

УДК 629.7.083

О.Г. Водчиць<sup>1</sup>, С.Н. Єгоров<sup>1</sup>, В.М. Павільч<sup>1</sup>, Г.М. Карпенко<sup>2</sup><sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ<sup>2</sup> Академія внутрішніх військ МВС України, Харків

## ОЦІНКА РАЦІОНАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ СТРУКТУРНИХ ЛАНОК ІНЖЕНЕРНО-АВІАЦІЙНОЇ СЛУЖБИ ПРИ ПІДГОТОВЦІ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ДО ПОЛЬОТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

*Проводиться аналіз і розглядається графоаналітичний метод використання багатоканальної системи масового обслуговування з метою оцінки ефективної підготовки групи бойових літаків до польотів при обмеженні людських ресурсів і часу підготовки літаків.*

**Ключові слова:** авіаційна техніка, авіаційні засоби ураження, технічні розрахунки.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Подальший розвиток авіаційної техніки неухильно веде до використання сучасних технологій та методів перевірки технічного стану, що, в свою чергу, веде до зменшення часу підготовки літака до польоту. Однак наряду з цим роботи, які проводяться на літаку з підготовки до бойового застосування (під вішення авіаційних засобів ураження (АЗУ)), повинні виконуватись згідно відповідної технології та суворой послідовності. Час виконання операцій при цьому залишається неухильним.

У зв'язку з цим при підготовці до бойового застосування необхідно раціонально та ефективно використовувати технічні розрахунки інженерно-технічного складу (ІТС) з підвищення АЗУ і засобів наземного обслуговування.

Процеси виконання робіт на авіаційній техніці (АТ) та зміни її технічного стану (справний, несправний, на підготовці, в польоті та інші), як правило, не детерміновані, а стохастичні, випадкові, внаслідок того, що на них впливають різного роду фактори.

Величини, що характеризують ці процеси (найбільш частіше це тимчасові параметри), визначаються умовами базування і протидією супротивника, наявністю матеріальних засобів, експлуатаційними якостями АТ і цілим рядом інших факторів. Тому, ефективність роботи ІТС оцінюється, як правило, такими показниками, як виконання конкретної задачі, яку поставлено перед ІТС, або ймовірністю знаходження літаків в тих чи інших станах, визначення кількості забезпечених літако-вильотів, розподілу кількості літако-вильотів, ймовірності підготовки потрібної кількості АЗУ в заданий час та інше.

**Мета статті** полягає в аналізі можливості використання аналітичного і графічного методу для вирішення задач планування робіт на авіаційній

техніці при підготовці літаків до бойового застосування.

### Основний матеріал

Звичайно, роботу ІТС прийнято моделювати не шляхом імітації безпосередніх дій особового складу, а шляхом описання наслідків його дій, наслідків виконання робіт на АТ, яка приводить до змін її стану. Тому, при розробці математичної моделі роботи ІТС приймають схему зміни стану АТ, який є результатом діяльності ІТС, щодо переведення АТ з одного стану в інший.

Серед основних напрямків дослідження ефективності роботи ІТС з використанням математичних методів моделювання можна указати такі:

1. Визначення раціонального розподілу особового складу інженерно-авіаційної служби (ІАС) по видах робіт.
2. Дослідження і аналіз організації і підготовки до застосування АТ, з метою визначення можливості ІАС по підготовці АТ в задані терміни та пошук резервів по їх скороченню.
3. Визначення шляхів підвищення ефективності роботи окремих ланок (структурних підрозділів) ІАС.
4. Дослідження ефективності різних систем і програм технічної експлуатації.

Розв'язування цих задач можливо двома шляхами:

– використанням аналітичних методів теорії масового обслуговування, методів статистичного моделювання та ін.;

– використанням графічних методів, серед яких найбільш розповсюджені такі, як метод мережевого планування та методи із застосуванням стрічкових графіків.

Перевага аналітичних методів перед графічними складається в отриманні кінцевих результатів ймовірного характеру. В той же час, даними оцінка-

ми неможливо побачити послідовність і динаміку процесу, який досліджується.

В графічних методах навпаки, моделювання уявляє собою детерміновані оцінки кінцевого результату, що не дозволяє в повній мірі оцінити їх за ймовірними критеріями. Автори статті зробили спробу з'єднати аналітичний і графічний методи з метою отримання більш ймовірних результатів оцінки ефективності процесів підготовки АТ.

