**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

На правах рукопису

МУСТАФА Абдул Салям МУСТАФА

УДК 629.735.083

**Вдосконалення системи матеріально-технічного постачання процесу технічного обслуговування на основі аналізу надійності парку ПС авіакомпанії**

Спеціальність 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ - 2008

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Основним фактором підвищення ефективності експлуатації основного виробництва цивільної авіації (ЦА) є забезпечення справності й зниження простоїв повітряних суден (ПС) протягом усього життєвого циклу.

В рішення цих завдань матеріально-технічному постачанню (МТП) приділяється визначальна роль у частині своєчасного й номенклатурного забезпечення запасними частинами, агрегатами, системами та матеріалами при експлуатації авіаційної техніки (АТ).

Забезпеченню авіаційної техніки запасними частинами постійно приділяється велика увага. Це пояснюється тим, що створити абсолютно надійний об'єкт неможливо й для підтримки його в працездатному стані завжди потрібні запасні частини. Вони необхідні для усунення випадкових відмов і заміни елементів, що зношуються і виробили свій ресурс. Це вимагає координації процесів МТП і експлуатації в цілому із планом логістичної підтримки діяльності авіакомпанії й, зокрема, із планом технічного обслуговування (ТО).

У цивільній авіації Іраку практично відсутня комплексна автоматизована система управління матеріально-технічним постачанням процесів технічного обслуговування і ремонту повітряних суден (АСУ МТП ТОіР ПС), яка б використовувала нові сучасні методи логістики, керування й прогнозування технічним станом (ТС) АТ у сфері МТП.

У цей час більшість авіакомпаній переходить від централізованої планової економіки до ринкових відносин, тому для реалізації головної мети й основних завдань системи матеріально-технічного постачання ТОіР парку ПС авіакомпаній у сучасних ринкових умовах необхідно широке застосування нових принципів, форм і методів роботи. Для цивільної авіації Іраку це в першу чергу проблема підвищення ефективності керування системою технічної експлуатації ПС шляхом оптимізації процесу матеріально-технічного постачання ТОіР парку ПС авіакомпанії й впровадження більше раціональних схем керування МТП ТО ПС на базі сучасних інформаційних технологій.

Проведені дослідження базуються на сучасній методології оптимізації складних економетричних систем, сформульованих й розвинутих у роботах Е.Ю. Барзиловича, Ю.А. Бєляєва, Б.В. Гнеденко, О.О. Комарова, В.М. Лагуткіна, Л Б Миротіна., Ю.І. Палагіна, Н.У. Прабху, Ю.И. Рижикова, Н.Н. Смірнова, І.А, Ушакова, Е.А. Хруцкого, Р. Барлоу, Ф. Прошана і багатьох інших.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в рамках держбюджетних тем: 146-ДБ04 "Розробка методів визначення ресурсних показників та прогнозування залишкового ресурсу високонавантажених технічних систем за критеріями пошкоджуваності" (№0104U003743) та 387-ДБ07 "Розробка автоматизованої системи аналізу надійності парку авіаційної техніки та розробка пропозицій по збереженню льотної придатності повітряних суден згідно стандартів ІКАО" (№0107U002740).

Дисертаційна робота виконана відповідно до програми розвитку авіаційного транспорту Іраку. Окремі методичні розробки автора можуть бути використані в інших авіаційних структурах Іраку й країн Близького Сходу.

**Мета і завдання дослідження**

Метою дисертаційної роботиє вдосконалення системи матеріально-технічного постачання процесу технічного обслуговування на основі аналізу надійності парку ПС авіакомпанії та оптимізації процесів системи МТП.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні **завдання:**

• аналіз сучасного стану матеріально-технічного постачання процесів технічного обслуговування ПС в авіакомпанії;

• аналіз надійності й ресурсного стану ПС в експлуатації (аналіз зміни стану авіаційних систем у процесі їхньої експлуатації);

• удосконалення методики розрахунку норм витрат запасних частин і комплектів запчастин в авіакомпанії;

• удосконалення моделей автоматизованого формування потреби матеріально-технічних засобів авіакомпанії;

• розробка методу оптимізації номенклатури та кількості запасних елементів на основі максимізації ймовірності безвідмовної роботи при обмеженій сумі фінансування;

• удосконалення методу оптимізації рівнів запасів і формування оптимального розміру замовлення комплектуючих виробів АТ;

• розробка методу довгострокового планування процесів експлуатації та ремонту складних технічних виробів АТ на прикладі авіаційних двигунів для керування їхніми замовленнями й поставками в авіакомпанії;

• розробка структури й інформаційного забезпечення системи керування МТП парку ПС авіакомпанії.

**Об'єктом дослідження** є система матеріально-технічного постачання процесу технічного обслуговування авіаційної техніки.

**Предметом дослідження** є процес матеріально-технічного постачання авіаційної техніки.

**Методи дослідження.** Виконані в дисертаційній роботі дослідження базуються на теорії масового обслуговування, теорії надійності, теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії керування запасами, теорії марковських процесів, методах оптимізації і їхнього застосування в задачах планування й керування, практиці технічної експлуатації цивільних ПС.

