

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

О.В. Бєтін, В.В. Вамболь, Д.В. Тіняков

ТОВАРОЗНАВЧІ АСПЕКТИ БЕЗПЕКИ
АЕРОКОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Навчальний посібник

Харків "ХАІ" 2010

УДК 620.20:629.7067 (075.8)

Бетін О. В. Товарознавчі аспекти безпеки аерокосмічної техніки: навч. посіб. / О.В. Бетін, В.В. Вамболь, Д.В. Тіняков. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2010. – 87 с.

Викладено принципи проведення товарознавчого оцінювання безпеки аерокосмічної техніки. Описано життєвий цикл аерокосмічної техніки і фактори, що впливають на безпеку аерокосмічної техніки. Подано основні критерії оцінювання безпеки аерокосмічної техніки. Розглянуто шляхи підвищення безпеки аерокосмічної техніки. Проаналізовано поняття довговічності й збережності аерокосмічної техніки на прикладі літаків. Описано економічні аспекти підвищення безпеки аерокосмічної техніки.

Для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за напрямом "Товарознавство".

Іл. 9. Табл. 1. Бібліогр.: 7 назв

Рецензенти: канд. техн. наук, доц. В.О. Афанасьєва,
канд. техн. наук, доц. О.В. Петренко

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут", 2010
© О.В. Бетін, В.В. Вамболь, Д.В. Тіняков, 2010

ЗМІСТ

1 ЛА ЯК ОБ'ЄКТ ПРОВЕДЕННЯ ТОВАРОЗНАВЧОГО ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ АКТ	4
2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ І БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ ТОВАРІВ АЕРОКОСМІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	5
2.1 Життєвий цикл ЛА	5
2.2 Фактори, що впливають на живучість ЛА.....	14
3 КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ АКТ.....	19
3.1 Визначення, терміни	19
3.2 Кількісні показники надійності, безпеки й живучості літака	23
3.3 Взаємозв'язок ефективності, надійності й живучості літака....	26
3.4 Значення надійності літака	30
4 ОСНОВНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ АКТ (ПРИ ПРОЕКТУВАННІ, ВИРОБНИЦТВІ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ, УТИЛІЗАЦІЇ)	33
4.1 Основні тенденції зміни конструкції сучасних літаків, що впливають на їхню безвідмовність.....	33
4.2 Причини типових відмов і несправностей систем планера літака	38
4.3 Конструктивні заходи щодо підвищення надійності систем планера літака	42
4.4 Технологічні способи забезпечення надійності.....	47
4.5 Контроль якості й надійності продукції на заводі	60
4.6 Значення експлуатаційної технологічності літака.....	64
4.7 Конструктивні рішення, що підвищують експлуатаційну технологічність літака	64
4.8 Бортові й наземні системи контролю	69
4.9 Методи технічного обслуговування	71
5 ДОВГОВІЧНІСТЬ І ЗБЕРЕЖНІСТЬ ОБ'ЄКТІВ АКТ ЯК ОДНА З ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗПЕКИ ТОВАРУ	73
5.1 Взаємозв'язок довговічності, збережності й надійності літака	73
5.2 Ресурс і термін служби до першого ремонту	77
5.3 Повний ресурс і повний термін служби.....	79
5.4 Гарантійний ресурс	82
5.5 Збережність літаків.....	83
6 ТОВАРОЗНАВЧІ Й ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗПЕКИ АКТ	83
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	86

1 ЛА ЯК ОБ'ЄКТ ПРОВЕДЕННЯ ТОВАРОЗНАВЧОГО ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ АКТ

Якщо ми будемо порівнювати різні літальні апарати як товар, що необхідно продати, за таким критерієм, як безпека цього товару, то оцінювання має базуватися на критеріях безпеки ЛА, які у цей час уже існують і використовуються. До критеріїв порівняння літальних апаратів можна віднести такі, як рівень надійності, відмовобезпека, бойова й експлуатаційна живучість, ремонтпридатність й експлуатаційна технологічність.

