

Н.Ф. Халімон

ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ АЕРОПОРТІВ З УРАХУВАННЯМ МЕТЕОУМОВ

Проведено прогнозування показників функціонування аеропортів з урахуванням метеоумов. Визначені коефіцієнти функціонування аеропортів. Наведені результати моделювання роботи аеропорту в складних метеоумовах як системи масового обслуговування.

Рух повітряних суден у складних метеоумовах, коли порушується розклад руху, ускладнюється безпека руху, збільшується вартість польотів, виникає нестабільна робота аеропорту і, в цілому, аеровокзального комплексу, вивчено недостатньо і потребує подальших досліджень.

Проблема ускладнюється в зв'язку з тим, що інтенсивність повітряного руху в світі і, зокрема, в Україні, поступово збільшується. Одним з напрямків досліджень є прогнозування показників функціонування аеропортів при зривах рейсів повітряних суден та польотів на трасах у складних метеоумовах.

На першому етапі досліджень розглянуто аеропорт або трасу як систему масового обслуговування, які обслуговують найпростіший потік повітряних суден. Час між послідовними вимогами, тобто повітряними суднами на кожному маршруті, випадковий і розподілений по показниковому закону з параметром q . Час обслуговування потоку вимог у аеропорту або час прольоту ділянки траси випадкові при показниковому законі розподілу з параметром γ . Час безперервної роботи аеропорту або час між послідовними моментами закриття траси при виникненні, наприклад, грозових осередків, показниково розподілений з параметром λ . Час відновлення нормального режиму функціонування аеропорту (усунення причин, які спричиняють перерви у роботі аеропорту) або час існування грозової хмарності на трасі випадкові та показниково розподілені з параметром μ .

З урахуванням зазначених параметрів і теоретичних досліджень визначені кінцеві показники функціонування аеропорту в складних метеоумовах. Вплив складних метеоумов на характеристики польотів оцінюється ймовірністю невиконання $P_{\text{відм}}$ заявленого рейсу по одному з n маршрутів:

$$P_{\text{відм}} \cong \frac{\lambda_1 \sum_{i=1}^n q_i}{\mu_1 \sum_{i=1}^n q_i + \gamma_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_{2i} q_i}{\mu_{2i} q_i + \gamma_{2i}}$$

де $i=1, \dots, n$, або для зазначеного рейсу:

$$P_{\text{зона}} \equiv \frac{\lambda_1 q_i}{\mu_1 q_i + \gamma_1} + \frac{\lambda_{2i} q_i}{\mu_{2i} q_i + \gamma_{2i}},$$

де $\lambda_1, \mu_1, \gamma_1$ - параметри законів розподілу для зони аеропорту; $\lambda_{2i}, \mu_{2i}, \gamma_{2i}$ - параметри законів розподілу для трас.

Ймовірність виконання заявленого рейсу залежить від багатьох умов, але практика показує, що в межах України метеоумови є визначним чинником, який в значній мірі впливає на регулярність і економічність польотів.

Функціонування аеропорту під впливом складних метеоумов пропонується оцінювати коефіцієнтами готовності K_{Γ_M} та простою аеропорту K_{Π_M} :

$$K_{\Gamma_M} = \frac{\mu}{\lambda + \mu}; K_{\Pi_M} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}.$$

Коефіцієнт готовності аеропорту K_{Γ_M} характеризує ймовірність того, що через метеоумови аеропорт буде готовий для обслуговування повітряних суден, тобто відкритий. Коефіцієнт простою аеропорту K_{Π_M} характеризує ймовірність того, що аеропорт буде закритий через метеоумови.

З урахуванням того, що частина повітряних суден не може чекати відкриття аеропорту і буде направлена до інших аеропортів, ймовірності будуть дорівнювати:

$$P_0 = K_{\Gamma_M} \frac{\gamma + \ell \lambda}{\lambda + q + \gamma}; P_1 = K_{\Gamma_M} \frac{q + \lambda(1 - \ell)}{\lambda + q + \gamma}; P_2 = K_{\Pi_M},$$

де P_0 - ймовірність того, що аеропорт відкритий, але польотів немає; P_1 - ймовірність того, що аеропорт відкритий і обслуговує польоти; P_2 - ймовірність того, що аеропорт закритий і польотів немає; ℓ - частка повітряних суден, які будуть направлені до інших аеропортів.