**Наукова новизна отриманих результатів** складається в розробці:

* моделі поставок запасних елементів на основі максимізації ймовірності безвідмовної роботи при експонентному та нормальному розподілах часу між відмовами при обмеженій сумі фінансування;
* методу довгострокового планування замовлень і поставок дорогих виробів на основі методів імітаційного моделювання процесів життєвого циклу складних технічних систем на прикладі авіаційних двигунів (АД) з використанням марковських процесів;
* удосконалених моделей формування потреби в запасних частинах для складних структурованих систем;
* удосконалених моделей оптимізації рівнів запасів і формування оптимального розміру замовлення комплектуючих виробів на основі методів теорії масового обслуговування.

**Практичне значення отриманих результатів складається в розробці**:

* + - структури й інформаційного забезпечення системи керування МТП парку ПС авіакомпанії;
    - алгоритмів і програм прогнозування потреби в запасних частинах на основі даних про відмови й наробітки парку ПС у рамках системи «Надійність ПС»;
    - раціональної системи постачання запасними частинами при обмеженій сумі фінансування, що забезпечує максимальну ймовірність безвідмовної роботи.

Основні виводи й рекомендації, отримані в роботі, можна використати при розробці державної програми в області вдосконалення авіатранспортної системи Іраку в частині матеріально технічного постачання.

**Особистий внесок здобувача.** Здобувачем виконаний аналіз сучасного стану матеріально-технічного постачання в системі ТО ПС, обґрунтовані методи переходу цивільної авіації Іраку на раціональну систему постачання запасними частинами [1], розроблені методики розрахунку комплектів запасних частин, розроблені методи формування потреби в запасних частинах взамін виробів, що відмовили, і виробів, що виробили ресурс, розроблені процедури оптимізації процесів матеріально технічного постачання [1, 3, 4, 5, 6], розроблена методика довгострокового планування постачання авіаційних двигунів [2, 7].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на семінарах і науково-технічних конференціях: VII Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2006» (Київ, 2006р.), VIII Міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2007» (Київ, 2007р.) і XII Міжнародному конгресі двигунобудівників (Харків -Рибаче, 2007р.), піврічних семінарах кафедри авіаційних двигунів. Дисертаційна робота в цілому обговорювалася на розширеному науковому семінарі кафедри АД (03.04.2008).

**Публікації.** По темі дисертації опубліковано 7 друкованих праць, 5 з яких у наукових журналах, що входять у перелік ВАК України та 2 публікації за матеріалами доповідей на науково-технічних конференціях.

**Структура дисертації**. Дисертація складається із вступу, п’яти розділів і виводів. Повний обсяг дисертації 219 сторінок, 57 рисунків, 8 таблиць. Список використаних джерел з 142 найменувань на 11 сторінках.

**ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** розкриті сутність і стан наукової проблеми, обґрунтована актуальність, сформульовані мета й завдання досліджень, а також визначена новизна й практична цінність отриманих результатів. Вказані результати апробації й публікації з розкриттям особистого внеску здобувача.

**У першому розділі** описанізагальні відомості, мета й основні завдання системи матеріально-технічного постачання авіакомпанії, аналіз технологічного процесу, роль запасів матеріальних ресурсів, основні види запасних частин. Особлива увага приділяється оборотним запасним частинам, що мають серійний номер, особливості йструктура системи керування запасами.

Видача через склад матеріальних цінностей

Спостереження за рівнем запасів матеріальних цінностей і забезпечення обліку майна

Організація приймання на складах всіх матеріальних цінностей, що надходять в авіакомпанії

Одержання й транспортування з базисного територіального складу ОМТП або інших постачальників майна й матеріалів

Укладення договорів з територіальними органами МТП або постачальниками поставщиками

Визначення потреби авіакомпанії в

авіаційно-технічному майні

Рис. 1. Укрупнений склад технологічного процесу відділу МТП авіакомпанії

Головними напрямками в роботі системи матеріально технічного постачання в авіакомпанії є забезпечення якісного визначення потреби в авіаційно-технічному майні у встановлений термін і створення необхідних запасів запасних частин і агрегатів в авіакомпанії і на головній авіаційній базі постачання.

Характер виробничого процесу матеріально-технічного постачання впливає на склад технологічного процесу що входить до нього (рис. 1).

**У другому розділі** проведений аналіз сучасного стану проблеми, аналіз і контроль надійності ПС в експлуатації й принципи організації МТП у процесі технічної експлуатації паркуПС**.** При рішенні завдань надійності необхідно забезпечити задані показники надійності з найменшими витратами. За основні показники надійності систем (агрегатів), які потрібно поліпшити за рахунок використання запасних частин (ЗІП), скомплектованими залежно від призначення й особливостями використання ЗІП необхідними для технічного обслуговування й ремонту, можуть бути взяті: імовірність безвідмовної роботи (ІБР), коефіцієнт готовності, наробіток на відмову, К1000, гамма-процентний строк експлуатації, тощо.