В області цивільного авіабудування забезпечення необхідного рівня надійності й відмовобезпеки давно стало одним з основних завдань. (Ризик того, що авіапасажира потрапить в аварію, у цей час дорівнює ризику пасажира, що користується іншими видами транспорту, і становить 10^{-7} на 1 годину польоту. Кількісно ймовірність катастрофічного руйнування літака протягом його терміну служби має відповідати вимогам ICAO не більше 10^{-5} . Для сучасних літаків, що експлуатуються у високорозвинених країнах, рівень катастрофічних відмов становить усього $\sim 2 \cdot 10^{-8}$ на 1 годину польоту). Тому причинам виникнення особливих польотних ситуацій на цивільних літаках у даному посібнику приділено першочергову увагу. Хоча епоха "холодної війни" і "перегонів озброєнь" відходять у минуле, при вивченні проблем надійності й відмовобезпеки авіаційної техніки значну увагу традиційно приділено проблемам бойової живучості військових літаків. Це пов'язано не тільки з необхідністю забезпечити достатній рівень обороноздатності держави, але й з тим, що реалізовані при їхньому розробленні проектно-конструкторські заходи набагато різноманітніші, ніж у цивільних літаків, і багато ефективних рішень у міру їхнього відпрацьовування знаходять застосування на пасажирських й транспортних повітряних суднах. У той же час у зв'язку з особливою відповідальністю й відносною самостійністю методичних підходів матеріали із забезпечення втомної міцності й необхідного ресурсу літаків при складанні навчальних планів звичайно виділяють в окремий предмет, що враховано при підготовці даного посібника.

Реалізація заходів щодо забезпечення необхідного (як правило,

досить високого) рівня надійності й живучості літака практично неминуче супроводжується зниженням вагової досконалості конструкції або зменшенням аеродинамічної якості, зниженням корисного або бойового навантаження, збільшенням вартості або погіршенням технологічності – загалом погіршенням і зменшенням усього того, що в інших дисциплінах рекомендується поліпшувати й підвищувати. Ця особливість є об'єктивною причиною виділення надійності й живучості в окрему навчальну дисципліну, але, проте, безпосередньо взаємозалежну з цілим рядом областей науки й техніки й опирається на їхні досягнення.

2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ І БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ ТОВАРІВ АЕРОКОСМІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

2.1 Життєвий цикл ЛА

Однією з характеристик товарів аерокосмічного призначення є живучість у цілому, а також окремих його агрегатів.

Значні витрати польотної маси й засобів на підвищення живучості ЛА ще не є гарантією досягнення істотного позитивного ефекту. Досягти високих показників живучості й виживаності як окремого ЛА, так і авіаційного комплексу в цілому можливо тільки за умови комплексної реалізації заздалегідь продуманої наскрізної програми заходів, що охоплює усі етапи життєвого циклу ЛА – від перших концептуальних ідей і формування вигляду майбутньої бойової машини до її ескізного й робочого проектування, виготовлення, експлуатації й військового ремонту, аж до проблеми продовження її ресурсу на завершальних етапах експлуатації парку машин, можливість якого (і необхідні для цього технічні засоби й інформаційне забезпечення) слід передбачити на ранніх стадіях проектування майбутнього ЛА. Основні етапи, які прийнято виділяти в життєвому циклі сучасного ЛА, показано на рис. 2.1.

Перший етап життєвого циклу сучасного ЛА – це його зовнішнє, або концептуальне, проектування. Концепція – це основна ідея, що веде задум, або система таких ідей, доктрин, задумів, це "ізмюминка" усього майбутнього проекту. Літаків найрізноманітніших конструкцій і

призначень за час розвитку авіації розроблено й випущено так багато, що вкласти кошти в створення нового авіаційного виробу є сенс тільки за умови, якщо він буде виконувати будь-яку принципово нову функцію або ж вирішувати вже відомі завдання, але значно ліпше, ніж наявні, відпрацьовані й серійні ЛА. Тільки в цьому випадку створений літак або вертоліт буде конкурентоспроможний на зовнішньому й внутрішньому ринках, тільки при цієї умови він знайде збут.

