

УДК 656.7.072.6(045)

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ В АЕРОВОКЗАЛАХ

К. В. Марінцева, канд. екон. наук

Національний авіаційний університет

kristin22@ua.fm

Викладено методику оптимізації параметрів зон реєстрації та контролю пасажирів в аеровокзалах. Досліджено вплив зміни законів розподілу вхідного пасажиропотоку та продуктивності обслуговування на кількісні показники системи.

Ключові слова: система обслуговування пасажирів, імітаційне моделювання, інтенсивність пасажиропотоку, продуктивність обслуговування.

The check-in and airport formalities parameters optimization method is stated. The influence of the passenger traffic input distribution and the service productivity changes on the quantitative indicators of the system are researched.

Keywords: passengers service system, simulation, passenger traffic intensity, the service productivity.

Постановка проблеми

Сучасний стан організації наземного обслуговування пасажирів в аеропортах України ще не відповідає вимогам та очікуванням пасажирів. Спостерігаються випадки перевищення нормативного часу обслуговування пасажирів, невідповідності пропускної здатності аеровокзалів пасажиропотоку, недостатня надійність систем обробки багажу. Не повною мірою розглянуто питання інформаційного обслуговування пасажирів, особливо в регіональних аеропортах.

Разом з тим зростає значення ефективного використання капітальних вкладень з погляду досягнутого технічного рівня, технології, економії й надійності. Адже необґрунтоване технічне рішення може обернутися багатомільйонними втратами як при будівництві нової споруди, так і при реконструкції. До того ж стійкою тенденцією розвитку технологічних процесів обслуговування пасажирів в аеропорту є не тільки ускладнення принципу їх організації, збільшення вкладень у будівництво та обладнання аеровокзалів, але й необхідність всебічного зниження ймовірності затримок і збійних ситуацій.

Ці обставини і визначають необхідність побудови математичних моделей складних технологічних процесів, у тому числі і обслуговування пасажирів, щоб, варіюючи вхідними параметрами системи, перевіряти висунуті рішення, а значить і отримувати оптимальні з них на етапах проектування й експлуатації.

Аналіз досліджень і публікацій

Слід зазначити, що для процесу обслуговування пасажирів практично не може бути надійних детермінованих моделей з аналітичним рішенням через імовірнісний характер багатьох чинників, що впливають на цей процес. Тому рядом дослідників [1–3], було розроблено спро-

щені моделі обслуговування пасажирів в аеровокзалах, які використовують методи теорії масового обслуговування (ТМО), наприклад, для визначення необхідної кількості пунктів реєстрації, обсягу накопичувачів багажу і т. п.

Апарат ТМО найчастіше оперує так званим найпростішим потоком, коли розподіл заявок на обслуговування підкоряється закону Пуассона.

Однак у праці [4] стверджується, що використання найпростішого потоку при вивченні систем обслуговування пасажирів в аеропортах несе в собі методологічну похибку. Автор приділяє багато уваги вивченню законів розподілу вхідного пасажиропотоку та часу обслуговування. У розглянутих роботах не проведено ретельного аналізу того, як впливає на точність моделі заміна реального закону розподілу на закон Пуассона, наскільки важливим це є для проектування аеровокзалу, розробки технології обслуговування пасажирів та обробки багажу чи оперативного коригування даної технології.

Мета статті — викладення методики оптимізації параметрів системи обслуговування пасажирів, що відлітають, а саме процесу реєстрації та зон аеропортових формальностей, а також визначення основних чинників, що впливають на дані параметри.

Результати дослідження

Під системою обслуговування пасажирів, що відлітають, розуміється сукупність технологічного устаткування, засобів механізації, автоматизації, інформатизації управління та обслуговуючого персоналу, яка забезпечує виконання операцій реєстрації пасажирів, оформлення та обробки багажу, прийнятого до перевезення, проведення огляду та інформування.

