

Розвиток, бойове застосування та озброєння авіації

УДК 633.746:355.424.4.001

І.О. Романенко¹, В.В. Сідаш², О.В. Никифоров³

¹ Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ,

² Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

³ Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ І ПЕРЕПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ АЕРОДРОМНОЇ СИСТЕМИ ПРИЙОМУ, ЗБЕРІГАННЯ І РОЗДАЧІ АВІАЦІЙНОГО ПАЛИВА

Запропонована модель прогнозування технічного стану та перепускної здатності аеродромної системи ПММ авіаційних частин під час планування льотної підготовки на рік. Модель обмежень з перепускної здатності системи ПММ розглядається як ймовірність гарантованого забезпечення запланованого обсягу пального достатньою кількістю авіаційного палива в залежності від технічного стану системи ПММ та параметрів організації процесу постачання авіаційного палива до авіаційної частини.

Ключові слова: процес прийняття рішень, формалізація, модель стану, критерій оптимальності.

Вступ

В даний час в практиці управління організаціями (підприємствами) усе більш широке вживання знаходять різні системи ERP класу, де досить ефективно реалізуються функції підтримки прийняття рішень управлінців (менеджерів) середньої і вищої ланок управління [1 – 4]. Не обійшов цей процес і Збройні Сили України, де також виконується ряд робіт з автоматизації управлінської діяльності основних органів управління. Наприклад, в 2007 році був зданий перший етап з розгортання в Міністерстві оборони України автоматизованої системи управління повсякденною діяльністю ЗС, ведуться роботи із створення єдиної АСУ ЗС, зокрема, АСУ Повітряними Силами Збройних Сил України.

Одним з невід'ємних елементів, що дозволяє успішно здійснювати автоматизацію таких управлінських функцій, є системи моделей прогнозування стану і перепускної здатності керованих об'єктів, а також обмежень для реалізації процесів управління. Подібного роду моделі дозволяють підводити під процеси прийняття рішень відповідну метрологічну базу і, тим самим, забезпечувати їх формалізацію і подальшу автоматизацію.

Постановка задачі. Розглянемо можливі підходи відносно побудови математичної моделі прогнозування технічного стану і перепускної здатності аеродромної системи прийому, зберігання і роздачі авіаційного палива (системи ПММ) залежно від організації роботи служб забезпечення в авіаційній частині. Дана модель необхідна для корект-

ного опису умов і обмежень, що враховуються при прийнятті рішень з планування бойової (льотної) підготовки, які приймаються на рівні командира авіаційної частини.

З цією метою дослідимо питання формального опису обмежень щодо перепускної здатності аеродромної системи ПММ, а також прогнозування її технічного стану. На підставі отриманих результатів покажемо, як можуть бути враховані фактори, які пов'язані з перепускною здатністю та технічним станом системи ПММ, при створенні систем підтримки прийняття рішень керівного складу авіаційних частин при плануванні льотної підготовки на рік.

Основний матеріал

Як і для будь-якої досить складної технічної системи, якою є і аеродромна система ПММ, її технічний стан характеризується досить великою кількістю параметрів. Проте, в даному випадку, коли аналізуються процеси на рівні командира авіаційної частини, вичерпною технічною характеристикою даної системи буде її сумарна робоча ємність.

Спільна ємність системи ПММ складається з ємностей окремих цистерн, де зберігається авіаційне паливо і які з'єднані між собою системою трубопроводів. Періодично паливні цистерни виводяться з експлуатації для проведення технічного обслуговування або ж для виконання позапланового ремонту (заміни обладнання). Тому на практиці робоча або ефективна сумарна ємність системи ПММ виявля-

ється меншою, ніж сумарна ємність наявних цистерн, що її складають. Для інтегральної оцінки стану аеродромної системи ПММ зручно використовувати середню кількість справних цистерн, яка залежить від параметрів організації роботи служби ПММ і матеріально-технічного забезпечення процесів експлуатації засобів ПММ.

