

УДК 656.7.052;656.7.071.13(045)

<sup>1</sup>О.Є. Луппо, к.пед.н., доц.<sup>2</sup>О.В. Глушко, студ.<sup>3</sup>Д.М. Долматова, студ.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СЕКТОРІВ РАЙОННОГО ЦЕНТРУ ЗА МЕТОДОЛОГІЄЮ ЄВРОКОНТРОЛЮ

Національний авіаційний університет

<sup>1</sup>E-mail: luppo-ae@mail.ru<sup>2</sup>E-mail: oks\_glushko@mail.ru<sup>3</sup>E-mail: dolmatova\_darya@ukr.net

*Розглянуто характеристику впровадження методів Євроконтролю з визначення пропускної спроможності секторів районного диспетчерського центру. Проаналізовано пропускну спроможність використання тренажерних засобів та швидкий розрахунок пропускної спроможності районного диспетчерського центру. Наведено приклади застосування удосконаленого диспетчерського математичного симулятора.*

**Ключові слова:** пропускна спроможність секторів, тренажерні засоби, удосконалений математичний симулятор.

### Постановка проблеми

Головною метою групи симуляторів аналізу пропускної спроможності з використанням тренажерних засобів (ATC Capacity Analyzer Tool-SAPAN) є удосконалення європейської мережі повітряного простору за допомогою аеронавігаційного обслуговування, яке проводить оцінку теоретичних можливостей певного сектора повітряного простору.

У зв'язку з новим дизайном повітряного простору, змінами до процедур керування повітряним рухом та новими технологіями збільшується об'єм повітряного руху. Урахування цих змін є важливим компонентом для забезпечення правильного навантаження на диспетчера та оцінки нових пропускних спроможностей сектора.

Методи швидкого розрахування пропускної спроможності районного диспетчерського центру (Fast ACC Capacity Evaluation Tool – FACET) забезпечують можливість обчислення пропускної спроможності деякого районного диспетчерського центру (РДЦ) при відомих пропускних спроможностях сусідніх РДЦ, а також SAPAN-математичну модель, розроблену Євроконтролем для вимірювання диспетчерського навантаження та пропускної спроможності певного сектора [1].

Математичні моделі використовуються для вимірювання пропускної спроможності сектора, покладаючись на вирахування або передбачення диспетчерського навантаження. Вони засновані на попередньому вимірі керованих подій та завдань диспетчера за вказаний період часу.

Спеціальна математична модель SAPAN призначена для виміру диспетчерського навантаження з високою точністю та певною потужністю. Недолік моделі SAPAN полягає в тому, що це комплекс дій та довгий процес. Підготовка для розрахунку навантаження досить вимоглива. Крім того, SAPAN використовує два пропускних значення, отриманих двома методами (піку і регресійним методом). Ці значення ґрунтуються на оцінці навантаження диспетчера і вимагають декілька повторів моделювання. Два значення потужності можуть дуже відрізнитися.

У цілому, значення потужності (пропускної спроможності), отриманої шляхом регресії, є набагато точнішим і автоматично враховує мережевий ефект, тому в моделюванні SAPAN вважається за краще використовувати саме його.

### Визначення пропускної спроможності

Пропускна спроможність для організації повітряного руху – це можливість надання аеронавігаційного обслуговування певному об'єму повітряного руху з високим рівнем безпеки і без накладання значних експлуатаційних, економічних чи екологічних штрафів у нормальних умовах.

Пропускна спроможність може бути визначена та виміряна різними способами та на різних рівнях. Використовуватимемо лише два визначення пропускної спроможності.

Об'єм пропускної спроможності – це максимальна кількість польотів за 1 год, які можуть бути безпечно керовані диспетчером

РДЦ, тобто кількість польотів, яка може бути обслугована авіадиспетчерами без перевищення максимального об'єму роботи.

Види навантаження диспетчера обслуговування повітряного руху наведено в таблиці.

