sum_{j=1}^{a_t} q_{ijt} \leq \mathrm{a}_{it} + \sum_{\tau=1}^{t} \Theta_{i\tau t} q_{it}^p, \; i \in I; \; t = \overline{1, T}, \tag{24}$$

$$\sum_{j=1}^{a_t} \mathrm{r}_{ij} q_{ijt} \leq \mathrm{R}_{it}, \; i \in I; \; t = \overline{1, T}, \tag{25}$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j=1}^{a_{t,n}} \mathrm{p}_{ijt} q_{ijt} \leq \mathrm{B}_n, \; n = \overline{1, \mathbb{N}}; \; t = \overline{1, T}, \tag{26}$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j=1}^{a_{t,n}} q_{ijt} \leq \mathrm{S}_n, \; n = \overline{1, \mathbb{N}}; \; t = \overline{1, T}, \tag{27}$$

$$\sum_{i \in I} \mathrm{c}_{it} q_{it}^p \leq K_t, \quad t = \overline{1, T}, \tag{28}$$

$$q_{ijt} \geq 0, \; i = \overline{i \in I}; \; j = \overline{1, a_t}; \; t = \overline{1, T}, \tag{29}$$

$$\Upsilon_{it} \geq q_{it}^p \geq 0, \; i \in I, \quad t = \overline{1, T}, \tag{30}$$

де $I = \{1, \dots, m, m+1, \dots, p_t\}$ – кількість типів ПС, включаючи нові $\{m+1, \dots, p_t\}$ типи (у виді проектів), що пропонуються для віртуальної авіакомпанії авіапромисловістю в t-му році; TC_{AK} – сумарні приведені витрати, грош. од.; $\mathrm{O}_{it}^{T} = f(\mathrm{C}_{it}, q_{it}^{p}, t_i^{ex}, \mathrm{c}_i^{liq}, \Theta_{i\tau t})$ – залишкова вартість ПС у T-му році, грош. од.;

$\Theta_{i\tau t} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t - \tau \le t_i^{ex} - 1 \\ 0, & \text{якщо } t - \tau > t_i^{ex} - 1 \end{cases}$;

i, j, t, n – індекс: типу ПС, авіамаршруту, підперіоду (рік), аеропорту в обслуговуваній мережі, відповідно; m – число типів ПС у складі парку на початку планового періоду; a_t – число маршрутів у мережі в t-му році; a_b – кількість малозавантажених маршрутів; q_{ijt} – кількість ПС (невідома величина); q_{it}^{p} – кількість ПС, що придбаються (невідома величина); c_{ijt} – операційні витрати одного ПС, грош. од. за рік; c_{it} – вартість ПС, грош. од.; e – ставка дисконту; p_{ijt} – середньомісячна рейсова продуктивність ПС, пас./рейс; ν_{ijt} – частота рейсів ПС i-го типу, рейсів за рік; r_{ij} – середньомісячна потреба в екіпажах на рейси; d_{jt} – середньорічний попит пасажирів; ν_{jt}^{*} – частота рейсів на малозавантажених маршрутах; a_{it} – залишок від числа ПС в початковому парку в році $t > t_1$; Υ_{it} – максимально можливі поставки ПС авіапромисловістю; R_{it} – число екіпажів в авіакомпанії; B_n – пропускна спроможність аеропорту, пас./рік; S_n – кількість слотів в аеропорту; K_t – максимально можливий обсяг капітальних вкладень, грош. од.; c_i^{liq} – ліквідна вартість ПС, грош. од.; t_i^{ex} – технічний ресурс ПС; α_{ijt} – собівартість льотної години, грош. од./год.; V_{ij} – рейсова швидкість ПС, км/год.

Потенційне ринкове замовлення нових типів ПС сформується у вигляді $\sum_{t=1}^{T} q_{it}^{p*} = q_i^{p*}, \quad i = m+1, \dots, p_t$. В залежності від замовлення q_i^{p} кожний розробник ПС приймає рішення про доцільність виробництва пропонованого типу ПС з урахуванням відпускної ціни C_{it} і собівартості виробництва одного ПС. З іншого боку, авіакомпанії теж приймають рішення про покупку того або іншого типу ПС в необхідній їм кількості в залежності від вартості ПС і призначених маршрутів. Цей ітераційний процес узгодження цін і призначених маршрутів триває до того часу, поки авіакомпанії і авіапромисловість не прийдуть до компромісу.

При побудові параметричної моделі насамперед проводиться процедура параметризації, тобто виділення основних проектних параметрів, які дають достатню інформацію для прийняття рішення при подальшій реалізації проекту.

Якщо параметризація ПС визначена, тобто параметри $(\chi_1, \dots, \chi_\eta) = \chi$ вибрані, то переходимо до наступного етапу – виписування системи основних відносин $\mathcal{R}_1(\chi), \dots, \mathcal{R}_\eta(\chi)$, які пов'язують ці параметри.

У **шостому розділі** «Моделювання функціонування аеропортів та їх підсистем» обґрунтовуються методи забезпечення ефективного функціонування і розвитку аеропортів.

1. Вибір стратегії розвитку мережі аеропортів

Відставання транспортної інфраструктури уповільнює розвиток економіки, зумовлює зниження ефективності виробництва, а потім і його абсолютний спад. Однак, якщо випередження розвитку інфраструктури транспорту значне, то частина

потужностей може бути не задіяна, внаслідок чого зростають строки окупності капіталовкладень в інфраструктуру.

Математична модель завдання прийняття рішення про вибір стратегії розвитку аеропортів в умовах невизначеності може бути задана у вигляді трійки об'єктів $\langle U, D, f \rangle$, де U – множина допустимих альтернатив (стратегій), D – множина можливих станів середовища, $f: U \times D \to W$— цільова функція.

Розглянемо три можливі, найбільш обговорювані альтернативи розвитку регіональної мережі аеропортів України:

Стратегія 1. Розвиток основних регіональних аеропортів в умовах адміністративного управління авіаційним ринком. У центральному регіоні пропонується розвивати аеропорти «Бориспіль» та «Київ» (Жуляни), у південному регіоні – аеропорт «Одеса», Автономній Республіці Крим – аеропорт «Сімферополь»[1], у східному регіоні – аеропорт «Донецьк»[2] (як альтернатива можуть розглядатися аеропорти «Маріуполь» або «Дніпропетровськ», але вони виведені з державної власності), у західному – аеропорт «Львів».

Стратегія 2. Розвиток аеропорту «Бориспіль» як міжнародного і 8 регіональних аеропортів для обслуговування внутрішніх перевезень в умовах адміністративного управління авіаційним ринком. При цьому до вищезгаданих регіональних аеропортів можна додати аеропорти «Харків», «Дніпропетровськ», «Ужгород» (за умови узгодження співпраці держави та власників аеропортів).

Стратегія 3. Розвиток усіх існуючих аеропортів і аеродромів в умовах повної лібералізації авіаційного ринку (функціонування близько 30 аеропортів та аеродромів).

Цільова функція $f(u_\phi, d_a, \mathrm{z}_\phi)$ – це прибуток, який отримає мережа аеропортів за рік в ситуації, коли обрана певна стратегія u_ϕ, де $\phi = \overline{1, \Phi}$ – кількість стратегій, які передбачають експлуатацію X аеропортів. Як єдиний параметр, що характеризує стан середовища, в нашому випадку взято середньорічний попит, який дорівнює d_a, де $a = \overline{1, A}$ – кількість станів середовища, а z_ϕ – оцінка скорочення потенційного попиту в залежності від обраної стратегії. Множину станів середовища можна позначити D= {1, 2, 3, ..., 40} млн пасажирів. Необхідно вибрати одну з трьох описаних вище стратегій. При цьому припустимо, що реконструкція і будівництво злітно-посадкових смуг (ЗПС), модернізація підсистеми ОрПР, будівництво під'їзних шляхів будуть фінансуватися з бюджетних коштів. Ці витрати можна розділити на:

1) витрати, які не залежать від вибору стратегії й є необхідними для модернізації інфраструктури наземних видів транспорту в районі тяжіння основних регіональних аеропортів. Виходячи з аналізу експертних оцінок приймемо, що дані витрати становлять 50 млн дол. США на рік;

2) витрати, пов'язані з обраною стратегією. Це витрати, що залежать від кількості функціонуючих аеропортів – $1u_\phi$ млн ум. грош. од.; витрати, пов'язані з обслуговуванням пасажирів в аеропорту – $13{,}85d_a$ ум. грош. од.

---

[1] Навесні 2014 р. Україна закрила повітряний простір Криму.

[2] Під час бойових дій 2014 р. на сході України будівля аеропорту зазнала значних пошкоджень. Наприкінці травня робота аеропорту була припинена. З 3 червня 2014 р. ДАС України відкликала сертифікат експлуатанта аеропорту.

Дані розраховано, виходячи з аналізу існуючої структури доходів і витрат аеропортів України та основного аеропорту Польщі у Варшаві Frederic Chopin.

