



Навчально-науковий аерокосмічний інститут,  
(назва інституту (факультету))

**Кафедра** Автоматизації та енергоменеджменту

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ Захарченко В.П.

(підпис) (ПБ)

« » \_\_\_\_\_ 2018р.

**Методичні рекомендації з підготовки студентів до лабораторних  
занять з дисципліни  
«Автоматизація авіаперевезень»**

Розробники:  
к.т.н., доцент  
(науковий ступінь, вчене звання, П.І.Б. викладача)

Тачиніна О.М.



## Лабораторна робота №1.

### Розрахунок інтенсивності вхідного потоку пасажирів.

Вхідний потік заявок, що надходять на канал обслуговування АСБ, є випадковим потоком, інтенсивність якого залежить від характеристик підключення АСБ у даному регіоні, періоду доби та інтенсивності повітряних перевезень в даний період (сезон).

Для характеристики закону розподілу випадкової функції, що описує інтенсивність вхідного потоку заявок, варто піддавати аналізу основні властивості цього вхідного потоку.

Як відомо з теорії ймовірностей потік є стаціонарним, якщо ймовірність влучення того або іншого числа вимог на певний інтервал часу, залежить тільки від величини цього інтервалу, але не залежить від того, де саме на осі часу розташований даний інтервал. Як правило, інтенсивність повітряного руху протягом літнього сезону є найбільшою. Також надходження заявок різко змінюється і протягом доби, досягаючи найменших значень у нічний час і найбільшої величини в період “пік”, що доводиться звичайно в ранковий або денний час.

Як відомо з теорії масового обслуговування [10], найпростіший потік ( $P_n$ ) розподіляється за законом Пуассона, тобто ймовірність надходження на канал обслуговування  $n$  заявок за інтервал часу  $t$  визначається по формулі:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda_{заявок} t)^n}{n!} e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де  $\lambda_{заявок}$  – інтенсивність вхідного потоку заявок, тобто середнє число заявок, що надходять на канал обслуговування за одиницю часу.

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

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



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  $t$ .

Щільність розподілу ймовірностей  $p_i(t)$  надходження заявок на канал обслуговування за час  $t$  в головній мірі залежить від періоду доби і визначається законом  $\gamma$ -розподілу (табл. 3.1).

Очевидно, що інтенсивність вхідного потоку заявок у різних регіонах (районний центр, обласний центр, мегаполіс, центральний офіс) неоднакова. Це більшою мірою залежить від кількості користувачів Інтернет у даному регіоні.

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:

$$\lambda = E(k_\lambda \lambda_{нас}), \quad (3)$$

де  $E$  – ціла частина числа;

$k_\lambda$  – коефіцієнт, який враховує наявність заявок на бронювання місць для декількох пасажирів (за експериментальними 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 ймовірності 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:

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Автоматизація авіаперевезень»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2018
		стор. 5 з 20	

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

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

### Лабораторна робота № 2-3

#### **Розрахунок оптимального часу обслуговування пасажирів в операційній залі аеровокзалу. Розрахунок пропускну́ї здатності автоматизованих систем обслуговування пасажирів.**

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.

Для аналізу систем з дискретним станом прийнято користуватися геометричною схемою, яка називається графом станів, що зображує всі можливі стани системи і їх імовірнісні переходи з одного стану в інший. У теорії дослідження операцій доводиться, що по розміченому графу станів можна скласти систему диференціальних рівнянь, які описують імовірності цих станів. Число рівнянь, що входять у систему, дорівнює числу станів, зафіксованих графом [10]. У лівій частині кожного рівняння записується похідна ймовірності стану. Права частина рівняння містить стільки членів, скільки стрілок переходів пов'язано з даним станом. Якщо стрілка направлена зі стану, відповідний член правої частини рівняння має знак мінус. Якщо ж стрілка направлена в стан, то – знак плюс.

Кожен член правої частини рівняння дорівнює добутку щільності ймовірності переходу, що відповідає даній стрілці, помноженої на ймовірність того стану, з якого виходить стрілка.