Особливо великі економічні витрати несуть аеропорти з високою інтенсивністю руху повітряних суден.

Показник використання аеропорту K_B характеризується ймовірністю того, що у будь-який вільно обраний момент часу буде обслуговано заявлений рейс:

$$K_B = P_1 = K_{\Gamma_M} \frac{q + k \lambda}{\lambda + q + \gamma},$$

де $k = 1 - \ell$ коефіцієнт, який ураховує частину повітряних суден, що залишились у аеропорту.

Вплив складних метеоумов на польоти повітряних суден розглядається для ділянки однієї з трас, на якій польоти перериваються внаслідок виникнення грозових осередків. Ділянка траси на певному вертикальному ешелоні може знаходитись у певних станах використання (рис. 1).

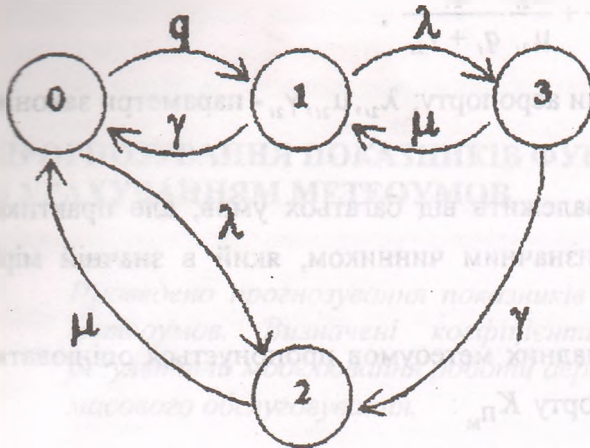


Рис. 1 Граф станів діяльності траси:

0 – умови для польотів нормальні, але польотів немає;

1 – умови для польотів нормальні, на ділянці траси знаходиться повітряне судно, протяжність ділянки траси не перевищує мінімуму продольного ешелонування;

2 – на участку траси, який розглядається, спостерігається грозова хмарність, тому польотів немає;

3 – грозова хмарність утворилась на трасі під час прольоту повітряним судном цієї ділянки траси, у несприятливих умовах політ продовжується

Ситуації на даному участку траси можуть описуватись диференціальними рівняннями:

$$\dot{p}_0(t) = -(\lambda + q)p_0(t) + \gamma p_1(t) + \mu p_2(t),$$

$$\dot{p}_1(t) = qp_0(t) - (\lambda + \gamma)p_1(t) + \mu p_3(t),$$

$$\dot{p}_2(t) = \lambda p_0(t) - \mu p_2(t) + \gamma p_3(t),$$

$$\dot{p}_3(t) = \lambda p_1(t) - (\mu + \gamma)p_3(t).$$

Нормована умова записується так:

$$\sum_{i=0}^3 p_i(t) = 1,$$

де $p_i(t)$, $i = 0, 1, 2, 3$ – ймовірність виникнення i -ї ситуації на участку траси.

У сталому режимі ($t \rightarrow \infty$) дістаємо стандартне рішення рівнянь:

$$p_1 = \frac{q(\mu + \gamma)}{\gamma(\lambda + \mu + \gamma)} p_0; \quad p_2 = \frac{\lambda(\lambda + \mu + q + \gamma)}{\mu(\lambda + \mu + \gamma)} p_0; \quad p_3 = \frac{\lambda q}{\gamma(\lambda + \mu + \gamma)} p_0,$$

де p_0, p_1, p_2, p_3 – ймовірності для зазначених умов.

Ймовірність того, що чергове повітряне судно отримує можливість виконати проліт зазначеного даного участку траси $P_{\text{обсл}} = p_0$.

При ідеальних погодних умовах, коли $\lambda = 0$, отримуємо:

$$P_{\text{обсл}, 0} = \frac{\gamma}{q + \gamma}.$$

Практика управління повітряним рухом показує, що радіолокатори, літаки зондування атмосферних явищ, приладне спостереження за атмосферою, за станом грозових осередків дають "розмиту" інформацію і потребують уточнення параметру μ . У таких випадках μ уточнюється у сторону збільшення або зменшення:

$$\mu' = \frac{1}{T_2 + 3\sigma_{T_2}} \text{ або } \mu'' = \frac{1}{T_2 - 3\sigma_{T_2}},$$

де T_2 - математичне сподівання часу існування грозового осередку, σ_{T_2} - середнє квадратичне відхилення похибки.