Припустимо, що дохід аеропортової мережі становить 17,19 млн ум. грош. од. на 1 млн пасажирів, тоді цільова функція для даного завдання ухвалення рішення буде мати вигляд:

$$f(u_\phi, d_a, \mathrm{z}_\phi) = (17{,}19 - 13{,}85)(d_a - d_a \mathrm{z}_\phi) - u_\phi - 50\ ,$$

або

$$f(u_\phi, d_a, \mathrm{z}_\phi) = 3{,}34 d_a (1 - \mathrm{z}_\phi) - u_\phi - 50. \quad (31)$$

Далі, приймемо $f(\phi, a) = w_\phi^a$ і будемо інтерпретувати число w_ϕ^a як виграш ОПР за умови (ϕ, a). Тоді цільова функція задається у вигляді матриці виграшів.

При побудові матриці виграшів для вибору стратегії розвитку мережі регіональних аеропортів України враховувалися такі стани середовища на 2020 р.: сумарний пасажиропотік в аеропортах України дорівнює 13 млн пасажирів (песимістичний прогноз), 15,1 млн пасажирів (найімовірніший прогноз), 19,2 млн пасажирів (оптимістичний прогноз) та 21 млн пасажирів (найоптимістичніший прогноз). Як критерії вибору альтернативи використовувалися критерій Лапласа $L(\phi)$ і критерій Вальда $W(\phi^*)$:

$$L(\phi) = \frac{1}{A} \sum_{a=1}^{A} w_\phi^a\ , \quad (32)$$

$$W(\phi^*) = \max_\phi W(\phi) = \max_\phi \min_a w_\phi^a. \quad (33)$$

Також можемо зробити припущення про ймовірності настання кожного можливого стану середовища (p_a). Тоді очікуваний результат від прийняття ϕ-ої стратегії ER_ϕ обчислюється за формулою:

$$ER_\phi = \sum_{a=1}^{A} w_\phi^a p_a. \quad (34)$$

ОПР може вибрати таку стратегію, яка б максимізувала очікуваний результат:

$$ER_{\phi^*} = \max_\phi ER_\phi. \quad (35)$$

2. Метод визначення необхідної пропускної спроможності аеропортів

Нехай N – задана множина аеропортів, E − множина існуючих і потенційних прямих маршрутів між аеропортами N. Надалі, абстрагуючись від «авіаційного» змісту множин N та E, будемо оперувати множиною вузлів і ребер мережі $G = (N, E)$. Можна вважати, що мережа G представлена повним графом, так як неіснуючі прямі маршрути між різними парами аеропортів можна розглядати як потенційні маршрути. На підмножинах Λ множини N визначимо позитивну функцію, значення якої є прогнозованими величинами пасажиропотоків між аеропортами Λ і $N \backslash \Lambda$. З визначення цієї функції випливає, що $PaxFlow\ (\Lambda) = PaxFlow\ (N \backslash \Lambda)$, тобто вона симетрична. Симетричність функції означає, що сумарна кількість пасажиропотоків,

що прибувають і відбувають в і з множин аеропортів Λ збігається з аналогічною сумою пасажиропотоку для множин аеропортів $N\backslash\Lambda$.

У мережі $G = (N, E)$ множина ребер, що з'єднують вузли з Λ з вузлами $N\backslash\Lambda$, називається *розрізом*, визначеним непустою підмножиною Λ множини N ($\emptyset \neq \Lambda \subset N$), і позначається як $\delta(\Lambda)$. Якщо підмножини $\Lambda = \{v\}$, то для простоти замість $\delta(\{v\})$ будемо писати $\delta(v)$. В подальшому довільне ребро $e \in E$ також позначається як (v, w), тобто $e = (v, w)$, де v, w – його кінцеві вузли.

Нехай для деяких вузлів (аеропортів) $v, w \in N$ задані $d_{vw} \geq 0$ як поточна (або мінімальна) кількість пасажирів між аеропортами v і w. Якщо немає необхідності в зазначені мінімальної кількості пасажирів, то можна припустити, що $d_{vw} = 0$. Таким чином, не порушуючи загальності, можемо припустити, що для довільної пари аеропортів, v і w, задані величини $d_{vw} \geq 0$.

Якщо x_v – невідома необхідна пропускна спроможність (кількість пасажирів, яка може бути обслугована аеропортом за заданий період часу) аеропорту v, то $\mathrm{c}_v x_v$ – загальні витрати на його реконструкцію, де c_v – сума питомих витрат на всіх етапах реконструкції. У мережі $G = (N, E)$ є множина можливих прямих авіамаршрутів (ребер), які можуть бути виконані через аеропорт v, утворюючи розріз $\delta(v) \subset E$. Якщо x_e – невідома необхідна пропускна спроможність ребра $(v, w) = e \in \delta(v)$ (невідома кількість пасажирів, яка може використати даний авіамаршрут), то

$$x_v = \sum_{e \in \delta(v)} x_e$$

для кожного аеропорту $v \in N$.

Таким чином, необхідна пропускна спроможність аеропорту v визначається як сума пропускних спроможностей ребер, що належать $\delta(v)$. Це визначення можна записати коротко як $x_v = x(\delta(v))$. Тоді для аеропортів N отримаємо:

$$\sum_{v \in N} \mathrm{c}_v x_v = \sum_{v \in N} \sum_{e \in \delta(v)} \mathrm{c}_v x(\delta(v)) = \sum_{e \in E} \mathrm{c}_e x_e, \qquad (36)$$

де $\mathrm{c}_e = \mathrm{c}_v + \mathrm{c}_w$ для всіх ребер $(v, w) = e \in E$.

Математичну модель загальної задачі визначення необхідної пропускної спроможності аеропортів на графі $G = (N, E)$ можна сформулювати наступним чином:

знайти

$$min \sum_{e \in E} \mathrm{c}_e x_e \qquad (37)$$

за обмежень

$$\sum_{e \in \delta(v)} x_e \geq PaxFlow\ (\Lambda) \text{ для } \forall\ \emptyset \neq \Lambda \subset N, \qquad (38)$$

$$x_e \geq d_{vw} \geq 0 \text{ для } \forall e = (v, w) \in E, \qquad (39)$$

$$x_e \text{ – ціле число для } \forall e \in E. \qquad (40)$$

В роботі доведено, що завдання визначення необхідних пропускних спроможностей аеропортів можна сформулювати як окремий випадок задачі (37) - (40):

знайти

$$min \sum_{e\in E} c_e z_e \tag{41}$$

за обмежень

$$\sum_{e\in\delta(\Lambda)} z_e = PaxFlow\ (\Lambda),\ \text{ для } \forall\delta(\Lambda) \in \Gamma(T), \tag{42}$$

$$z_e \geq d_e \geq 0 \text{ для } \forall\ e = (v,w) \in E, \tag{43}$$

$$z_e \text{ – ціле число для } \forall\ e \in E, \tag{44}$$

де $\Gamma(T)$ – множина розрізів на мережі $G = (N, E)$, відповідних ребрам остовного дерева $T = (N, E(T))$.

Після заміни $y_e = z_e - d_e$ задачу (41)-(44) можна представити у вигляді:

знайти

$$min \sum_{e\in E} c_e y_e \tag{45}$$

за обмежень

$$\sum_{e\in\delta(\Lambda)} y_e = PaxFlow\ (\Lambda) - \sum_{e\in\delta(\Lambda)} d_e\ ,\ \text{ для } \forall\delta(\Lambda) \in \Gamma(T), \tag{46}$$

$$y_e \geq 0 \text{ для } \forall e = (v,w) \in E, \tag{47}$$

$$y_e \text{ – ціле число для } \forall e \in E\ . \tag{48}$$

Експериментальні розрахунки з використанням вищезазначеного методу дозволили визначити необхідну пропускну спроможність аеропортів України (в містах Київ, Одеса, Львів, Дніпропетровськ, Харків, Донецьк) для обслуговування регулярних пасажирських перевезень.

3. Поетапний метод управління розвитком мережі аеропортів

Нехай задана конфігурація мережі авіамаршрутів. Для деякого розрахункового року t, сумарні витрати (капітальні вкладення плюс експлуатаційні витрати) залежать від вектору параметрів аеропорту y та вектору параметрів парку ПС x:

$$TC(x, y) = C_{ПС}(x, y) + C_{АП}(y, x), \tag{49}$$

де $C_{ПС}(x, y)$ – річні експлуатаційні витрати на парк ПС, $C_{АП}(y, x)$ – сумарні витрати (інвестиції та експлуатаційні витрати) аеропортів.

