

УДК 629.73

В.В. Ольшанський<sup>1</sup>, Р.В. Лященко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державний науково випробувальний центр, Феодосія

<sup>2</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВНОЇ І РІВНОМІРНОЇ ВИРОБКИ РЕСУРСУ ПАРКА МАНЕВРОВИХ ЛІТАКІВ ЗА ФАКТИЧНОЮ ПОШКОДЖУВАНІСТЮ СИЛОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ

*Розглядається можливість експлуатації маневрових літаків за технічним станом з контроле*

*м фактичної пошкоджуємості конструкції планера за реєструємими засобами об'єктивного контролю параметрам польоту. Розробка типової методики розрахунку темпу виробки ресурсу планера маневрових літаків відкриває можливість для створення необхідних програм автоматизованої обробки польотних даних з метою максимального використання призначеного ресурсу. Це дозволить експлуатувати створюємі літаки за технічним станом (у відношенні планера) з моменту виготовлення.*

**Ключові слова:** ресурс, навантаження, фактична пошкоджуємість, технічний стан, умовний наліт.

### Вступ

Визначення та продовження ресурсу конструкції являє собою складну інженерну задачу, початковими даними якої являються спектр зовнішніх навантажень та характеристики витривалості найбільш слабких у відношенні втомлювальної міцності частин планера. Вочевидь величина навантажень та їх повторюваність залежить від характеру польотного завдання. Наприклад, одна година нальоту літака ЛІ-39 на вищій пілотаж по пошкоджуємості еквівалентна 279 годинам при

польотах по маршруту [1]. Тому до початку ескізного проектування замовник розробляє типові профілі – сукупність режимів польоту, які з прийнятною вірогідністю відображають умови майбутньої експлуатації літака. На їх основі розробник літака визначає закони розподілення навантажень, проводить втомлювальні випробування окремих агрегатів (вузлів) і встановлює йому призначений ресурс [2], який потім уточнюється на підставі статистичних даних про повторюємість навантажень у процесі масової експлуатації.

## Основна частина

Вивчення повторюваності навантажень, діючих на конструкцію літака, може бути поділено на 3 етапи [3]:

Перший етап охоплює збір інформації по повторюваності навантажень при льотних міцностних випробуваннях літаків. На цьому етапі виконуються випробувальні польоти, режими яких звичайно віддалені від тих, які в подальшому будуть типовими для даного літака. Але і цей етап є джерелом досить корисної інформації по повторюваності навантажень, цінність яких підвищується тією обставиною, що вона являється найбільш ранньою і, отже, може бути врахована ще до початку серійного виробництва літака. Хоча в цілому повторюваність навантажень на годину польоту або на один польот на етапі випробувань істотно відрізняється від відповідних повторюваностей навантажень на етапі експлуатації літаків, але для ряду характерних елементів польоту відмінності не такі вже й істотні. В якості таких елементів можуть розглядатися зліт, цикл земля – повітря – земля (ЗПЗ) (навантаження викликані маневрами літака, які виконуються при наборі висоти, виході на висоту крейсерського польоту, переході в зниження, зниженні і заході на посадку, посадці). Цикл ЗПЗ вміщує також навантаження, які викликаються створенням надмірного тиску в кабіні при наборі висоти і вирівнювання зовнішнього і внутрішнього тиску при зниженні літака. На цьому етапі можуть бути порівняні напруження в характерних зонах конструкції літака, отримані в процесі розрахункової оцінки ресурсу літака, і відповідні напруження, безпосередньо заміряні в польоті. Важливою областю використання отриманих на цьому етапі матеріалів являється оперативне корегування програми наземних ресурсних випробувань.

Основна частина даних, які використовуються при аналізі повторюваності навантажень – це матеріали, які отримуються при виконанні режимів основної програми льотних міцностних випробувань. Але схема тензовимірювання може включати і додаткові датчики, за допомогою яких вивчаються напруження в характерних зонах конструкції, які представляють підвищений інтерес при оцінці ресурсу. Важливу роль при попередній оцінці ресурсу можуть відігравати і отримувані на етапі випробувань літака залежності параметрів навантаження від основних параметрів польоту.

