

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОРМУВАННЯ РОЗКЛАДУ РУХУ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

С.С. Бухман

Державний університет інформаційно-телекомунікаційних технологій

У роботі аналізуються методи формування розкладу руху повітряних суден на основі класичної теорії розкладів. Досліджені можливості застосування цієї теорії при створенні оптимального розкладу руху для середніх або великих авіакомпаній. Вибрані та обґрунтовані найбільш придатні показники ефективності формування оптимального розкладу.

* * *

В работе анализируются методы формирования расписания движения воздушных судов на основе классической теории расписаний. Исследованы возможности применения этой теории при создании оптимального расписания движения для средних и крупных авиакомпаний. Выбраны и обоснованы наиболее пригодные показатели эффективности формирования оптимального расписания.

* * *

The article describes analysis of airline schedule construction methods, based on schedules theory. Possibilities of using this theory while creating the optimal schedule of air traffic for medium and large airlines were examined. The most suitable figures of efficiency of optimal schedule construction were chosen and proved.

Постановка проблеми. Формування розкладу руху повітряних суден (ПС) є надзвичайно важливим елементом діяльності авіакомпанії. Задачі створення системи його планування виявляються достатньо складними, особливо якщо мова йде про побудову оптимального в тому чи іншому сенсі розкладу на основі певних критеріїв. До таких задач можна віднести формування алгоритму побудови та оцінку якості розкладу.

В найбільш загальному формулюванні задачі складання розкладу полягають у наступному – за допомогою деякої множини ресурсів або обслуговуючих пристроїв повинна бути виконана деяка фіксована система завдань. Мета полягає в тому, щоб при заданих властивостях завдань і ресурсів та обмеженнях, що накладені на них, знайти ефективний алгоритм упорядкування завдань, що оптимізує або прагне оптимізувати бажану якість виконання завдань. В теорії розкладів основна увага приділяється питанням оптимального розподілення кінцевої множини вимог, що обслуговуються детермінованими системами з одним чи декількома приладами, при різних припущеннях щодо характеру їх обслуговування. [2]

Вся інформація, на основі якої приймаються рішення про впорядкування завдань системи планування розкладу руху повітряних судів (час, вартість, обмеження у виконанні, необхідні ресурси) відома заздалегідь, тому модель такої системи є детермінованою.

Постановка задачі та основна частина. В якості приладів у подібній системі виступають повітряні судна (ПС), а у якості вимог – рейси, що ними виконуються. Пронумеруємо прилади числами $1, 2, \dots, M$, а вимоги - числами $1, 2, \dots, n$ і надалі розглядатимемо обслуговування множини вимог $N = \{1, 2, \dots, n\}$ системою, що складається з M приладів. Обслуговуюча система називається одностадійною (з одним або декількома паралельними приладами), якщо кожна вимога може бути повністю обслугованою кожним із приладів. Тривалості t_{iL} обслуговування кожної вимоги $i \in N$ кожним приладом $1 \leq L \leq M$ передбачаються заданими. В багатастадійних системах процес обслуговування вимоги i включає $r_i \geq 1$ послідовних стадій. При цьому кожній вимозі $i \in N$ кожної стадії $1 \leq q \leq r_i$ його обслуговування зіставляється

деяка множина $M_q^{(i)} \subseteq \{1, 2, \dots, M\}$ приладів. Вимога i на стадії q може бути обслугована будь-яким приладом $L \in M_q^{(i)}$. [2]

Незважаючи на те, що обслуговування авіарейсу можна розглядати як певну послідовність процесів (наземне обслуговування ПС, посадка пасажирів, зліт, політ, посадка і т. ін.), в межах планування розкладу варто представляти його як одне ціле. Отже, виконання однієї вимоги здійснюється в цьому випадку одним приладом, і, таким чином, можна стверджувати, що система планування авіаційного розкладу є одностадійною.

В залежності від характеру обслуговуючої системи процес обслуговування вимоги приладом повинен або протікати безупинно, або можуть допускатися переривання з наступним до обслуговуванням вимоги. [2] При складанні розкладів без переривань виконання завдання, раз почавшись, не може бути перервано, тобто виконання завдання завжди доходить до кінця. В іншому випадку - при складанні розкладів з перериваннями - дозволяється переривати завдання і знімати їх із приладу, при цьому вважається, що загальний час, необхідний для виконання завдання, залишається незмінним і при перериваннях відсутні втрати часу обслуговування (тобто виконання перерваного завдання відновляється з того місця, у якому відбулося переривання). [1] Очевидно, що розклад руху є системою без переривань, тому що кожний конкретний рейс в певний момент часу виконується цілком і повністю. Формування розкладу – складання за допомогою списку. При такому способі складання розкладів передбачається, що спочатку готується упорядкований список завдань з N . Цей список часто називають списком пріоритетів. [1] Послідовність, відповідно до якої завдання призначаються на прилади, складається шляхом багаторазового перегляду списку. Зокрема, якщо з'являється прилад, що звільнився, то список починає проглядатися спочатку і проглядається