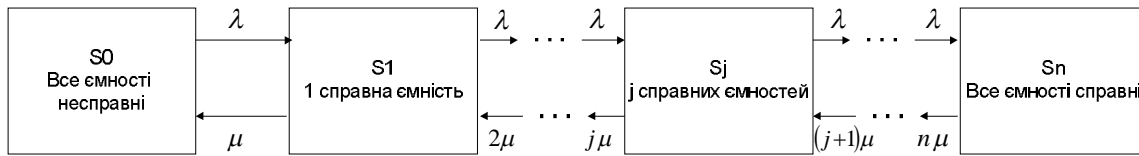


Рис. 1. Схема процесу технічної експлуатації аеродромної системи ПММ

В якості каналів обслуговування прийемо ємності, що входять до складу аеродромної системи ПММ. Як заявки на обслуговування розглядатимемо заявки на проведення періодичних робіт і позапланових ремонтів на даних ємностях. Із запропонованої схеми видно, що система ПММ може послідовно займати $(n + 1)$ дискретний стан, де n – кількість ємностей, що складають аеродромну систему ПММ. Стани відрізняються за кількістю справних ємностей.

Перехід системи з одного стану в інші, які відрізняються від нього на одну одиницю за кількістю справних ємностей, відбувається під впливом пуасоновських потоків випадкових подій. Дані потоки визначають процеси технічного обслуговування ємностей (проведення періодичних робіт) силами служби ПММ і виведення ємностей з експлуатації унаслідок появи відмов і виходу термінів з виконання періодичних робіт. Інтенсивність потоку з введення несправних ємностей до експлуатації залежить від пропускної здатності підрозділів служби ПММ і рівня матеріально-технічного забезпечення заходів щодо експлуатації аеродромної системи ПММ. Величина інтенсивності даного потоку визначається як

$$\lambda = \frac{B_{\text{ПММ}}}{B_{\text{ТОіР}}} k_{\text{МТЗ ПММ}}, \quad (1)$$

де $B_{\text{ПММ}}$ – наявний бюджет трудовитрат підрозділів служби ПММ, що доводиться на одиницю астрономічного часу (місяць, тиждень); $B_{\text{ТОіР}}$ – середні потрібні трудовитрати на проведення технічного обслуговування і ремонту однієї ємності з аеродромної системи ПММ; $k_{\text{МТЗ ПММ}}$ – коефіцієнт повноти матеріально-технічного забезпечення запланованих заходів щодо технічної експлуатації технічних засобів аеродромної системи ПММ.

Інтенсивність потоку випадкових подій щодо переходу ємностей із справного в несправний стан визначається рівнем надійності і величиною періоду часу, через який необхідно проводити періодичні обслуговування ємностей. Величина інтенсивності

Для обчислення середньої кількості справних цистерн скористаємося моделлю багатоканального пристрою обслуговування з відмовами, що відома з теорії масового обслуговування [5]. З цією метою процес технічної експлуатації аеродромної системи ПММ представимо у вигляді наступної схеми, яка подана на рис. 1.

потоку по переходу кожної ємності із справного до несправного стану визначається за допомогою наступного виразу

$$\mu = \frac{1}{T_{\text{ТО}}} + \frac{1}{T_{\text{Р}}} = \frac{1}{T_{\text{ТОіР}}}, \quad (2)$$

де $T_{\text{ТО}}$ – нормована періодичність виконання періодичних технічних обслуговувань ємностей; $T_{\text{Р}}$ – середня періодичність виконання позапланових ремонтів ємності унаслідок появи відмов і поломок.

Для стану системи S_j , в якому в наявності є j справних ємностей, інтенсивність потоку подій з переходу системи в стан $(j - 1)$, де кількість справних ємностей зменшується на одну одиницю, складає величину $j \cdot \mu$.

Таким чином, у міру наближення системи до стану, де всі ємності справні, інтенсивність потоку, що повертає систему до станів, де є несправні ємності, збільшується, досягаючи значення $n \cdot \mu$, яке відповідає стану S_n . У міру наближення системи до стану S_0 , де всі ємності несправні, інтенсивність даного потоку зменшується та наближується до нуля. Такого роду процеси відносяться до класу процесів «розмноження-гибелі». При цьому стан системи, що чисельно характеризується величинами ймовірності знаходження системи в кожному з введених дискретних станів, може бути оцінений на підставі вирішення системи рівнянь Ерланга, які мають вигляд

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = -\lambda p_0 + \mu p_1; \\ \frac{dp_1}{dt} = -(\lambda + \mu) p_1 + \lambda p_0 + 2\mu p_2; \\ \dots \\ \frac{dp_j}{dt} = -(\lambda + j\mu) p_j + \lambda p_{j-1} + (j+1)\mu p_{j+1}; \\ \dots \\ \frac{dp_n}{dt} = -n\mu p_n + \lambda p_{n-1}, \end{cases} \quad (3)$$

де $p_0, p_1, \dots, p_j, \dots, p_n$ – ймовірність знаходження системи в станах $S_0, S_1, \dots, S_j, \dots, S_n$, відповідно.