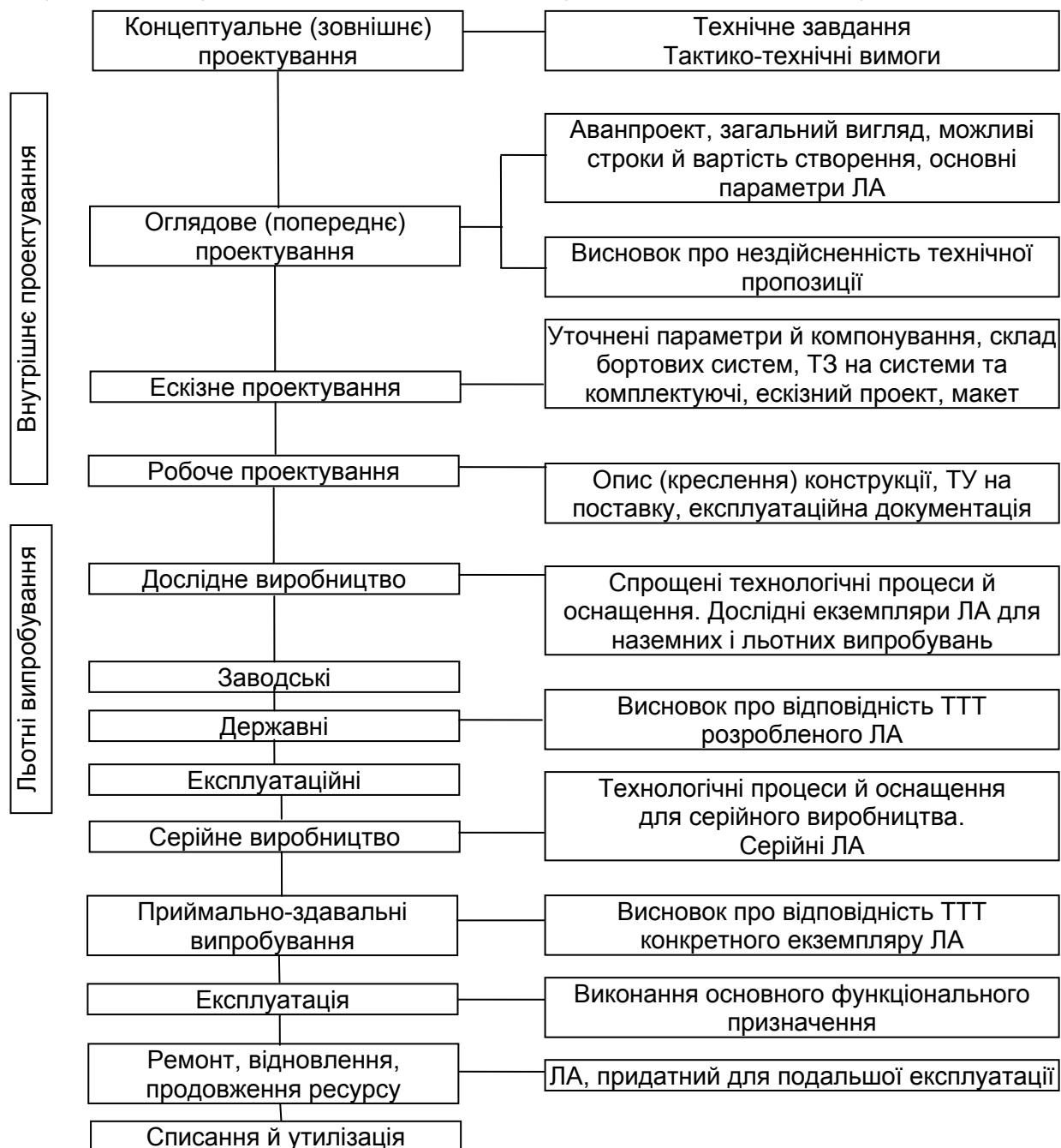


Рисунок 2.1 – Життєвий цикл ЛА

Розглянемо кілька прикладів концептуальних рішень. Характерною щодо цього є ідея створення широкофюзеляжних пасажирських літаків, які в літературі часто називають "аеробусами". У 70-х роках авіаційні перевезення пасажирів у розвинених країнах досягли величезних масштабів, аеропорти й сам повітряний простір навколо найбільших світових центрів виявилися перевантаженими: поблизу таких міст, як Нью-Йорк, Чикаго, Лондон, Париж, Москва, було побудовано по 4-5 аеропортів, зі зльотних смуг яких практично кожні 5-10 хвилин злітали й приземлялись літаки. На Заході були засновані великі премії за скорочення часу зльоту або приземлення літака, займання смуги й прилегло до неї повітряного простору, а також більші штрафи за перевищення цього нормативного часу, що, природно, не сприяло збільшенню безпеки пасажироперевезень. При цьому на найбільш напружених лініях (таких, як Москва – Адлер, Київ – Москва) літаки літали кожні 20-40 хвилин. Ось тому ідея створення літака-аеробуса, який вміщує пасажирів в 3-4 рази більше, ніж пасажирські літаки, які експлуатувалися в той час, виявилася дуже перспективною. Вирішення комплексу складних проблем з розроблення такого літака, у тому числі і його могутньої силової установки, виявилось під силу цілому ряду провідних авіабудівельних фірм, і широкофюзеляжні літаки великої пасажиромісткості, що з'явилися незабаром на лінії, Boeing-747, DC-10, A-300, Іл-86 значно розвантажили повітряний простір і дозволили різко збільшити не тільки комфорт, але й безпеку перевезення пасажирів.

На розглянутому етапі ще не вирішуються такі "частини" питання, як визначення кількості двигунів і положення стійок шасі, стрілоподібність крила або форма оперення. Це завдання наступної фази проектування, а на концептуальному етапі вирішується сама цікава й сама відповідальна проблема – формується основна, провідна "ідея" літака. Однак помилка в принципах забезпечення живучості й виживаності створюваного бойового літака на цьому етапі його проектування може звести нанівець колосальні засоби й самі оригінальні рішення, розроблені з цією метою на наступних етапах його життєвого циклу.