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

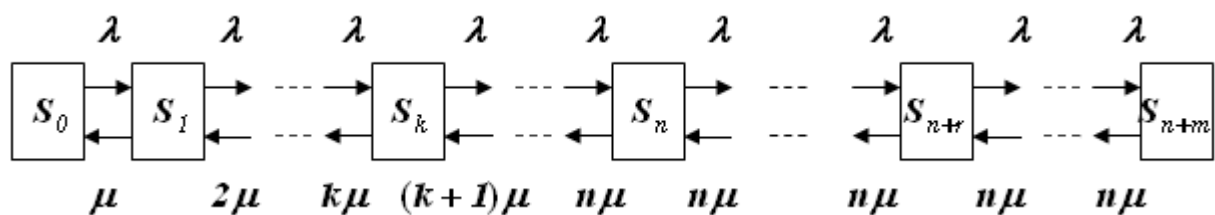


Рис. 1. Граф станів АСБ при вільному методі обробки заявок на резервування

Як видно з графу станів інтенсивність вхідного потоку заявок дорівнює  $\lambda$  для всіх переходів системи з одного стану в інший. Інтенсивність обслуговування заявок дорівнює величині  $\mu$ , помноженої на число каналів зв'язку, зайнятих обслуговуванням. При чисельності каналів зв'язку, рівної  $n$ , граничне значення інтенсивності обслуговування дорівнює  $n\mu$ . Довжина черги заявок, що утвориться в каналах зв'язку, обмежена величиною  $m$  виходячи з умови, що  $m+n$  є граничною чисельністю заявок на всі рейси, на які проводиться бронювання в даний період.

Система диференціальних рівнянь для ймовірностей стану записується у вигляді:



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

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

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

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:

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



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

Поклавши  $\frac{\lambda}{\mu} = \rho$ , де  $\rho < 1$ , і виразивши всі ймовірності станів через  $\rho_0$ ,

будемо мати:

$p_1 = \frac{\rho}{1!} p_0$  – ймовірність того, що обслуговуванням зайнятий один оператор, а всі інші – вільні;

$p_2 = \frac{\rho^2}{2!} p_0$  – ймовірність того, що обслуговуванням зайняті два оператори;

$p_k = \frac{\rho^k}{k!} p_0$  – ймовірність того, що обслуговуванням зайняті  $k$  операторів;

$p_n = \frac{\rho^n}{n!} p_0$  – ймовірність того, що зайняті всі оператори, але черги заявок немає;

$p_{n+r} = \frac{\rho^{n+r}}{n^r n!} p_0$  – ймовірність того, що всі оператори зайняті обслуговуванням і  $r$  заявок очікують у черзі;

$p_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} p_0$  – ймовірність того, що в черзі перебувають  $m$  заявок, які очікують обслуговування.

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

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

або

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





## Звідки

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

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  $t_{\text{факт}}$  може перевищити заздалегідь заданий розрахунковий час  $t_{\text{розр}}$ , визначається формулою [10]:

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

З виразу (3.6) слідує, що

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

Логарифмуючи вираз (3.7), отримаємо:

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



Із відношення (3.8) визначимо необхідну кількість АРМ:

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

де  $\lambda$  – інтенсивність вхідного потоку заявок, що проходять обробку, заявка/хв.;

$\mu$  – 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.

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Автоматизація авіаперевезень»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2018
		стор. 11 з 20	

## Лабораторна робота № 4

### Розрахунок оптимального числа автоматизованих робочих місць реєстрації пасажирів.

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

Інтенсивність потоку заявок, що проходять обслуговування, у мегаполісі (місто Одеса)  $\lambda = 75$ . Середня тривалість обробки однієї заявки для операторів початкового рівня кваліфікації  $T_{обсл} = 20$ 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  $t_{розр} = 1$ 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):

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

Округляючи до цілого числа, одержимо:  $n_{opt} = 27$  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:

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

Необхідне число АРМ визначимо по формулі (9):

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

Округляючи до цілого числа, отримаємо:  $n_{\text{онм}} = 13$  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.

### **Лабораторна робота № 5** **Розрахунок засобів перонної механізації**

К средствам перронной механизации, подлежащим расчету, относятся

- машины для транспортировки пассажиров к самолету;
- оборудование для посадки и высадки пассажиров из самолета;
- машины и оборудование для транспортировки, погрузки и разгрузки багажа;
- машины и оборудование для транспортировки, погрузки и разгрузки борт питания.