Вирішення системи рівнянь (3) можливе лише чисельними методами. Проте, зважаючи на результати, які отримано в [6], без втрати якості рішень, що приймаються, можна розглядати не динамічні, а граничні значення ймовірностей $p_j, j = \overline{1, n}$, коли

$$\frac{dp_j}{dt} = 0, \quad j = \overline{1, n}.$$

Значення граничних ймовірностей обчислюються за допомогою формул Ерланга

$$p_j = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j}{j!} p_0, \quad (4)$$

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i}{i!}}. \quad (5)$$

При цьому середнє число справних ємностей аеродромної системи ПММ, яке встановлюється протягом відносно тривалого періоду часу, може бути обчислене як

$$\bar{n} = \sum_{i=0}^n ip_i. \quad (6)$$

Дана величина характеризує технічний стан аеродромної системи ПММ, який визначається залежно від параметрів її надійності, величини перепускної здатності підрозділів служби ПММ і рівня матеріально-технічного забезпечення запланованих заходів щодо технічного обслуговування і ремонту системи. Рівень деталізації моделі, який запропоновано, достатній для прийняття рішень з планування льотної підготовки на рік з обліком обмежень щодо перепускної здатності аеродромної системи ПММ.

Перепускна здатність аеродромної системи ПММ визначається як максимально можлива кількість годин нальоту експлуатованої авіаційної техніки (АТ) $u_{\text{ПММ}}$, яка забезпечується при встановленій періодичності $T_{\text{п.ГСМ}}$ і обмежених об'ємах партій постачання в авіаційну частину авіаційного палива:

$$u_{\text{ПММ}} = \frac{\bar{n}v_1\gamma}{T_{\text{п.ГСМ}}C_{\text{ч}}\phi}, \quad (7)$$

де v_1 – об'єм однієї ємності системи ПММ;

$C_{\text{ч}}$ – середня годинна витрата палива на даному типі АТ;

ϕ – коефіцієнт, що враховує побічний наліт, який пов'язаний з виконанням основного нальоту (польоти на розвідку погоди, обльоти АТ і т.ін.);

γ – питома густина авіаційного гасу.

Обмеження за розміром партій постачання визначається об'ємом справних ємностей, які є в наявності $\bar{n}v_1$. Крім того, оскільки постачання в авіаційні частини авіаційного палива, як правило, здійснюється залізничним транспортом, величина $\bar{n}v_1$ зменшується до $(\bar{n}v_1)'$, яка кратна об'єму використовуваних залізничних цистерн.

Обмеження з перепускної здатності системи ПММ в даному випадку може бути сформульоване як умова дотримання наступної нерівності

$$\frac{U_{\text{пл.}}}{\Delta t} \leq u_{\text{ПММ}}, \quad (8)$$

де $U_{\text{пл.}}$ – планований на встановлений період часу Δt наліт авіаційної частини.

Вираз (8) характерний для детермінованих процесів, коли точно відомо, що величини, які складають праву і ліву частини нерівності, при реалізації плану залишатимуться незмінними по відношенню до їх прогнозованих значень. Хоча насправді відносно процесів льотної підготовки це далеко не так. Величини, що входять як до правої, так і до лівої частини нерівності (8), при реалізації плану льотної підготовки можуть змінюватися. Так, унаслідок випадкового характеру зміни погодних умов, інших чинників, що впливають на організацію польотів, об'єм місячних планів по нальоту може коригуватися істотним чином. Також можливі відхилення і від запланованого графіку постачання авіаційного палива з вини залізниці.

Тобто процес забезпечення авіаційної частини авіаційним паливом носить випадковий характер. І застосовуючи для формалізації обмеження за перепускною здатністю аеродромної системи ПММ детерміновані підходи, особа, яка планує льотну підготовку, стикається з ризиком зриву виконання завдань льотної підготовки за недостатнім обсягом поставленого авіаційного палива. З метою врахування даних факторів ризику під час планування нальоту доцільно перейти до імовірнісної моделі перепускної здатності системи ПММ. Кількісно така модель виражається як ймовірність гарантованого забезпечення авіаційним паливом запланованого нальоту.