Другий етап передбачає проведення льотних міцностних випробувань, спеціально орієнтованих на отримання даних по повторюваності навантажень. Режими випробувань вибираються таким чином, щоб максимально наблизитися до умов експлуатації. Матеріали випробувань цього етапу дозволяють отримати попередні статистичні дані по повторюваності навантаження, по повторюваності параметрів польоту і знайти зв'язок між ними.

Для отримання характеристик повторюваності навантажень на елементи шасі на одному аеродромі достатньо виміряти навантаження при 5 – 10 зльотах

і посадках (включаючи і руління). Більш повні і точні дані можуть бути отримані по результатам вимірів на декількох, найбільш характерних типах аеродромів, що, все ж, значно збільшує необхідну кількість експериментів. Потрібно відмітити, що для підвищення вірогідності результатів вимірювання навантажень на кожному типовому аеродромі повинні проводитися в різні пори року, при сухій і мокрій злітно – посадочній смузі, з застосуванням різних засобів гальмування. Крім того, завантаженість шасі необхідно досліджувати при різних аварійних ситуаціях таких, як, наприклад, перерваний зліт [4].

Третій етап заключається в зборі даних по повторюваності характерних параметрів польоту в процесі звичайної експлуатації серійних літаків. На цьому етапі тензовимірювальна апаратура не встановлюється, а збір інформації проводиться за допомогою штатних бортових магнітних реєстраторів, якими реєструється ряд параметрів, в тому числі компоненти перевантаження, швидкість і висота польоту, кутові швидкості літака, відхилення рульових поверхонь. Аналіз отримуваних записів дозволяє встановити повторюваність перевантажень і навантажень з диференціацією по ряду факторів, наприклад, по порі року, по трасам польоту, по висотам крейсерського польоту та іншим. Отримані в результаті проведення вказаних трьох етапів дані по повторюваності навантажень служать необхідним матеріалом для підтвердження і продовження ресурсу літака.

На теперішній час для Повітряних Сил України характерним являється експлуатація АТ за технічним станом. Одним з основних принципів експлуатації АТ за технічним станом є попередження відмов агрегатів і систем ЛА при умові забезпечення максимально можливої наробки їх до заміни [5].

Різномод і стохастичний характер дії експлуатаційних факторів призводять до того, що при одній і тій же наробці або тривалості експлуатації об'єкти АТ мають різний фактичний технічний стан. Особливо явно це проявляється відносно силової конструкції маневрових літаків. Тому наліт або календарний строк служби не характеризують однозначно технічний стан і виникає необхідність в контролі технічного стану об'єкту в процесі експлуатації. Ознаками технічного стану можуть бути якісні і (або) кількісні характеристики. Фактичні їх значення і визначають технічний стан об'єкта.

Можливі методи технічного обслуговування і ремонту за станом умовно можна об'єднати в дві основні групи: з контролем рівня надійності і з контролем параметрів об'єктів експлуатації. В першому випадку обслуговування і ремонт за станом заключаються в оперативному зборі, обробці і аналізі даних по надійності і ефективності експлуатації однотипних виробів і відпрацюванні рішень про необхідний об'єм профілактичних робіт для всієї сукупності виробів або для певної групи. Заміна кожного з виробів при цих методах виконується, як правило, після його відмови, яка є безпечною для функціональної системи.

В свою чергу, методи обслуговування і ремонту за станом з контролем параметрів передбачають безперервний або періодичний контроль і вимірювання параметрів, визначаючих технічний стан функціональних систем і виробів. Рішення про заміну або відновлення працездатності виробів тут приймається тоді, коли значення контролюємих параметрів досягають передкритичного рівня.