Удосконалювання авіаційної техніки й методів її обслуговування в наш час неможливо без систематичного аналізу зміни стану надійності авіаційних систем у процесі їхньої експлуатації. Одним з важливих напрямків підвищення надійності ПС у процесі експлуатації є збір і обробка інформації про відмови й несправності систем і комплектуючих виробів ПС для подальшого їхнього аналізу й розробки заходів щодо запобіганню відмов і несправностей. Контроль і оцінка надійності в цих системах передбачають єдину систему збору й обробки інформації про відмови й несправності АТ

Основним змістом заходів, спрямованих на підтримку льотної придатності ПС, є **комплекс робіт з технічного обслуговування (ТО) і ремонту авіаційної техніки** в процесі експлуатації. Це пов'язане з переходом від статичних (жорстких) до динамічних (гнучких) форм керування процесами технічного обслуговування й ремонту літаків. Зростає роль поточної інформації про зміну умов експлуатації й технічного стану парку літаків авіапідприємства в системі керування технологічними процесами.

Досвід формування систем ТОіР ПС, включаючи основні принципи МТП у системі ТОіР відпрацьовані на таких авіафірмах як ***Воеing***і ***Аirbus***дозволяє визначити загальні положення МТП у системі ТОіР ПС необхідні для організації й виконання ТОіР ПС у процесі технічної експлуатації, включаючи рекомендовані форми, документального, матеріального й технічного забезпечення в системі ТОіР даного типу ПС і розрахункові норми й умови такого забезпечення.

У загальному випадку МТП у системі ТОіР ПС повинна включати наступні модулі (мал. 2):

Експлуатаційно -технічна

документація

Програма

ТОіР

Засоби

ТОіР

Інженерно-технічний

персонал

Об’ект ТОіР

(ЕТХ об’єкта)

Виробничо технічна база

**Матеріально- технічне постачання ТОіР ПС**

Зобов’язення

Поставщика й

Експлуатанта

Забезпечення

ЗТО ТОіР

Забезпечення

ЗІП

Організаційні

структури

МТП

**Ефективність системи ТОіР**

Забезпечення

документацією

ТОіР

**Система ТОіР типу ПС**

Рис. 2. Структура МТП у системі ТОіР

* зобов'язання постачальника й експлуатанта;
* забезпечення експлуатанта засобами технічного обслуговування (ЗТО), до складу яких входять: засоби наземного обслуговування (ЗНО) і контрольно-перевірочна апаратура (КПА), інструменти й засоби експлуатаційного ремонту для ТОіР;
* забезпечення експлуатанта запасними частинами (ЗІП);
* забезпечення документацією для ТОіР;
* організаційні форми забезпечення МТП

**Третій розділ присвячений** особливостям планування МТП і розробці методики розрахунку норм витрат та комплектів запасних частин, а такожоцінці ефективності рівня організації постачання авіакомпанії.

Від якості планування матеріально-технічного постачання залежить успіх виконання плану виробництва авіакомпанії. В основі якості розробки плану постачання лежать два фактори: правильність визначення потреби в кожному виді матеріальних засобів і правильний розподіл ресурсів по споживачах. Потреба в матеріальних засобах, необхідних для забезпечення експлуатаційних і ремонтних процесів авіакомпанії, визначається за нормами витрати на наліт годин, на число посадок і ремонтів ЛА за формулою



де  – норма витрат в експлуатації на 100 г нальоту літаків даного типу;

 – плановий наліт годин у плановому році на даному типі літаків;  – норма витрати на один капітальний ремонт;  – загальне число капітальних ремонтів літаків (авіадвигунів) даного типу.

У загальному вигляді планова потреба в кожному виді нормованих матеріально-технічних засобів, що підлягають включенню в план-замовлення на майбутній плановий рік визначається формулою

,

де  – розрахункова потреба в даному виді матеріально-технічних засобів на плановий період; *ЗПеР* – перехідний запас на початок планового періоду (року);  – очікувана наявність на початок планового року;  – ціна одного предмета даних матеріально-технічних засобів.

Основними показниками для складання плану-замовлення й постачання авіаційними двигунами є дані про потреби в них авіакомпаній і джерела покриття цієї потреби



де  – число літаків, які будуть літати в плановому періоді; *Д* – число двигунів на одному літаку; д – наробіток, що приходиться на один двигун (моторне гніздо) протягом планового періоду; *Р*Д – ресурс двигуна, встановлений промисловістю для даного типу, г; *Оф* – оборотний фонд двигунів, установлений для даного типу двигуна, шт.; *ОН* – очікувана наявність двигунів у даній авіакомпанії (які зберігаються на складах і передбачувані до надходження з ремонтних підприємств), шт.

В основу визначення номенклатури запасних частин покладений інженерний аналіз рівня витрати запасних частин.

Рівень витрати за період експлуатації *ЕR* визначається сукупністю параметрів (), де *R* – норма витрати, *T* – очікувана середня інтенсивність експлуатації (годин нальоту) одного літака за планований період, *N* – кількість літаків, які будуть експлуатуватися протягом планованого періоду.

Потрібна кількість запасних частин кожної номенклатури в загальному випадку визначається за формулою:

*,*

де *R* – норма витрати запасних частин (для планових, позапланових замін), розрахована на інтервал в 100 годин нальоту, [ ] – ціла частина числа.

Ефективність виконання плану по МТП визначається за формулою



де  – потреба в матеріальних засобах на плановий період; – фактично поставлено матеріальних засобів для забезпечення авіакомпанії в плановому періоді.

Важливим є також показник зниження простоїв літаків через відсутність запасних частин і агрегатів з вини МТП



де  – плановий наліт годин;  – фактичний наліт годин.

Узагальнений коефіцієнт ефективності МТП визначається як середньоарифметичне значення приватних показників.