Аналіз чинників, що впливають на роботу системи обслуговування пасажирів, показує, ш-

майже всі вони мають імовірнісний характер. Дійсно, момент вильоту повітряного судна залежить від технічного обслуговування, заправлення паливом, від процесу обслуговування пасажирів, зльоту і посадки інших повітряних суден, погодних умов тощо і не завжди збігається з часом, зазначеним у розкладі. Коефіцієнт зайнятості крісел залежить від сезону і часу доби. Відсоток пасажирів кожного рейсу, які реєструються *on-line*, визначається наданням цієї послуги авіакомпанією і наявністю відповідних технологічних засобів в аеропорту. Час прибуття пасажирів у аеропорт до вильоту також залежить від низки психологічних і об'єктивних особливостей і не є детермінованими. Кількість місць багажу в пасажирів визначається метою поїздки, напрямком рейсу, тривалістю польоту і т. д.

Аналогічно час реєстрації та оформлення багажу, проходження огляду не є постійним і залежить від кількості одночасно пред'явлених квитків, продуктивності обслуговуючого персоналу, віку пасажирів і т. д.

Тому незалежно від досліджуваної системи, під час моделювання процесу обслуговування пасажирів в аеровокзалі необхідно розглядати не тільки всю сукупність чинників, що впливає на процес, але враховувати, що вони, здебільшого, мають стохастичний характер.

Наведемо структурно-функціональну схему, яка пояснює основні фази моделювання процесу обслуговування пасажирів, що відлітають. Це фази «Входу», «Підготовки даних», «Функціонування системи», «Аналізу функціонування», «Виходу».

Фаза вхідних даних включає в себе завдання всіх зовнішніх і внутрішніх чинників, що впливають на роботу системи обслуговування пасажирів, а саме:

- розклад руху повітряних суден або інтенсивність літаковилітів і пасажиромісткість повітряних суден;
 - коефіцієнт зайнятості крісел;
 - коефіцієнт пасажирів, що проходять реєстрацію *on-line*;
 - закони розподілу: відсотків пасажирів, що реєструються *on-line*, часу прибуття пасажирів в аеропорт до вильоту, кількості місць багажу в одного пасажирів, часу реєстрації одного пасажирів, часу огляду одного пасажирів в пунктах контролю;
 - продуктивність транспортерів, інтроскопів;
 - вимоги IATA щодо площ на одного пасажирів в зонах аеровокзалу;
 - максимальний час знаходження пасажирів у черзі перед пунктом реєстрації, огляду, перед транспортером;

- кількість відвідувачів на одного пасажирів;
- параметри для розрахунку зони під'їзду та зовнішньої зони вильоту.

У фазі «Підготовки даних» визначаються параметри системи:

- розрахунковий час згідно з розкладом в період максимального завантаження аеровокзалу;
- кількість пасажирів для реєстрації на *i*-й рейс;
- моменти прибуття кожного пасажирів в аеропорт до вильоту;
- інтенсивність пасажиропотоку.

Далі йде фаза «Функціонування системи», де виконуються всі технологічні операції процесу обслуговування. У даній фазі визначаються отримані дані щодо:

- часу реєстрації одного пасажирів і кількості місць багажу, характеристика черги пасажирів;
- часу перевірки багажу та ручної поклажі інтроскопами;
- часу огляду одного пасажирів у пунктах контролю;
- необхідних площ для обслуговування заданого пасажиропотоку.

У фазі «Аналіз функціонування системи» проводиться багаторазове випробування опорного рішення відповідно до параметрів, методом імітаційних випробувань, і повторний розрахунок моделі для отримання опорного рішення, виконуються зміни необхідних вхідних чинників з метою підвищення ефективності роботи системи.

У фазі виходу проводиться вибір оптимальної структури системи обслуговування пасажирів, що відлітають:

- вибір необхідної кількості пунктів реєстрації, кількості інтроскопів, пунктів огляду пасажирів, їхнього багажу та ручної поклажі;
- вибір продуктивності транспортерів та інтроскопів для системи обробки багажу пасажирів;
- вибір необхідних площ зон обслуговування пасажирів;
- порівняння отриманих при імітаційному моделюванні результатів з фактичними даними по заданому аеропорту.