В якості аналітичної моделі прийнята багатоканальна модель масового обслуговування з очікуванням, а графічною моделлю є стрічковий технологічний графік.

Задача сформульована таким чином:

На аеродромі знаходиться група літаків тактичної авіації, яка із заданою інтенсивністю здійснює польоти і наносить удари по супротивнику. Після повернення з польоту на літаку проводиться підготовка до повторного польоту. Якщо боєкомплект не витрачений, то літак знов здійснює бойовий політ. При витраченні боєкомплекту він спрямовується на майданчик спорядження авіаційними засобами ураження. Після спорядження АЗУ літаки здійснюють бойовий політ.

Задача моделювання процесу підготовки складається з визначення оптимальної кількості технічних розрахунків по підготовці та спорядженню літаків АЗУ.

При розв'язуванні будь-якої задачі потрібно:

1. Здійснити вибір критерію ефективності функціонування системи, яка досліджується.
2. Формалізувати опис системи, яка досліджується, в математичних символах.
3. Підготувати вихідні дані. Об'єм та порядок їх підготовки залежать від обраного методу математичного моделювання.

Відповідно до поставки задачі, в якості критерію ефективності функціонування системи приймемо ймовірність завантаження технічних розрахунків (ланок), які призначені для спорядження літаків АЗУ.

В такому формулюванні, в рамках теорії масового обслуговування (ТМО) задача зведена до класу задач багатоканальної системи масового обслуговування з очікуванням [2, 3].

В межах ТМО формалізований процес підготовки літаків до бойових польотів можна представили таким графом станів (рис. 1).

На рис. 1 позначено:

- 1 – стан бойового польоту літака;
  - 2 – стан підготовки літака до повторного польоту;
  - 3 – стан очікування літака для спорядження літака АЗУ;
  - 4 – стан спорядження літака АЗУ;
- $\chi$  – інтенсивність потоку літаків на підготовку до повторного польоту;

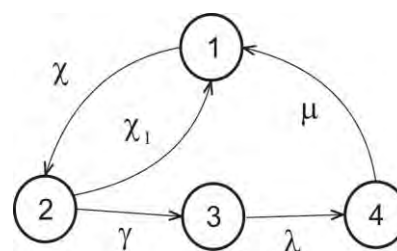


Рис. 1 Формалізований процес підготовки літаків до бойового польоту

$\chi_1$  – інтенсивність потоку літаків в черговий політ після підготовки до повторного польоту без спорядження його АЗУ;

$\gamma$  – інтенсивність потоку літаків на майданчик очікування для спорядження АЗУ;

$\lambda$  – інтенсивність потоку літаків для спорядження АЗУ;

$\mu$  – інтенсивність потоку літаків на черговий політ після спорядження АЗУ.

Робота технічних розрахунків по спорядженню літаків АЗУ складається з цілеспрямованого переводу АЗУ зі транспортувального стану в бойовий з подальшим спорядженням літаків [1].

Необхідною і достатньою умовою для безперервного забезпечення літаків АЗУ є нерівність:

$$\mu > \gamma. \quad (1)$$

Структурна схема такої системи масового обслуговування представлена на рис. 2.

Інтенсивність потоку  $\lambda$  залежить від інтенсивності бойових польотів літаків, витрат АЗУ, справності авіаційної техніки та інше.

Інтенсивність потоку  $\mu$  визначається продуктивністю та кількістю каналів обслуговування, нормативного часу на підготовку одного боєкомплекту АЗУ на один літак [1].

Задача пошуку раціональної кількості технічних розрахунків розв'язувалась при таких припущеннях і вихідних даних:

1. Час обслуговування заявки детермінований.
2. Літак, який прибув на обслуговування, знаходиться в черзі до того часу, поки він не буде обслугований.
3. Максимальна кількість вимог в черзі (літаки, що потребують обслуговування) – 10.
4. Кількість каналів обслуговування (технічних розрахунків по підготовці спорядженню АЗУ) знаходиться в межах від 1 до 10.
5. Середньостатистичний час польоту літака – 60 хв.
6. Час, на підготовку літака до польоту – 20 хв. (без спорядження літаків АЗУ).
7. Технологічний час на підготовку спорядження літака АЗУ до польоту – 50 хв.
8. Кількість літаків в групі – 10.