де  – коефіцієнт ефективності виконання плану МТП;  – коефіцієнт ефективності якості плану постачання;  – коефіцієнт ефективності запасів;  – коефіцієнт рівня механізації;  – коефіцієнт організації зберігання;  – коефіцієнт ремонту агрегатів;  – коефіцієнт забезпеченості нормами витрати;  – число коефіцієнтів.

**У четвертому розділі** розроблені інженерні методикипостачання (забезпечення) парку ПС авіакомпанії запасними частинами на основі формування оптимального розміру замовлення комплектуючих виробів, раціонального вибору резервних елементів повітряних суден авіакомпанії при обмеженій сумі фінансування, методи оптимізації системи постачання запчастинами для забезпечення заданої ймовірності безвідмовної роботи й метод оптимізації рівнів запасів.

В експлуатаційній практиці для оцінки й підтримки незнижуваних запасів комплектуючих виробів використовують різні моделі формування потреби в запчастинах. Найбільш часто в цих цілях використовують імовірнісні моделі, які базуються на даних про відмови й несправності авіаційної техніки за попередній період експлуатації, а також даних про залишки ресурсів і планованому нальоті на прогнозований період. Найбільш обґрунтованими й пристосованими до прийнятої системи обліку наробітків і відмов АТ в авіакомпанії є дві моделі.

**Модель 1** заснована на використанні розподілу Пуассона шляхом порівняння спостережуваного числа відмов  з верхньою границею регулювання (ВГР), що представляє собою припустимий рівень надійності. Спостережуване число відмов у певні інтервали часу має випадковий характер від нуля до ВГР. Значення верхньої границі регулювання визначається з використанням розподілу Пуассона. ВГР визначає із прийнятою ймовірністю  верхню межу відмов *п* = ВГР, що не буде перевищений із заданою ймовірністю  при наявності одних лише випадкових причин:



де *T* – наліт парку літаків; *a* – число однотипних виробів на літаку;  – запланований параметр потоку відмов; – імовірність того, що число відмов не перевищить верхньої границі регулювання.

На рис 3. приводяться монограми кількості виробів, що не перевищують верхню границю регулювання із заданою ймовірністю Pзад = 0,975 для різних прогнозованих параметрів потоку відмов  і числа однотипних виробів  від наробітку виробу T.

**Модель 2** заснована на оцінці кількості запасних елементів, необхідних для забезпечення експлуатації виробу на заданому інтервал , при досить великому інтервалі експлуатації в порівнянні із середнім часом між відмовами.



де *m(t)* *–* кількість запасних елементів,  – квантиль нормального розподілу для ймовірності, рівної ,  – середній час між відмовами, – дисперсія часу між відмовами, *t* – сумарний наробіток.

На рис. 4. приводяться монограми кількості запасних елементів залежно від імовірності  при математичному очікуванні й середньому квадратичному відхиленні часу між відмовами рівними .

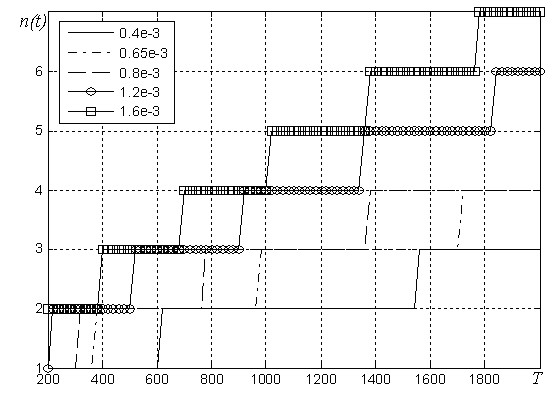


Рис. 3. Кількість виробів, що не перевищують верхню границю регулювання з імовірністю Pзад = 0,975 для різних значень параметра потоку відмов (модель 1)

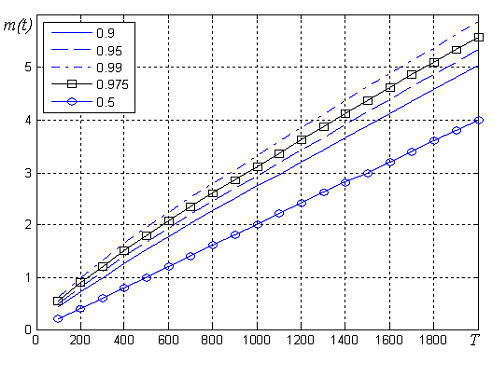


Рис. 4. Залежність необхідного числа виробів взамін тих що відмовили гарантуючу задану ймовірність замін (модель 2)

Загальна постановка задачі по забезпеченню запасними елементами може бути сформульована в такий спосіб: нехай відомо середнє число відмов  та вартість відновлення  кожного *i-го* елемента, що працює у системі протягом часу *t*i . З огляду на те, що кількість запасних частин повинна бути не менше кількості відмов, визначення кількості запасних елементів одного типу зводиться до знаходження  з рівняння

 .

Число запасних елементів можна також знайти за наближеною формулою

.

Необхідно визначити кількісний склад ЗІП для максимально можливої ймовірності безвідмовної роботи 1-α функціонування технічної системи протягом часу *t.* Кількість запасних елементів визначається з урахуванням обмеження

,

де *mi* – число запасних елементів *i-*го типу, *ci* – вартість одного елемента *i-*го типу, *C* – виділені кошти для закупівлі запасних елементів.