доти, поки не знайдеться перше невиконане завдання i , що готове до виконання. Завдання вважається готовим до виконання на даному приладі, якщо виконання всіх попередників i завершено і наявної кількості ресурсів досить для того, щоб забезпечити необхідний об'єм ресурсів для виконання. Це завдання призначається для виконання на вільний процесор. При перегляді списку переривання не розглядаються. Таким чином, розклади, складені за допомогою списку, формують підмножину розкладів без переривань. [1]

Формування розкладу за допомогою списку виявляється дуже цікавим засобом у випадку розкладу руху ПС, адже ефективність його функціонування базується на багатьох критеріях, які легко представити у вигляді списку пріоритетів. Серед таких критеріїв є параметри часу (час стоянок і стикування, час польоту по певному напрямку, переважний час виконання польоту по відношенню до часу доби та до паралельних рейсів у певному напрямі), параметри, пов'язані з типом ПС (кількість пасажирських крісел, дальність польоту, обмеження по рівню шуму для двигунів певних ПС), та ін. Списком таких критеріїв широко оперують комерційні служби авіакомпаній при плануванні рейсів. Крім цього, з метою заборони переривань, до розкладу можуть пред'являтися й інші вимоги, що впливають з постановки конкретної розглянутої задачі. Для кожної вимоги $i \in N$ може бути заданий момент часу $d_i \geq 0$ її надходження в систему (у чергу на обслуговування), починаючи з якого воно може обслуговуватися, і директивний термін $D_i \geq 0$, до якого необхідно або бажано завершити його обслуговування. [2] Існують задачі, в яких директивні задачі не повинні порушуватися. Тоді вони називаються крайніми термінами. [1]

В межах системи планування розкладу, директивними і крайніми термінами позначаються часові нормативи стоянок ПС. Наприклад в базовому аеропорті між рейсами час стоянки

повинен складати 50 хв. – 1 год. 15 хв. Таким чином, директивний термін в цьому випадку дорівнює 50 хв., а крайній – 1 год. 15 хв.

Процес обслуговування вимог може бути пов'язаним із споживанням або використанням деяких додаткових ресурсів. Через звичайну для практики обмеженість цих ресурсів далеко не всякий розклад виявляється припустимим по ресурсам [2]. Вимога не може одночасно обслуговуватися двома і більше приладами і кожен прилад не може одночасно обслуговувати більш однієї вимоги. При цьому припущенні розклад можна розглядати як сукупність $s = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_M(t)\}$ кусочно-постійних неперервних зліва функцій $s_L(t)$, $L = \overline{1, M}$, кожна з яких задана на інтервалі $0 \leq t < \infty$ і приймає значення $0, 1, \dots, n$. Якщо $s_L(t) = i \neq 0$, тј в момент часу $t = t'$ прилад L обслуговує вимогу i . Якщо $s_L(t) = 0$, то в момент часу $t = t'$ прилад L простоє. Іноді замість функцій $s_L(t)$, $L = \overline{1, M}$, що описують функціонування кожного приладу, використовують аналогічні функції $s_i(t)$, $i = \overline{1, n}$, що описують процес обслуговування кожної вимоги ($s_i(t) = 0$, якщо в момент часу $t = t'$ вимога i не обслуговується, і $s_i(t) = L$, якщо в момент часу $t = t'$ вимога i обслуговується приладом L). Найбільш розповсюдженою оцінкою якості розкладів для детермінованих систем обслуговування полягає в наступному. Кожному розкладові s відповідає вектор $\bar{t}(s) = (\bar{t}_1(s), \bar{t}_2(s), \dots, \bar{t}_n(s))$ моментів завершення обслуговування вимог при цьому розкладі. Задається дійсна неубуваюча функція n змінних $F(x) = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Якість розкладу s характеризується значенням цієї функції при $x = \bar{t}(s)$. З двох розкладів кращим вважається той, якому відповідає менше значення $F(x)$. Розклад, якому відповідає найменше значення $F(x)$ (серед усіх припустимих розкладів), називається оптимальним [2]. При цьому функції $F(x)$ кожній вимозі i як правило зіставляють деяку неубуваючу штрафну