Застосування імітаційної моделі дозволяє зробити висновки про можливі результати, засновані на ймовірнісних розподілах випадкових чинників (величин). Стохастичну імітацію часто називають методом Монте-Карло [5].

Інтенсивність вхідного потоку пасажирів у період пікового навантаження аеропорту зазвичай пропонується розраховувати за формулою (1), яка наведена в різних варіаціях у багатьох дослідженнях, у тому числі і в праці [3]. Дана формула, з деякими уточненнями, які врахову-

ють сучасні технології реєстрації, є актуальною і прийнятною і сьогодні:

$$\lambda_{\text{пас}} = \frac{1}{T_{\text{розр}}} \sum_{i=1}^m P_i(t) N_i K_{3M}^{(i)} (1 - K_a), \quad (1)$$

де $T_{\text{розр}}$ — параметр, за яким розраховується середнє значення інтенсивності вхідного потоку пасажирів, хв; m — кількість рейсів протягом періоду розрахунку; $P_i(t)$ — імовірність прибуття пасажирів i -го рейсу в аеровокзал за час t до вильоту літака за розкладом; N_i — пасажиромістність літака, що обслуговує i -й рейс; $K_{3M}^{(i)}$ — середній коефіцієнт зайнятості пасажирських місць для i -го рейсу (надалі в розрахунках визначається рівномірно розподіленою випадковою величиною в межах 0,7–0,9); K_a — коефіцієнт, що враховує відносну кількість пасажирів зареєстрованих *on-line* (надалі в розрахунках визначається рівномірно розподіленою випадковою величиною в межах 0,1–0,3).

Дані про кількість рейсів у період пікового навантаження формуються безпосередньо за розкладом повітряного руху заданого аеропорту. Якщо ж розраховується нова спроектована система обслуговування, для якої розкладу не існує, то виникає необхідність у моделюванні послідовності моментів вильоту повітряних суден.

Як уже зазначалося раніше, в цьому випадку можна вважати, що моменти вильоту повітряних суден являють собою випадкові події. Тому момент відправлення поточного рейсу (τ_i) для гіпотетичних систем визначається так:

$$\tau_i = \tau_{i-1} + \gamma_{i-1}, \quad (2)$$

де τ_{i-1} — момент вильоту попереднього повітряного судна; γ_{i-1} — випадковий інтервал часу між відправленням поточного і попереднього повітряного судна.

При моделюванні величини γ_i необхідно враховувати той факт, що мінімальний проміжок часу між двома наступними вильотами приблизно дорівнює 90 с. Тому має виконуватися умова $\tau_i - \tau_{i-1} \geq 0$. При цьому коригується співвідношення (2), а саме: $\tau_i = \tau_{i-1} + 90 + \gamma_{i-1}$.

Час обслуговування пасажирів повітряного транспорту в аеровокзалах є випадковою величиною, що залежить від складу формальностей, що виконуються, конкретної роботи в системі обслуговування, а також від чинників, що характеризують пасажирів: кількість квитків, що він реєструє і кількість місць багажу. Визначимо час обслуговування як рівномірно розподілену випадкову величину в межах 1–3,5 хв.

Нижче наведемо фрагмент розрахунку системи обслуговування пасажирів в аеровокзалі. Наведена методика ґрунтується на основних положеннях по розрахункам зон аеровокзалу, які викладено в керівництві IATA по розвитку аеропортів [6]. Відмінним є те, що в розрахунках буде враховуватися випадковість деяких характеристик, як це було зазначено вище в структурно-функціональній схемі:

1. Оптимальна кількість стійок реєстрації (звичайна централізована реєстрація) визначається за формулою:

$$N_1 = 1,1(\lambda_{\text{пас}} t_1), \quad (3)$$

де t_1 — середній час обслуговування одного пасажирів, хв.