При цьому формулу для максимізації ймовірності безвідмовної роботи у випадку нормального закону можна представити у вигляді

,

де  – середній наробіток на відмову *j-го* елемента, – дисперсія наробітку на відмову, *t* – сумарний наробіток, [ ] – ціла частина числа.

В рівнянні потрібно знайти таке максимальне значення квантиля розподілу  (і, отже, ІБР) при якому задовольняється нерівність. Слід зазначити, що мінімальна кількість коштів, які виділяються для закупівлі запасних елементів повинна бути не менше вартості середнього числа елементів, що відмовили за зазначений період , тобто

.

На рис. 5, як приклад, приводиться оптимальна планована кількість запчастин кожного -го типу, їх максимально можливі ймовірності безвідмовної роботи та сумарні вартості комплектів однотипних запасних частин для нормального () і експонентного () розподілів (Пуассонівського потоку відмов) при попередньо заданих середній кількості відмов і вартості елементів за базовий період і граничної суми фінансування в розмірі *C* = 190000 у.o..



*а*



*б*

Рис. 5. Максимізація ймовірності безвідмовної роботи ПС на основі раціонального вибору резервних елементів при обмеженій сумі фінансування: а- для нормального розподілу часу до відмови; б - для пуассонівського потоку відмов

Для складно структурованих систем при розрахунку ІБР найбільш часто використаються методи структурних, логічних схем і схемно-функціональний метод. Ці методи можна використати й у задачах оптимізації системи постачання запасними частинами, застосовуючи схему резервування заміщенням. У цьому випадку при відмові елемента системи, що складається з  – елементів, кожний елемент замінюється новим з такими ж характеристиками надійності, як і вихідний елемент. Формула розрахунку ймовірності безвідмовної роботи для схеми з *m* – кратним ненавантаженим резервом має вигляд



Для прикладу, ІБР паливної системи літака  можна розрахувати методом логічних схем за формулою

де  – імовірності здійснення *i-*их подій (відмов).

Якщо прийняти за інтервал прогнозування г., а в якості граничної ІБР –, то, на підставі статистичних даних значень інтенсивності відмов елементів паливної системи літака номера доданих елементів у порядку максимальної зміни ІБР розташовуються в такий спосіб

[7, 1, 1, 2, 1, 7, 2, 1].

При цьому ІБР системи послідовно приймає значення наведені на рис. 6 а). При загальному числі запасних частин рівних , кількість доданих елементів по типам дорівнює

[4, 2, 0, 0, 0, 0, 2, 0].

Якщо в розрахунках ІБР паливної системи використати схему послідовного, у змісті надійності, з'єднання елементів то зазначені послідовності номерів доданих елементів у порядку максимальної зміни ІБР та їх графік (рис. 6 б) приймуть вигляд

[1, 2, 5, 6, 4, 1, 7, 1, 2, 5, 6, 4, 8, 1, 7, 2, 5, 6, 1].



*а*



*б*

Рис. 6. Зміна ІБР паливної системи літака при: а- схемному та б- послідовному з'єднанні

У процесі поставки запасних частин виникає задача оптимізації розміру замовлення й частоти поставок у вигляді окремих комплектів для мінімізації витрат на їхню доставку й зберігання, яку можна виразити в наступному вигляді:

,

де *C* – ціна одиниці виробу, що замовляється*;* Z - витрати на утримання (збереження) одиниці запасу, $./шт.; *Q* – розмір замовлення, шт.; *S* – потреба в товарно-матеріальних цінностях за певний період, шт.; *А* – вартість подачі одного комплекту замовлення, $.

Розрахунок оптимального розміру замовлення *Q*\* виконується за формулою:



Схема визначення оптимального (економічного) розміру замовлення приведена на рис 7. Точка повторного замовлення:



де *N* – число робочих днів у періоді; *L* – термін одержання замовлення

Інтервал часу між замовленнями:



Як показують практичні розрахунки при оптимальних обсягах партій і періодичності замовлень витрати на замовлення приблизно дорівнюють витратам на зберігання

*Q\**

Витрати на зберігання хранения

*IQ/2*

Ціна подачі замовлення

*SA/Q*

Розмір замовлення

Витрати

Сумарні витрати (точка

економічного замовлення)

Рис. 7. Оптимальний розмір замовлення (економічний розмір замовлення)

Якщо продукція поставляється від одного виготовлювача або географічного місця (міста), то функціонал можна представити у вигляді:



де *А* – вартість оформлення замовлення на *i-й* вид продукції *D* – вартість доставки одного комплекту замовлення.

Оптимізація функціонала здійснюється одним із чисельних методів мінімізації функцій багатьох змінних. При цьому необхідно також ураховувати різні інтервали часу між замовленнями окремих видів продукції.

