

АЕРОПОРТИ ТА ЇХ ІНФРАСТРУКТУРА

УДК 625.717.2(045)

В.М. Золотоперий, к. т. н., доц.**ПРОПУСКНА СПРОМОЖНІСТЬ СИСТЕМИ ДВОХ ПАРАЛЕЛЬНИХ
ЗЛІТНО-ПОСАДКОВИХ СМУГ З УРАХУВАННЯМ РІЗНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ
ПОЛЬОТІВ ЛІТАКІВ НА АЕРОДРОМІ**

Національний авіаційний університет

E-mail: z_vlad_n@ukr.net

Розглянуто питання визначення розрахункової пропускної спроможності системи двох паралельних злітно-посадкових смуг з урахуванням різної організації польотів літаків на аеродромі на підставі використання методів теорії масового обслуговування.

Take up the questions of the rated capacity for two parallel runways according to different organization of airplanes flights at the aerodrome with using methods of queueing theory.

Рассмотрены вопросы определения расчетной пропускной способности системы двух параллельных взлетно-посадочных полос с учетом различной организации полетов самолетов на аэродроме с использованием методов теории массового обслуживания.

Вступ

Під пропускнуою спроможністю системи злітно-посадкових смуг (ЗПС) аеродрому розуміють максимально можливу кількість злітно-посадкових операцій літаків, що може бути виконана в одиницю часу з дотриманням вимог безпеки польотів і без перевищення середнього значення оптимального часу затримки літаків у разі очікування черги на зліт або посадку.

Постановка завдання

Пропускна спроможність системи ЗПС аеродрому є однією з найважливіших експлуатаційних характеристик аеропорту.

Правильна оцінка пропускної спроможності системи ЗПС дозволяє в процесі проектування аеропорту обґрунтовано вибирати планувальне рішення цієї системи, а в процесі експлуатації аеропорту – реально планувати обсяги пасажирських і вантажних перевезень, підвищуючи економічну ефективність роботи аеропорту як транспортного авіаційного підприємства.

Аналіз досліджень і публікацій

Автори праць [1–5] відносять випадковий потік літаків в аеропорту до найпростішого (пуассонівського), для якого виконуються умови стаціонарності, відсутності післядії та ординарності. Це дозволяє суттєво спростити математичний апарат, який використовують для розрахунків, тому що основні показники ефективності функціонування систем масового обслуговування (СМО) більше залежать від числових значень характеристик закону розподілення, ніж від його виду.

Мета роботи – із використанням методів теорії масового обслуговування отримати математичні залежності та здійснити порівняльний аналіз числових значень розрахункової пропускної спроможності системи двох паралельних ЗПС з урахуванням різної можливої організації польотів літаків на аеродромі.

Основна частина

У теоретичному плані систему ЗПС можна розглядати як СМО з очікуванням типів $M/M/n$, $M/G/n$, призначену для обслуговування різних видів злітно-посадкових операцій літаків:

зліт – зліт;
 посадка – посадка;
 посадка – зліт;
 зліт – посадка.

Труднощі розрахунку характеристик СМО, у тому числі її пропускної спроможності, пов'язані з нерегулярністю вхідного потоку літаків і нерегулярним характером часу обслуговування зльоту та посадки кожного літака.

У найпростішому потоці кількість надходжень заявок (літаків) на обслуговування K , що потрапляють на будь-який інтервал часу тривалістю t розподілено за законом Пуассона:

$$P_{k(t)} = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t};$$

$$k = 0, 1, 2, \dots$$

де λ – інтенсивність потоку літаків.

Щільність розподілу інтервалів часу між двома послідовними надходженнями літаків на обслуговування визначається за формулою

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \quad t > 0.$$

Отже, у найпростішому потоці інтервал часу між двома надходженнями літаків на обслуговування розподілений за експонентним законом з параметром λ , що дає можливість використовувати при розрахунку пропускної спроможності системи ЗПС СМО типу $M/M/n$ з показовим M розподілом інтервалів і часу обслуговування літаків з кількістю n обслуговуючих каналів (ЗПС).

На відміну від СМО типу $M/M/n$, СМО типу $M/G/n$ припускає довільне G розділення часу обслуговування літаків з більш складним математичним апаратом, що ускладнює її застосування для інженерних розрахунків.