Легко показати, що експлуатація заданого парку ПС на мережі існуючих (без реконструкції) аеропортів буде пов'язана із значними $C_{ПС}(x, y)$. Разом з тим, будь-яке рішення (x, y), що приймається з метою зниження $C_{ПС}$, веде до збільшення $C_{АП}$. Дійсно, введення в експлуатацію нових типів ПС із більшою злітною вагою (наприклад, аеробусів) або з більшою злітною дистанцією вимагатиме збільшення розмірів ЗПС аеродрому і несної здатності штучних покриттів, підвищення категорії

ІСАО з рятування та боротьби з пожежею, а отже, збільшення $C_{\text{АП}}$, як це і сталося з аеропортами «Київ», «Львів» та іншими, які пройшли реконструкцію напередодні ЄВРО-2012. З іншого боку, зростання аеропортових інвестицій веде до збільшення можливостей *n*-го аеропорту щодо прийняття ПС різних типів. Тобто типорозмірний ряд I_n дозволить приймати нові типи ПС, які раніше не обслуговувалися в *n*-му аеропорту. Інтуїтивно можна припустити, що оптимальне рішення (x^*, y^*) лежить десь між двома крайностями: коли аеропорти зовсім не реконструюються і коли вони реконструюються в повній відповідності з вимогами злітно-посадкових характеристик ПС, обраних без обмежень на спроможність аеропортів їх приймати.

Завдання оптимальної реконструкції аеропортів може бути сформульоване в такому вигляді: при обмеженій величині аеропортових витрат ($C_{\text{АП}} \leq$ Ф) знайти таку послідовність і глибину реконструкції аеропортів, щоб сумарні витрати ТС(x, y) були мінімальними. Алгоритм поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів наведений на рис. 6.

4. Вибір інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності

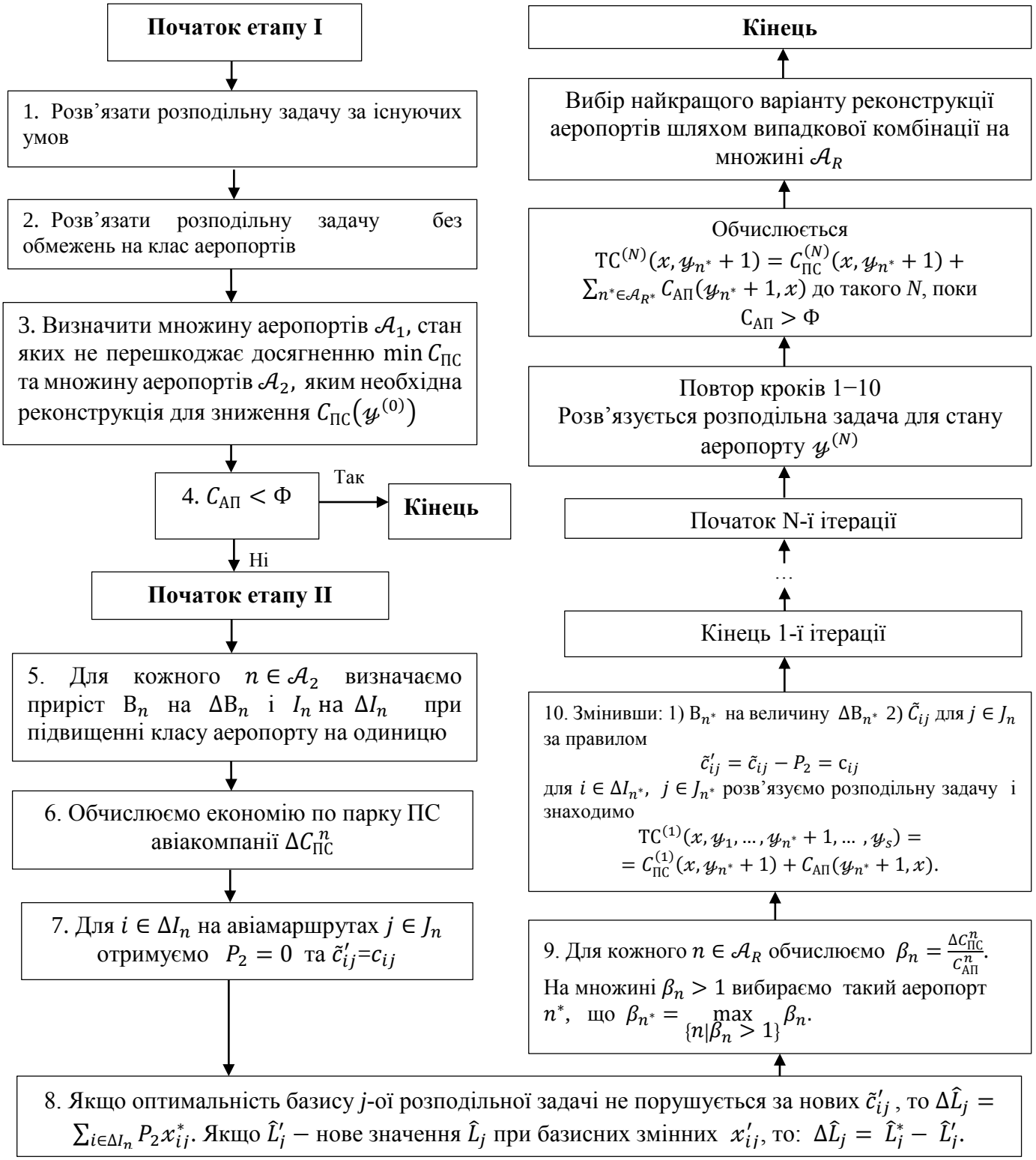
У процесі розвитку АТС в певні моменти часу виникає ситуація, коли необхідно прийняти рішення, від якого залежить подальша діяльність авіатранспортної галузі. Наприклад, при плануванні стратегій відкриття нових аеропортів або, навпаки, закриття неперспективних, при реконструкції привабливих для інвестора окремих терміналів та аеропортового комплексу в цілому. Нові проекти реконструкції відрізняються тим, що на момент прийняття рішень немає повної інформації або інформація має розпливчастий характер. Оцінка альтернатив за наведеними критеріями буде носити експертний характер і покладатися на інтуїтивні судження. Серед методів, які використовують інформацію про переваги на множині критеріїв і про наслідки альтернатив, перспективними можна вважати методи теорії нечітких множин.

Припустимо, що в результаті маркетингового аналізу ринку інвестор зупинив свій вибір на інвестиційному проекті, що полягає у вкладенні вільних коштів у реконструкцію одного з аеропортів України. Даний проект може розвиватися в декількох варіантах, залежно від географічного розташування аеропорту. Аналітики інвестора запропонували наступні альтернативи аеропортів: «Бориспіль», «Донецьк», «Харків», «Львів», «Одеса».

Критерії *(F*1*,…, F*5*)*, використовувані для оцінки даних альтернатив, були задані в такий спосіб: *F*1 – строк окупності інвестицій; *F*2 − клас аеропорту за ІКАО; *F*3 – річний обсяг пасажирських перевезень; *F*4 – максимальна пропускна спроможність пасажирського терміналу; *F*5 – RFFC.

Змінні $n_1, n_2, \cdots, n_5$ будемо вимірювати на базовій множині $\mathcal{U}$ альтернатив.

Нечітка база знань $(d1,\ldots,d6)$ формується на основі лінгвістичних суджень <якщо-то>, наприклад: якщо для альтернативи строк окупності інвестицій, клас аеропорту за ІКАО та RFFC прийнятні, але обсяг перевезень та пропускна спроможність на низькому рівні, то вона – задовільна (***S***).



B_n – питома пропускна спроможність аеропорту за літако-вильотами; I_n – типаж ПС, який може приймати аеропорт P_2 – штрафний коефіцієнт, велике позитивне число; c_{ij} – сумарні річні витрати ПС, грош. од.; $\mathcal{A}_R$ – множина аеропортів, реконструкція яких є економічно доцільною в сенсі зниження сумарних витрат $TC(x, y)$

Рисунок 6 – Схема алгоритму поетапного методу управління

Розроблена нечітка база знань щодо вибору інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності, була реалізована в ППП MATLAB (пакет Fuzzy Logic Toolbox) (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати моделювання завдання вибору інвестиційно привабливого аеропорту

Альтернатива	Вхідні дані, $\mathcal{N}$					Вихідні дані, $\mathcal{W}$		Рейтинг за Мамдані/ Сугено
	Строк окуп-ності (PP)	Клас аеропорту за ICAO (ICAO_CL)	Річний обсяг пасажирських перевезень, млн. пас. (PAX)	Макс. пропускна спроможність пасажирського терміналу, тис. пас./год. (Capacity)	RFFC	Нечіткий висновок Мамдані	Нечіткий висновок Сугено	
«Бориспіль»	10	5	15	3,0	8	0,93	1	1
«Одеса»	10	3	4[3]	0,8	7	0,28	0,05	2/3
«Львів»	10	5	1	2,5	8	0,19	0,11	3/2
«Харків»	20	4	1	2,0	7	0,17	0,09	4
«Донецьк»[4]	25	2	1	1,0	5	0,13	0	5

Найвищу сумарну оцінку одержала альтернатива номер 1, що говорить про те, що інвестори скоріше всього зупинять свій вибір на реконструкції аеропорту «Бориспіль» (при заданих цілях інвестування, які відображаються в нечіткій базі знань). Вид поверхні $\mathcal{W}$ (Invest_decision), який можна отримати за допомогою Surface Viewer MATLAB, наглядно показує як буде змінюватися значення рішення при зміні обсягів пасажиропотоків аеропорту та строку окупності інвестицій при інших незмінних заданих умовах. Так, якщо обсяги перевезень різко скоротяться до 5 млн пас., або зросте строк окупності до значення більше ніж 15 років, рішення щодо інвестицій в аеропорт «Бориспіль» може знизитися до значення «незадовільна альтернатива».