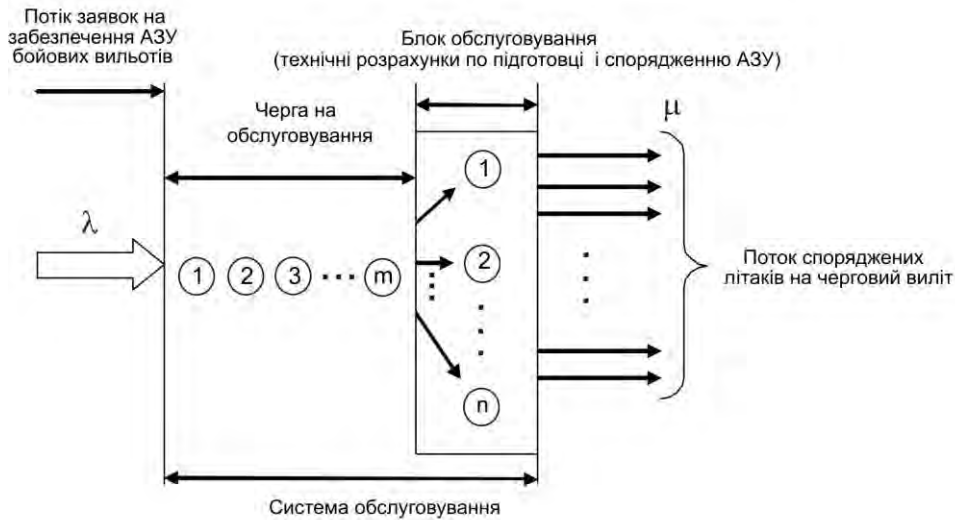


Рис. 2. Система обслуговування по підготовці і спорядженню АЗУ

Літаки на бойове застосування вилітають і повертаються одночасно парами (по два) з інтервалом 10 хв.

При одноканальній системі обслуговування загальний час знаходження літака в черзі на спорядження АЗУ складається з часу підготовки літака до повторного польоту і часу спорядження літака АЗУ, тобто:

$$t_q = t_{пп} + t_{АЗУ}, \quad (2)$$

де  $t_q$  – час знаходження літака в черзі;

$t_{пп}$  – час підготовки літака до повторного польоту;

$t_{АЗУ}$  – час спорядження літака АЗУ.

В ідеальному випадку черга зникає при рівності каналів обслуговування і літаків, тобто, після підготовки до повторного польоту літак без затримки спрямовує на підготовку АЗУ, це відзеркалю-

ється добре на стрічковому технологічному графіку, рис. 3.

За шість годин польотного часу кожна пара літаків зробить по 3 бойових польоти.

При одному каналі спорядження літаків АЗУ кількість бойових польотів скорочується на 30%, рис. 4.

В реальних умовах, при високій ефективності бойових вильотів неможливо створити одночасно 10 каналів обслуговування по підготовці та спорядженню літаків АЗУ внаслідок обмеження людських ресурсів. З іншого боку, при збільшенні кількості каналів обслуговування значно зменшується коефіцієнт завантаження спеціалістів (спеціаліст більше відпочиває, ніж працює).

Тому, при заданих умовах треба визначити раціональну кількість технічних розрахунків для забезпечення заданої інтенсивності бойових вильотів.

