

УДК 358.4:656.7

П.А. Білько

ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ

## ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ЗОН ВІЛЬНОГО ПОЛЬОТУ В ЧОТИРЬОХВИМІРНОМУ ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРИ

На основі аналізу розподілу повітряного простору та етапів його планування визначені основні завдання формування зон вільного польоту в чотирьохвимірному повітряному просторі.

**Ключові слова:** повітряний простір, концепція «вільного польоту».

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Зростання обсягів авіаперевезень постійно спонукає до підвищення вимог щодо пропускної здатності повітряного простору та оптимального використання наявних повітряних трас. Застосування дедалі складнішого бортового навігаційного обладнання як такого, що взаємодіє з наземними засобами і супутниковими системами, а також діє в автономних інерційних навігаційних системах, дає змогу змінювати або доповняти існуючі форми навігації.

На відміну від багатьох інших проектів модернізації управління повітряним рухом (УПР) джерелами концепції «вільного польоту» є безпосередньо активні учасники повітряного руху і насамперед великі авіакомпанії, що пов'язують з нею можливість значно заощаджувати польотний час і паливо. На думку експертів у сфері повітряних перевезень [1] авіакомпанії втрачають 3,5-5 млрд дол. на рік через недоліки, властиві існуючим системам УПР. Експерти у сфері моделювання та аналізу процесу керування потоками повітряного руху оцінили в тих самих межах рівень можливої економії від реалізації концепції «вільного польоту».

Для повної реалізації концепції «вільного польоту» необхідно визначити основні положення для формування математичного апарату, що дасть можливість сформувати структуру повітряного простору «вільних маршрутів» (ППВМ).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у дослідження зазначеного питання зробили такі вчені як В.П. Харченко [1, 2], В.М. Васильєв [3], С.І. Бабаєва [4] та інші. Зазначені вчені, в основному досліджували питання розвитку систем аеронавігаційного обслуговування з точки зору інтеграції останньої до світової системи УПР та визначили основні напрями її удосконалення.

Проте питання зональної навігації з використанням повітряного простору «вільного маршруту» за принципом “point out – point in” не достатньо вивчене.

**Метою даної статті** є визначення шляхів вирішення наукового завдання щодо формування зон

вільного польоту з умовами забезпечення безпеки польотів в 4-х вимірному просторі.

### Основний розділ

Основна ідея концепції «вільного польоту» для її реалізації в майбутній аеронавігаційній системі держави полягає в принципово інших методах процесу управління повітряним рухом. Крім того, зовсім інакший зміст вкладається в поняття «політ за приладами». Упровадження цієї концепції докорінно змінює суть існуючих тепер методів ОПР. В основу нових методів будуть покладені принципи видачі параметричних даних щодо керування польотом або задані параметри польоту диспетчерськими пунктами. Диспетчери наземних пунктів керування для реалізації цієї концепції стануть основними організаторами повітряного руху. Вони керуватимуться прийомами локального ешелонування повітряних суден (ПС), що ґрунтуються на параметрах місцеположення і векторі швидкості літаків, а не порядком ешелонування, який ґрунтується на параметрах траєкторії польоту, що застосовуються нині. Мається на увазі виконання польотів за висотами і швидкостями польоту під безпосереднім контролем системи ОПР.

Основна функція програми «вільного польоту» є прогнозування конфліктної ситуації задовго до її виникнення. Найбільш критичне у програмі — це впровадження системи автоматичного прогнозування повітряної ситуації тоді, коли диспетчер дає дозвіл на запит пілота. Можливість прогнозування потенційних конфліктів між ПС – основа одного з проектів програми «вільний політ».

Аналіз функціонування Повітряного простору трасових маршрутів (ППТМ) і впливу на них дестабілізуючих факторів показав, що завдання побудови повітряного простору вільних маршрутів (ППВМ) є дуже широкою й багатогранною. Нарівні із зменшенням показників вартості та збільшенням ймовірності повітряної навігації ППВМ, безпека польотів є необхідним і першочерговим завданням.

Усі заходи щодо забезпечення функціонування ППВМ необхідно виконувати з урахуванням мініма-

льної вартості, умов інформаційного впливу на систему ОПР, умов лавиноподібного наростання повітряних потоків, скорочення часу на обробку інформації і прийняття рішень, а також подальшого ускладнення математичних моделей розрахункових завдань з обробки інформації [5, 6].

Побудова ППВМ передбачає три етапи [7]: виявлення нештатної ситуації; впізнання (ідентифікація) нештатної ситуації; парировання нештатної ситуації.