Але у відношенні планера маневрових літаків рекомендації по вибору таких параметрів у нормативно-технічній документації не надаються, тобто експлуатація здійснюється без контролю параметрів, які характеризують стан силової конструкції по наробіті.

В якості параметра, який характеризує технічний стан планера літака, дослідженнями [1, 6] вибрана пошкоджуємість деяких елементів конструкції, яку необхідно визначати за кожний політ точно так, як вона (пошкоджуємість) закладається в розрахунок ресурсу (наприклад для крила) [7]:

$$\Delta \xi_j = \sum \frac{m_i}{N_i}, \quad (1)$$

де  $i$  – номер групи з вибраним рівнем змінних навантажень;  $m_i$  – число циклів навантаження в групі;  $N_i$  – число циклів навантажень того ж рівня, необхідне для руйнування деталі.

При призначенні і продовженні ресурсу маневрових літаків звичайно використовують графіки (таблиці) інтегральної повторюваності навантажень, які відповідають, як правило, вибраним групам режимів польоту (вправам) або типовим профілям польоту [3]. Ці дані дозволяють також аналізувати осереднені витрати ресурсу групою літаків в процесі експлуатації. ОТТ ВВС-86 дозволяє в процесі експлуатації ЛА використовувати еквівалентні години, пов'язані з величиною втомлюваної пошкоджуємісті конструкції. Але на літаках Повітряних Сил України цей спосіб призначення і контролю ресурсу не застосовується, так як вказаний підхід в ТТЗ на їх розробку не був заданий. При розрахунку пошкоджуємісті планера за політ доцільно використовувати не середньостатистичні, а конкретні числа циклів навантаження деяких вибраних рівнів.

На теперішній час при аналізі повторюємісті навантажень, діючих на конструкцію літака, і розрахунку ресурсу планера найбільш широко застосовується метод повних циклів [7]. Він зводиться до послідовного виділення із записів навантажень (напружень) так називаємих проміжних циклів, кожний з яких характеризується двома параметрами – середнім значенням (півсумою ординат сусідніх екстремальних значень) і амплітудою (піврізницею тих же ординат). Для аналізу повторюємісті напружень кожний виділений цикл навантаження замінюється еквівалентним йому по пошкоджуємісті пульсуючим циклом, для якого справедливі співвідношення [3]:

$$\sigma_0 = \sqrt{2\sigma_a} \quad \sigma_a + \sigma_c \quad \text{при} \quad \sigma_c > 0;$$

$$\sigma_0 = \sqrt{2} \times \sigma_a + 0,2 \sigma_c \quad \text{при} \quad \sigma_c \leq 0;$$

$$\sigma_a + \sigma_c \geq 0; \quad \sigma_0 = 0 \quad \text{при} \quad \sigma_a + \sigma_c < 0, \quad (3)$$

де  $\sigma_0$  – приведенне напруження пульсуючого циклу;  $\sigma_a$  – амплітуда напруження;  $\sigma_c$  – середня складова напруження. Для кожного виділеного циклу

$$\sigma_a = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} / 2; \quad \sigma_c = \sigma_{\max} + \sigma_{\min} / 2,$$

де  $\sigma_{\max}$ ,  $\sigma_{\min}$  – характерні напруження (екстремуми) циклу навантаження.

Маючи повторюємість силових факторів можна оцінити темп витрати ресурсу, який визначається розглядаємих процесом навантаження. Така оцінка виконується на основі гіпотези лінійного сумування пошкоджень і експериментальних даних про витривалість конструкції. Відома крива витривалості матеріалу (наприклад сплаву Д-16Т) апроксимується залежністю:

$$N = C \times \sigma_0^{-m}, \quad (4)$$

де  $N$  – число циклів навантаження до руйнування;  $C$  – постійна величина;  $m$  – показник кривої витривалості.