Пуассонівський потік літаків в аеропорту найбільш типовий для реальних СМО.

Крім того, цей закон розподілу успішно використовують для описання вхідних потоків літаків при наближених розрахунках, якщо деякі з зазначених умов (стаціонарність, відсутність післядії та ординарність) не виконуються.

Це дозволяє істотно спростити математичний апарат, використовуваний для розрахунку СМО, завдяки тому, що основні показники ефективності функціонування систем більше залежать від числових значень характеристик закону розподілу, ніж його виду.

Для розрахунку показників ефективності функціонування СМО з очікуванням у разі обмеженої кількості ЗПС і необмеженого потоку літаків на обслуговування теорія масового обслуговування [6; 7] має у своєму розпорядженні такі залежності.

1. Кількість n обслуговуючих каналів (ЗПС), які необхідно мати для обслуговування в одиницю часу всіх заявок (літаки), що надходять на обслуговування, має задовольняти умову:

$$n > \frac{\lambda}{\nu},$$

де ν – середня кількість заявок, що може бути обслугована одним каналом в одиницю часу.

У разі невиконання цієї умови черга з літаків, що вимагають зльоту (посадки), буде необмежено зростати, тобто система ЗПС не встигатиме обслуговувати літаки.

2. Імовірність P_0 того, що всі ЗПС вільні:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k + \frac{\nu}{(n-1)!(n\nu - \lambda)} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^n};$$

$$\frac{\lambda}{n\nu} < 1.$$

3. Імовірність P_1 того, що всі ЗПС зайняті:

$$P_1 = \frac{\nu P_0}{(n-1)!(n\nu - \lambda)} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^n;$$

$$\frac{\lambda}{n\nu} < 1.$$

4. Середній час T_1 очікування літаком початку його обслуговування, тобто час затримки літака під час очікування черги на зліт або посадку:

$$T_1 = \frac{P_1}{n\nu - \lambda} \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^n;$$

$$\frac{\lambda}{n\nu} < 1.$$

Величина ν визначає фактичну пропускну спроможність P_{ϕ} , системи ЗПС, яка може бути знайдена з урахуванням фактичного інтервалу часу T_{ϕ} між послідовними злітно-посадковими операціями літаків:

$$\nu = P_{\phi} = \frac{1}{T_{\phi}}.$$

На основі наведених формул з урахуванням обмеження $T_1 = T_{\text{опт}}$ отримані марематичні залежності для визначення розрахункової пропускну спроможності P_p системи ЗПС:

– для аеродрому з однією ЗПС:

$$P_p = \frac{3600}{T_{\phi}} \frac{T_{\text{опт}}}{T_{\phi} + T_{\text{опт}}}, \quad (1)$$

де $T_{\text{опт}}$ – оптимальне значення середнього часу очікування літаками черги на зліт або посадку;

– для аеродрому з двома паралельними незалежними неспеціалізованими ЗПС:

$$P_p = 2 \frac{3600}{T_{\phi}} \sqrt{\frac{T_{\text{опт}}}{T_{\phi} + T_{\text{опт}}}}; \quad (2)$$

– для аеродрому з двома паралельними незалежними спеціалізованими ЗПС

$$P_p = 2 \frac{3600}{T_{\phi.33}} \frac{T_{\text{опт}}}{T_{\phi.33} + T_{\text{опт}}}, \quad T_{\phi.33} > T_{\phi.пп}; \quad (3)$$

$$P_p = 2 \frac{3600}{T_{\phi.пп}} \frac{T_{\text{опт}}}{T_{\phi.пп} + T_{\text{опт}}}, \quad T_{\phi.пп} > T_{\phi.33}; \quad (4)$$

де $T_{\phi.33}$, $T_{\phi.пп}$ – відповідно фактичний інтервал часу між послідовними зльотами та посадками літаків;

– для аеродрому з двома паралельними залежними спеціалізованими ЗПС:

$$P_p = 2 \frac{3600}{T_{\phi}} \frac{T_{\text{опт}}}{T_{\phi} + T_{\text{опт}}}.$$

Чинний ДСТУ 3228–95 [8] містить такі визначення термінів:

незалежні ЗПС – дві і більше ЗПС, на кожній з яких зльоти чи посадки літаків виконуються без узгодження в часі зі зльотами та посадками на сусідніх смугах за умови забезпечення польотів;

залежні ЗПС – дві і більше ЗПС, на кожній з яких зліт чи посадка літаків узгоджуються в часі зі зльотами та посадками на сусідніх смугах для забезпечення польотів;

неспеціалізована ЗПС – ЗПС, на якій виконуються як зльоти, так і посадки літаків;

спеціалізована ЗПС – ЗПС багатосмугового аеродрому, на якій виконуються або зльоти, або посадки літаків.