5. Оптимізація параметрів системи обслуговування пасажирів в аеровокзалах

Основні фази моделювання процесу обслуговування пасажирів це фази *входу*, *підготовки даних*, *функціонування системи*, *аналізу функціонування*, *виходу*. У фазі *виходу* здійснюється вибір оптимальної структури системи обслуговування пасажирів: вибір необхідної кількості пунктів реєстрації, кількості інтроскопів та інше.

Запропонована методика визначення оптимальних параметрів системи обслуговування пасажирів, яка базується на основних положеннях керівництва IATA з розвитку аеропортів та теорії масового обслуговування, враховує у фазі *аналізу функціонування системи* випадковість таких характеристик як: інтенсивність вхідного потоку пасажирів, коефіцієнт завантаження рейсів, кількість пасажирів, що реєструються он-лайн або за допомогою стійок самостійної реєстрації, середній час обслуговування одного пасажира та обробки одиниці багажу. Експериментальні дослідження показали, що ретельний аналіз даних характеристик дозволяє виявити

[3] Оптимістичний прогноз інвесторів на базі загального дослідження перспектив ринку за умови швидкої реконструкції аеропорту.

[4] Вхідні дані по аеропорту «Донецьк» скореговані у зв'язку із подіями в зоні АТО 2014-2015 рр.

резерви продуктивності обслуговування пасажирів та підвищити ефективність оперативного планування у відповідних підрозділах аеропорту.

6. Оптимізація розподілу ресурсів у завданнях наземного обслуговування в аеропортах

Розподіл ресурсів авіахендлінгових компаній (АХК), які обслуговують задані аеропорти, слід проводити з урахуванням виробничих можливостей і потреб усіх підрозділів. Цій меті може служити правильно побудована система внутрішніх цін на ресурси, що діє всередині даної системи.

Розглянемо АХК, що складається з кількох служб, кожна з яких надає певний вид послуг, і центру, який постачає службам m видів ресурсів. Для спрощення експериментальних розрахунків комплекс послуг, що надаються кожною службою, розглядався як один вид послуги.

Введемо такі позначення:

i – індекс виду ресурсу, $i = \overline{1,m}$; j – індекс служби АХК, $j = \overline{1,n}$; r_{ij} – кількість i-го ресурсу, який має j-а служба; $\underline{v}_j$ і $\overline{v}_j$ – нижня і верхня межі обсягу послуг служби АХК; T_j – кількість технологічних способів надання послуги j-ю службою АХК; c_{ij}^t – витрати i-го ресурсу на одиницю послуги j-ї служби, наданої за допомогою t-ї технології; v_{jt} – обсяг послуги j-ї служби, наданої за допомогою t-ї технології (невідомі величини), в залежності від доступності вихідних даних це можуть бути фізичні або грошові величини.

На першому етапі розв'язання розподілимо вектор ресурсів $\vec{r}_i$ між службами АХК довільним чином (наприклад, на основі досвіду фахівця). Нехай першій службі буде виділено r_{i_1} одиниць i-го ресурсу, $i = \overline{1,m}$, другій – r_{i_2} і так далі. З урахуванням цього розподілу для кожної служби сформулюємо завдання визначення оптимального плану надання послуг. Так, для j-ої служби це завдання має такий вигляд:

визначити план $\{v_{jt}\}$, при якому досягається максимум цільової функції

$$TP_j = \sum_{t=1}^{T_j} p_{jt} v_{jt} \tag{50}$$

за обмежень:

$$v_{jt} \geq 0, \tag{51}$$

$$\sum_{t=1}^{T_j} c_{ij}^t v_{jt} \leq r_{ij}, \tag{52}$$

$$\overline{v}_j \geq \sum_{t=1}^{T_j} v_{jt} \geq \underline{v}_j, \tag{53}$$

де p_{jt} – прибуток, отриманий j-ю службою АХК за надання одиниці послуги за t-ю технологією. Виходимо з того, що технологія наземного обслуговування залежить від бізнес-моделі авіакомпанії.

У результаті розв'язання завдань типу (50)–(53) для кожної служби $j = \overline{1,n}$ отримаємо, крім оптимального плану $\{v_{jt}^o\}$, вектор двоїстих оцінок $\{u_{ij}^o\}$, що відповідає обмеженням (52), а також значення цільової функції TP_j^o. Порівняємо двоїсті оцінки однойменних ресурсів, отримані для різних служб.

Після розв'язання задач типу (50)–(53) вибираємо дві служби j_1 і j_2, для яких різниця двоїстих оцінок щодо деякого ресурсу i_1 максимальна, тобто для яких:

$$U^{\circ}_{i_1 j_1} - U^{\circ}_{i_1 j_2} = \max_{i} \max_{\substack{1 \le j' \le n \\ 1 \le j'' \le n}} (U^{\circ}_{ij'} - U^{\circ}_{ij''}).$$

Для служб j_1 і j_2 формулюємо *локальне завдання* оптимального перерозподілу ресурсів між ними. З цією метою об'єднуються моделі типу (50)–(53) для служб j_1 і j_2 в одну, яка має такий вигляд:

визначити план $\{v^1_{j_1 t}, v^1_{j_2 t}\}$, за якого досягається максимум цільової функції:

$$TP_{j_1 j_2} = \sum_{t=1}^{T_{j_1}} p_{j_1 t} v_{j_1 t} + \sum_{t=1}^{T_{j_2}} p_{j_2 t} v_{j_2 t} \tag{54}$$

з урахуванням обмежень

$$v_{j_1 t} \ge 0, \qquad v_{j_2 t} \ge 0, \tag{55}$$

$$\sum_{t=1}^{T_{j_1}} c^t_{i j_1} v_{j_1 t} + \sum_{t=1}^{T_{j_2}} c^t_{i j_2} v_{j_2 t} \le r_{i j_1} + r_{i j_2}, i = \overline{1, m}, \tag{56}$$

$$\overline{v}_{j_1} \ge \sum_{t=1}^{T_j} v_{j_1 t} \ge \underline{v}_{j_1}, \tag{57}$$

$$\overline{v}_{j_2} \ge \sum_{t=1}^{T_j} v_{j_2 t} \ge \underline{v}_{j_2}. \tag{58}$$

У результаті розв'язання завдання (54)–(58) отримаємо оптимальний план $\{v^1_{j_1 t}, v^1_{j_2 t}\}$, новий вектор двоїстих оцінок $\{U^1_i\}$, який тепер відповідає службам j_1 и j_2, а також значення цільової функції $TP^1_{j_1 j_2}$. При цьому $TP^1_{j_1 j_2} > TP^{\circ}_{j_1} + TP^{\circ}_{j_2}$, тобто загальний прибуток двох служб, став вищим, ніж при розв'язанні завдань (50)–(53) для служб окремо. Дійсно, нерівність $TP^1_{j_1 j_2} < TP^{\circ}_{j_1} + TP^{\circ}_{j_2}$ неможлива, адже план $\{v^{\circ}_{j_1 t}, v^{\circ}_{j_2 t}\}$, отриманий з оптимальних планів завдань (50)–(53) для служб j_1 і j_2, очевидно є допустимим і для завдання (54)–(58), а план $\{v^1_{j_1 t}, v^1_{j_2 t}\}$ – не лише допустимим, але й оптимальним. Отже, остання нерівність суперечить оптимальності плану $\{v^1_{j_1 t}, v^1_{j_2 t}\}$. Як правило, неможлива і рівність $TP^1_{j_1 j_2} = TP^{\circ}_{j_1} + TP^{\circ}_{j_2}$, адже принаймні для достатньо малої кількості ресурсу, що перерозподіляється Δ_{i_1}, приріст прибутку служби j_1, рівний $U^{\circ}_{i_1 j_1} \Delta_{i_1}$, перевищує «збиток» служби j_2, рівний $U^{\circ}_{i_1 j_2} \Delta_{i_1}$.

Після розв'язання *локального завдання* знову розв'язуються дві моделі типу (50)–(53). При цьому праві частини обох завдань формулюються з урахуванням отриманого перерозподілу ресурсів. Якщо в результаті розв'язання завдання (54)–(58) деякий ресурс залишається використаним не повністю, то його залишок при «роз'єднанні» моделі може бути розподілений між цими двома службами довільним чином. На цьому перший етап закінчується.