Під нештатною ситуацією розуміється невідома раніше і неврахована подія, реакція на яку не передбачена і полягає в порушенні виконання заданого обсягу функцій певним елементом або групою елементів системи ППВМ. Причинами порушення функціонування можуть бути як внутрішні, так і зовнішні чинники.

Результати функціонування сучасної системи організації повітряного руху мають визначатися такими кількісними показниками і характеристиками, які забезпечують безперервний процес керування, безпеку і безпомилковість роботи всієї системи. Процес керування як системний процес удосконалення аеронавігаційної системи повинен вбирати досягнення технологій, таких як супутникові системи навігації, системи обміну даними, системи запобігання зіткненням ПК, автоматизовані підсистеми УПР на маршрутах й автоматизовані РНС заходження на посадку. Тільки таке синтезоване поєднання дає змогу зібрати в єдиному комплексі всі засоби ОПР і надати екіпажам ПК свободу оперативного вибору профілю і траєкторії руху за маршрутом. Саме такий підхід до вдосконалення аеронавігаційної системи презентує всі основні складові концепції «вільного польоту».

В даний час удосконалення сучасних систем планування ППТМ здійснюється за наступними напрямками [7]:

- вироблення ідеології Єдиної автоматизованої системи (ЄАСУ) України;
- розробка концепції створення ЄАСУ України;
- синтез і оптимізація структури АСУ;
- розрахунок потрібних параметрів системи: пропускної здатності  $\rho_{ij}$ , обсягів оброблюваної інформації;
- вибір апаратного забезпечення автоматизованих робочих місць (АРМ) та вузлів комутації;
- вибір мережних протоколів, каналів передачі інформації, розробка канал-передавальної апаратури;
- розробка системи єдиного документообігу;
- розробка службового мережного програмного забезпечення;
- розробка прикладного мережевого програмного забезпечення на основі технології клієнт-сервер;
- розробка алгоритмів вирішення оперативно-тактичних завдань та їх програмної реалізації;

розробка програмного забезпечення автоматизованих робочих місць та ін.

Аналіз даних напрямків дозволяє виявити недоліки запланованих етапів удосконалення АСУ:

- 1) Відсутність системного підходу до розробки ЄАСУ України;
- 2) Недостатнє фінансування розробок АСУ;
- 3) Недоліки і обмеженість самої «Концепції створення АСУ».

Проведений аналіз топології існуючих і розроблених систем планування ППТМ дозволяє зробити висновки:

1. Структури систем побудовані за ієрархічним принципом з низьким ступенем надмірності.
2. Не вирішене питання гнучкості системи у період сумісного використання повітряного простору.
3. Низький рівень спроможності існуючих трас не дозволяє розширювати можливості повітряного простору щодо пропускної здатності.

Виходячи з проведеного аналізу, виникає наукове завдання щодо розробки науково-методичного апарату синтезу структури повітряного простору з використанням режиму вільного польоту за критерієм максимуму функціоналу якості ППВМ, яка повинна вирішуватися в 3 етапи:

1. Визначення числа і розташування аеропортів.
2. Побудова мережі ППВМ,
3. Розрахунок пропускної здатності ППВМ  $\rho_{ij}$ .

Існуючі методи [7] мають обмеженість внаслідок розгляду та дослідження певних класів структур – деревоподібної, централізованої, кільцевої, радіально-кутової тощо. Крім того, дані методи використовують заданий, найбільш простий клас цільових функцій (лінійні, параболічні, монотонні, сепарабельні та ін), що виражають вартість, пропускну спроможність ліній зв'язку або час передачі повідомлення. Внаслідок цього існуючими методами неможливо синтезувати ППВМ за критерієм, який не може бути виражений аналітичною залежністю в квадратурах. Саме таким і є критерій максимуму функціоналу ППВМ, який залежить від імовірності зв'язності структури. Імовірність зв'язності, у свою чергу, не може бути виражена в квадратурах внаслідок наявності безлічі перехресних зв'язків між елементами ППВМ, що не дозволяє звести їх до тривіальним послідовно-паралельним з'єднанням.

Аналіз топологічних властивостей сучасних систем ППТМ, аналіз існуючих методів синтезу структур систем ППВМ дозволяє виявити протиріччя, сутність якого полягає в наступному: розширення і нарощування структур систем ППВМ, обумовлене зростанням вимог за обсягом обробки та передачі інформації, призводить до зниження рівня їх функціонування.

Таким чином, в даний час в існуючих ППТМ загострилося протиріччя між необхідністю сталого

функціонування системи в умовах постійного збільшення потоку літаків і можливостями існуючих методів забезпечення функціонування ППТМ.