Расчет оптимальной численности средств перронной механизации, обеспечивающей своевременное наземное обслуживание воздушного транспорта, выполняется исходя из:

- объемов работы аэропорта по воздушным перевозкам,
  - типа обслуживаемых самолетов и интенсивности воздушного движения
- в период пиковой нагрузки суток в наиболее напряженные месяцы работы аэропорта.



Расчет должен производиться отдельно по каждому типу машин и оборудования, предназначенному для обслуживания определенной группы или отдельных типов самолетов.

Существует два метода расчета оптимальной численности перронной механизации: по суточной и по часовой неравномерности воздушного движения в аэропорту.

Методика расчета требуемого числа средств перронной механизации по суточной неравномерности воздушного движения является пригодной для аэропортов любых классов, метод расчета по часовой неравномерности является наиболее целесообразным для крупных аэропортов с большой интенсивностью воздушного движения.

### **Метод расчета оптимальной численности средств перронной механизации по суточной неравномерности воздушного движения**

При этом методе расчета определение оптимальной численности машин и оборудования, входящего в состав перронной механизации производится по формуле

$$N_{\text{пд}} = \frac{z_{\text{іаі}} k_{\text{іаіе}} k_{\text{н.і}} \cdot \dot{O}_o m}{60 T_{\text{пд}} k_{\text{д.А}}}, \quad (1)$$

где

$n$ - необходимое число машин определенного типа;

$Z_{\text{общ}}$  - число самолето - вылетов в сутки для месяца с наибольшей интенсивностью воздушного движения;

$k_{\text{обсл}}$  - коэффициент обслуживания самолетов;

$k_{\text{с.н.}}$  - коэффициент суточной неравномерности воздушного движения;

$T_{\text{ц}}$  - длительность одного цикла работы машины (мин);

$m$  – число однотипных машин, одновременно участвующих в обслуживании одного самолета.

$T_{\text{сут}}$ - необходимая длительность работы машины в аэропорту в течение суток, ч;

$k_{\text{т.г.}}$ - коэффициент технической готовности машины..

В формуле (1) оптимальная численность средств перронной механизации принимается прямо пропорциональной общему числу самолето-вылетов в сутки, потребное увеличение парка, необходимое в наиболее напряженный период суток, учитывается введением коэффициента неравномерности воздушного движения.

При расчете конкретных типов средств перронной механизации в формуле (1) учитывается число самолето-вылетов только той группы или типов самолетов, для обслуживания которых предназначена данная машина.

Переход от общего числа самолето-вылетов в сутки к конкретной интенсивности воздушного движения в течение периода «пик» работы



аэропорта осуществляется с помощью коэффициента суточной неравномерности.

Общее число самолетов  $Z_{\text{общ}}$  берется для конкретного аэропорта непосредственно из расписания воздушного движения. В расчетное число самолето-вылетов включаются не только самолеты, начинающие свой рейс в данном аэропорту, но и транзитные самолеты.

Для промежуточных значений общей численности вылетающих и прилетающих самолетов соответствующие значения коэффициента суточной неравномерности находятся путем интерполирования.

Для определения полного числа фактических обслуживаний самолета как вылетающих, так и прилетающих в аэропорт в формуле (1) вводится дополнительный коэффициент  $k_{\text{обсл}}$ , учитывающий необходимость дополнительного обслуживания вылетающих самолетов.

Методикой расчета предусматривается что число самолетов определенного рейса, вылетающих из аэропорта, равно числу прилетающих. Таким образом, вводится понятие о паре самолетов и считается что на один первоначальный самолето-вылет приходится два обслуживания. Для транзитных самолето-вылетов в качестве расчетного принимается одно обслуживание, объединяющее прилет самолет в аэропорт и его последующий вылет по дальнейшему маршруту.

Расчетное значение коэффициента обслуживания самолетов вычисляется по формуле

$$k_{\text{обсл}} = 1 + \frac{Z_{\text{перв}}}{Z_{\text{общ}}}$$

где  $Z_{\text{перв}}$  - число первоначальных самолето-вылетов в сутки месяца «пик».

$Z_{\text{общ}}$  - общее число самолето-вылетов за этот же период.