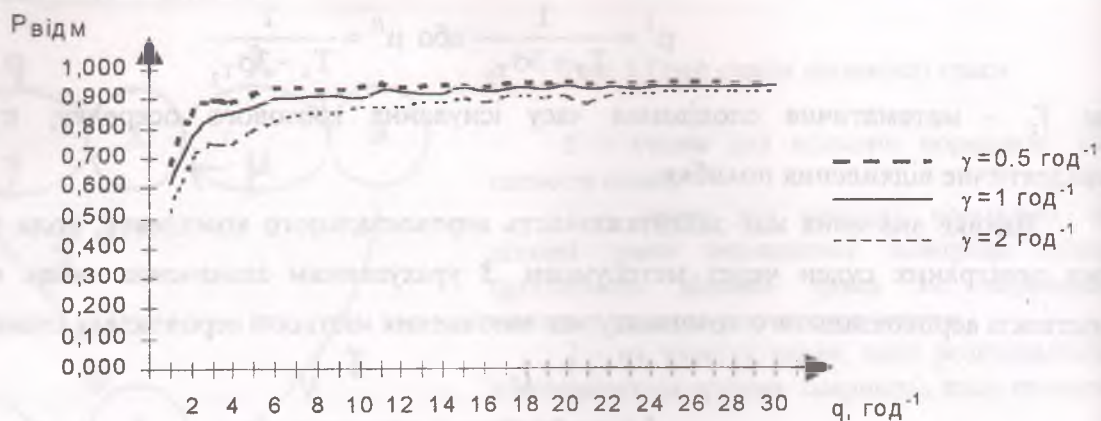
Велике значення має завантаженість аеровокзального комплексу, коли порушується рух повітряних суден через метеоумови. З урахуванням зазначених вище параметрів і місткості аеровокзального комплексу час заповнення місткості аеровокзалу становить:

$$t = \frac{N}{\sum_{i=1}^n q_i \ell_i K_{ПМ_i}} = \frac{N}{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_{2i}}{\lambda_{2i} + \mu_{2i}} q_i \ell_i},$$

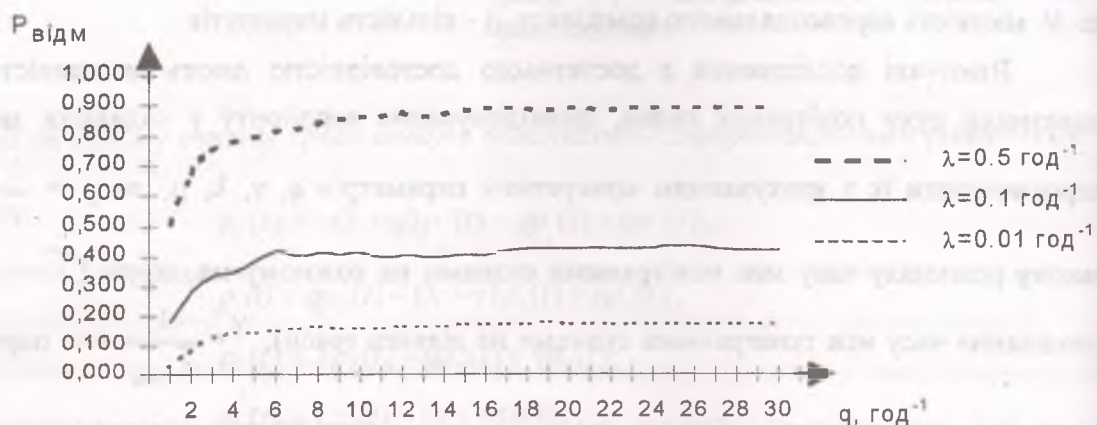
де N - місткість аеровокзального комплексу, n - кількість маршрутів.

