Навчально-науковий аерокосмічний інститут,

Кафедра Автоматизації та енергоменеджменту

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____Захарченко В.П.
« » _____2018р.

Методичні рекомендації з виконання домашнього завдання з дисципліни «Автоматизація авіаперевезень»

Розробник:
к.т.н., доцент Тачиніна О.М.
(науковий ступінь, вчене звання,
П.І.Б. викладача)

Тема домашнього завдання

«РОЗРАХУНОК ТА ОПТИМІЗАЦІЯ НЕОБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ АВТОМАТИЗОВАНИХ РОБОЧИХ МІСЦЬ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ БРОНЮВАННЯ»

Завдання 1. Розрахунок інтенсивності вхідного потоку заявок

Розрахунок інтенсивності вхідного потоку заявок визначається по формулі [10]:

$$\lambda_{заявок} = \frac{1}{T_{розр}} N \cdot k_{брон} \cdot k_{сез} \cdot p_i(t), \qquad (2)$$

де $T_{розр}$ – розрахунковий параметр, по якому визначається середнє значення інтенсивності вхідного потоку заявок;

N – кількість авіаквитків, які купують у даному регіоні за рік;

$k_{брон}$ – коефіцієнт, що враховує кількість бронювань через Інтернет;

$k_{сез}$ – коефіцієнт, що враховує кількість бронювань у певний період року;

$p_i(t)$ – імовірність прибуття *i*-ої заявки на канал обслуговування за час *t*.

Слід зазначити, що інтенсивність потоку заявок, що безпосередньо проходять обслуговування, трохи відрізняється від інтенсивності вхідного потоку, тому що можуть надходити групові бронювання або ж заявка на бронювання місць для декількох пасажирів (наприклад, членів родини). Інтенсивності потоку заявок, що проходять обслуговування, визначається при відомих даних про вхідний потік, по емпіричній формулі:

$$\lambda = E(k_\lambda \lambda_{пас}), \qquad (3)$$

де E – ціла частина числа;

k_λ – коефіцієнт, який враховує наявність заявок на бронювання місць для декількох пасажирів (за експериментальним даними $k_\lambda = 0{,}8$).

На прикладі розрахуємо максимальний вхідний потік заявок і потік заявок, які проходять обслуговування, для АСБ у місті Одесі. Кількість авіаквитків на виліт, проданих у Одесі за 2009 рік, становила в середньому 350 тисяч. Коефіцієнт бронювання в Одесі дорівнює 0,2.

Таблиця 1

Щільність розподілу ймовірностей $p_i(t)$ залежно від періоду доби

t, період доби	$p_i(t)$
24.00 – 7.00	0,002
7.00 – 8.00	0,01
8.00 – 10.00	0,056
10.00 – 11.00	0,1
11.00 – 12.00	0,18
12.00 – 13.00	0,15
13.00 – 14.00	0,14
14.00 – 15.00	0,17
15.00 – 17.00	0,1
17.00 – 20.00	0,072
20.00 – 24.00	0,02

Розглянемо потік заявок на бронювання в період “пік”, тобто на початку літа, коли багато хто починає планувати відпустку та заздалегідь замовляти квитки. При цьому в червні місяці коефіцієнт сезонності дорівнює 0,45.

За параметр осереднення ($T_{розр}$) візьмемо одну годину (60 хвилин), коли ймовірність надходження заявок на канал обслуговування найбільша, тобто з 11 до 12 годин ранку ($p_i(t)$ =0,18) (табл. 3.1).

Примітка. Значення коефіцієнта бронювання і сезонності, а також імовірності надходження заявок залежно від періоду доби взяті із реальних статистичних даних.