функцію $\varphi_i(t)$, що виражає в кількісному відношенні збиток, якщо обслуговування цієї вимоги завершиться в момент часу t . Якість розкладу s характеризується сумарним або максимальним штрафом, яким необхідно заплатити при обслуговуванні вимог за цим розкладом, тобто

$$F_\Sigma = \sum_{i=1}^n \varphi_i(\bar{t}_i(s)) \text{ або } F_{\max}(s) = \max_{1 \leq i \leq n} \{\varphi_i(\bar{t}_i(s))\}$$

Зокрема, якщо $\varphi_i(t) = t$, $i = \overline{1, n}$, тобто

$$F_{\max}(s) = \max_{1 \leq i \leq n} \{\bar{t}_i(s)\} \text{ — момент завершення}$$

обслуговування усіх вимог (загальний час обслуговування). У цьому випадку $F_{\max}(s)$ позначають через $\bar{t}_{\max}(s)$, і розклад s^* , що доставляє найменше значення $\bar{t}_{\max}(s)$, називають оптимальним по швидкодії розкладом. [2]

Також часто в якості показників ефективності розкладу виступають довжина розкладу або максимальний (чи середній) час його проходження. [1] Оптимальний розклад може бути знайдений в результаті перебору множини можливих варіантів. Основна проблема такого способу полягає в тому, що кількість таких варіантів, як правило, виявляється надзвичайно великою.

Алгоритми формування розкладу з перериваннями, без переривань, та ті, що використовують списки пріоритетів дають різні результати з точки зору мінімальної довжини розкладу і середнього часу його проходження. При цьому, розклади з перериваннями можуть бути більш короткими по відношенню до розкладів без переривань. [1] Як вже відомо, розклади, побудовані за допомогою списків є підмножиною розкладів без переривань.

Висновки

У випадку конструювання розкладу руху повітряних суден, критерієм його якості не може бути його довжина, або час проходження, адже його

оптимальність досягається, в першу чергу, не через швидке виконання або коротший шлях. Ефективність такого розкладу зумовлена, скоріше, певним розподілом рейсів протягом доби, відповідністю ПС тим задачам, які він повинен виконувати, маніпулюванням часом прильоту та вильоту транзитних рейсів та ін.

Таким чином, оцінка якості розкладу, яка базується на його довжині, чи на часі проходження розкладу не є доцільною, якщо мова йде про розклад руху повітряних суден.

Але це не означає, що класична теорія розкладів повністю неспроможна описати завдання для планування авіаційного розкладу. Навпаки, такий розклад дуже зручно формалізується у термінах теорії розкладів. Наприклад, список пріоритетів при плануванні розкладу цілком відповідає вимогам вже існуючих у авіакомпаніях списків критеріїв побудови рейсів. Також відомо, що система панування такого розкладу є одностадійною системою без переривань, побудованою за допомогою критеріїв ефективності такого розкладу недоцільно оцінювати за допомогою часових критеріїв, зовсім відкинути їх неможливо. Адже при створенні розкладу руху ПС звичайно оперують поняттями часу – час прильоту, час вильоту, час затримки і т. ін. Після закінчення формування розкладу кінцевий його користувач – пасажир чи працівник авіапідприємства, в незалежності від механізму, за яким воно було побудоване, працюватиме тільки зі значеннями часу прибуттів та відльотів ПС. Тому формування вектору завершення моментів обслуговування вимог

$\bar{t}(s)$ для розкладу руху ПС є доцільним і може використовуватись для оцінки його якості. Директивним та крайніми термінами виражаються інтервали, в межах яких може змінюватись, наприклад, час очікування транзитного рейсу, час наземного обслуговування в базовому аеропорті, чи аеропорті призначення.

Штрафними функціями, які також використовуються при оцінці якості розкладу, кількісно оцінюється „штраф”, який необхідно заплатити, якщо обслуговування цієї вимоги не закінчиться протягом регламентованого часу t . Вони означають „плату” за затримки в обслуговуванні ПС. Робота розкладу без затримок є одним з найважливіших критеріїв його ефективності, тому оцінка якості за допомогою часу закінчення та штрафних функцій є доцільним при плануванні розкладу руху ПС. Важливо зауважити не те, що основними критеріями ефективності розкладу, згідно з класичною теорією розкладів є його довжина та час його проходження, систему планування розкладу ПС можна формалізувати у термінах цієї теорії, вважати її одностадійною системою, побудованою без переривань з використанням списку, та оцінювати її якість за допомогою штрафних функцій, директивних і крайніх термінів.

Література

1. Коффман Э.Г. Теория расписаний и вычислительные машины. - М.: Наука, 1984.
2. Танаев В.С. Теория расписаний. - М.: Знание, 1988.