Виконані дослідження з достатньою достовірністю дають можливість оцінювати показники руху повітряних суден, функціонування аеропорту у складних метеоумовах і спрогнозувати їх з урахуванням конкретних параметрів q , γ , λ , μ , де $q = \frac{1}{\bar{t}}$ — параметр закону розподілу часу між повітряними суднами на кожному маршруті (\bar{t} — математичне сподівання часу між повітряними суднами на ділянці траси); $\gamma = \frac{1}{\bar{t}_{\text{обсл}}}$ — параметр закону розподілу часу прольоту ділянки траси ($\bar{t}_{\text{обсл}}$ — математичне сподівання часу прольоту ділянки траси); $\lambda = \frac{1}{\bar{t}_{\text{закр}}}$ — параметр закону розподілу часу між послідовними закриттями траси при виникненні грозових осередків ($\bar{t}_{\text{закр}}$ — математичне сподівання часу між послідовними закриттями траси при виникненні грозових осередків); $\mu = \frac{1}{\bar{t}_{\text{вдн}}}$ — параметр закону розподілу часу відновлення нормального режиму функціонування аеропорту та часу існування грозової хмарності на трасі ($\bar{t}_{\text{вдн}}$ — математичне сподівання часу існування грозової хмарності).

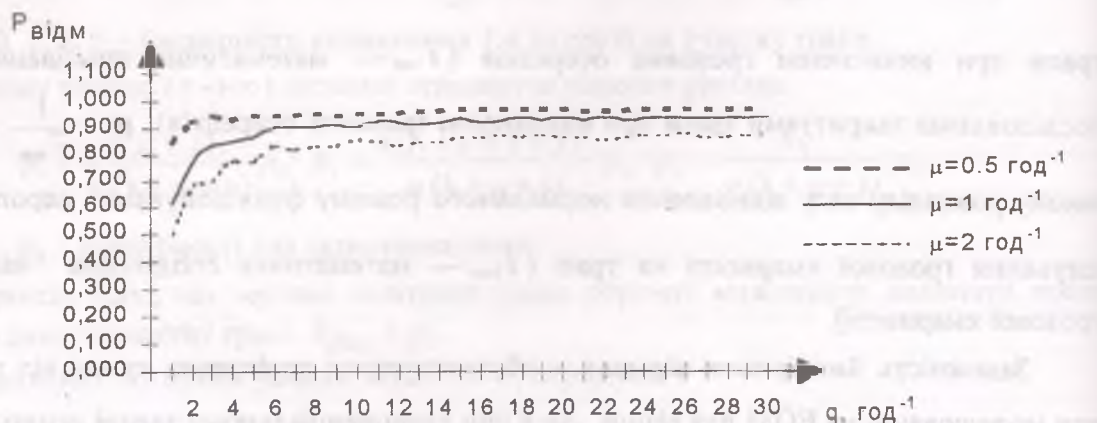
Залежність ймовірності відмови в обслуговуванні повітряних суден від параметру q при моделюванні на ЕОМ для різних умов при експоненціальному законі розподілу часу між повітряними суднами на трасі показана на рис. 2, при рівномірному законі розподілу часу між повітряними суднами на трасі – на рис. 3, при нормальному законі розподілу часу між повітряними суднами на трасі – на рис. 4. Прийнятий інтервал моделювання 24 год., гранична тривалість чекання 0 год., тривалість перебування заявки в системі 1 год., інтенсивність руху повітряного судна q год⁻¹.



а



б



в

Рис.2. Залежність імовірності відмови $P_{\text{відм}}$ в обслуговуванні потоку повітряних суден від його інтенсивності при експоненціальному законі розподілу інтервалів між ними при значеннях параметрів:

$$a \rightarrow \lambda = 1 \text{ год}^{-1}, \bar{t}_{\text{закр}} = 1 \text{ год}, \mu = 1 \text{ год}^{-1}, \bar{t}_{\text{відн}} = 1 \text{ год};$$

$$b \rightarrow \gamma = 1 \text{ год}^{-1}, \bar{t}_{\text{обсл}} = 1 \text{ год}; \mu = 1 \text{ год}^{-1}, \bar{t}_{\text{відн}} = 1 \text{ год};$$

$$v \rightarrow \gamma = 1 \text{ год}^{-1}, \bar{t}_{\text{обсл}} = 1 \text{ год}, \lambda = 1 \text{ год}^{-1}, \bar{t}_{\text{закр}} = 1 \text{ год}$$