З огляду на всі дані, підставимо їх значення у формулу (3.2) і знайдемо інтенсивність вхідного потоку:

$$\lambda_{заявок} = \frac{1}{60} \cdot 350000 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}45 \cdot 0{,}18 = 94{,}5 \text{ заявок/хв.}$$

Тоді інтенсивність потоку заявок, що проходять обслуговування, дорівнює:

$$\lambda = E(0{,}8 \cdot 94{,}5) = E(75{,}6) = 75 \text{ заявок/хв.}$$

Отже, 75 заявок/хв. – це максимальне значення інтенсивності вхідного потоку заявок, враховуючи сезон, період доби, а також коефіцієнт бронювання авіаквитків через Інтернет в Одесі.

Завдання 2. Розрахунок необхідної кількості автоматизованих робочих місць для автоматичної системи бронювання

Стан АСБ авіаквитків змінюється в часі випадково. Перехід цієї системи з одного стану в інше відбувається стрибкоподібно, і система, таким чином, характеризується дискретними станами та безперервним часом.

Розглянемо процес функціонування системи бронювання при вільному методі обробки заявок на резервування. Розмічений граф станів такої системи представлений на рис. 3.1.

СМО може перебувати в наступних станах:

S_0 – всі канали вільні;

S_1 – один канал обслуговування зайнятий, інші – вільні;

S_k – k каналів зайняті, інші – вільні;

S_n – всі n каналів зайняті обслуговуванням, черги немає;

S_{n+r} – всі канали зайняті й утворилася черга з r заявок;

S_{n+m} – всі канали зайняті обслуговуванням і m заявок перебувають у черзі.

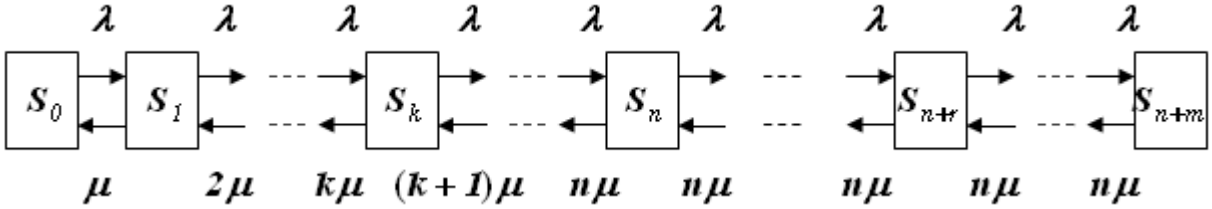

Рис. 1. Граф станів АСБ при вільному методі обробки заявок на резервування

Система диференціальних рівнянь для ймовірностей стану записується у вигляді:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{d}{dt}p_0(t) = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t)\\
&\frac{d}{dt}p_1(t) = \lambda p_0 - (\lambda+\mu)p_1(t) + 2\mu p_2(t)\\
&\frac{d}{dt}p_k(t) = \lambda p_{k-1}(t) - (\lambda+k\mu)p_k(t) + (k+1)\mu p_{k+1}(t)\\
&\frac{d}{dt}p_n(t) = \lambda p_{n-1}(t) - (\lambda+n\mu)p_n(t) + n\mu p_{n+1}(t)\\
&\frac{d}{dt}p_{n+r-1}(t) = \lambda p_{n+r-1}(t) - (\lambda+n\mu)p_{n+r}(t) + n\mu p_{n+r+1}(t)\\
&\frac{d}{dt}p_{n+m}(t) = \lambda p_{n+m-1}(t) - n\mu p_{n+m}(t)
\end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

Початкові умови для інтегрування цієї системи лінійних диференціальних рівнянь при t=0, $p_0 = 1$ можна записати у вигляді:

$$p_0 = 1;\ p_1 = \ldots = p_k = \ldots = p_n = \ldots = p_{n+m} = 0.$$

Так як число станів системи S має кінцевий характер і з кожного стану можна через певне число кроків перейти в будь-який інший стан, то, як доводить теорія масового обслуговування, існують граничні ймовірності станів, які показують середній відносний час перебування системи в даному стані.

У граничному сталому режимі всі ймовірності станів постійні.