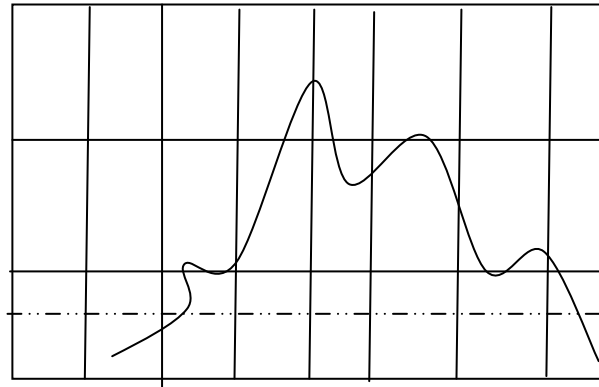
Для перехода от общего числа самолето-вылетов в сутки к числу самолетов, обслуживаемых в течение часа «пик», методикой расчета предусмотрено введение коэффициента неравномерности воздушного движения.

Коэффициент суточной неравномерности воздушного движения  $k_{\text{с.н}}$  представляет собой отношение максимального количества прилетающих и улетающих самолетов в час «пик» ( $Z_{\text{max}}$ ) к среднечасовому числу прилетающих и улетающих самолетов в течение суток ( $Z_{\text{средн}}$ ), т.е.

$$k_{\text{с.н}} = \frac{Z_{\text{max}}}{Z_{\text{средн}}}$$

Конкретное значение  $k_{\text{с.н}}$  для определенного аэропорта может быть установлено непосредственно из расписания движения (рис.1).

Коэффициент неравномерности является функцией интенсивности воздушного движения в аэропорту. При возрастании интенсивности движения значение этого коэффициента уменьшается.



Зависимость между числом самолетов, прилетающих и вылетающих из аэропорта в течение суток, и значением коэффициента неравномерности воздушного движения, полученная Государственным научно-исследовательским институтом гражданской авиации на основании обобщения данных по большому числу аэропортов, приведена в табл. 1

Число вылетающих и прилетающих самолетов в течение суток месяца «пик».....	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Значение коэффициента суточной неравномерности...	5	3,4	3,0	2,8	2,6	2,45	2,3	2,2	2,1	2


Численность машин и оборудования, входящих в состав парка перронной механизации, зависит также от необходимой длительности работы машины в аэропорту в течение суток, а также от готовности машины

Длительность рабочего цикла средств механизации определяется на основании нормативной карты, составляемой по данным хронометража.

Расчетный коэффициент технической готовности средств механизации берется по нормативным данным. Для машин с двигателями внутреннего сгорания значение коэффициента технической готовности составляет 0,85. Для средств механизации, снабженных электродвигателями, значение коэффициента технической готовности составляет 0,70.

Необходимая длительность суточной работы машины в аэропорту определяется продолжительностью функционирования аэропорта в течение суток.

Пример. Аэропорт принимает самолеты \_\_\_\_\_.  
Общее число самолето-вылетов в сутки  $z_{\text{общ}}=100$ , в том числе количество первоначальных самолето-вылетов  $z_{\text{перв}}=80$ . Аэропорт открыт в течение 20 ч

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Автоматизація авіаперевезень»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2018
		стор. 16 з 20	

в сутки. Среднее расстояние от места стоянки средств перронной механизации до стоянок самолетов  $L=250$  м.

$$k_{іавіе} = 1 + \frac{80}{100} = 1.8$$

Коэффициент суточной неравномерности воздушного движения  $k_{с.н.}$  для общего числа прилетающих и вылетающих самолетов в сутки,  $z_{общ} = 80 \cdot 2 + 20 = 180$ , составляет по табличным данным 2,1.

Длительность рабочего цикла для автотраспортера АТ-6 определяется из нормативной карты (табл.1).

Таблица 1

Число вылетающих и прилетающих самолетов в течение суток месяца «пик».....	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Значение коэффициента суточной неравномерности...	5	3,4	3,0	2,8	2,6	2,45	2,3	2,2	2,1	2

Решение. Значение коэффициента обслуживания самолетов определяем по формуле

$$N_{іав} = \frac{100 \cdot 1.8 \cdot 2.1 \cdot 13 \cdot 1}{60 \cdot 20 \cdot 0.85} = 4,8 = 5 \text{ машин}$$

Расчет производительности средств механизации, занятых выполнением различных локальных процессов, производится, как правило, на основании логических формул, включающих параметры, определяемые непосредственным хронометражем выполняемых процессов. К числу локальных процессов обслуживания, длительность которых рассчитывается по подобной методике, относятся следующие наиболее важные процессы:

- внутриаэродромная транспортировка пассажиров к самолету или от самолета к аэровокзалу;
- транспортировка, погрузка или разгрузка багажа, грузов и почты;
- погрузочно-разгрузочные и транспортные- операции с контейнерами борт питания.