**Навантаження диспетчера**

Інтерпретація навантаження	Поріг навантаження
Перенавантаження	70 % та більше (42 хв+)
Сильне навантаження	54–69 % (32–41 хв)
Середнє навантаження	30–53 % (18–31 хв)
Легке навантаження	18–29 % (11–17 хв)
Дуже легке навантаження	0–17 % (0–10 хв)

Заявлений об'єм пропускної спроможності – це кількість польотів за 1 год, оцінених за допомогою пункту організації потоків повітряного руху та поданих до центрального органу організації потоків повітряного руху (Central Flow Management Unit-CFMU), що надає сектору захист від перенавантаження. Ця пропускна спроможність включає в себе дійсну пропускну спроможність і «буфер безпеки», що дозволяє розрахувати реальну навантаженість диспетчера (рис. 1) [2].

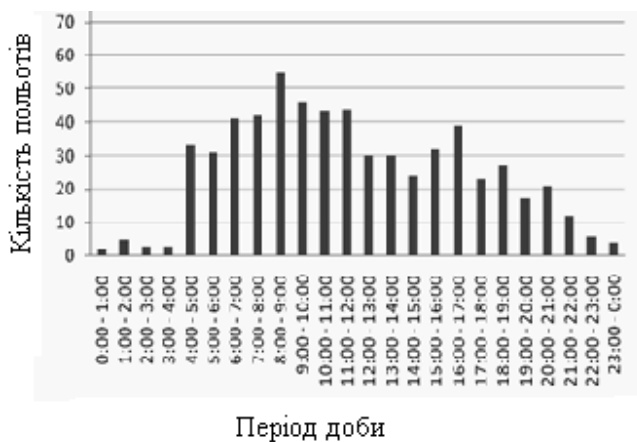


Рис. 1. Навантаженість диспетчера РДЦ

Метод FACET використовується для розрахунку пропускної спроможності РДЦ. Для прикладу візьмемо звичайний РДЦ з трьома секторами, які працюють протягом усього дня (рис. 2).

Відправною точкою є середній попит польотів на РДЦ під час найважчого тригодинного періоду дня. Звичайний РДЦ під час найнавантаженіших 3 год становить 60 польотів за годину (рис. 3).

Найбільш насичений блокуючий сектор, від якого залежить загальна пропускна спроможність РДЦ, називається критичним.

У нашому випадку це сектор «Схід», де виконується 40 польотів за 1 год (рис. 4). У секторі «Захід» виконується 20 польотів за 1 год, у секторі «Південь» – 30 польотів за 1 год.

Наступним кроком є збільшення кількості повітряних суден у РДЦ, поки один із секторів не досягне максимального насичення. Тобто повітряний рух у «вузькому місці» досягає межі навантаження сектора. Транспортний потік у всіх РДЦ вважається «з нульовою затримкою», де номінальна ємність РДЦ становить 72 польота за годину (рис. 5). У секторі «Захід» виконується  $20 + 20\% = 24$  пол./год, у секторі «Південь» –  $30 + 20\% = 36$  пол./год, у секторі «Схід» –  $40 + 20\% = 48$  пол./год.

Метод FACET можна привести до спрощеного рівняння:

$$C = 3 \frac{1}{N},$$

де  $C$  – пропускна спроможність РДЦ;

$3$  – завантаженість РДЦ;

$N$  – максимальне насичення.

Відправна точка дорівнює 60 польотів за годину через сектор «Схід», що є найвужчим сектором з насиченням 83 % (40/48):

$$П = 60 \cdot 1 : 40 : 48 = 72,$$

де  $П$  – РДЦ потужність.

Метод аналізу пропускної спроможності з використанням тренажерних засобів (ATC Capacity Analyzer Tool – CAPAN) – це метод оцінювання пропускної спроможності, розвинутий Євроконтролем. Цей метод заснований на створенні моделі для обчислення робочого навантаження диспетчера в певному секторі повітряного руху [3].

Робоче навантаження диспетчера – це час для виконання всіх завдань за певний інтервал часу одним диспетчером.