Для оцінки величини даної ймовірності також як і для оцінки технічного стану системи ПММ використовуємо модель багатоканальної системи обслуговування з відмовами. При цьому під каналом обслуговування розумітимемо ту кількість авіаційного палива, яка необхідна для виконання однієї години нальоту на даному типі АТ. Кількість таких каналів залежить від технічного стану системи ПММ і визначається як

$$m_{\text{ПММ}} = \frac{\bar{p}v_1\gamma}{C_{\text{Г}}\varphi}. \quad (9)$$

Потік заявок в даному випадку – це кількість льотних годин, які плануються в авіаційній частині протягом встановленого періоду часу

$$\lambda_{\text{пл.}} = \frac{U_{\text{пл.}}}{\Delta t}. \quad (10)$$

Інтенсивність обслуговування потоку заявок тут інтерпретуватиметься як інтенсивність доставки палива в частину, яка вимірюється як кількість порцій палива по одній годині нальоту кожна, що припадає на одиницю астрономічного часу. Обчислення значення інтенсивності обслуговування можна здійснити за допомогою виразу (7).

Тоді ймовірність зриву польотів за відсутністю достатньої кількості палива в аеродромній системі ПММ можна інтерпретувати як ймовірність відмови в обслуговуванні заявки, що ввійшла до системи. Відмова в обслуговуванні відбувається, коли всі канали обслуговування зайняті. Величина даної ймовірності оцінюється за допомогою вже використаних формул Ерланга. Для даного випадку вони матимуть наступний вигляд

$$\bar{P}_{\text{ПММ}} = \frac{\left(\frac{\lambda_{\text{пл.}}}{u_{\text{ПММ}}}\right)^{m_{\text{ПММ}}}}{m_{\text{ПММ}}!} P_0, \quad (11)$$

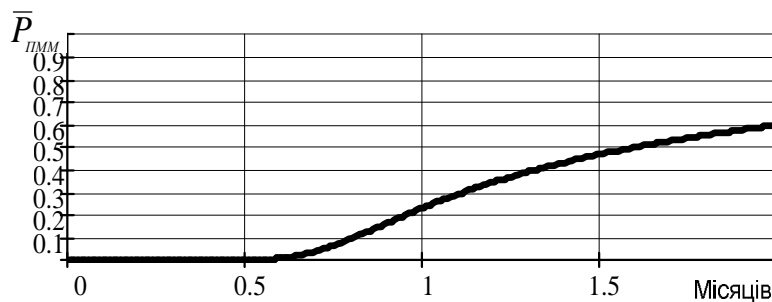


Рис. 2. Ймовірність зриву польотів за відсутністю палива залежно від періодичності його постачання

Як видно, для заданих режиму польотів і технічного стану системи ПММ прийнятний графік постачання палива до авіаційній частині передбачає поставку 60 т палива через кожні 0,5–0,7 місяця або два-три тижні.

Таким чином, запропонована математична модель технічного стану і перепускної здатності аеродромної системи ПММ дозволяє здійснювати підтримку процесів прийняття рішень керівним складом авіаційних частин під час планування льотної підготовки на рік з врахуванням ризиків зриву запланованого нальоту за недостатнім обсягом авіаційного палива.

Дана модель може бути використана для формалізації математичних процедур прийняття рішень,

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{m_{\text{ПММ}}} \frac{\left(\frac{\lambda_{\text{пл.}}}{u_{\text{ПММ}}}\right)^i}{i!}}. \quad (12)$$

Тут ймовірність P_0 інтерпретується як ймовірність простою аеродромної системи ПММ за відсутності польотів в той час, як всі ємкості системи ПММ заповнені.

Ймовірність гарантованого забезпечення запланованого нальоту $U_{\text{пл.}}$ достатньою кількістю авіаційного палива протягом встановленого періоду часу Δt може бути оцінена як

$$P_{\text{ПММ}} = 1 - \bar{P}_{\text{ПММ}}. \quad (13)$$

В якості ілюстрації, що показує характер роботи моделі перепускної здатності аеродромної системи ПММ, розглянемо наступний приклад.

Хай розмір партій постачання авіаційного палива в авіаційну частину складає 60 тон, інтенсивність польотів – 1000 годин на місяць, ємність системи ПММ 150 м^3 і годинна витрата палива при виконанні польотів на даному типі АТ – 3000 кг/г .

На рис. 2 показаний характер змінення величини ймовірності зриву польотів за відсутністю достатньої кількості авіаційного палива залежно від періодичності його постачання, яке вимірюється в місяцях.

побудованих на основі постановки задач математичного програмування (оптимізації).

При цьому для зручності вирішення таких задач, для економії обчислювального ресурсу ЕОМ за рахунок виключення з обчислювальних алгоритмів процедур узяття функції факторіалу, що використовується у виразах (11) – (12), доцільно використовувати апроксимуючу функцію.