Якщо розглядається АХК, яка має більш ніж 2 служби, знову вибираються дві служби, для яких різниця двоїстих оцінок для деякого ресурсу максимальна і так само будується модель другого *локального завдання* і так далі. Процес закінчується, якщо двоїсті оцінки щодо кожного виду ресурсу для всіх служб будуть рівними між собою.

7. Методика розрахунку оптимальної кількості навантажувально-розвантажувальних пунктів вантажного складу аеропорту

Завдання полягає в обґрунтуванні оптимальної кількості навантажувально-розвантажувальних пунктів (НРП) у вантажному складі аеропорту за заданими критеріями. У роботі пропонується ввести параметр витрат на очікування автомобілів у черзі, який можна визначити експертним шляхом. Цей показник вносить елемент системності в дослідження ефективності функціонування вантажних складів аеропортів, адже враховує витрати не тільки аеропорту, а й споживача аеропортових послуг. Важливим у розрахунках є також визначення середнього часу очікування автомобілем початку навантажування/розвантаження, яке має враховувати всі технологічні етапи обробки вантажу в аеропортах. Наведені експериментальні розрахунки доводять доцільність застосування теорії масового обслуговування та імітації зміни основних вхідних параметрів роботи НРП, що дозволяє формалізувати процеси прогнозування ефективності функціонування даної системи та оперативної оптимізації технологічних процесів взаємодії авіаційного й автомобільного видів транспорту. Згідно експериментальних розрахунків при інтенсивності прибуття автомобілів у аеропорт на рівні 8,6 авто на годину та середньому часі навантажування/розвантаження одного автомобіля 17,37 хв. збільшення НРП з 3 до 4 сприяє скороченню часу очікування автомобілів в черзі та сумарних витрат на 85% (21 хв.) та 81% (124 тис. грош. од. на рік) відповідно. Збільшення НРП до 5, хоча і зменшує час очікування автомобілів в черзі ще на 24%, але, вже не має принципового характеру з технологічної та економічної точки зору. Додатковий аналіз показав, що доцільність збільшення НРП до 5 може бути обґрунтована при витратах на очікування (простій) автомобілів більших ніж 90,00 грош. од. на годину (за умови незмінності інших показників).

ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми встановлення принципів, закономірностей розвитку та розроблення методів забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем. Результати досліджень дозволили сформулювати теоретичні та науково-практичні висновки, основними з яких є наступні:

1. На основі дослідження низки наукових робіт, присвячених проблемам розвитку ТС, встановлено:

– актуальність проблеми методології та методів забезпечення ефективного функціонування АТС виходить із пріоритетних напрямків досліджень, які визначені у відповідних європейських публікаціях, та завдань, поставлених у Транспортній стратегії України на період до 2020 р.

– сформований понятійний апарат ТТС не може бути автоматично і в повній мірі використаний в досліджені АТС, так як має значний набір специфічних термінів та понять в залежності від виду транспорту та точки зору наукових дослідників.

2. Запропоновано методологію ефективного функціонування АТС яка включає:

− визначення ефективності АТС як ефективності розвитку мережі, тобто системи аеропортів і авіамаршрутів, що їх з'єднують;

− матричну структуру інформаційних відношень між елементами АТС, на основі якої узагальнена інформаційна структура АТС шляхом включення до неї додаткових зв'язків між елементами, що формують попит на пасажирські і вантажні перевезення. Завдяки цьому, по-перше, виникає взаємозв'язок між споживачем, який отримує досвід використання системи, і процесом формування потенційного попиту, а, по-друге, у розробника АТС з'являється мотивація для уточнення структури АТС і особливо синергетичних зв'язків між елементами і підсистемами;

− врахування багаторівневої ієрархії процесу прийняття рішень, що сприяє координації опису системи, декомпозиції задач прийняття рішень та оцінки їх впровадження в АТС.

3. Розроблено та скомпоновано схему дослідницької бази даних, яка дозволяє провести дослідження з використанням сучасних теорій та підвищити якість відповідних прогнозів для визначення вхідних параметрів в оптимізаційних моделях функціонування підсистем АТС на різних рівнях планування.

4. Для АТС України:

4.1. Встановлено, що наявний парк ПС авіакомпаній України розрахований на експлуатацію ближньо- і середньомагістральних авіамаршрутів, причому є тенденція до переходу на регіональні ПС з пасажиромісткістю менше 100 крісел, що може свідчити про орієнтацію авіакомпаній на розвиток структури мережі, яка відповідає бізнес-моделям фідерних або лоу-кост перевізників.

4.2. Виявлено, що коефіцієнт завантаження, який відповідає точці беззбитковості, для авіакомпаній «Донбасаеро», «Дніпроавіа», МАУ в період 1998–2005 рр. складав 40%. Такі ринкові умови мала тільки американська бюджетна авіакомпанія Jetblue Airways в 2003 р., інші європейські та азіатські авіакомпанії мали досягнути комерційного завантаження більше ніж 50–70 %. Однак заявлений в статистичних збірниках фактичний коефіцієнт завантаження в той же час відповідав збитковій експлуатації мережі авіамаршрутів українськими авіакомпаніями, що свідчить про невідповідність або недостовірність та хибність існуючої системи збору даних.

4.3. Виявлено, що залежність частки ринку від частки пропонованої ємності парку ПС авіакомпанії МАУ, як провідної авіакомпанії України, є практично лінійною, що формально доводить відсутність прямої конкуренція між авіакомпаніями на українському ринку авіаперевезень.

4.4. Запропонована класифікація аеропортів за допомогою якої розв'язується завдання визначення їх пріоритетності у отриманні державного фінансування. Розроблені ознаки та приклад класифікації застосовані в моделях формування концепції стратегічного розвитку та функціонування мережі аеропортів України.

4.5. Розраховані показники, які характеризують ефективність АТС України. Кількісно підтверджена невідповідність функціонування і розвитку аеропорту «Бориспіль» хабовій стратегії на європейському ринку. Отримані низькі показники регіональних аеропортів підтверджують необхідність змін у їх функціонуванні, зокрема зміни існуючої структури мережі авіамаршрутів, яка формувалася

українськими та іноземними авіакомпаніями протягом останніх двох десятиліть. Реструктуризація мережі авіамаршрутів має відповідати визначеним ціннісним орієнтаціям та цілям функціонування АТС.

4.6. Шляхом обробки статистичних даних щодо України доведено, що істотний вплив на попит мають здебільшого два параметри: ВВП на душу населення та обсяг туристичних потоків. Використовуючи даний результат, розроблено кількісні моделі прогнозування обсягів авіаперевезень в Україні на період 2014-2020 рр. Адекватність розроблених моделей підтверджена відповідними статистичними критеріями. Отримані результати довгострокового прогнозу показують, що за умови позитивного розвитку економіки України темп приросту авіаційних пасажирських перевезень складе 0,98-4,77 % на рік, тобто до 2020 року авіаційним транспортом України буде перевезено близько 11,2 млн пас. та обслуговано в аеропортах не менше 19,2 млн пас.

Формальні залежності обсягів вантажних авіаційних перевезень від соціально-економічного та техніко-технологічного розвитку в Україні встановити не вдалося, що можна пояснити млявим розвитком даного сегменту авіаринку. Крім того, основна частка ємностей вантажних авіакомпаній України використовується за межами АТС України.

5. Удосконалено математичну модель функціонування авіакомпанії шляхом введення додаткових елементів у цільову функцію і систему обмежень, що враховують технологічні та економічні вимоги стратегічного планування діяльності авіакомпанії. За показниками функціонування авіакомпаній встановлено, що в умовах збільшення в складі парку України частки ПС західного виробництва й активної міграції кваліфікованого льотного персоналу за кордон з'явився серйозний дефіцит екіпажів. Останні дослідження ІСАО тільки підтверджують ситуацію, що склалася у світі в цілому, і в Європі зокрема. Через це дорогий людський ресурс повинен враховуватися при побудові математичної моделі функціонування авіакомпанії. Також авіакомпанія може використовувати запропоновану модель для формування техніко-економічних вимог до новостворюваних авіапромисловістю ПС.

6. Розроблена модель поточного планування функціонування авіакомпанії дозволяє для мережі з перевантаженими хабами визначити граничні умови доцільності синтезу безпосадкових маршрутів з низьким рівнем попиту і придбання авіакомпаніями ПС малої пасажиромісткості.

Експериментальні розрахунки показали, що хабова модель мережі більше відповідає економічним інтересам авіакомпанії у випадку ігнорування непрямих витрат, пов'язаних із затримками в аеропортах. Системний підхід до оцінки ефективності експлуатації мережі авіамаршрутів, тобто врахування параметрів по можливим затримкам ПС та пасажирів в завантажених аеропортах, підтверджує гіпотезу про ефективність декомпозиції мережі та введення додаткових прямих рейсів. Так впровадження прямих рейсів потребувало додаткових ресурсів від авіакомпанії (16 ПС у порівнянні з 11 ПС при хабовій моделі), але дозволило скоротити умовний збиток від експлуатації мережі на 38,13 %. Враховуючі незначні обсяги авіаперевезень, вимоги щодо мінімальної частоти для підтримки попиту та необхідність високого коефіцієнту завантаження для економічної ефективності

експлуатації далекомагістральних рейсів, перспективними, на наш погляд, будуть пропозиції виробників щодо нових вузькофюзеляжних далекомагістральних ПС.