Отже, їхні похідні рівні нулю і системи лінійних диференціальних рівнянь перетвориться в систему лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\left.\begin{aligned}
&-\lambda p_0 + \mu p_1 = 0\\
&\lambda p_0 - (\lambda + k\mu) p_1 + 2\mu p_2 = 0\\
&\lambda p_{k-1} - (\lambda + k\mu) p_k + (k+1)\mu p_{k+1} = 0\\
&\lambda p_{n-1} - (\lambda + n\mu) p_n + n\mu p_{n+1} = 0\\
&\lambda p_{n+r-1} - (\lambda + n\mu) p_{n+r} + n\mu p_{n+r+1} = 0\\
&\lambda p_{n+m-1} - n\mu p_{n+m} = 0
\end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

Ці рівняння разом з нормованою умовою $\sum_{i=0}^{n+m} p_i = 1$ дають можливість обчислити всі граничні ймовірності, виразивши їх через імовірність p_0.

Імовірність p_0 може бути, у свою чергу, визначена з нормованої умови:

$$p_0 + p_1 + \ldots + p_k + \ldots + p_n + \ldots + p_{n+m} = 1$$

або

$$p_0\left(1 + \frac{\rho}{1!} + \ldots + \frac{\rho^k}{k!} + \ldots + \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!}\right) = 1.$$

Звідки

$$p_0 = \frac{1}{1 + \frac{\rho}{1!} + \ldots + \frac{\rho^k}{k!} + \ldots + \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!}}.$$

Час очікування обслуговування заявки в черзі є випадковою величиною. Для того, щоб уникнути необмеженого зростання черги і, тим самим, надмірного збільшення часу очікування, необхідно встановити обмежувальну умову: $\frac{\lambda}{\mu} < n.$

Визначимо оптимальне число АРМ, виходячи при цьому з умови, що фактичний час очікування обробки заявки в черзі не перевищувало заданого розрахункового часу. Введемо величину *W*, що визначає сумарну ймовірність того, що всі робочі місця зайняті обслуговуванням заявок незалежно від

наявності в кожного з них черги. Тоді, користуючись формулою повної ймовірності, будемо мати:

$$W = \sum_{i=n}^{n+m} p_i .$$

У теорії масового обслуговування доводиться: коли розподіл часу обслуговування підкоряється показовому закону, імовірність того, що фактичний час очікування в черзі $t_{факт}$ може перевищити заздалегідь заданий розрахунковий час $t_{розр}$, визначається формулою [10]:

$$P(t_{факт} > t_{розр}) = We^{-(n\mu-\lambda)t_{розр}}, \quad (6)$$

З виразу (3.6) слідує, що

$$e^{(n\mu-\lambda)t_{розр}} = \ln \frac{W}{(Pt_{факт} > t_{розр})}. \quad (7)$$

Логарифмуючи вираз (3.7), отримаємо:

$$(n\mu - \lambda)t_{розр} = \ln \frac{W}{P(t_{факт} > t_{розр})}. \quad (8)$$

Із відношення (3.8) визначимо необхідну кількість АРМ:

$$n_{опт} = \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\frac{1}{t_{розр}} \ln \frac{W}{P(t_{факт} > t_{розр})}}{\mu}, \quad (9)$$

де λ – інтенсивність вхідного потоку заявок, що проходять обробку, заявка/хв.;

μ – інтенсивність обробки заявки в каналах обслуговування, заявка/хв.;

$t_{розр}$ – розрахунковий максимальний час очікування обслуговування заявкою в черзі, хв.;

W – імовірність того, що всі робочі місця у відділі бронювання зайняті обслуговуванням;

$P(t_{факт} > t_{розр})$ – імовірність того, що фактичний час очікування заявкою в черзі може перевищити розрахунковий час очікування.

Значення розрахункових величин $t_{розр}$, W, $P(t_{факт} > t_{розр})$ задаються, виходячи з безпосередніх умов технології обробки заявок.