Аналіз моделі функціонування показує, що розрахункова пропускну спроможність системи двох незалежних неспеціалізованих ЗПС більш, ніж в два рази перевищує розрахункову пропускну спроможність системи одиночної ЗПС. Розділивши вираз (2) на формулу (1), знайдемо коефіцієнт K_1 :

$$K_1 = 2 \sqrt{\frac{T_{\phi} + T_{\text{опт}}}{T_{\text{опт}}}}.$$

Відповідно до вимог забезпечення польотів значення T_{ϕ} не може бути менше 45 с.

Отже, якщо $T_{\text{опт}} = 240$ с, коефіцієнт K_1 не може мати значення менше, ніж 2,18.

Ураховуючи досвід літної експлуатації літаків і дані проведеного числового експерименту з обґрунтування інтервалів часу між послідовними злітно-посадковими операціями літаків, можна стверджувати, що найбільш імовірні значення T_{ϕ} перебувають у межах 85 – 150 с. Таким чином, найбільш імовірні значення коефіцієнта K_1 перебувають у межах 2,33–2,55.

Залежність пропускну спроможності P_p від фактичного інтервалу часу T_{ϕ} для систем одиночної та двох незалежних неспеціалізованих ЗПС показано на рис. 1.

Подвоєна розрахункова пропускну спроможність системи одиночної ЗПС припускає наявність на аеродромі двох незалежних неспеціалізованих ЗПС (ЗПС-1 і ЗПС-2), що обслуговують два вхідні потоки літаків.

При цьому літаки, що обслуговуються на ЗПС-1, не обслуговуються на ЗПС-2, а літаки, що обслуговуються на ЗПС-2, не обслуговуються на ЗПС-1. Це дві СМО з одним обслуговуючим каналом кожна.

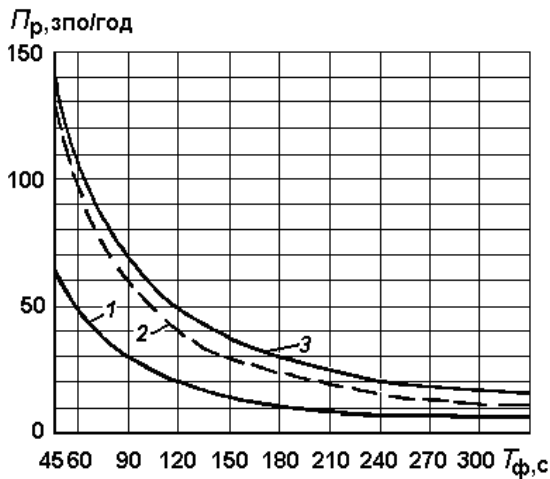


Рис. 1. Залежність величини P_p від T_ϕ :
 1 – одиночна ЗПС;
 2 – подвоєні значення P_p одиночної ЗПС;
 3 – дві незалежні неспеціалізовані ЗПС

Зазначений порядок обслуговування літаків ЗПС-1 і ЗПС-2 передбачає іншу організацію польотів літаків на аеродромі, що є менш вигідною для досягнення найбільшої пропускної спроможності системи ЗПС порівняно з розглядуваною системою.

У випадку, що розглядається, теж існують дві незалежні неспеціалізовані ЗПС, але вони обслуговують один вхідний потік літаків (одна СМО із двома обслуговуваними каналами). Літаки направляються диспетчером служби руху для обслуговування до тієї із двох ЗПС, що швидше звільняється або є вільною в момент надходження вимоги на обслуговування. Це призводить до зниження часу простою СМО та скорочення часу перебування літака в системі, що зумовлює більшу пропускну спроможність системи двох незалежних неспеціалізованих ЗПС.