7. Розроблені методи визначення оптимальної частоти рейсів та меж бронювання показали, що для авіакомпанії, яка функціонує в умовах, наближених до умов функціонування МАУ, можливо підвищити тижневий прибуток компанії за рахунок перерозподілу ресурсів та визначення оптимальної кількості місць для бронювання у різних цінових класах тарифів до 3,95%.

8. Запропонований метод єдиного дворівневого підходу до взаємозв'язку розвитку АТС та авіабудівної галузі вносить певну ясність в організаційну структуру процесу проектування і моделювання ПС; допомагає розробнику ПС систематизувати більшу частину відомих на сьогодні методів і алгоритмів аналізу й синтезу складних технічних систем; сприяє підвищенню якості проекту та скорочення часу його розробки; досить ефективно розв'язується низка нових завдань, що виникають на стику оптимального проектування ПС і перспективного планування господарської діяльності авіакомпаній – потенційних замовників проектованого ПС.

9. Запропоновано метод вибору стратегії розвитку аеропортів в умовах невизначеності. Наведений приклад розрахунку матриці виграшів від реалізації найбільш вірогідних стратегій розвитку мережі аеропортів України показав, що позитивний ефект за критерієм річного прибутку (7,49 млн. дол. США) досягається лише при попиті не менше ніж 19 млн пасажирів і реалізації стратегії розвитку шести основних регіональних аеропортів України. Лібералізація авіаперевезень та реалізація концепції розвитку 30 аеропортів України досягає позитивного ефекту у розмірі майже 0,16 млн. дол. США при попиті близько 24 млн пасажирів.

10. Розроблений метод визначення (або обґрунтування) необхідної пропускної спроможності аеропортів в умовах дефіциту інформації про майбутню АТС, заснований на застосуванні теорії графів та лінійного програмування. Проведені відповідні числові експерименти на прикладі мережі регулярних авіамаршрутів з основних аеропортів України, показали, що: по-перше, мінімальні витрати на реконструкцію мережі аеропортів досягаються при перерозподілі кореспонденцій пасажиропотоків; по-друге, отримані значення перерозподілу обсягів пасажиропотоків на заданій мережі дають змогу змоделювати подальший розвиток аеропортів окремого регіону, наприклад, України, враховуючи існуюче оснащення та можливості аеропортів інших регіонів, тобто можна спрогнозувати «конкурентні загрози»; по-третє, отримані значення необхідної пропускної спроможності аеропортів можуть бути формалізованим підґрунтям та вхідним параметром у завданні управління розвитком мережі аеропортів. Експериментальні розрахунки показали, що при оптимальному перерозподілі пасажиропотоків необхідна пропускна спроможність аеропортів України складатиме: м. Київ – приблизно 3,600 млн пас. на рік; м. Одеса – 0,984 млн пас. на рік; м. Львів – 0,960 млн пас. на рік; м. Дніпропетровськ – 0,706 млн пас. на рік; м. Донецьк – 0,480 млн пас. на рік; м. Харків – 0,480 млн пас. на рік, що є нижчим за наявні ресурси.

11. Запропоновано метод розвитку мережі аеропортів в єдності з ефективним функціонуванням авіакомпаній, що ними обслуговуються. Найкраще інвестиційне рішення для аеропортів заданого регіону отримаємо при досягненні максимального

ефекту взаємодії «аеропорти-авіакомпанії» за інтегрального критерію ефективності. Для розв'язання завдання визначення оптимального розподілу обмежених фінансових та інших ресурсів між аеропортами пропонується принципова схема і алгоритм поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів, в яких враховується ефект синергії підвищення класу аеропорту і розширення множини ПС, які можуть експлуатуватися на заданій мережі авіамаршрутів. Оптимальне рішення, тобто глибину і послідовність реконструкції аеропортів можна визначити, використовуючи двоїсті оцінки розподільної задачі транспортного типу.

12. Розроблено метод прийняття рішення щодо вибору інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності, який був реалізований в ППП MATLAB (пакет Fuzzy Logic Toolbox). При заданих вхідних даних найвищу сумарну оцінку (0,93) одержала альтернатива аеропорту «Бориспіль», що говорить про те, що інвестори скоріше за все обиратимуть саме цей транспортний вузол для подальшої реконструкції. Отриманий рейтинг аеропортів за алгоритмами Мамдані та Сугено може бути використаний ОПР для розв'язання завдання визначення послідовності реконструкції аеропортів з точки зору інвестиційної привабливості.

13. Запропонований метод забезпечення оптимального функціонування авіахендлінгової компанії з використанням теорії двоїстості може бути використаний на стадії коротко- та середньострокового планування розподілу ресурсів між структурними підрозділами компанії. Чисельна реалізація моделі на підприємствах «Челендж Аеропорт», «Аеропорт Хендлінг», «ІНТЕРАВІА» показала, що даний метод дозволяє отримати рішення щодо варіантів підвищення місячного прибутку компанії (більш ніж на 5 тис. дол. США) за рахунок оптимізації первісного плану робіт і перерозподілу ресурсів між підрозділами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографія

Марінцева К.В. Наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем: монографія / К.В. Марінцева. – К.: НАУ, 2014. – 504 с. – Бібліогр.: с. 379–409.

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Marintseva K., Yun G., Kachur S. Resource allocation improvement in the tasks of airport ground handling operations // Aviation. – 2015. – Volume 19, Issue 1. – С.7-13. – ISSN 1648-7788. – Режим доступу: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/16487788.2015.1015291#preview
2. Маринцева К.В. Долгосрочный прогноз авиационных перевозок в Украине // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. Вып. 2. – М.: ВИНИТИ РАН, 2014. – С. 9-14. – ISSN 0236-1914.

3. Marintseva K.V., Sharifov F. Achun-Ogly, Yun G.N. A problem of airport capacity definition // Aeronautica [Electronic journal] – 2013. – Vol. 3, No1, Issue 5. - Режим доступу: http://www104.griffith.edu.au/index.php/aviation/issue/current
4. Маринцева К.В. Методы планирования частоты рейсов на сети маршрутов авиакомпании // Естественные и технические науки. – 2014. – №3 (71). – С. 188-192. – ISSN 1684-2626.
5. Марінцева К.В. Вибір інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності // Международный союз ученых «Наука. Технологии. Производство» Ежемесячный научный журнал. – 2015. – № 3 (7) – С. 23-26. – ISSN 2340-3499.
6. Марінцева К.В. Методика розрахунку оптимальної кількості навантажувально-розвантажувальних пунктів вантажного складу аеропорту // Автомобільний транспорт. – 2012. – №31. – С. 100-104. – ISSN 2219-8342. *Видання входить до наукометричних баз даних: Наукова електрона бібліотека eLIBRARY, Російський індекс наукового цитування (РІНЦ), IndexCopernicus, Schoolar Google*.
7. Марінцева К.В. Оптимізація параметрів системи обслуговування пасажирів в аеровокзалах // Наукоємні технології. – 2012. – №2 (14). – С. 100-104. – ISSN 2075-0781. *Видання входить до наукометричних баз даних: Simle Search Metadata (SSM), Research Bible, Sjournals Index, The Vernadsky National Library of Ukraine, Universal Impact Factor, Google Scholar, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Beardslee Library Journals.*
8. Марінцева К.В. Методологія оцінювання ефективності авіатранспортної мережі // Наукоємні технології. – 2012. – №4 (16). – С. 107-111. – ISSN 2075-0781. *Видання входить до наукометричних баз даних: SSM, Research Bible, Sjournals Index, The Vernadsky National Library of Ukraine, Universal Impact Factor, Google Scholar, BASE, Beardslee Library Journals.*
9. Marintseva K.V. The strategies of the airports regional network development // Science-based technologies. – 2013. – №2 (18). – С. 228-231. – ISSN 2075-0781. *Видання входить до наукометричних баз даних: SSM, Research Bible, Sjournals Index, The Vernadsky National Library of Ukraine, Universal Impact Factor, Google Scholar, BASE, Beardslee Library Journals.*
10. Марінцева К.В. Теоретичні засади аналізу мережі аеропортів // Наукоємні технології. – 2013. – №3 (19). – С. 337-340. – ISSN 2075-0781. *Видання входить до наукометричних баз даних: SSM, Research Bible, Sjournals Index, The Vernadsky National Library of Ukraine, Universal Impact Factor, Google Scholar, BASE, Beardslee Library Journals.*
11. Маринцева К.В. Классификация аэропортов и приоритетность их реконструкции // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2014 – №2 (50). – С. 119-129. – ISSN 2307-3489 (Print), ISSN 2307-6666 (Online). *Видання входить до наукометричних баз даних: Google Scholar, Polish Scholarly Bibliography, eLibrary.ru, DOAJ, Index Copernicus, DRJI.*
12. Marintseva K.V. Comparative analysis of check-in technologies at the airport // Proceeding of the National Aviation University. – 2014. – №2 (59). – С. 97-104. – ISSN