Важливим завданням експлуатації АТ є розрахунок відновлюваного ЗІПа, де з метою мінімізації простою літака несправний агрегат негайно заміняється взятим із ЗІПа, а сам направляється в ремонт. Відремонтований агрегат поповнює собою ЗІП. Недостатність ЗІПа збільшує простої літака, а надлишковий ЗІП омертвляє значні кошти й вимагає витрат на зберігання виробів. Подібна схема широко застосовується при експлуатації АТ великого авіапідприємства, що має велику кількість однорідних агрегатів. Класичним підходом до рішення цієї задачі керування запасами є застосування методів теорії масового обслуговування, зокрема, для моделі з відмовами *M/M/1/S*. Потреба у виробу розглядається як заняття каналу, а кожна заявка викликає замовлення на заповнення (ремонт), тривалість (затримка) якого інтерпретується як час обслуговування.

Розв’язком задачі є визначення оптимального обсягу ЗІПа, за формулою:

.

де *h* – ціна зберігання виробу; *d* – ціна простою літака за ту ж одиницю часу (ціна штрафу);  – коефіцієнт завантаження системи відновлення,  – інтенсивність відмов;  – інтенсивність відновлення.

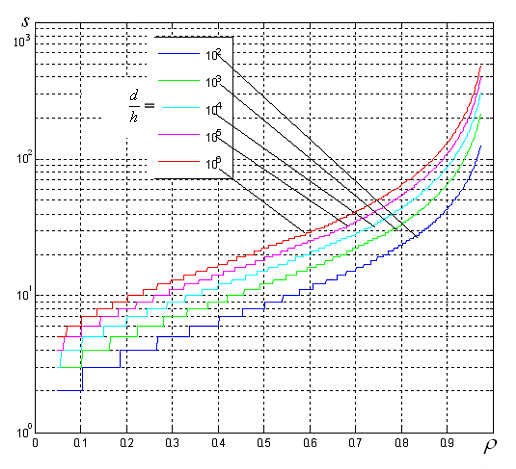


Рис. 8. Залежність оптимального запасу від норми штрафу  й коефіцієнта 

На рис. 8 наведені графіки відношення логарифмів із правої частини формули для коефіцієнтів

завантаження від 0,05 до 0,975 і широкого діапазону норми штрафу  (). Округлення нецілих чисел для одержання оптимального запасу повинне здійснюється в меншу сторону.

Найбільш адекватними методами моделювання процесів експлуатації й відновлення складних виробів, зокрема, парку АД є імітаційні моделі, які засновані на моделюванні подій їх життєвого циклу (рис. 9 і рис. 10)

В найбільш простому вигляді формування парку літаків і двигунів описується наступними балансовими рекурентними співвідношеннями.

**Літаки**: в льотній експлуатації ;

в ремонті 

**Двигуни:** в експлуатації на літаках



де ; , ;

у запасі 

у ремонті 

де  – кількість виробів у момент часу ; *с* – літаки*;* д – двигуни; *в* – планове уведення виробів в експлуатацію; *y* – зняття виробів з експлуатації в зв'язку з виробітком літаками призначеного ресурсу; *р* – надходження виробів у ремонт*; рем* – вироби, що перебувають у стані ремонту; *отр* – відремонтовані вироби; *з* – виробу, що надходять із запасу; *зап* – виробу, що перебувають у запасі; д.*с.*д. – достроково зняті двигуни; д.*в.р.* – двигуни, що виробили міжремонтний ресурс; *сп* – списані вироби; *н* – нові вироби, що поставляють в запас.

В імітаційній моделі відстеження життєвого циклу двигунів здійснюється за чотири етапи: завдання початкових розподілів об'єктів у всіх станах (експлуатації, ремонту, зберігання), просування системного часу й накопичення змін у всіх елементах системи; аналізу змін у кожному елементі; прийняття рішень по кожному елементу системи відповідно до обраної стратегії експлуатації.

Для реалізації цієї стратегії всі стани життєвого циклу планера й двигунів розбиті на *n* внутрішніх станів що відповідають *i-*м значенням наробітку, від початкового до граничного, рівного призначеному ресурсу двигуна.

**Склад**

Виробництво

АД

Списання

АД

Експлуатація

на ПС

Очікування експлуа-тації АД

Зняття АД

по відмові

Тип

ремонту

Транспортування

модуля

Зняття

несправного модуля

Установка

модуля із

запасу

Транспортування

модуля

Ремонт

модуля

Ремонт

АД

**АТБ**

**АРЗ**

Транспортування

АД

Установка

АД із

запасу

Транспор-тування

АД

Зняття АД

по ресурсу

Очікування

ремонту

Очікування

ремонту

Транспортування

АД

Експлуатант АД

Рис. 9. Схема життєвого циклу двигунів

Математичний опис моделей всіх процесів виконаний на базі дискретного марковського ланцюга і має вигляд диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена. Для процесу експлуатації система рівнянь має вигляд



де *λ1(i) і λ2(i)* – інтенсивності виходу / входу (-/+) зі стану експлуатації (Е2) відповідно по ресурсу і по відмові;  - імовірність знаходження в *i*-му стані експлуатації Е2 з наробітком 

Відомості про початковий ресурсний стан парку літаків, двигунів і їхнього наробітку на початок прогнозування, а також темпи зміни нальоту парку, що враховують сезонність коливань за останні два роки отримані в рамках системи експлуатаційної надійності АТ. Один з варіантів такого розрахунку у вигляді щоквартальних та інтегральних характеристик результатів моделювання представлений на рис. 11 і рис 12.