Потрібну кількість стійок реєстрації за вільним методом будемо визначати за формулою, виведення якої доведено в праці [7]:

$$n_{\text{опт}} = t_1 \left(\lambda_{\text{пас}} + \frac{1}{t_{\text{розр}}} \ln \frac{W}{P(t_{\text{факт}} > t_{\text{розр}})} \right), \quad (4)$$

де $t_{\text{розр}}$ — розрахунковий максимальний час чекання обслуговування пасажиром у черзі, хв; W — імовірність того, що всі робочі місця в операційній залі зайняті обслуговуванням; $P(t_{\text{факт}} > t_{\text{розр}})$ — імовірність того, що фактичний час чекання пасажиром у черзі може перебільшити розрахунковий час чекання.

Значення розрахункових величин $t_{\text{розр}}$, W , $P(t_{\text{факт}} > t_{\text{розр}})$ задаються, виходячи безпосередньо з умов: розрахунковий максимальний час чекання пасажиром у черзі задається в межах 2–5 хв, що дозволяє забезпечити задовільний рівень обслуговування пасажирів. Взагалі, задане розрахункове значення часу чекання повинне забезпечуватися з досить високою надійністю, що становить 0,90–0,99.

Значення ймовірностей того, що фактичний час чекання обслуговування пасажиром у черзі зможе перебільшити розрахунковий час чекання, таким чином, має задаватися досить маленьким — у межах 0,1–0,01. Значення ймовірностей того, що всі робочі місця виявляться зайнятими, має обиратися в межах 0,7–0,9, що забезпечує достатню зайнятість і продуктивність обслуговуючого персоналу.

2. Необхідна кількість пунктів паспортного контролю на виліт визначається виразом:

$$N_2 = 1,1(\lambda_{\text{пас}} t_2), \quad (5)$$

де t_2 — середній час обслуговування пасажирів, хв.

3. Потреба в інтроскопах для централізованого контролю безпеки розраховується таким чином:

$$N_3 = \frac{\lambda_{\text{пас}} W}{y}, \quad (6)$$

Необхідні вихідні дані:

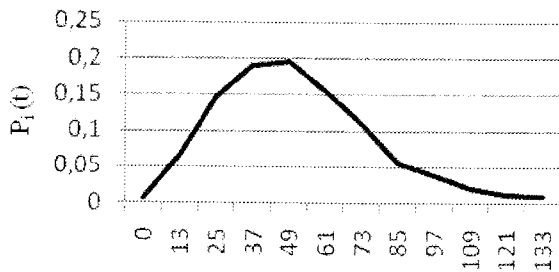
μ — пропускна спроможність інтроскопів (багажних місць у годину); w — кількість місць ручної поклажі в одного пасажирів (задасмо рівномірно розподілену випадкову величину в межах від 1 до 4).

Використаємо наведену вище методику для проведення імітаційного моделювання в програмі Excel. Для генерації випадкових величин будемо використовувати функцію «СЛЧИС», що повертає рівномірно розподілене випадкове дійсне число, яке більше або дорівнює 0 або менше 1. Нове випадкове дійсне число повертається при кожному обчисленні аркуша. Щоб отримати випадкове дійсне число в діапазоні між a і b , можна використовувати таку формулу:

$$\text{«СЛЧИС()*(b-a)+a»}.$$

На першому етапі необхідно підготувати дані для розрахунку вхідного потоку пасажирів.

На рис. 1 подано результати статистичного експерименту щодо явки пасажирів на реєстрацію до вильоту рейсу у визначені діапазони часу (розрахунковий час усереднення даних — 12 хв, дані умовні).



час t до вильоту літака за розкладом, хв.

Рис. 1. Графік розподілу ймовірностей прибуття пасажирів i -го рейсу в аеровокзал за час t до вильоту літака за розкладом (графік пуассонівського розподілу)

Використовуючи експериментальні дані щодо розподілу ймовірностей та визначивши розклад одного з регіональних аеропортів України в час-пік формуємо вхідні дані для розрахунку за методикою (1), (3)–(6) (табл. 1).