Розрахунковий максимальний час очікування обслуговування заявкою в черзі задається в межах 1 – 2 хв., що дозволяє забезпечити гарний рівень функціонування системи бронювання. Звичайно, задане розрахункове значення часу очікування повинне забезпечуватися з досить високою надійністю, що становить 0,9 – 0,99. Значення ймовірностей того, що фактичний час очікування обробки заявкою в черзі може перевищити розрахунковий час очікування, повинне задаватися досить малим – у межах 0,1 – 0,01. Значення ймовірностей того, що всі канали виявляться зайнятими, повинне прийматися в межах 0,7 – 0,9, що забезпечує достатню зайнятість і продуктивність операторів.

Розглянемо на прикладі міста Одеса розрахунок необхідної кількості АРМ при заданних умовах.

Інтенсивність потоку заявок, що проходять обслуговування, у мегаполісі (місто Одеса) $\lambda = 75$. Середня тривалість обробки однієї заявки для операторів початкового рівня кваліфікації $T_{обсл} = 20\text{с}$ (приймаємо час обслуговування заявки, який витрачається на відправлення клієнтові підтвердження про успішне бронювання, друк проїзного документу та, в разі потреби, зміни бронювання).

Приймаємо розрахунковий час знаходження заявки в черзі $t_{розр} = 1\text{хв}$. Імовірність того, що фактичний час може перевищити заданий розрахунковий час $P(t_{факт} > t_{розр}) = 0{,}01$. Імовірність того, що всі канали обслуговування зайняті $W = 0{,}9$.

Визначимо інтенсивність обслуговування заявок:

$$\mu = \frac{60}{T_{обсл}} = \frac{60}{20} = 3 \text{ заявки/хв.}$$

Необхідне число АРМ визначаємо по формулі (9):

$$n_{опт} = \frac{75}{3} + \frac{\frac{1}{1}\ln\frac{0,9}{0,01}}{3} = 26,5.$$

Округляючи до цілого числа, одержимо: $n_{опт} = 27$ АРМ.

Таким чином, за умови, що оператор буде витрачати на обслуговування однієї заявки 20 с, потрібно мати 26 АРМ, що потребує значних затрат. Наприклад, на заробітну плату одного оператора потрібно 1,5 тис. грн. в місяць. При цьому потрібно ще врахувати вартість оренди приміщення та комп'ютерного обладнання для 26 робочих місць, а також затрати на опалення, кондиціонування, освітлення даного приміщення тощо. Зрозуміло, що впровадження АСБ з такою кількістю АРМ зазнає значних збитків.

Змінимо деякі умови обробки заявок, для чого візьмемо операторів середнього рівня кваліфікації, які витрачають на обробку однієї заявки 10 с.

Визначимо інтенсивність обслуговування заявок:

$$\mu = \frac{60}{T_{обсл}} = \frac{60}{10} = 6 \text{заявок/хв.}$$

Необхідне число АРМ визначимо по формулі (9):

$$n_{опт} = \frac{75}{6} + \frac{\frac{1}{1}\ln\frac{0,9}{0,01}}{6} = 13,25.$$

Округляючи до цілого числа, отримаємо: $n_{опт} = 13$ АРМ.

Проаналізуємо отриманий результат. Порівняно із заробітною платою операторів початкової кваліфікації, в цьому випадку витрати дещо збільшаться. Але слід врахувати, що й вартість комп'ютерного обладнання та оренди приміщення значно скоротяться.

Проведемо ще один розрахунок кількості АРМ при високій кваліфікації операторів та спробуємо проаналізувати всі варіанти впровадження АСБ в Одесі вибрати найкращий.

Оператор високої кваліфікації затрачає на обслуговування однієї заявки 3 с. Тоді визначимо інтенсивність обслуговування заявок при $T_{обсл}$=3 с:

$$\mu = \frac{60}{T_{обсл}} = \frac{60}{3} = 20 \text{ заявок/хв.}$$

Необхідне число АРМ визначимо по формулі (3.9):

$$n_{опт} = \frac{75}{20} + \frac{1}{1}\ln\frac{0{,}9}{0{,}01} = 3{,}97 .$$

Округляючи до цілого числа, отримаємо: $n_{опт} = 4$ АРМ.