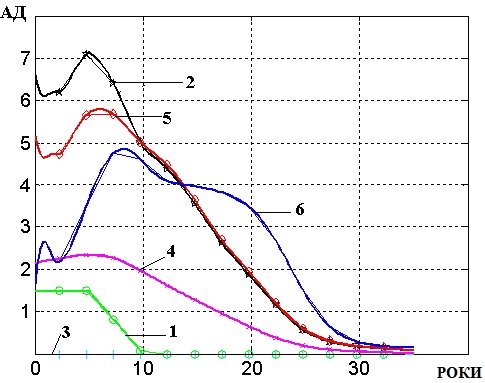


Рис. 11. Щоквартальні характеристики життєвого циклу АД:

*1* – випущено за квартал, *2* – надійшли в експлуатацію за квартал, *3* – очікування ремонту, *4* – достроково зняті двигуни, що надійшли в ремонт за квартал, *5* – у ремонті за квартал, *6* – списано за квартал

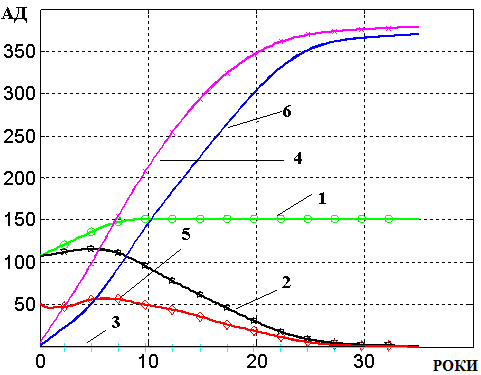


Рис. 12. Інтегральні характеристики

життєвого циклу АД:

*1* – випущено, *2* – в експлуатації, *3* –

чекають ремонту, *4* – пройшли ремонт, *5* – у

ремонті \*10, *6* – списані

**У п’ятому розділі** представлені: опис системи МТП, структурна схема системи інформаційної підтримки матеріально-технічного постачання запасними частинами парку ПС в авіакомпаніях Іраку в рамках системи інформаційного забезпечення процесу технічної експлуатації повітряних суден авіакомпанії та результати прогнозування потреби в запасних частинах на 2008 рік для типів літаків, що знаходяться в експлуатації в Іраку в рамках системи «Надійність ПС».

Автоматизація процесу матеріально технічного постачання забезпечується на основі використання інформаційних ресурсів трьох основних систем інформаційного забезпечення процесу технічної експлуатації повітряних суден авіакомпанії:

* автоматизованої системи (АС) обліку й контролю наробітку й ресурсного стану планера, двигунів, ДСУ й агрегатів ПС, їх рух та зміни стану в експлуатації;
* АС обліку відмов і несправностей, контролю й прогнозування показників надійності виробів АТ(«Надійність ПС»);
* АС матеріально-технічного забезпечення.

АС обліку наробітків забезпечує ведення даних про наробітки основних виробів (планера, двигунів, ДСУ) і агрегатів (комплектуючих виробів) після кожного польоту з метою визначення залишків ресурсів агрегатів і обліку впливу історії експлуатації конкретного ПС на показники надійності парку. Облік наробітків агрегатів ведеться за наробітками основних виробів: планера, двигуна, ДСУ. У системі реалізовані наступні функції: формування БД довідок за рейс (індивідуальний облік наробітків за рейс основних виробів); розрахунок поточних наробітків основних виробів і агрегатів; облік і ведення ресурсів виробів; попередження про критичні залишки ресурсів виробів АТ.

АС обліку відмов і несправностей, контролю й прогнозування показників надійності виробів АТ забезпечує реєстрацію відмов і несправностей основних і комплектуючих виробів ПС, які виявлені в польоті або при проведенні ТО; розрахунок абсолютних і відносних показників надійності систем, підсистем і агрегатів, а також основних виробів (планера, двигунів, ДСУ) і функціональних систем ПС; контроль і прогнозування надійності комплектуючих виробів і функціональних систем; формування потреби в запасних частинах замість виробів, що відмовили.

АС матеріально-технічного забезпечення (МТЗ) призначена для автоматизації ведення складського обліку, інформуванні про надходження запчастин, витратам і наявності матеріальних засобів в авіакомпанії, спостереженні за рівнем незнижуваного запасу й стану річної заявки. У системі повинні бути реалізовані наступні функції: реєстрація складів матеріально-технічного забезпечення й підрозділів АТБ; обробка первинних документів; ведення складського обліку; списки креслярських номерів і величин незнижуваного запасу; прихід і списання устаткування на складах МТЗ; ведення індивідуальної картки виробу; інформування про наявність устаткування на складах МТЗ на поточний момент часу й рівня незнижуваного запасу виробів.

Рішення завдань прогнозування числа відмов виробів і формування потреби в запасних частинах здійснюється в рамках системи «Надійність ПС» для чого використовуються дані про відмови й наробітки парку повітряних суден даного типу. Основною формою збору інформації для статистичного аналізу надійності авіаційної техніки є звіти по відмовах і наробіткам АТ за певний період експлуатації (місяць, квартал).

На рис. 13. приводиться приклад форми завдання для прогнозування числа відмов по літаках ІЛ-76 поквартально та за 2008 р. На рис. 14 - статистика відмов виробів літаків ІЛ-76 за 2006-2007 р. по системах 021. Кондиціювання повітря та 077. Прилади контролю двигуна. Результатом прогнозування по кожному типу авіаційної техніки є список кількості агрегатів, фрагмент якого по системах 021 і 110 на заданий період експлуатації (2008р.) показаний на рис. 15.