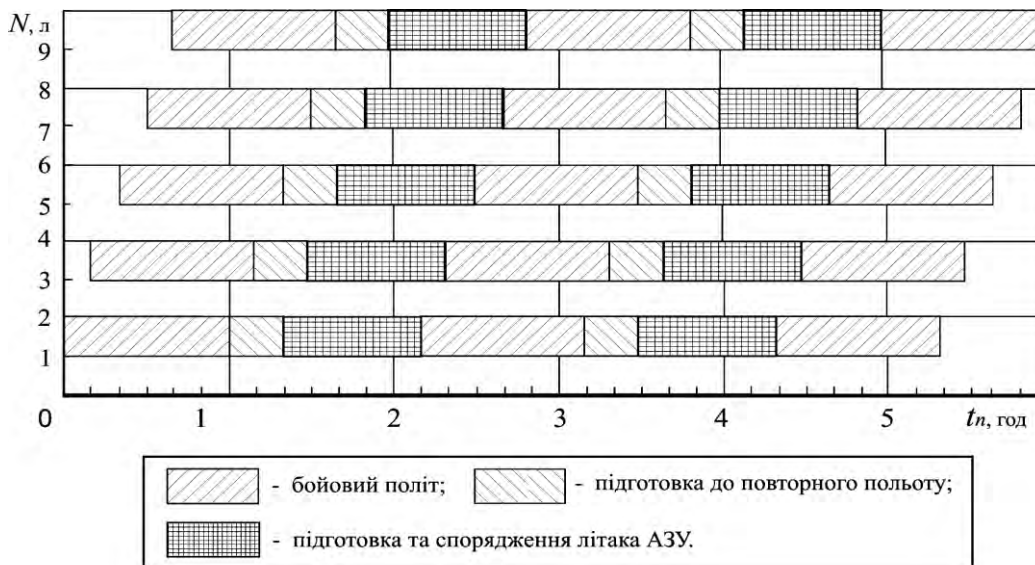


Рис. 3. Стрічковий технологічний графік підготовки літаків до повторного польоту



Рис. 4. Стрічковий технологічний графік підготовки літальних апаратів до повторного польоту при одному каналі спорядження літаків АЗУ

Оцінку раціональної кількості визначимо як ймовірність того, що ці канали обслуговування вільні і на підготовці немає літаків [2]:

$$P_0 = \left[ 1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \frac{\rho^3}{3!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \right]^{-1}, \quad (3)$$

де  $\rho = \lambda/\mu$  – приведена інтенсивність потоку заявок (середня кількість літаків, що поступають в систему масового обслуговування за середній час підготовки одного літака);

$\lambda$ , 1/год – інтенсивність потоку заявок (приходу літаків з польоту на підготовку);

$\mu$ , 1/год – інтенсивність обслуговування (потоку підготовлених літаків);

$n$  – кількість каналів в системі масового обслуговування (кількість технічних розрахунків).

При часі підготовки літака до повторного польоту  $t_{пп} = 0,3$  год., інтенсивність потоку заявок на обслуговування дорівнює

$$\lambda = 1/t_{пп} = 1/0,3 = 3,33/\text{год}.$$

Інтенсивність обслуговування (потоку споряджених літаків АЗУ) пропорційна кількості каналів обслуговування (чим більше каналів обслуговування, тем більша інтенсивність).

Для одного каналу обслуговування інтенсивність обслуговування пропорційна технологічному часу підготовці і спорядження літака АЗУ, тобто:

$$t_{АЗУ} = 50 \text{хв.} = 0,83 \text{год.}$$

Для  $n$  каналів обслуговування

$$t_{АЗУ} = t_{АЗУ}/n,$$

відповідно інтенсивність обслуговування

$$\mu = n/t_{АЗУ}.$$

Інтенсивність обслуговування  $\mu$  та приведені інтенсивності  $\rho$  зведені в табл. 1, 2.

Результати розрахунку за формулою (3) показані в табл. 3, як ймовірність того, що канали обслуговування в залежності від їх кількості будуть вільні.

Таблиця 1

Динаміка залежність часу спорядження літака АЗУ та інтенсивності обслуговування  $\mu$  від кількості каналів  $n$

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{АЗУ}$ , год	0.83	0.42	0.28	0.21	0.17	0.14	0.12	0.1	0.09	0.08
$\mu$ , $\gamma_{год}$	1.20	2.38	3.57	4.76	5.88	7.14	8.33	10.0	11.1	12.5

Таблиця 2

Динаміка залежність приведеної інтенсивності  $\rho$  від кількості каналів  $n$

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\rho$	2.77	1.4	0.93	0.7	0.57	0.47	0.4	0.33	0.30	0.27

Таблиця 3

Динаміка зміни ймовірностей (зайнятості) вільності каналів в залежності від кількості використовуваних каналів

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{0i}(n)$	0	0.18	0.39	0.49	0.59	0.63	0.67	0.72	0.74	0.76
$Q_{0i}(n)$	1.0	0.82	0.61	0.51	0.41	0.37	0.33	0.28	0.26	0.24

В табл. 3 величина  $Q_{oi}(n)$  розраховується за формулою

$$Q_{oi}(n) = 1 - P_{oi}(n), \quad (4)$$

де  $Q_{oi}(n)$  – ймовірність того, що всі канали системи обслуговування зайняті.

Для більшої наочності результати табл. 3 приведені на рис. 5.