1813-1166 (Print), ISSN 2306-1472 (Online). *Видання входить до наукометричних баз даних: EBSCO, Google Scholar; SSM; eLibrary.ru; DOAJ; Index Copernicus International; DRJI.*

13. Юн Г.М., Марінцева К.В. Декомпозиція мережі авіамаршрутів // Наукоємні технології. – 2014. – № 2 (22). – С.219-222. – ISSN 2075-0781. *Видання входить до наукометричних баз даних: SSM, Research Bible, Sjournals Index, The Vernadsky National Library of Ukraine, Universal Impact Factor, Google Scholar, BASE, Beardslee Library Journals.*
14. Марінцева К.В., Юн Г.М. Методологічні аспекти взаємозв'язку розвитку авіаційної транспортної системи та авіабудівної галузі // Наукоємні технології. – 2014. – № 3(23). – С. 341-344. – ISSN 2075-0781. *Видання входить до наукометричних баз даних: SSM, Research Bible, Sjournals Index, The Vernadsky National Library of Ukraine, Universal Impact Factor, Google Scholar, BASE, Beardslee Library Journals.*

Статті у фахових виданнях:

15. Марінцева К.В. Стратегії розвитку технологічних процесів обслуговування авіапасажирів // Інформаціно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – №4 (додаток). – С. 35-39. – ISSN 1681-4886.
16. Маринцева К.В. Текущее прогнозирование в оперативном планировании эксплуатации заданной авиалинии // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2012. - № 6 (177) – Ч. 2 – С. 81-87. – ISSN 1998-7927.
17. Марінцева К.В. Прогноз розвитку авіаційних перевезень в Україні // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2013. – №5 (194). Ч 1. - С. 131-134. – ISSN 1998-7927.
18. Марінцева К.В. Організаційно-технологічні умови функціонування експрес-авіаперевізника // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2013. – № 9 (198) Ч. 1. – С. 88-93. – ISSN 1998-7927.
19. Маринцева К.В. Условия внедрения технологии ИАТА e-freight // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2013. – № 6 (195) Ч. 2. – С. 70-74. – ISSN 1998-7927.
20. Марінцева К.В. Багаторівнева ієрархія процесу прийняття рішень суб'єктами авіаційної діяльності // Проблеми транспорту: зб. наук. праць. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 10. – С. 295-304.
21. Маринцева К.В., Юн Г.Н. Поэтапный метод управления развитием авиатранспортной системы // Вісник інженерної академії України. – 2013. – Вип. 3-4 – С. 284-290. – ISBN 5-7763-8361-7.
22. Марінцева К.В. Засоби автоматизації та механізації технології обслуговування пасажирів в аеропортах // Зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2013. – Вип. 22. – С. 60-65. – ISBN 978-966-2197-62-4.

23. Юн Г. Н. Маринцева К.В. Системный поход к проектированию беспилотных летательных аппаратов // Вісник інженерної академії України. – 2012. – Вип. 2. – С. 39-42. – ISBN 5-7763-8361-7.
24. Марінцева К.В. Методи довгострокового прогнозування авіаційних перевезень // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2013. – Вип. 28. – С. 324-330. – ISSN 2308-6645.
25. Marintseva K.V. Analysis of air transport network of Ukraine // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип.12. – К.: НТУ, 2013. – С. 97-109. ISSN: 2309-8635.
26. Маринцева К.В. Технологии обслуживания пассажиров в аэропортах Вьетнама // Вісник ПДТУ – 2013. – Вип. 27. Серія: Технічні науки – С. 213-220. – ISSN 2225-6733.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

27. Марінцева К.В. Визначення необхідної пропускної спроможності аеропортів України // Inżynieria i technologia. Realizacja badań i projektów: zbiór raportów naukowych. – Warszawa: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2015. – С. 39-44.– ISBN: 978-83-65207-32-6. – Режим доступу: http://конференция.com.ua/files/file/scientific_conference_43/zbornik_43_7_Kraów_30_07_2015.pdf
28. Марінцева К.В. Структура ресурсів авіакомпаній // Проблеми організації авіаційних перевезень та застосування авіації в галузях економіки: ІІІ міжнародна науково-практична конференція, 2014 р.: тези доп. – К.: НАУ, 2014. – С. 6-14.
29. Марінцева К.В. Актуальні напрямки наукових досліджень авіатранспортних систем // Перспективні напрямки світової науки: зб. статей учасників Двадцять восьмої міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційний потенціал світової науки – XXI сторіччя» – Том 2. Природничі та точні науки. – Видавництво ПГА. – Запоріжжя, 2014. – С. 64-67. – Режим доступу: http://nauka.zinet.info/28/Marintseva.php
30. Марінцева К.В. Структура бази даних фактичного попиту на авіаперевезення // Развитие информационно-ресурсного обеспечения образования и науки в горно-металлургической отрасли и на транспорте: сб. науч. трудов. – Д.: НГУ, 2014. – С. 187-196. – ISSN 2313-8874.
31. Marintseva K., Yun G. Resource Allocation Improvement in the tasks of airport ground handling operations // Proceedings The Sixth World Congress “Aviation in the XXI-st Century”. – Vol.3 – Kyiv: National Aviation University, 2014. – p. 8.33-8.37.
32. Маринцева К.В. Концепция декомпозиции сети авиалиний // Математическое моделирование, оптимизация и информационные технологии: Materiale Conf.Intern.: Ed. a 4-a, 25-28 mar. 2014, Chişinău / red. resp.: Dumitru Solomon. – Vol.2 – Chişinău: Evrica, 2014. – С. 343-350 – ISBN 978-9975-62-364-3
33. Марінцева К.В. Методологія аналізу та моделювання авіаційної транспортної системи // Проблеми організації авіаційних перевезень та застосування авіації в галузях економіки: ІІ міжнародна науково-практична конференція, 26.09.2013 р.: тези доп. – К., 2013. – С. 48-54. – К.: НАУ, 2013. – С. 48-53.

34. Марінцева К.В. Міждисциплінарний аспект понятійного апарату теорії транспортних систем // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте' 2013: сб. науч. трудов SWorld. – Иваново: МАРКОВА АД, 2013. – Вып. 4. Том 1. – С. 51-56.– ISSN 2224-0187. *Видання входить до наукометричних баз даних: eLIBRARY, РІНЦ, Schoolar Google.*
35. Маринцева К.В. Анализ элементов авиатранспорной системы Украины // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2013: сб. науч. трудов SWorld. – Иваново: МАРКОВА АД, 2013. – Вып. 3. Том 1. – С. 28-33.– ISSN 2224-0187. *Видання входить до наукометричних баз даних:* eLIBRARY, РІНЦ, Schoolar Google).
36. Марінцева К.В. Методи оптимізації завантаження авіарейсу за класами бронювання // Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті: міжнародна науково-практична конференція, 18-19 квітня 2012 р.: тези доп. – Дніпропетровськ, 2012. – С. 19-20.
37. Марінцева К.В. Процеси автоматизації технології обслуговування пасажирів в аеропортах // Інформаціно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – №4 (приложение). – С. 31-32. – ISSN 1681-4886
38. Марінцева К.В. Аналіз транспортної та логістичної інфраструктури України // Інноваційний потенціал української науки – XXI сторіччя, 2013. – Т.2. Природничі та точні науки. – Запоріжжя: Видавництво ПГА, 2013. – С. 70-74. Режим доступу: http://nauka.zinet.info/19/marintseva.php
39. Марінцева К.В. Прогноз розвитку авіаційних перевезень в Україні // Проблеми розвитку транспортних систем і логістики: IV-та міжнародна науково-практична конференція, 14-16 травня 2013 р.: тези доп. – Євпаторія, 2013. – С. 22-23.
40. Маринцева К.В. Стратегии развития региональной сети аэропортов // Проблемы развития транспортных систем в евразийском регионе: I-я международная интернет- конференция молодых учёных и студентов, 20-21 травня, 2013 г.: тезисы док. – Луганск, 2013. – С. 145-148. – Режим доступу: http://www.ts.snu.edu.ua/conf.html.
41. Сулима Л.О., Марінцева К.В. Організаційно-правові основи функціонування навчального центру бортпровідників // АВІА-2004: VI Міжнародна науково-технічна конференція, 26-28 квітня 2004 р.: тези доп. – К.: НАУ, 2004. – Т. 5. – С. 5.130-5.133.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Маринцева К.В. Международная практика внедрения технологии IATA e-Freight // Транспорт. – 2014. – №36 (827). – С. 62-67.
2. Маринцева К.В. Лоу-кост авиакомпании в Украине? // Транспорт. – 2014. – №43-44 (834-835). – С. 70-74.
3. Марінцева К.В. Применение пакета LINDO в решении задач распределения воздушных судов по авиалиниям // Проблеми системного підходу в економіці: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 14. – С. 85-92.