Систему МТП ТОіР ПС можна розглядати як специфічний самостійний об'єкт керування. Специфіка її полягає в тому, що, вона має цілком певні характеристики (параметри), безпосередньо пов'язана з об'єктом обслуговування – ПС, і забезпечує підтримку його в необхідній готовності до застосування по призначенню протягом установленого строку в різних умовах експлуатації.

Можна сформулювати наступні принципи організації відпрацьовування системи МТП ТОіР ПС:***централізація керування, економічність, ієрархічність, відносна самостійність. планова послідовність, прогресивність, єдність вимог і оцінок*, *адекватність, методична єдність*.**

**ВИСНОВКИ**

У дисертаційній роботі, на базі виконаних досліджень вирішене науково-прикладне завдання вдосконалення системи матеріально-технічного постачання процесу технічного обслуговування на основі аналізу надійності парку ПС авіакомпанії й оптимізації процесів МТП. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Удосконалено моделі формування потреби в запасних частинах, які базуються на даних про відмови й несправності авіаційної техніки за попередній період, а також даних про залишки ресурсів і планованому нальоті на прогнозований період для оцінки й підтримки незнижуваних запасів комплектуючих виробів ПС.

2. Розроблено модель поставок запасних елементів при обмеженій сумі фінансування на основі максимізації ймовірності безвідмовної роботи при експонентному (пуассонівському потоці) і нормальному розподілах часу між відмовами.

3. Удосконалено модель формування потреби в запасних частинах для складно структурованих систем.

4. Удосконалено модель оптимізації забезпечення запчастинами відновлюваних виробів авіаційної техніки на основі теорії масового обслуговування (MM1/S)

5. Удосконалено метод оптимізації рівнів запасів і формування оптимального розміру замовлення комплектуючих виробів. Оптимальний розмір замовлення дозволяє мінімізувати сукупні витрати на зберігання запасу й повторення замовлення, а також досягти найкращого сполучення взаємодіючих факторів, таких, як використовувана площа складських приміщень, витрати на зберігання запасів і вартість замовлення, а також оптимального інтервалу часу між замовленнями.

6. Розроблено модель керування замовленнями й поставками авіаційних двигунів на основі методів імітаційного моделювання процесів життєвого циклу складних технічних систем на прикладі авіаційних двигунів з використанням марковських процесів, що дозволяє обґрунтувати довгострокові й поточні плани виробництва, ремонту АД й поставок їх експлуатантам відповідно до плану розвитку авіаційних компаній. Розроблено метод прогнозування потреби в АД парку ПС авіакомпанії, заснований на імітаційному моделюванні процесів життєвого циклу двигунів.

7. На підставі виконаного аналізу запропоновані методи планування матеріально-технічного постачання й оцінки ефективності рівня організації постачання авіакомпанії.

8. Удосконалено методики розрахунку норм витрат й комплектів запасних частин в авіакомпанії.

9. Розроблено структуру, список завдань і інформаційне забезпечення системи керування МТП парку ПС авіакомпанії.

10. Розроблено алгоритми прогнозування потреби в запасних частинах на основі даних про відмови й наробітки парку ПС у рамках системи «Надійність ПС».

11. На підставі даних про відмови й наробітки парку ПС отримані результати прогнозування потреби матеріально-технічних засобів паспортизованих виробів літаків Іл-76.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Кучер А.Г., Мустафа А.С. Мустафа. Максимизация вероятности безотказной работы на основе рационального выбора резервных элементов воздушных судов авиакомпании при ограниченной сумме финансирования // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – Вып. 1/48. – С. 93–99.

2. Кучер А.Г., Мустафа А.С. Мустафа. Планирование и прогнозирование потребности в АД парка ВС авиакомпаний // Вісник НАУ. – 2007. – № 3-4. – С. 77–84.

3. Кучер А.Г., Мустафа А.С. Мустафа. Логистика снабжения оптимального размера заказа комплектующих изделий авиационной техники // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – Вып. 4/40. – С. 97–100.

4. Кучер А.Г., Мустафа А.С. Мустафа. Прогнозирование отказов и оптимизация потребности материально-технических средств авиакомпаний // Вісник НАУ. – 2007. – № 1 – С. 107–112.

5. Кучер А.Г., Мустафа А.С. Мустафа. Планирование и обеспечение технологического процесса системы материально-технического снабжения в авиакомпании // вісник НАУ. – 2007. – № 2. – С. 54–60.

6. Кучер А.Г., Мустафа А.С. Мустафа. Автоматизация формирования потребности «материально – технических средств авиакомпании / АВИА-2006: Материалы VII Международной НТК. Киев, 25-27 сентяб. 2006 г. – К.: НАУ, 2006. – Т. 2. – С. 3.136 – 3.139.

7. Кучер А.Г., Мустафа А.С. Мустафа. Модель системы снабжения и формирование потребности в АД парка ВС авиакомпании/ АВИА-2007: Материалы VIII Международной НТК. Киев, 25-27 апреля 2007 г. – К.: НАУ, 2007. – Т. 2. – С. 3.126 – 3.135.