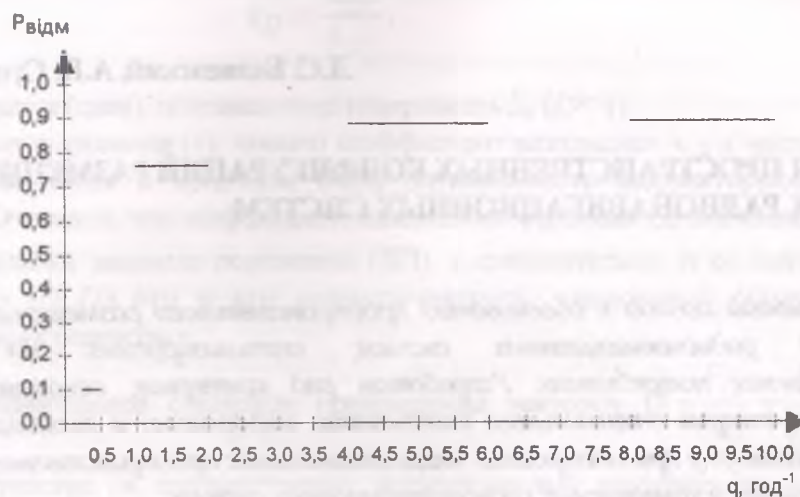


Рис. 3. Залежність імовірності відмови $P_{\text{відм}}$ в обслуговуванні потоку повітряних суден від його інтенсивності при рівномірному законі розподілу інтервалу часу між ними при значеннях параметрів:

$$\gamma=1 \text{ год}^{-1}, \bar{t}_{\text{обсл}}=1 \text{ год}, \lambda=1 \text{ год}^{-1}, \bar{t}_{\text{закр}}=1 \text{ год}, \mu=1 \text{ год}^{-1}, \bar{t}_{\text{відм}}=1 \text{ год}$$

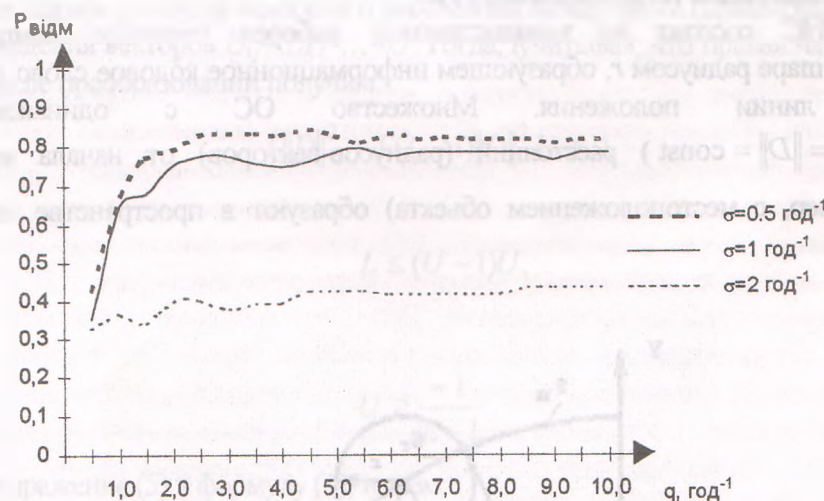


Рис. 4. Залежність імовірності відмови $P_{\text{відм}}$ в обслуговуванні повітряних суден від його інтенсивності при нормальному законі розподілу часу між ними при значеннях параметрів:

$$\gamma=1 \text{ год}^{-1}, \bar{t}_{\text{обсл}}=1 \text{ год}, \lambda=1 \text{ год}^{-1}, \bar{t}_{\text{закр}}=1 \text{ год}, \mu=1 \text{ год}^{-1}, \bar{t}_{\text{відм}}=1 \text{ год}$$

Розроблені машинні моделі дають можливість оцінювати результати моделювання для різних законів розподілу часу вказаних інтервалів. Аналіз показує, що експоненційний закон розподілу приводить до найгірших умов польотів на трасах. Запропоновані ймовірні показники функціонування аеропортів у складних умовах. Наведені результати досліджень дають змогу удосконалювати прогнозування показників функціонування аеропортів з урахуванням складних метеоумов. Подальше удосконалення прогнозування показників можливе за допомогою теорії нечітких множин.

Стаття надійшла до редакції 2 грудня 1999 року.