Імітація зміни пасажиропотоку в досліджуваному аеропорті від розрахункової інтенсивності у 5 пас./хв до заявленої максимальної пропускної здатності міжнародного терміналу у 13 пас./хв показала, що при середньому часі обслуговування пасажирів 0,9 хв/пас. оптимальна кількість стійок порейсової реєстрації дорівнює значенню $\lambda_{\text{пас}} - 1$, а при вільному методі — дорівнює $\lambda_{\text{пас}}$ (табл. 2).

Результати імітації зміни коефіцієнтів завантаження та пасажирів, що реєструються *on-line* в межах 0,7–0,9 та 0,1–0,3 відповідно, показали,

що при заданому розкладі інтенсивність вхідного потоку змінюється в межах від 5 до 6 пас./хв.

Таблиця 1

Вхідні дані

Номер рейсу, i	$K_{z,m}^{(i)}$	K_a	t , хв	$P_i(t)$
1	0,75	0,13	50	0,195
2	0,72	0,11	60	0,195
3	0,81	0,29	70	0,155
4	0,75	0,18	120	0,02
5	0,79	0,11	130	0,011
6	0,83	0,14	140	0,009
Номер рейсу, i	Пункти призначення	Час відправлення	Тип ІПС	N_i
1	MOW	09:50	B 757- 200	200
2	TAS	10:00	A320	180
3	MOW	10:10	A 319	150
4	IST	11:00	B 737- 800	180
5	IST	11:10	B 737- 800	180
6	MOW	11:20	A 319	150

Таблиця 2

Приклад результатів імітації залежності значень оптимальних параметрів систем обслуговування від пасажиропотоків

Номер імітації	Інтенсивність вхідного потоку	Кількість стійок порейсової реєстрації	Кількість стійок реєстрації за вільним методом	Кількість пунктів паспортного контролю – виліз	Кількість інтроскопів на контролі безпеки –
1	5,00	4	5	3	1
2	6,00	5	6	4	2
3	8,00	7	8	5	2
4	13,00	12	13	9	3

Зменшення коефіцієнта завантаження до 0,3 призводить до результатів від 2 до 3 пас./хв. До того ж діапазону інтенсивності вхідного потоку пасажирів (2–3 пас./хв) призводить також збільшення коефіцієнту пасажирів зареєстрованих *on-line* в межах 0,5–0,9.

Побудована в Excel імітаційна модель за формулами (1), (3)–(6) дає можливість також прослідкувати зміну значень інтенсивності вхідного потоку при зміні закону розподілу ймовірностей $P_i(t)$.

Логнормальне розподілення ймовірностей прибуття пасажирів i -го рейсу в аеровокзал за час t до вильоту літака за заданим розкладом (табл. 2), при зміні коефіцієнтів завантаження та пасажирів, що реєструються *on-line* в межах 0,7–0,9 та 0,1–0,3 призводить до збільшення значення інтенсивності вхідного потоку відповідно на 2–3 пас./хв, тобто $\lambda_{\text{пас}} = 7 - 8$ пас./хв.

Цікавими, на наш погляд, є результати імітаційних розрахунків залежності кількості стійок реєстрації від середнього часу обслуговування одного пасажирів.

Так, на рис. 2 можна побачити, що при заданій інтенсивності пасажиропотоку у 5 пас./хв потрібна кількість стійок реєстрації коливається від 4 до 13 шт.