Іноді цей етап позначають як зовнішнє проектування. Ця назва

має два пояснення. З одного боку, на даному етапі літак розглядається саме як складова складної технічної системи більш високого рівня – авіаційного комплексу (це поняття буде вивчено докладніше в наступному розділі даного посібника). З іншого боку, проектування називається зовнішнім тому, що ці проблеми вирішуються, як правило, не самим дослідно-конструкторським бюро, а спеціалізованими науково-дослідними організаціями замовника. Такі НДІ перспективних розробок мають і Військово-повітряні сили, і ППО, і організації, що експлуатують цивільні літаки. До завдання зовнішнього проектування входять прогнозування ринку, дослідження операцій, призначення критеріїв, за якими буде проводитися оптимізація на всіх наступних етапах проектування ЛА. Результатом виконання етапу концептуального проектування є технічне завдання й тактико-технічні вимоги до майбутнього літака або вертольота (див. рис. 2.1).

Наступний крок у створенні ЛА – внутрішнє проектування, що містить у собі етапи оглядового, ескізного й робочого проектування.

Оглядове проектування (або етап формування вигляду майбутнього ЛА) іноді називають попереднім проектуванням. На цій стадії вирішуються проблеми вибору аеродинамічної схеми, укрупненого компоновання, визначення розмірів і оптимального співвідношення основних параметрів літака (питомого навантаження на крило, тягоозброєності тощо), а також принципового вибору типу майбутніх систем (типу двигунів і рушіїв, кількості двигунів і наявності в них так званого "надзвичайного режиму", оснащення літака системою дозаправлення паливом у польоті, типу системи керування та ін.), сукупність яких покликана забезпечити виконання тактико-технічних вимог (ТТВ), до складу яких входять і вимоги щодо живучості створюваного ЛА. При цьому в першому наближенні визначаються основні геометричні, вагові й енергетичні характеристики проектованого літака або вертольота, формуються закони керування ним на різних ділянках траєкторії для різних (передбаченими вимогами) профілів польоту, а також пов'язуються воєдино різні (найчастіше об'єктивно суперечливі) вимоги й характеристики майбутніх систем і ЛА в цілому (зльотно-посадочні й

висотно-швидкісні характеристики майбутнього літака, дросельні характеристики двигунів, особливості роботи його силової установки на режимах зльоту й посадки тощо). Саме на цій стадії має бути закладено багато принципів рішень зі збільшення живучості ЛА, такі, як бронювання життєво важливих агрегатів і доповнення броні в силову роботу конструкції, оснащення паливних баків системами, що запобігають їхнім вибухам, реалізація на літаку принципів надманевреності й функціональної надмірності системи керування (наприклад, за рахунок розроблення силових установок з керованим вектором тяги маршових двигунів).

Вихідною інформацією цього етапу є так званий аванпроект – креслення загального вигляду раціонального варіанта створеного ЛА, а також інформація про його очікувані льотно-технічні, економічні й експлуатаційні характеристики. На підставі цих матеріалів спеціалізовані організації замовника ухвалюють рішення щодо доцільності подальшого розроблення проекту. В окремих випадках результатом виконання цього етапу є висновок про технічну нездійсненність ТТВ і так звану "технічну пропозицію" про можливий вигляд ЛА, що найбільшою мірою відповідає поставленим завданням і технічно здійсненному при досягнутому рівні розвитку авіаційної науки й технології.

У процесі ескізного проектування (див. рис. 2.1) попередньо отримані геометричні, інерційно-масові й енергетичні параметри ЛА втілюються в конкретне конструктивне компонування, що відповідає різним досить суперечливим вимогам, у тому числі експлуатаційним і технологічним. У ході компонування уточнюється центрування літака, розрахунок якого передуює складання вагового зведення на основі міцнісних і вагових розрахунків агрегатів планера й силової установки, відомостей устаткування, спорядження, вантажів тощо. При виконанні ескізного проектування звичайно проводяться широкі теоретичні й експериментальні дослідження з вибору найбільш ефективних відносно забезпечення живучості матеріалів і технічних рішень, виготовляються й продуваються в аеродинамічних трубах моделі ЛА і його вільнолітаючі моделі, у тому числі такі, що дозволяють імітувати різні аварійні ситуації й відпрацьовувати

раціональні методи їхнього відбиття. За результатами цих досліджень уточнюються результати аеродинамічних розрахунків, розрахунків стійкості й керованості, а також характеристик аеропружності. Крім того, будують макет майбутнього ЛА, що дозволяє зробити взаємне просторове зв'язування агрегатів і систем, проконтролювати їхню електромагнітну сумісність, а також оцінити зручність розміщення устаткування й експлуатаційну технологічність основних об'єктів обслуговування.