Розділивши вираз (3) на формулу (2), знайдемо коефіцієнт K_2 , що показує, у скільки разів розрахункова пропускна спроможність системи двох незалежних спеціалізованих ЗПС більше або менше розрахункової пропускної спроможності системи двох незалежних неспеціалізованих ЗПС:

$$K_2 = \frac{\sqrt{T_\phi^3 T_{\text{опт}} + T_\phi^2 T_{\text{опт}}}}{T_{\phi.33}^2 + T_{\phi.33} T_{\text{опт}}}$$

Аналогічні вирази для визначення коефіцієнта K_2 можна одержати у разі ділення формули (4) на рівняння (2) з тією лише відмінністю, що замість величини $T_{\phi.33}$ буде фігурувати $T_{\phi.пп}$.

Графік функції $K_2 = f(T_{\phi.33}, T_\phi)$ при $T_{\text{опт}} = 240$ с показано на рис. 2

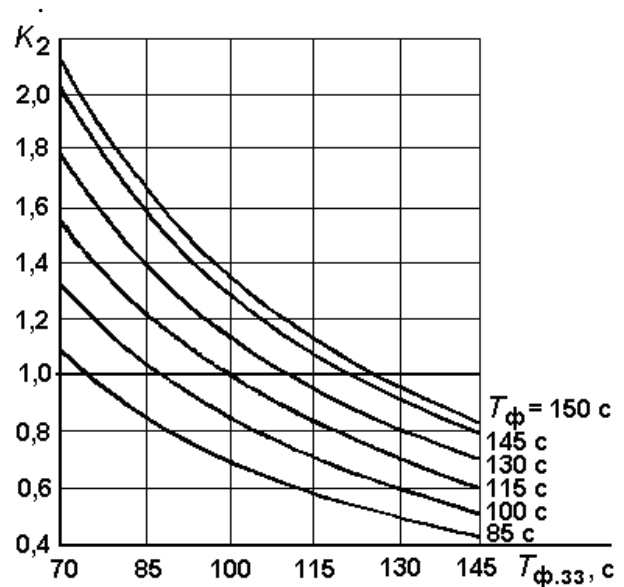


Рис. 2. Графік функції $K_2 = f(T_{\phi.33}, T_\phi)$

З рис. 2 видно, що за певних сполучень значень $T_{\phi.33}$ і T_ϕ розрахункова пропускна спроможність системи двох незалежних спеціалізованих ЗПС може бути як більше, так і менше розрахункової пропускної спроможності системи двох незалежних неспеціалізованих ЗПС. У випадку, коли $T_{\phi.33} = T_\phi$, розрахункова пропускна спроможність системи двох незалежних спеціалізованих ЗПС завжди менше розрахункової пропускної спроможності системи двох незалежних неспеціалізованих ЗПС.

Висновки

Отримані математичні залежності дозволяють на основі підрахунку розрахункової пропускної спроможності двох паралельних ЗПС визначити найбільш доцільну організацію польотів літаків на аеродромі.

Література

1. Андронов А.М. Аппроксимация статистических данных об отклонениях прилетов самолетов от расписания / А.М. Андронов, А.М. Литвинчук // Тр. РКИИГА. – Рига: РКИИГА, 1971. – № 198. – С. 5–13.
2. Бабков А.Б. Исследование функционирования системы ВПП–РД и обоснование принципов ее оптимального проектирования: дис. ... канд. техн. наук / А.Б. Бабков. – К., 1983. – 219 с.
3. Блохин В.И. Основы проектирования аэропортов / В.И. Блохин. – М.: Транспорт, 1985. – 208 с.
4. Майорова В.Л. Исследования и обоснование оптимальных размеров привокзальных площадей аэропортов: дис. ... канд. техн. наук / В.Л. Майорова. – М., 1978. – 154 с.
5. Мунчак Л.А. Исследование закономерностей движения воздушных судов в аэропор-тах и использование их при проектировании перронов: дис. ... канд. техн. наук / Л.А. Мунчак. – М., 1982. – 183 с.
6. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
7. Розенберг В.Д. Что такое теория массового обслуживания / В.Д. Розенберг. – М.: Сов. радио, 1965. – 152 с.
8. ДСТУ 3228-95. Аеродроми цивільні. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1996. – 38 с.

Стаття надійшла до редакції 07.12.2010.