Великий обсяг даних потребує оцінки навантаження диспетчера:

- опису повітряного простору, отриманого після мережевого підрахунку та візуалізації пропускної спроможності РДЦ;

- аналізу руху на макроскопічному рівні з допомогою спеціальних інструментів, розроблених Євроконтролем;

- аналізу і перетворення даних [1; 4];

- створення репрезентативної вибірки повітряного руху за допомогою відповідних планів польоту або радарних треків чи характеристики повітряних суден;

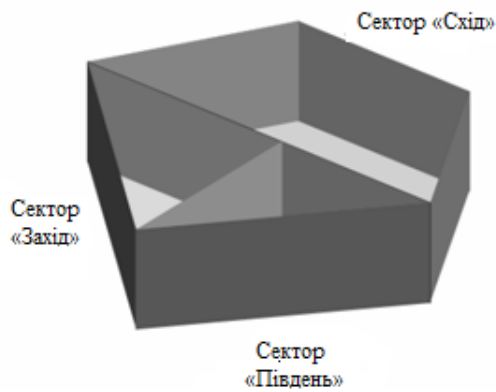


Рис. 2. Пропускна спроможність секторів РДЦ

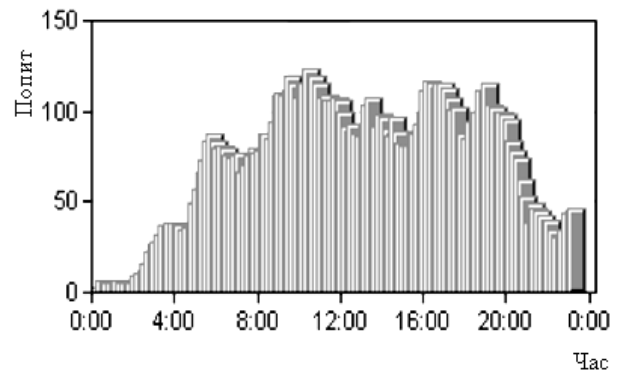


Рис. 3. Повітряний рух у РДЦ

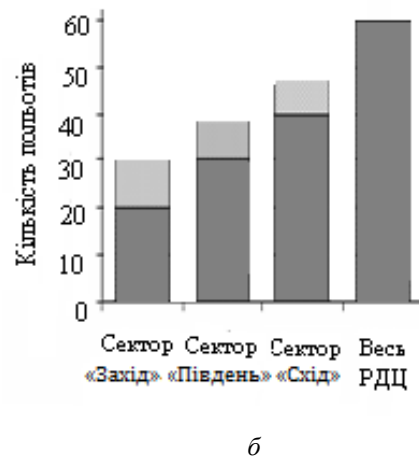
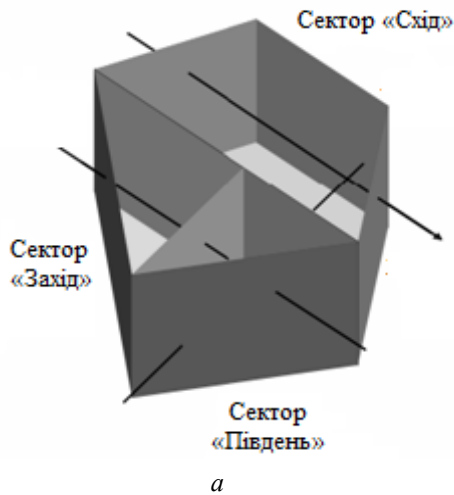


Рис. 4. Визначення найнавантаженого сектора:

*a* – 3D зображення;  
*б* – графічне зображення

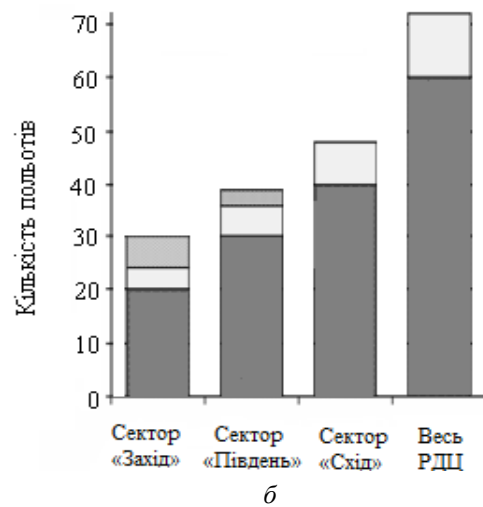
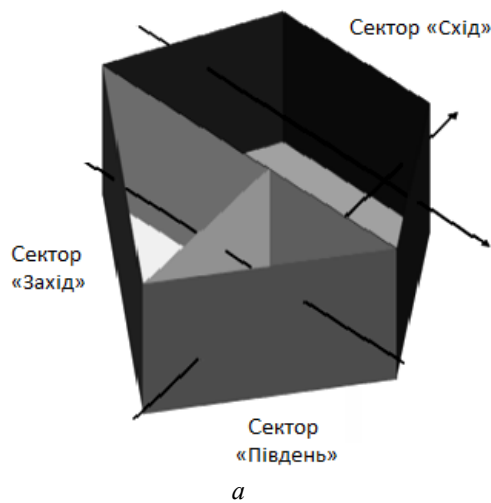