Підсумком виконання цього етапу є ескізний проект. Він містить інформацію про уточнені характеристики ЛА, а також про форму, розміри й взаємне розташування його основних агрегатів і функціональних елементів. Макетна комісія проводить комплексне оцінювання проекту, необхідне для ухвалення рішення про раціональність розроблення робочого проекту і його реалізацію в металі.

Заключний етап, властивий процесу проектування, – робоче проектування. Він спрямований на практичну реалізацію наданих характеристик і параметрів створюваного ЛА. На цьому етапі випускається вся технічна документація, необхідна для виготовлення, складання, монтажу як окремих агрегатів і систем, так і ЛА в цілому, практично реалізуються в металі всі передбачені заходи щодо збільшення бойової й експлуатаційної живучості, технологічності й "бовдуростійкості" конструктивних елементів і агрегатів бортових систем. Розроблюються загальні й детальні креслення агрегатів і окремих частин ЛА, проводяться експериментальні дослідження, необхідні для впровадження нових матеріалів, типів конструкцій і способів підвищення їхньої втомної міцності; статичні й динамічні міцнісні випробування конструкцій; всебічні стендові випробування агрегатів силової установки, систем устаткування, керування, життєзабезпечення, у максимально наближених до натурних умов під час експлуатації перевіряється ефективність розроблених заходів щодо підвищення живучості всього ЛА і його силової установки зокрема (живучість паливних баків при впливі уражаючих факторів, типових для розроблювального ЛА засобів поразки, ефективність роботи протипожежної автоматики, працездатність двигуна при

попаданні в повітряний тракт сторонніх предметів і випліскування палива, виходу з ладу маслосистеми тощо).

Наступний етап створення літака – це розроблення спрощених технологічних процесів і технологічного оснащення для оперативного одиничного виробництва дослідних зразків ЛА, які використовуються як для наземних, так і для льотних випробувань. Реалізовані при цьому технологічні процеси й оснащення відрізняються від серійних. Вони простіші, дешевші, але не забезпечують високої продуктивності й найчастіше орієнтовані на робітників досить високої кваліфікації. А головне – вони дозволяють у мінімальний термін досить якісно виготовити дослідні зразки створюваного літака або вертольота, перейти до етапу їх наземних і льотних випробувань.

У ході льотних випробувань і доведення ЛА визначаються його фактичні характеристики, аналізується ступінь задоволення тактико-технічних вимог, а при необхідності в конструкцію й функціонування бортових систем вносяться технічно здійсненні на даному етапі зміни (однак їхня реалізація потребує, як правило, значних витрат часу й засобів). На підставі цієї інформації приймається рішення про внесення змін у проект і запуск літака або вертольота в серійне виробництво. Здійснюються льотні випробування в кілька етапів.

Заводські (довідні) випробування проводяться фірмою-виготовлювачем з метою доведення показників виробу до значень, що відповідають тактико-технічним вимогам.

Державні випробування здійснюються спеціальною державною комісією з метою перевірки відповідності характеристик розробленого літака або вертольота.

Експлуатаційні випробування здійснюються з метою визначення, відпрацювання й поліпшення експлуатаційних характеристик розробленого ЛА в різноманітних умовах. На завданнях цього етапу випробувань раціонально зупинитися докладніше, оскільки вони мають безпосереднє відношення до забезпечення експлуатаційних технологічності й живучості ЛА. Ці випробування проводяться в умовах, максимально наближених до реальної експлуатації (зокрема, здійснюються наземним технічним складом звичайної військової частини, кваліфікація і сам підхід до бойового застосування й

обслуговування авіаційної техніки, в яких не такий, як у фахівців з випробування нових зразків літаків і вертольотів). Про велике значення цього етапу свідчить той факт, що навіть при створенні принципово нового літака – радіолокаційно непомітного стратегічного бомбардувальника В-2 – з перших шести дослідних літаків два були "піддані" технічному обслуговуванню тільки силами армійських фахівців (співробітники фірми Northrop обслуговували винятково контрольню-записуючу апаратуру).

У ході експлуатаційних випробувань, наприклад, може з'ясуватися, що кінці крила літака, що має значне від'ємне V , ближче за все розташовані до землі, а виходить, і залісти на крило (у чоботах) зручніше за все з кінця крила. А оскільки закінцівки ці виконані за передовими технологіями з композиційного вуглепластикового матеріалу, то пошкоджену закінцівку неможливо відрихтувати у польових умовах і при позааеродромному базуванні (як штамповану з АМГ), а доводиться замінити або ремонтувати в стаціонарних умовах (у цехах техніко-експлуатаційної частини – ТЕЧ) із застосуванням спеціального оснащення).