При відомому рівні напруження  $\sigma_0$  пошкоджуємістю одиничного циклу є відношення  $1/N$ , тому облік накопичення пошкоджуємісті конструкції за деякий відрізок часу (за політ) будемо вести по наступному співвідношенню, яке являється тотожним співвідношенню (1):

$$\Delta \xi_j = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^l \sigma_{oi}^m, \quad (5)$$

де  $j$  – номер польоту;  $l$  – число циклів навантаження конструкції в даному польоті.

При обчисленні накопиченої пошкоджуємісті необхідно мати на увазі, що при обробці запису навантажень по методу повних циклів виділяються також і півцикли, кожному з яких приписується частота зустрічаємісті 0,5. Це означає, що при розрахунку пошкоджуємісті, яку вони вносять, необхідно домножати праву частину співвідношення (5) на 0,5.

В той же час відома припустима (за результатами розрахунків КБ) пошкоджуємість крила (позначимо її як  $\xi_{\text{прип}}$ ), яка відповідає призначеному ресурсу літака  $R_{\text{призн}}$ . Призначений ресурс – сумарне напрацювання виробу, при досягненні якого експлуатація повинна бути припинена незалежно від стану виробу і є складовою частиною ресурсу до списання та підлягає поетапному збільшенню аж до досягнення ресурсу до списання [4]. Тоді частка припустимої пошкоджуємісті, яка приходить на 1 годину польоту літака, складе

$$\xi_{\text{год}} = \xi_{\text{прип}} / R_{\text{призн}}. \quad (6)$$

Введемо відношення фактичної пошкоджуємісті конструкції крила за політ до припустимої пошкоджуємісті за 1 годину польоту. Це і буде умовний наліт маневрового літака в одному польоті

$$R_{\text{умов } j} = \Delta \xi_j / \xi_{\text{год}}. \quad (7)$$

Умовний наліт показує, у скільки разів виробка ресурсу по пошкоджуємісті відрізняється від середньої ( типової ) виробки ресурсу по польоту в даному

польоті. Сумуючи його від польоту до польоту можна вести облік витраченого ресурсу в еквівалентних годинах. Таким чином буде забезпечена експлуатація планера за технічним станом у межах призначеного ресурсу. Умовний наліт у даному випадку являється контролюємим параметром, який характеризує технічний стан конструкції. У процесі проведених військовою частиною А0156 досліджень [1, 6] були розроблені: програма розрахунку умовного нальоту літака Л-39 по реєструємим у польоті вертикальним перевантаженням (оцінка пошкоджуємості крила); типова методика обліку темпу виробки ресурсу маневрових літаків по параметрам польоту (шляхом розрахунку зовнішніх навантажень і переходу від них до пошкоджуємості частин планера).

Використання розробленої програми дозволить здійснювати відхід літаків Л-39 у ремонт після виробки припустимої пошкоджуємості крила, а не припустимого нальоту. Тому виробка призначеного ресурсу парку літаків буде однаковою, а витрату ресурсу можна регулювати в процесі експлуатації шляхом чергування маневрових і неманеврових польотів. Крім того, при виявленні дефектів силової конструкції на лідерних літаках, відомості про їх умовний наліт допоможуть вірно призначати міжремонтний ресурс всього парку, без значних запасів по нальоту.

З технічної точки зору для переходу на індивідуальний облік витрати ресурсу маневрових літаків необхідно дотримання двох умов. По-перше, потужність наземного програмно-апаратного комплексу повинна забезпечити безперервну (по часу) обробку параметрів польоту, від яких залежать зовнішні навантаження, а бортова система – реєструвати ці параметри. З прийняттям на постачання комплексів типу "Славутич" і НУО-4, реєстратора БУР-4 (літаки Су-27 і Л-39) ці умови виконуються. По-друге, наявність методики розрахунку пошкоджуємості планера, яку головний конструктор повинен розробити, а замовник – ввести в дію згідно ОТТ ВВС-86. Так як на час створення всіх маневрових літаків ПС України статистична обробка польотних даних в стройових частинах ПС була ще

неможливою, то вимоги по індивідуальному обліку витрат їх ресурсу не пред'являлись і, як наслідок, відповідні методики не відпрацьовувались.