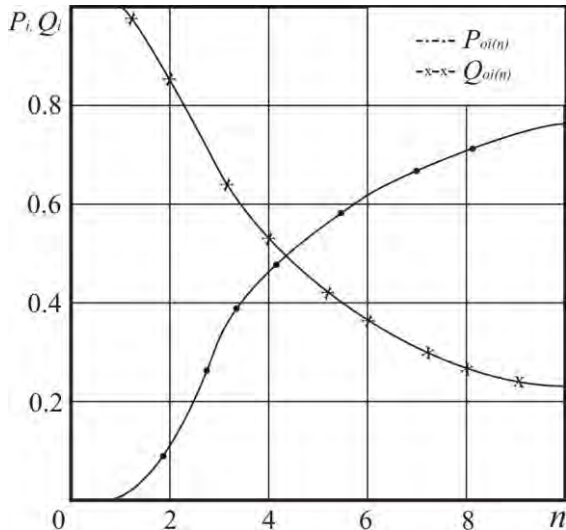


Рис. 5. Залежності ймовірностей від кількості розрахунків

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок про те, що при збільшенні кількості каналом обслуговування ( $n \geq 4$ ) система масового обслуговування переходить в так званий режим “насичення”, тобто ймовірність  $Q_o(n)$   $P_o(n)$  змінюється незначно.

## Висновки

1. Запропонована методика може бути використана для попередньої оцінки ефективності роботи

окремих підрозділів ІТС, робота яких може бути організована паралельним способом, при плануванні робіт на АТ, а також при організації робіт в умовах обмеження часу і особового складу під час підготовки АТ в тому числі і АЗУ.

2. Система масового обслуговування починає ефективно працювати коли кількості технічних розрахунків (каналів обслуговування), в процесі підготовки АЗУ та спорядження ними літаків, більш або дорівнює  $n \geq 4$ .

3. Найбільш раціональна кількість каналів обслуговування (при заданих умовах) знаходиться в межах  $4 \leq n \leq 6$ . При зменшенні каналів  $n \leq 4$  ймовірність завантаження технічних розрахунків збільшується  $Q_o(n) \geq 0,6$ , і навпаки, при  $n \geq 6$ , ймовірність завантаження зменшується, тобто  $Q_o(n) \leq 0,3$ .

4. Використовував графічний підхід до розв’язання завдань такого типу на першому етапі, дозволяє якісно оцінити резерви часу з послідовним розв’язанням задачі аналітичним методом.

## Список літератури

1. Водчиць О.Г. *Експлуатація та ремонт авіаційного озброєння: навчальний посібник* / О.Г. Водчиць, С.Н. Єгоров, В.М. Павільч. – К.: НАУ, 2008. – 252 с.
2. Венцель Е.С. *Исследование операций* / Е.С. Венцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 555 с.
3. Таха Х. *Введение в исследование операций Ч-II* / Х. Таха. – М.: Мир, 1985. – 496 с.

Надійшло до редколегії 10.12.2012

Рецензент: д-р військ. наук, проф. Г.А. Дробаха, Академія внутрішніх військ МВС України, Харків.

## ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА СТРУКТУРНЫХ РАСЧЕТОВ ИНЖЕНЕРНО-АВИАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ К ПОЛЕТАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

А.Г. Водчиц, С.Н. Егоров, В.Н. Павильч, Г.Н. Карпенко

Проводится анализ и рассматривается графоаналитический метод использования многоканальной системы массового обслуживания с целью оценки эффективной подготовки группы боевых самолетов к полетам при ограничении людских ресурсов и времени подготовки самолетов.

**Ключевые слова:** авиационная техника, авиационные средства поражения, технические расчеты.

## ESTIMATION OF THE RATIONAL NUMBER OF STRUCTURAL UNITS OF THE ENGINEERING AIR SERVICE IN AIRCRAFT MATERIEL PREPARATION FOR FLIGHTS USING THE MODEL OF MASS MAINTENANCE

O.G. Vodchyts, S.N. Yehorov, V.M. Pavilch, H.M. Karpenko

There is the analysis done and the graphic analytical method of using the multichannel system of mass maintenance considered in order to evaluate the combat aircraft group effective preparation for flights with limited manpower and time for aircraft preparation.

**Keywords:** aircraft materiel, air means of destruction, technical computation.