Експлуатаційні випробування намагаються проводити в різних регіонах. При цьому, наприклад, може з'ясуватися, що в регіонах з жарким і вологим субтропічним кліматом зустрічається такий вид цвілевого грибка, що добре розмножується в новій високотемпературній вибухобезпечній гідросуміші, а на Далекому Сході живе метелик, якому дуже подобається відкладати клейкі кокони зі своїми личинками в отворах сітки, що захищає повітрозабирач від попадання сторонніх предметів. Отриманий на етапі експлуатаційних випробувань найцінніший досвід узагальнюється й ураховується, що дозволяє підвищити надійність, живучість і експлуатаційну технологічність створюваного ЛА.

Якщо в результаті виконання всього циклу випробувань отримані досить гарні результати, починається серійне виробництво нового літака або вертольота. При цьому кожний новий його екземпляр (а також ЛА, що пройшов ремонт) проходить приймально-здавальні випробування з метою перевірки його відповідності технічним умовам (див. рис. 2.1).

У ході серійного виробництва й експлуатації авіаційної техніки фахівці відповідного профілю розроблюють, здійснюють (а також контролюють правильність і повноту виконання) комплекс заходів щодо забезпечення необхідного рівня бойової й експлуатаційної живучості ЛА, у тому числі однієї з найбільш відповідальних його частин – силової установки. Особливо цінний досвід може бути накопичений у ході реального бойового застосування ЛА. Зібрані статистичні дані оперативно передаються фахівцям організації-розроблювача, які на основі їхнього аналізу розроблюють додаткові заходи з підвищення живучості ЛА й передають ці відомості в експлуатуючі організації. Оперативне й організоване функціонування цих зустрічних потоків інформації є неодмінною умовою забезпечення безпеки й ефективності застосування бойових ЛА практично будь-якого типу.

Детальний розгляд комплексу заходів щодо підвищення бойової й експлуатаційної живучості ЛА на стадіях їхнього виготовлення й експлуатації вивчається в самостійних курсах і виходить за рамки тематики цього посібника, у наступних розділах якого основна увага приділена методам і технічним рішенням, орієнтованим на різні етапи проектування (і в деяких випадках – попереднім випробуванням) створюваних літаків і вертольотів. Однак при їх вивченні варто постійно мати на увазі, що живучість ЛА (а точніше – авіаційного комплексу в цілому) може бути доведена до необхідного високого рівня із прийнятними витратами людських і матеріальних ресурсів тільки у випадку комплексної реалізації наскрізної програми заходів, що охоплює всі етапи життєвого циклу ЛА. Така комплексна реалізація заходів щодо підвищення бойової живучості призводить до збільшення ймовірності виконання бойового завдання й зниження вартості виконання типової операції. Самостійне значення має психологічний фактор: упевненість екіпажу в бойовій машині, у її живучості й власній відносній безпеці, що різко збільшує результативність повітряного бою й ефективність атаки наземних цілей. В остаточному підсумку продумана, науково обґрунтована реалізація заходів щодо підвищення бойової живучості призводить до скорочення потрібного парку бойових літальних апаратів і до високої

конкурентоспроможності розроблювальної авіаційної техніки на світовому ринку озброєнь.

2.2 Фактори, що впливають на живучість ЛА

Живучість і надійність технічних об'єктів – це самостійна наука, що має свій методичний, математичний і термінологічний апарат. Для її успішного розуміння необхідно спочатку опанувати мовою, якою говорять фахівці цієї області техніки, зрозуміти зміст використовуваних ними термінів, а щоб освоїти методичні підходи, що дозволяють забезпечити високу бойову й експлуатаційну живучість створюваних ЛА, необхідно ретельно досліджувати причини виникнення особливих льотних ситуацій і різних авіаційних подій.

Найпоширенішим терміном, що використовують для позначення всієї розглянутої області знань, як правило, є живучість літальних апаратів, яку звичайно поділяють на живучість бойову й експлуатаційну.

Бойова живучість літального апарата – це здатність його планера й бортових систем зберігати працездатний стан незважаючи на вплив вражаючих факторів засобів протиповітряної оборони супротивника.

На відміну від бойової живучості, експлуатаційна живучість літального апарата – це здатність його планера й бортових систем зберігати працездатний стан незважаючи на дефекти, ушкодження й відмови його елементів, вплив нерозрахованих умов, а також помилки обслуговуючого персоналу й льотного складу, які можуть мати місце при виготовленні, експлуатації й ремонті ЛА.