4. Марінцева К.В. Класифікація методів державного регулювання міжнародних авіаційних перевезень // Зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія «Економіка і управління». – К.: ДЕТУТ, 2011. – Вип. 17. –- С. 230-236.
5. Марінцева К.В. Важелі державного регулювання розвитку авіаційної галузі: досвід Китаю // Проблеми системного підходу в економіці [електронне наукове фахове видання]. – 2011. – Вип. 1. – Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/PSPE/2011_1/Marintseva_111.htm

АНОТАЦІЯ

Марінцева К.В. Наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. – Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2015.

У дисертації на основі теорії систем, системного аналізу і математичного моделювання розроблені наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем. Запропоновано методологію ефективного функціонування авіатранспортних систем на основі визначення відношень попиту на авіаційні перевезення, ресурсів, техніко-технологічних обмежень, економіко-організаційних та правових вимог, безпеки та екології. Показано ефективність застосування стратифікованого підходу та матричної структури інформаційних взаємозв'язків між елементами АТС для проведення експериментальних досліджень з питань функціонування АТС. Розроблено та скомпоновано з різних офіціальних джерел схему дослідницької бази даних. Для оцінки ефективності АТС використано теорію складних мереж. Розроблені та перевірені на адекватність математичні моделі функціонування авіакомпанії на мережі маршрутів. Запропоновано метод єдиного дворівневого підходу до взаємозв'язку розвитку АТС та авіабудівної галузі. Викладено теоретичні основи застосування теорії графів та лінійного програмування у розв'язанні завдання визначення необхідної пропускної спроможності аеропортів. Проведені розрахунки за розробленими моделями та алгоритмами, які сприяють прийняттю рішень щодо забезпечення ефективного функціонування аеропортів.

Ключові слова: авіатранспортна система, теорія складних мереж, авіакомпанія, мережа авіамаршрутів, аеропорт.

АНОТАЦИЯ

Маринцева К.В. Научные основы и методы обеспечения эффективного функционирования авиатранспортных систем. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. – Национальный транспортный университет Министерства образования и науки Украины, Киев, 2015.

Актуальность проблемы развития научных основ и методов обеспечения эффективного функционирования авиатранспортных систем (АТС) обосновывается приоритетными направлениями исследований, которые определены в соответствующих европейских публикациях, и задачами, поставленными в Транспортной стратегии Украины на период до 2020 г.

Целью диссертационной работы является разработка научных основ и методов обеспечения эффективного функционирования АТС.

Объект исследования – функционирования авиатранспортных систем.

Предмет исследования – научные основы (научные положения и факты, понятия, принципы, теории, закономерности) и методы обеспечения эффективного функционирования АТС.

В диссертационном исследовании были использованы теория систем и системный анализ, методология многоуровневой иерархии процесса принятия решений, положения теории сложных сетей, корреляционно-регрессионный анализ, математическое программирование, имитационное моделирование, теория массового обслуживания, теория нечетких множеств.

В процессе исследований разработана методология эффективного функционирования АТС на основе определения отношений спроса на авиационные перевозки, ресурсов, технико-технологических ограничений, экономико-организационных и правовых требований, безопасности и экологии. Разработана матричная структура информационных связей между элементами АТС, благодаря которой, во-первых, учитывается взаимосвязь между получающим опыт использования системы потребителем и процессом формирования потенциального спроса, а, во-вторых, у разработчика АТС появляется мотивация для уточнения структуры АТС и особенно синергетических связей между элементами и подсистемами. Разработаны показатели системной эффективности АТС Украины на основе теории сложных сетей, что дает возможность количественно оценить уровень развития изучаемой системы с целью ее дальнейшего усовершенствования. Предложен метод единого двухуровневого подхода к взаимосвязи развития АТС и авиастроительной отрасли, который вносит согласованность в организационную структуру процесса взаимодействия разработчика воздушных судов (ВС) и авиакомпаний – потенциальных заказчиков проектируемого ВС. Усовершенствовано: стратифицированный подход к построению метода многоуровневого анализа и синтеза целей и функций каждой стары АТС, который, в отличие от существующих общих теоретических выкладок, содержит параметры исследуемой АТС; структуру исследовательской базы данных для анализа эффективности функционирования АТС, в которой, в отличие от существующих, определены множества и источники данных, необходимых для проведения исследований с использованием современных теорий; классификацию аэропортов для формирования концепции стратегического развития и функционирования сети аэропортов Украины, в которой, в отличие от существующих, предлагается использовать в качестве признаков классификации не только объемы пассажиропотоков, но и данные о состоянии инфраструктуры аэропорта, виды перевозок, и социально-экономические показатели обслуживаемого региона; модель определения граничных условий целесообразности синтеза

беспосадочных маршрутов с низким уровнем спроса и приобретения авиакомпаниями ВС малой пассажировместимости для сетей с перегруженными хабами, в которой, в отличие от существующих моделей, предлагается учитывать дополнительные параметры расходов на ожидания и задержки; метод обоснования требуемой пропускной способности аэропортов в условиях дефицита информации о будущей АТС, который, в отличие от существующих, основан на сочетании положений теории графов и линейного программирования; для решения проблемы определения оптимального распределения ограниченных финансовых и других ресурсов между аэропортами предложен метод поэтапного управления развитием сети аэропортов, в котором учитывается взаимозависимость эффектов повышения класса аэропорта и расширения множества ВС, которое может эксплуатироваться на заданной сети авиамаршрутов; метод оптимального распределения ресурсов авиахэндлинговой компании за счет предложения использование теории двойственности и ввода параметров, которые учитывают современные технологии обслуживания ВС в аэропортах.

В диссертационной работе получило дальнейшее развитие: модели прогнозирования спроса на пассажирские перевозки в Украине, основанные на изучении известных в настоящее время эконометрических моделей в части уточнения факторов, которые оказывают существенное влияние на объемы спроса; метод обоснования выбора инвестиционно привлекательного аэропорта в условиях неопределенности за счет описания необходимых для данной задачи входных и выходных параметров, альтернатив, критериев функционирования аэропортов, построения соответствующих функций принадлежности термов лингвистических переменных и нечеткой базы знаний, которые влияют на множество возможных вариантов по принятию решений в отношении выбора аэропорта для дальнейшей реконструкции.

Научные положения и результаты исследования применены в деятельности субъектов государственного управления национальным хозяйством, в частности, Госавиаслужбы Украины, ГП «ГОСАВТОТРАНСНИИПРОЕКТ» и субъектов хозяйствования: ГП МА «Борисполь», КП «Международный аэропорт Одесса», КП Международный аэропорт «Киев», ПАО «Международные авиалинии Украины», ООО «ИНТЕРАВИА», ООО «Челендж Аэропорт», ООО «Аэропорт Хендлинг». Апробация основных научных и практических результатов диссертации на указанных предприятиях подтверждается соответствующими актами о внедрении.

Методические разработки, схемы и алгоритмы внедрены в учебный процесс на кафедре организации авиационных перевозок в Национальном авиационном университете МОН Украины.

Ключевые слова: авиатранспортная система, теория сложных сетей, авиакомпания, сеть авиамаршрутов, аэропорт.

ABSTRACTS

Marintseva K.V. Scientific fundamentals and methods of efficient operation of air transport systems. – Manuscript.

This work is a dissertation completed to obtain an academic degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.22.01 – Transport Systems. – National Transport University of Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2015.

The dissertation defines scientific fundamentals and methods of effective operation of air transport system based on system theory, system analysis and mathematical modelling. It suggests to research air transport system (ATS) as a complex purposeful system that is composed of airports, airline and air traffic control. The work shows the effectiveness of the stratified approach. The matrix structure of the information interdependence of the ATS elements is developed for the experimental research regarding operation of ATS. It includes a layout of the research database designed and composed based on different official sources. Effectiveness of the development of the air transport network is evaluated based on the theory of complex networks. The work presents developed mathematical models of operation of an airline within a network of routes and also checks them for adequacy. It introduces a method of the uniform two-level approach for the interdependence of the development of ATS and the aircraft construction branch. It also proposed theoretical fundamentals of the applications of the graph theory and linear programming methods for finding answers to the problem of airport capacity definition. The author provides calculations that demonstrate operation of the proposed models and algorithms that help decision-making regarding effective operation of airports.

Keywords: air transport system, theory of complex networks, airline, air routes network, airport.

Підписано до друку 19.10.2015. Формат 60×84/16.
Папір офсетний № 1. Гарнітура Times.
Вк. 2. Наклад 100. Зам. №_____.

01103, м. Київ, вул. Кіквідзе, 39.
Редакційно-видавничий відділ НТУ, тел. 284-26-26.