Передбачається, що підвищення значень функціоналу якості ППВМ повинно забезпечуватися як на етапі аналізу і синтезу системи ППВМ, так і в процесі експлуатації шляхом ідентифікації локалізації та парирування нештатних ситуацій.

Формалізована постановка синтезу системи ППВМ.

Є  $N$  аеропортів ППВМ, що синтезується, розташування яких задано просторовими координатами. Сполучення між аеропортами здійснюється згідно матриці інтенсивностей  $H = \|h_{ij}\|$  розміру  $N \times N$ , де  $h_{ij}$  – кількість ПС, що здійснюють польоти від аеродрому  $i$  до аеродрому  $j$  в одиницю часу,  $i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, N; i \neq j$ . Задані обмеження. Відома функція вартості ППВМ  $C$  і визначені допустимі витрати на її створення та експлуатацію  $C_{\text{доп}}$ . Задані також необхідні ймовірності повітряної навігації  $P_{\text{ПОТР}}$  для кожної пари аеродромів. Потрібно визначити структуру ППВМ, яка володіє максимальним рівнем якості функціонування ППВМ, що залежить від ймовірності повітряної навігації  $P_{ij}$ , при заданих обмеженнях на витрати для створення та експлуатації мережі.

Математична модель задачі виглядає наступним чином:

$$F_{\text{ППВМ}} = f(P_{ij}) \rightarrow \max, \quad i, j = 1, \dots, N, \quad i \neq j; \quad (1)$$

$$C = \sum_i \sum_j C_{ij} (l_{ij}, \rho_{ij}, h_{ij}) \leq C_{\text{доп}}; \quad (2)$$

$$\forall \pi_{ij} \quad P_{ij} \geq P_{\text{ПОТР}}; \quad (3)$$

$$\phi_{ij} \leq \rho_{ij}; \quad (4)$$

$$\tau_{\text{ср}} \leq T_{\text{max}}; \quad (5)$$

де  $N$  – число аеровузлів ППВМ, що синтезуються. У загальному випадку  $N = \text{var}$ .

$F_{\text{ППВМ}}$  – функціонал якості, що максимізується;

$P_{ij}$  – ймовірність повітряної навігації Між парою аеровузлів  $(i, j)$ ;

$l_{ij}$  – довжина шляху Між парою аеровузлів  $(i, j)$ ;

$\tau_{\text{ср}}$  – середній час затримки вильоту.

Вираз (1) описує критерій оптимізації: максимум якості функціонування структури ППВМ. Як показник якості функціонування вибирається узагальнений показник, що характеризує зв'язність аеродромної мережі (вершин графа) і залежить від ймовірності повітряної навігації між кожною аеродромів  $P_{ij}$ . Вирази (2) – (5) описують обмеження на

параметри мережі для вирішення оптимізаційної задачі.

Умова (2) означає, що сумарні наведені витрати на систему ППВМ з урахуванням довжини маршрутів, їх пропускної здатності та кількості ПС не повинні перевищувати допустимої величини. Умова (3) визначає для всіх маршрутів  $\pi_{ij}$  значення ймовірності повітряної навігації  $P_{ij}$ . Умова (4) для кожного маршруту з пропускною здатністю  $\rho_{ij}$  обмежує обсяг потоку ПС  $\phi_{ij}$ . Умова (5) визначає середній час затримки вильоту  $\tau_{\text{ср}}$  в системі.

Таким чином, після рішення задачі оптимізації буде знайдена структура ППВМ, що складається з  $N$  аеродромів (список суміжності ребер графа структури ППВМ), що попередньо заявлені, яка буде задовольняти критерію оптимізації (1) та обмеженням (2) – (5).

Науково-методичний апарат синтезу структури являє собою сукупність методичних підходів, математичних моделей і методик, що дозволяють забезпечити задану безпеку виконання польотів за мінімальних витрат ресурсу.

Забезпечення функціонування пропонується здійснювати за рахунок раціонального введення надмірності маршрутів між структурними елементами системи. Визначення оптимального рівня надлишковості є однією з основних наукових завдань. При цьому накладається ряд спеціальних обмежень і припущень, докладний опис яких і дослідження їх впливу буде виконано в наступних публікаціях.

Стратегія синтезу ППВМ полягає в наступному. На етапі проектування забезпечується структурна, апаратна, програмна та тимчасова надмірність. Для цього визначається оптимальна (за критерієм максимуму функціоналу ППВМ) структура ППВМ, що володіє надмірністю маршрутів між аеродромами з метою створення альтернативних маршрутів польоту. У програмне забезпечення маршрутизаторів, встановлених у кожному вузлі комутації, вводиться програмна і тимчасова надмірність для вирішення задач контролю ППВМ.