У трактуванні поняття "збереження працездатного стану" стосовно таких складних технічних об'єктів, як військові літальні апарати (а в загальному випадку – до авіаційного комплексу), є деякі відмінності: в одних випадках під цим розуміють здатність повного або часткового виконання бойового завдання, в інших – можливість повернення на свою територію або хоча б порятунку екіпажу. У країнах НАТО прийняті такі типи (категорії, ступеня) ураженого стану ЛА (які характеризують можливість спрацьовування системи самоліквідації, порятунку екіпажу, прицільного пуску розташованого

на борту озброєння та інші важливі особливості "збереження працездатного стану" ЛА):

тип А – руйнування ЛА за термін не більше 2 секунд після впливу засобів ураження, що може бути наслідком надмірних перевантажень, вибуху паливних баків, боєприпасів тощо;

тип В – загибель ЛА не більш ніж через 15 секунд внаслідок пожежі, виходу з ладу системи керування, поранення (смерті) льотчика тощо;

тип С – загибель ЛА за термін до 15 хвилин внаслідок пожежі, що розвивається повільно, ураження частини елементів конструкції планера, часткової втрати обшивки несучих агрегатів або руйнування їхніх передніх країв, що спричиняють значні неконтрольовані аеродинамічні моменти тощо;

тип D – руйнування ЛА не більше ніж за 30 хвилин внаслідок витоку палива, робочої рідини з основної й аварійної гідросистем, поступового припинення енергоживлення тощо.

Статистика застосування бойової авіації в локальних збройних конфліктах 70-х років показує, що частота появи поразок перелічених категорій приблизно виражається співвідношенням 1:3:8:15 (тобто ураження цілі протягом 15 хв зустрічається у вісім разів частіше, ніж двохсекундні).

В процесі розвитку авіаційної науки й техніки часто виникала потреба в позначенні новими термінами усе більш широких і загальних понять, пов'язаних з живучістю ЛА. Такі терміни (більш-менш удалі) вводилися у відповідну спеціальну літературу, хоча загальноприйнятою назвою всієї розглянутої області знань залишалася "живучість ЛА").

Так, літак (або вертоліт) як об'єкт не тільки проектування й експлуатації, але й ураження в цей час варто розглядати як складну технічну систему з розвинутою ієрархічною структурою (рис. 2.2). Це загальноприйняте формулювання означає, що літальний апарат (об'єкт 1 на рис. 2.2) можливо подати як сукупність самостійних агрегатів і систем (об'єкти 1.1, 1.2, 1.3 і т.д. на рис. 2.2). Причому агрегати літака (такі, як крило, фюзеляж, оперення), у свою чергу, складаються з панелей, лонжеронів, нервюр або шпангоутів

(наприклад, об'єкти 1-1-1, 1.1.2 і т.д. на рис. 2.2), які при переході на наступний рівень членування можна вважати сукупністю окремих деталей (стрингерів, стінок, обшивок та ін. – об'єкти 1.1.1.1, 1.1.1.2 і т.д. на рис. 2.2). Силова установка, що входить до складу ЛА (наприклад, об'єкт 1.2 на рис. 2.2), може бути розглянута як сукупність цілого ряду складних і відповідальних підсистем і пристроїв (об'єкти 1.2.1, 1.2.2 і т.д. на рис. 2.2), багато з яких можна, у свою чергу, подати як системи, що складаються з підсистем і агрегатів. До них прийнято включати системи запуску, охолодження, керування силовою установкою, її наземної й польотної діагностики, кріплення двигуна, усмоктування повітря і його випускання, паливну, масляну, протипожежну й протиобліднювальну системи, а також пристрої відхилення вектора тяги, редуктор, літакові повітряні гвинти або ротор вертольота та ін. Також кожен із цих підсистем можна розглядати як сукупність об'єктів наступного рівня членування (насосів, трубопроводів, клапанів, виконавчих механізмів тощо, які відповідають об'єктам 1.2.2.1, 1.2.2.2, 1.2.2.3, 1.2.2.4 і т.д. на рис. 2.2).

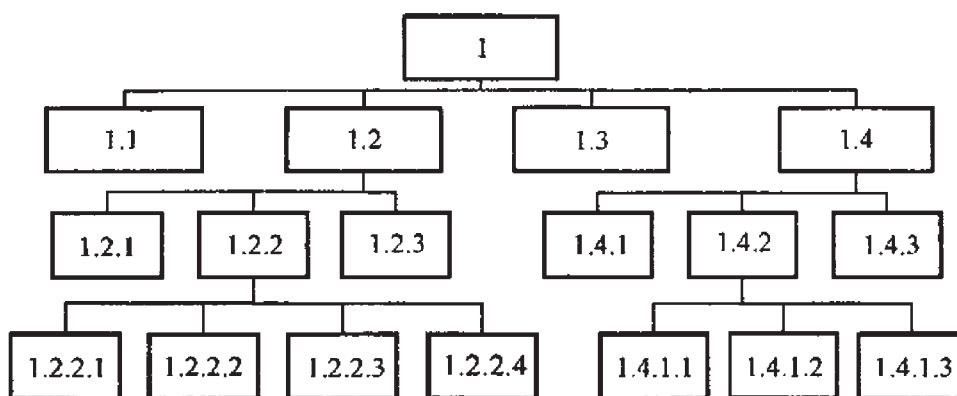


Рисунок 2.2 – Типовий вигляд складної системи з розвинутою ієрархічною структурою