## Висновки

Таким чином, розробка типової методики розрахунку темпу виробки ресурсу планера маневрових літаків відкриває можливість для створення необхідних програм автоматизованої обробки польотних даних з метою максимального використання призначеного ресурсу, що являється актуальною задачею. Це дозволить експлуатувати створюємі літаки за технічним станом (у відношенні планера) з моменту виготовлення. Впровадження сучасної обчислювальної техніки в процес експлуатації літальних апаратів Повітряних Сил дозволяє розглядати запропонований метод експлуатації маневрових літаків як дуже вигідний і перспективний.

## Список літератури

1. *Звіт про науково-дослідну роботу. Дослідження по розробці методики обліку темпу виробки ресурсу планера і шасі літака Л-39 "Збірка". Вч А0156, 2004. – 100 с.*
2. *ГОСТ В15.702-83. Порядок установления и продления назначенных ресурса, срока службы, срока хранения.*
3. *М.Д. Клячко, Е.В. Арнаутков. Летные прочностные испытания самолетов. Статистические нагрузки. – М.: Машиностроение, 1985. – 128 с.*
4. *Руководство по испытаниям авиационной техники. Часть 1, вып. 18. Определение возможности и особенности эксплуатации самолетов с грунтовых аэродромов. – В/ч 15650, ЛПИ им. М. Громова, 1982.*
5. *Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкович. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – М.: Транспорт, 1980. – 232 с.*
6. *Звіт про науково-дослідну роботу. Дослідження з розробки типової методики розрахунку темпу виробки ресурсу агрегатів планера маневрових літаків "Факторіал". ДНВЦ, 2007 – 64 с.*
7. *В.Н. Зайцев, В.Л. Рудаков. Конструкция и прочность самолетов. Издание 2-е. – К.: Вища школа, 1978. – 488 с.*

Надійшла до редколегії 14.05.2008

**Рецензент:** канд. техн. наук Р.Г. Шабан, Державний науково-випробувальний центр, Феодосія.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛНОЙ И РАВНОМЕРНОЙ ВЫРАБОТКИ РЕСУРСА ПАРКА МАНЕВРОВЫХ САМОЛЕТОВ 'ПО ФАКТИЧЕСКОМУ ПОВРЕЖДЕНИЮ СИЛОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

В.В. Ольшанский, Р.В. Лященко

*Рассматривается возможность эксплуатации маневровых самолетов за техническим состоянием с контролем фактического повреждения конструкции планера за регистрируемыми средствами объективного контроля параметров полета. Разработка типичной методики расчета темпа выработки ресурса планера маневровых самолетов открывает возможность для создания необходимых программ автоматизированной обработки полетных данных с целью максимального использования назначенного ресурса. Это позволит эксплуатировать создаваемые самолеты за техническим состоянием (в отношении планера) с момента изготовления.*

**Ключевые слова:** ресурс, нагрузка, фактическое повреждение, техническое состояние, условный налет.

## PROVIDING OF COMPLETE AND EVEN MAKING OF RESOURCE OF PARK OF MOBILE AIRPLANES ON THE ACTUAL DAMAGE OF POWER CONSTRUCTION

V.V. Ol'shanskiy, R.V. L'shchenko

*Possibility of exploitation of mobile airplanes is examined after the technical state with control of actual damage of construction of glider after the registered facilities of objective control the parameters of flight. Development of typical method of calculation of rate of making of resource of glider of mobile airplanes opens possibility for creation of the necessary programs of the automated processing of flight data with the purpose of the maximal use of the appointed resource. It will allow to exploit the created airplanes after the technical state (in regard to a glider) from the moment of making.*

**Keywords:** resource, loading, tired durability, actual damage, technical state, conditional raid.