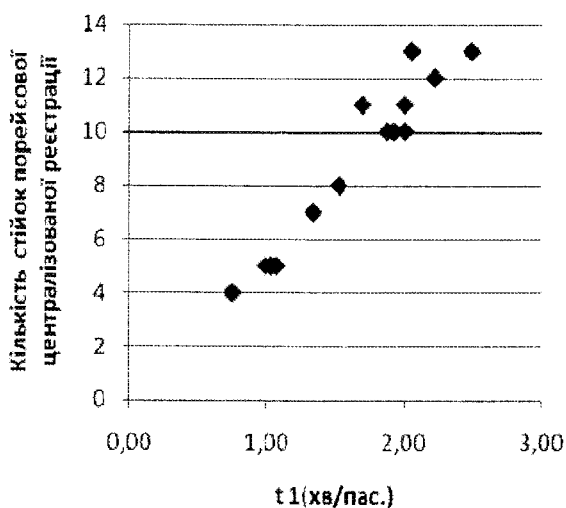


Рис. 2. Визначення залежності кількості стійок реєстрації від середнього часу обслуговування пасажирів

При цьому мінімальна кількість стійок досягається при продуктивності обслуговування 0,74 хв/пас., а максимальна — 2,49 хв/пас.

Тобто затримка в обслуговуванні пасажирів на 1 хв 45 с здатна призвести до потреби у значному збільшенні кількості стійок реєстрації.

Висновки

Отже, враховуючи те, що в методиці розрахунку оптимальної кількості стійок реєстрації, пунктів огляду та контролю, кількості інтроскопів закладена залежність від інтенсивності пасажиропотоку та продуктивності (тобто швидкості обслуговування пасажирів чи обробки багажу) і враховуючи результати досліджень, можна зро-

бити висновок про необхідність зосередження зусиль на підвищенні саме продуктивності обслуговування.

Комплексні розрахунки оптимальних площ та кількості обладнання можна проводити на етапі проектування аеровокзалу виходячи з прогнозованого максимального пасажиропотоку. При цьому не важливо за яким законом розподіляється ймовірність надходження пасажирів у систему обслуговування. А от для оперативних рішень щодо кількості стійок реєстрації, пунктів контролю і т.д., необхідно слідкувати за інтенсивністю і розподілом пасажиропотоку в часі.

Такі спостереження можна провести окремо для кожного рейсу.

Заклавши в методику розрахунку визначені ймовірності надходження пасажирів у систему обслуговування, і реалізувавши даний алгоритм в одній з прикладних програм імітаційного моделювання, можна отримати готовий ІТ-продукт для оперативного реагування щодо визначення оптимальних параметрів роботи системи обслуговування пасажирів в аеропорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cheng C. Y. Computer Simulated Passenger Service Levels for Airport Terminals / C. Y. Cheng, P. Cilmour. — Airport Forum, 1980, 10, №4. — P. 106–107.
2. Airport Cooperative Research Program. Report 55. Passenger level of service and spatial planning for airport terminals // Transportation Research Board. Washington, D.C. 2011.
3. Канарчук В. Е. Механизация технологических процессов в аэропортах : учебник для вузов / В. Е. Канарчук, А. Д. Чигринцев. — М. : Транспорт. 1986. — 255 с.
4. Косов А. И. Исследование и выбор оптимальных параметров работы систем обслуживания вылетающих пассажиров в аэропортах гражданской авиации [Электронный ресурс] : Дис. ... канд. техн. наук : 05.22.15. — М. : РГБ, 2007. (Из фондов Российской государственной библиотеки).
5. Мур, Джеффри, Уэдерфорд, Ларри Р. и др. Экономическое моделирование в Microsoft Excel. 6-е изд. — М. : Вильямс, 2004. — 1024 с.
6. IATA. Airport Development Reference Manual: 8th Edition. International Airline Transport Association, Montreal, 1995.
7. Организация воздушных перевозок; под. ред. И. Я. Русинова. — М. : Транспорт, 1976. — 184 с.

Стаття надійшла до редакції 10.04.2012

У,
роз
мен
інт
сер
том
ня а
3
кіль
ків.
нос
І
нос
фор
тер
відс
біля
кож
пере
зний
мож
напр
Р.
ливо
падк
ня р
безп
даре
вих
нерід
П
рати
кості
їзди
ютьс
втрач
ти ру
важна