На етапі експлуатації здійснюється функціонування в штатному режимі, при якому система синтезу ППВМ виконує призначені їй функції. Система контролю і прогнозування, вбудована в маршрутизатори, виконує постійний контроль елементів системи тестовими методами. При виникненні ОВП, небезпечний зближень, внаслідок впливу зовнішніх (внутрішніх) факторів на політ, здійснюється локалізація елемента, що відмовив, зміна структури ППВМ шляхом коригування таблиць маршрутизації, видача інформації про виявлені відмови диспетчеру. Під час відновлення система синтезу ППВМ функціонує з використанням альтернативних, резервних

маршрутів. Після відновлення відбувається коректування таблиць маршрутизації і відповідна зміна структури ППВМ.

Таким чином, структура ППВМ є динамічно змінювана в процесі виявлення та відновлення фактів порушення функціонування підсистем. При цьому функціонування системи не порушується, і вона постійно виконує свої основні функції, можливо, зі зниженням якості за рахунок зменшення ступеня надмірності при реструктуризації. Для екіпажів ПС, що здійснюють польоти в ППВМ події настання відмов і процес відновлення залишаються прозорими і непомітними.

Для вирішення сформульованої загальної наукової задачі необхідно поставити і вирішити такі часткові завдання дослідження:

проведення аналізу та оцінки внутрішніх і зовнішніх факторів, що впливають на процес функціонування системи синтезу ППВМ;

розробка методики визначення ймовірності повітряної навігації із забезпеченням заданого рівня безпеки польотів;

розробка методики визначення пропускну здатності повітряного простору;

розробка науково-методичний апарату синтезу структури повітряного простору з використання режиму вільного польоту;

проведення експериментальної оцінки отриманих теоретичних результатів шляхом математичного моделювання.

## Висновки

Таким чином при реалізації всіх вищевикладених положень отримаємо ППВМ що буде здатний забезпечувати:

підготовку планів польоту (програмування і збереження інформації про проміжні етапи польоту, аеродроми, радіомаяки, можливість вивчення місцевості за маршрутом польоту та ін.);

можливість оперативного змінювання необхідних даних польоту;

безперервне визначення координат місцеположення ПС за допомогою приймача GNSS і відображення ПС на електронній карті;

приймання та оброблення інформації від сполучених систем, а також видачу інформації в інші системи.

В подальших публікаціях будуть вирішені часткові завдання досліджень, що поставлені в даній статті.

## Список літератури

1. Харченко В.П. Аеронавігація: навч. посіб. / В.П. Харченко, Ю.В. Зайцев. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2008. – 272 с.

2. Харченко В.П. Проблемы развития и методы управления эффективностью систем аэронавигационного обслуживания: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.13 / Харченко Владимир Петрович. – К., 1994. – 448 л.

3. Васильев В.М. Методи моніторингу та розв'язання конфліктних ситуацій в системі кооперативного управління повітряним рухом: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.13 / Васильев Володимир Миколайович. – К., 2006. – 358 арк.

4. Бабаева С.И. Методы оперативного регулирования потоков воздушных судов при изменении условий выполнения полетов в автоматизированной системе управления воздушным движением: дис. ... к.т.н.: 05.22.13 / Бабаева Светлана Игоревна. – М., 2006. – 146 л.

5. Сорокин В.П. Автоматизация обработки информации в АСУ / В.П. Сорокин. – К.: ВА ПВО СВ, 1990. – 100 с.

6. Королев А.В. Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях / А.В. Королев, Г.А. Кучук, А.А. Пашичев. – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.

7. Артюшин Л.М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л.М. Артюшин, О.А. Машиков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.

Надійшла до редколегії 9.11.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН СВОБОДНОГО ПОЛЕТА В ЧЕТЫРЕХМЕРНОМ ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

П.А. Билько

*На основе анализа распределения воздушного пространства и этапов его планирования определены основные задачи формирования зон свободного полета в четырех мерном воздушном пространстве.*

**Ключевые слова:** воздушное пространство, концепция «свободного полета».

## RAISING OF TASK IN RELATION TO FORMING OF AREAS OF FREE FLIGHT IN 4-TH MEASURED AIR SPACE

P.A. Bil'ko

*On the basis of analysis of distributing of air space and stages of his planning the basic tasks of forming of areas of free flight are certain in 4-th measured air space.*

**Keywords:** air space, conception of «free flight».