Складемо таблицю витрат на впровадження АСБ в місті Одесі, враховуючи лише витрати на заробітну плату операторів та оренду приміщення для агентств:

Таблиця 2

Витрати на впровадження АСБ в м. Одесі

Кількість АРМ	Витрати на заробітну плату операторів, грн./місяць	Витрати на оренду приміщення, грн./місяць
27	1500	12000
16	2000	7500
4	2800	1800

Примітка. Витрати на оренду приміщення визначено на основі середньої вартості оренди 1 $м^2$ офісного приміщення в м. Одесі (1 $м^2$ – 75 грн./місяць). При цьому для 27 АРМ потрібно 160 $м^2$, для 13 АРМ – 100 $м^2$, для 4 АРМ – 24 $м^2$.

На основі розробленої математичної моделі для мегаполісу з'ясуємо, чи дійсно для Одеси достатньо 3 АРМ (резервний поки що не будемо враховувати).

Є три канали обслуговування, на які надходить потік заявок з інтенсивністю λ=75 заявок/хв. Середній час обробки однієї заявки $\bar{t}_{об}$=0,05 хв. Всі потоки подій найпростіші. Потік обслуговування має інтенсивність $\mu = 20$ заявок/хв. Знайдемо фінальні ймовірності станів, використовуючи формули (2.5) і (2.6):

$$p_0 = (1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2}{2!\mu^2} + \frac{\lambda^3}{3!\mu^3})^{-1} = (1 + \frac{75}{20} + \frac{75^2}{2!20^2} + \frac{75^3}{3!20^3})^{-1} = 0{,}049;$$

$$p_1 = \frac{\lambda}{\mu} p_0 = \frac{75}{20} \cdot 0{,}049 = 0{,}184;$$

$$p_2 = \frac{\lambda^2}{2!\mu^2} p_0 = \frac{75^2}{2!20^2} \cdot 0{,}049 = 0{,}344;$$

$$p_3 = \frac{\lambda^3}{3!\mu^3} p_0 = \frac{75^3}{3!20^3} \cdot 0{,}049 = 0{,}43.$$

Використовуючи формули (2.7) – (2.10), обчислимо характеристики ефективності АСБ:

- $P_{відм} = p_3 = \frac{\rho^3}{3!} p_0 = 0{,}43$ – імовірність відмови;

- $Q = 1 - P_{відм} = 1 - \frac{\rho^3}{3!} p_0 = 1 - 0{,}43 = 0{,}57$ – відносна пропускна здатність;

- $A = \lambda Q = \lambda(1 - \frac{\rho^3}{3!} p_0) = 75 \cdot 0{,}57 = 42{,}75$ – абсолютна пропускна здатність;

- $\bar{k} = \frac{A}{\mu} = \rho(1 - \frac{\rho^3}{3!} p_0) = \frac{42{,}75}{20} = 2{,}14$ – число зайнятих каналів.

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновок, що при роботі 3 АРМ 43% заявок будуть перебувати в черзі, і це буде знижувати ефективність роботи АСБ. При цьому за хвилину лише 43 заявки на бронювання будуть оброблюватися вчасно, без затримок. Також слід врахувати, що два канали все-таки будуть перенавантаженні. Тобто резервний канал при максимальному потоці заявок просто необхідний.

Рекомендована література

1. Запорожець В., Шматко М. Аеропорт: організація, технологія, безпека. – К.: Дніпро, 2002. – 168 с.

2. Харченко В.П., Луппо О.С., Колотуша В.П. Принципи організації повітряного простору: Навч. Посіб. –К.:НАУ, 2006.-124.

3. Т. Шарфельд. Системы RFID низкой стоимости .– М., 2006. – 197.

4. Дшхунян В.Л., ШаньгинВ.Ф. Электронная идентификация. Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты. – М.: ООО «Издательство АСТ»: Издательство «НТ Пресс», 2004. – 695.