Рис. 5. Навантаження РДЦ з урахуванням збільшення кількості польотів:

*a* – 3D зображення;  
*б* – графічне зображення

– параметрів контролю (процедур і методів) диспетчерських дій, які узгоджені оперативними експертами для відображення реальних умов роботи;

– тривалості зумовлених завдань в секундах.

Під час симуляції зумовлених дискретних подій викликається розподіл відповідних завдань для планування чи тактичних дій авіадиспетчера, згідно з розподілом сектора і особливостей, зазначених для кожного сектора. Ці дії можуть включати в себе:

- вхід або вихід повітряного судна з сектора РДЦ;
- пошук і врегулювання конфліктів;
- новий ешелон польоту;
- зовнішню та внутрішню координації.

Оскільки тривалість кожної з цих дій була встановлена раніше, можна обчислити час (погодинно), витрачений диспетчером на виконання цих завдань. Цей час називається погодинним навантаженням.

#### Визначення порога навантаження

Удосконалений диспетчерський математичний симулятор (the Reorganised ATC Mathematical Simulator – RAMS) використовується як засіб для розрахунку навантаження диспетчера для відповідного руху [1]. Цю модель застосовують для конфліктних ситуацій, які можуть відбуватися протягом польоту, наприклад:

- вхід до першого змодельованого сектора;
- вихід із нього;
- знаходження конфліктної ситуації;
- її вирішення.

Цей метод розвинений для моделі повітряного простору.

Типовий метод дослідження CAPAN починається з початкових стадій для перевірки та налагодження даних.

Однак результати є середніми для серії моделювань (від 10 до 25 повторів), де часи прибуття повітряних суден та час, витрачений на виконання польоту, відрізняються залежно від ситуації.

Аналіз різноманітних подій у диспетчерському секторі зменшує можливість створення складної ситуації для повітряного руху. У цьому випадку сектори не дуже завантажені, польоти можуть бути пропорційно складені для створення достатнього навантаження авіадиспетчера, щоб підрахувати теоретичну пропускну спроможність сектора.

Методом CAPAN створюють значення, що відображають навантаження в симульованих контрольних подіях та є вирішальними для

знаходження пропускну спроможності сектора при використанні цього методу.

Визначення якісних значень під час моделювання (сильне навантаження, легке навантаження тощо) з використанням кількісних характеристик завжди є емпіричним експериментом та функцією «реальності» чи «точності» моделі, що використовувалась при моделюванні повітряного руху. Критичні значення, отримані шляхом аналізу щільності повітряного руху, були перевірені та уточнені в результаті моделювання руху в умовах реального часу.

Використані кількісні граничні показники навантаження та їхні відповідні якісні значення показано у таблиці.

Використовуючи метод RAMS, записують навантаження, асоційовані з ідентифікованими завданнями моделювання, визначеними в моделі.

З допомогою методу CAPAN для визначення кількості моделювань використовують попередні результати включаючи реальні зразки руху.

Симуляції реального часу та інші випробування підтвердили достовірність граничних значень для визначення пропускну спроможності сектора.

Протягом процесу симуляції методом RAMS підраховано профілі польоту, ідентифіковано сектори з потенційно конфліктними ситуаціями, визначено і вирішено конфлікти та записано завдання диспетчера.

Моделювання надало детальну картину дій диспетчера для подальшого аналізу розподілу часу руху та навантаження (рис. 6).