Производительность машин, выполняемых транспортные или погрузочные операции: автомобилей с подъемным кузовом, авто лифтов, автотраспортеров, автопогрузчиков и прочих средств механизации, рассчитывается по формуле  $\dot{I} = Gz_{р.ц} \cdot k_{авіе} \cdot k_{ав}$ ,

$G$ -грузоподъемность машины,(кг);  $z_{р.ц}$ -число рабочих циклов в течение одного часа работы;  $k_{груз}$ -коэффициент использования грузоподъемности машины;  $k_{вр}$  – коэффициент внутри часового использования машины по времени.





Число рабочих циклов в течение одного часа машины определяется по формуле

$$z_{\text{д.с.}} = \frac{3600}{T_{\text{с}}},$$

Где  $T_{\text{с}}$ - длительность рабочего цикла, с.

Длительность рабочего цикла определяется исходя из длительности отдельных операций, составляющих цикл работы,

$$T_{\text{с}} = \sum_{i=1}^n t_i$$

Состав рабочих операций и их конкретная длительность для различных средств механизации и местных условий работы определяются непосредственно в аэропорту на основании технологической карты процесса обслуживания и данных хронометража.

Так, например, расчет длительности рабочего цикла авто лифта производится по формуле

$$T_{\text{с}} = t_1 + t_2 + t_3 + nt_4 + t_5 + (n-1)t_6 + nt_7 + t_8,$$

Где:

$t_1$ -время установки автолифта в положение загрузки у цеха бортового питания, с;

$t_2$ -длительность загрузки автолифта контейнерами с бортовым питанием, с;

$t_3$ -время на перемещение автолифта от цеха бортового питания к первому из обслуживаемых самолетов, с;

$t_4$ -время на установку автолифта в положение загрузки самолета, с;

$t_5$ -время на погрузку контейнеров с бортовым питанием в кабины самолетов, обслуживаемых в течение одного цикла, с;

$t_6$ -время на маневрирование автолифта между самолетами;

$t_7$ -время на маневрирование автолифтов в транспортное положение, с;

$t_8$ -время на холостое перемещение автолифта к цеху бортового питания, с;

$n$ -количество самолетов, обслуживаемых в течение одного рабочего цикла.



## Лабораторна робота № 6-7

### Розрахунок пропускної здатності автоматизованої системи обслуговування пасажирів, що вилітають з аеропорту. Розрахунок необхідного числа та пропускної здатності обладнання для видачі багажу.

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):

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


Округляючи до цілого числа, отримаємо:  $n_{opt} = 4$  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

	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС з навчальної дисципліни «Автоматизація авіаперевезень»	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05-01-2018
		стор. 19 з 20	

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

Проаналізуємо приведені дані в табл. 3.2 з точки зору економічної ефективності. Без сумнівів, вигіднішою буде найменша кількість АРМ, що забезпечить необхідний рівень обслуговування заявок на бронювання і скоротить витрати на оренду приміщення та заробітну плату операторів.

Слід зазначити, що при цьому не були враховані й такі економічні характеристики як витрати на закупівлю комп'ютерного обладнання та комунальні послуги. З огляду на проведений аналіз можна зробити висновок, що й ці витрати при меншій кількості АРМ будуть також зменшуватись.

Як вже було зазначено в другому розділі для мегаполісу достатньо 3 АРМ. Але ж для м. Сімферополя, де знаходиться другий по пропускній здатності аеропорт України, при максимальному потоці заявок потрібно 4 АРМ. Для ефективнішого функціонування АСБ в Одесі відведемо 1 АРМ як резервний канал обслуговування, адже в деякі періоди року (кінець осені – початок весни) при незначному потоці заявок і роботі всіх АРМ деякі канали можуть бути недовантажені, або взагалі простоювати.

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  $\lambda = 75$  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):



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

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

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

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

Використовуючи формули (7) – (10), обчислимо характеристики ефективності АСБ:

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

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

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

здатність;

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

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 перенавантажені. Тобто резервний канал при максимальному потоці заявок просто необхідний.