Вигляд апроксимуючого виразу для обчислення величини ймовірності гарантованого забезпечення паливом запланованого обсягу нальоту з врахуванням результатів, приведених в [7], має вигляд

$$P_{\text{ПММ}} = 1 - e^{-\left(\frac{m_{\text{ПММ}}}{\rho}\right)^{1,25}}, \quad (14)$$

$$\rho = \frac{\lambda_{\text{пл.}}}{\psi_{\text{ПММ}}}. \quad (15)$$

Вирази (11) – (13) або (14) – (15) є моделлю обмежень щодо перепускної здатності системи ПММ, де використовується імовірнісний підхід. При цьому підході дане обмеження представляється або як рівень ризику зриву польотів авіаційної частини в запланованому обсязі унаслідок недостатньої перепускної здатності системи ПММ, або у вигляді зворотної величини – ймовірності гарантованого забезпечення паливом запланованого обсягу нальоту. Дані величини в запропонованій моделі оцінюються залежно від технічного стану системи ПММ і параметрів організації постачання авіаційного палива до авіаційної частини.

Висновки

Технічний стан системи ПММ визначається як середня кількість справних ємностей системи, яка оцінюється на підставі математичної моделі експлуатації системи ПММ, де в якості параметрів керування використовуються параметри організації роботи підрозділів служби ПММ і матеріально-технічного забезпечення запланованих заходів з експлуатації системи ПММ.

Отримані результати можуть бути використаними для обґрунтування вибору основних параметрів щодо організації роботи основних підрозділів і підрозділів забезпечення авіаційної частини при плануванні льотної підготовки на рік, а також для побудови спеціального математичного забезпечення для автоматизованих систем планування і організації льотної підготовки в авіаційних частинах Повітряних Сил Збройних Сил України.

Список літератури

1. Автоматизированная система управления работой авиакомпании. – СПб.: ТОВ «Мираж», 2006. – 43 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.mirag.spb.ru>.
2. ИС предприятие-8. Управление производственным предприятием. Концепция и обзор методических решений. – М., фирма «ИС». – 2004. – 66 с.
3. Рутенберг Б. Автоматизация планирования проектов с помощью параметрического моделирования в системе T-FLEX CAD / Б. Рутенберг // САПР и графика. – 2004. – № 11.
4. Шапиро Дж. Моделирование цепи поставок: пер. с англ. / Дж. Шапиро. – СПб., Питер, 2006. – 720 с.
5. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.
6. Никифоров А.В. Модель прогнозирования состояния парков авиационной и специальной техники при проведении полётов в авиационной части / А.В. Никифоров // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: XV ПС, 2009. – Вип. 3 (21). – С. 27-31.
7. Никифоров А.В. Модель ограничений при инженерно-авиационном и аэродромно-техническом обеспечении полётов в авиационной части / А.В. Никифоров // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: XV ПС, 2009. – Вип. 1 (19). – С. 34-38.

Надійшла до редколегії 21.01.2010

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук співр. О.Б. Леонтьєв, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ АЭРОДРОМНОЙ СИСТЕМЫ ПРИЁМА, ХРАНЕНИЯ И РАЗДАЧИ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА

И.А. Романенко, В.В. Сидаш, А.В. Никифоров

Предложена модель прогнозирования технического состояния и ограничений по пропускной способности аэродромной системы ГСМ при годовом планировании лётной подготовки в авиационных частях. Модель ограничений рассматривается как вероятность гарантированного обеспечения запланированного объёма налёта достаточным количеством авиационного топлива в зависимости от технического состояния системы ГСМ и параметров организации процесса поставки в авиационную часть авиационного топлива.

Ключевые слова: процесс принятия решения, формализация, модель состояния, критерий оптимальности.

MODEL OF PROGNOSTICATION OF THE TECHNICAL STATE AND CARRYING CAPACITY OF THE COMMUTER SYSTEM OF RECEPTION, STORAGE AND DISTRIBUTION OF FUEL

I.A. Romanenko, V.V. Sidash, A.V. Nikiforov

The model of prognostication of the technical state and limitations is offered on the carrying capacity of the commuter system of FGM at the annual planning of flying preparation in air-units. The model of limitations is examined as probability of the assured providing of the planned volume of raid of fuel an enough body depending on the technical state of the system of GSM and parameters of organization of process of delivery in the air-unit of fuel.

Keywords: decision-making process, formalization, model of the state, criterion of optimality.