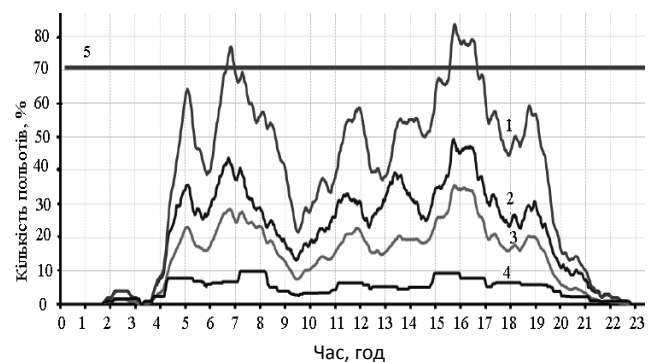


Рис. 6. Завантаженість сектора LSAGN верхнього повітряного простору :

1 – навантаження старшого диспетчера, %/год;

2 – погодинний темп входу в сектор (кількість польотів);

3 – навантаження диспетчера планування, %/год;

4 – максимальну кількість польотів у секторі протягом визначеного часу;

5 – поріг перевантаження в 70%, використаний за допомогою CAPAN для ідентифікації перевантажених робочих місць

Аналіз рис. 7 показує, що навантаження диспетчера планування практично прямо пропорційне до попиту руху. Ця тенденція звичайна в сучасній системі повітряного руху.



Рис. 7. Регресивний аналіз пропускної спроможності сектора

Навантаження головного диспетчера не прямо пропорційне до інтенсивності руху. Функція залежності навантаження головного диспетчера від інтенсивності руху нелінійна.

Навантаження головного диспетчера більш залежить від складності руху, ніж від попиту.

Ці значення отримані для звичайної інтенсивності руху. За допомогою методу CAPAN можна визначити перевантаження головного диспетчера для спостереженого об'єму руху.

Дослідження показали, що пропускна спроможність сектора заснована на навантаженні авіадиспетчера, змінюється протягом 24 год та прямо залежить від складності руху, а не тільки від інтенсивності. При подальшому визначенні пропускної спроможності сектора буде братися до уваги середня інтенсивність руху в секторі за добу.

### Висновки

Якщо зобразити значення, отримані для показаного сектора протягом 24 год, та намалювати регресивну лінію між попитом руху та навантаженням головного диспетчера, моделювання

дозволить отримати функцію характеристик сектора. Завантаженість головного диспетчера є функцією від необхідного об'єму повітряного руху.

Перетин кривої функції з порогом перевантаження у 70 % забезпечує значення пропускної спроможності, що згладжує максимальні значення, які були спостережені протягом годин максимального навантаження (рис. 7).

Регресивний аналіз пропускної спроможності сектора базується на середній складності руху за 24 год.

Якщо навантаження, визначене протягом 24-годинного симулювання, легке, пропускна спроможність може дати дуже високі значення при використанні регресивного аналізу. Якщо інтенсивність руху низька, поведінка сектора протягом складних періодів не буде визначена та функція рух/попит буде майже лінійною.

### Література

1. *Capacity Assessment & Planning Guidance*: 29 September 2007. – Режим доступу: <http://www.eurocontrol.int/cef/gallery/content/public/Documents/Capacity%20Planning%20Guidance%20&%20Assesment%202007.pdf>
2. *Air Traffic Flow & Capacity Management Operations*: 15 March 2011. – Режим доступу: <http://www.eurocontrol.int/articles/air-traffic-flow-and-capacity-management-atfcm>
3. *European Medium-Term ATM Network Capacity Plan Assessment 2010-2013*: June 2009. – Режим доступу: [http://www.eurocontrol.int/cef/gallery/content/public/Documents/European%20MT%20Capacity%20Plan%202010%202013%20\\_web.pdf](http://www.eurocontrol.int/cef/gallery/content/public/Documents/European%20MT%20Capacity%20Plan%202010%202013%20_web.pdf)
4. *NEVAC. Network Estimation Visualization of ACC Capacity*: November 2010. – Режим доступу: [http://www.eurocontrol-at-atcglobal.com/wp-content/uploads/2011/02/Leaflet-NEVAC-2010\\_minisiteOK.pdf](http://www.eurocontrol-at-atcglobal.com/wp-content/uploads/2011/02/Leaflet-NEVAC-2010_minisiteOK.pdf)

Стаття надійшла до редакції 13.03.2012.