При цьому має місце ієрархічна взаємопідпорядкованість систем і підсистем, у якій об'єкт більш високого рівня (і його система керування) як диригент керує діями всіх підсистем нижчележачих рівнів ієрархії, не вдаючись у подробиці їхнього функціонування, але підпорядковуючи їхньому вирішенню загальні пріоритетні завдання, а в окремих випадках навіть жертвуючи заради цього працездатністю

окремих елементів нижчого рівня для вирішення завдань більш високої категорії пріоритету (наприклад, відключаємо другорядні споживачі від ушкодженої гідросистеми заради збереження працездатності життєво важливих агрегатів). Оскільки в такій технічній системі в принципі неможливі незадоволення, саботаж або "революційні перевороти" з боку нижчих шарів, у цілому така високорозвинена система звичайно функціонує злагоджено й має високу живучість, надійність й ефективність.

З іншого боку, літак або вертоліт являє собою елемент ієрархічної системи більш високого рівня. Пасажирські й транспортні літаки й вертольоти (у випадку, до розгляду якого ми переходимо, об'єкти 1.1, 1.2, 1.3 і т.д. на рис. 2.2) – це елементи транспортної системи країни (у цьому випадку – об'єкт 1 на рис. 2.2). Якщо це, наприклад, винищувач-перехоплювач, він є елементом бойового авіаційного комплексу протиповітряної оборони. Авіаційний комплекс – це організована сукупність людських і матеріальних ресурсів, у результаті функціонування якої досягається певний корисний для суспільства ефект. У літературі прийнято розрізняти винищувальні, ударні, військово-транспортні, розвідувальні та інші авіаційні бойові комплекси. До складу авіаційного комплексу звичайно включають такі об'єкти:

- літальні апарати (з усіма комплектуючими їх системами й виробами), причому до складу одного авіаційного комплексу можуть входити різноміснні ЛА (наприклад, бомбардувальники, літаки-заправники, що використовуються для перебазування й оперативного постачання, транспортні літаки, штабні ЛА та ін.);

- екіпажі літаків;

- наземний технічний персонал;

- технічні засоби забезпечення польотів літаків або вертольотів – засобу наземного обслуговування ЛА (наприклад, автозаправники, АПА – авіаційні пускові агрегати); засоби підготовки й утримання аеродромів (снігоочисники, ремонтні будівельні машини тощо); засоби зв'язку й керування (радіостанції, радіолокатори, радіомаяки та інші системи навігації, системи супутникової навігації);

- інженерно-будівельні споруди (зльотно-посадочні смуги,

будинки, підстанції, електролінії й автономні аварійні джерела живлення, паливопроводи, водопроводи тощо).

У ході прийняття стратегічних рішень щодо концепції забезпечення обороноздатності держави найліпше орієнтуватися не на забезпечення живучості окремого типу бойових літаків, а на живучість авіаційного комплексу в цілому. Розглянемо приклад, що ілюструє це положення.

Під час операції Desert Storm ("Буря в пустелі") Ірак перегнав найбільш сучасні й ефективні фронтові бомбардувальники Су-24 на територію Пакистану, що брав участь у конфлікті, і не використав їх при веденні бойових дій. На перших етапах проведення операції міжнародні сили повністю вивели з ладу весь наземний склад високоефективного авіаційного комплексу (такі, як системи радіонавігації, наведення та ін.), до складу якого входили ці літаки. У результаті цього ефективність їхнього застосування зрівнялася з набагато більш простими й дешевими Су-25, і військове керівництво не вважало за потрібне ризикувати цією дорогою технікою.

Таким чином, піднімаючись по ієрархічній структурі авіаційного комплексу, можна констатувати, що поразка суміжної складової цієї складної системи здатна спричинити загибель розглянутого ЛА (або зрив виконання бойового завдання) навіть у випадку його технічної справності.

Застосовуючи ж поняття складної системи з розвинутою ієрархічною структурою до окремого ЛА, відзначимо, що, спускаючись від рівня літака або вертольота по ієрархічній градації, можна прийти до очевидного виводу про те, що вихід з ладу одного з елементів нижчестоячого рівня (помпаж двигуна, руйнування хвостового оперення або рульового гвинта, ураження льотчика, вибух боєкомплекту бортової гармати) може призвести до виходу з ладу ЛА в цілому. Однак це стосується не всіх об'єктів нижчестоячих рівнів. Наприклад, на деяких ЛА є по два льотчики або оператор має можливість і навичками керування літаком (вертольотом). Більшість сучасних бойових ЛА має два двигуни, причому потужності одного з них досить не тільки для керованого польоту, але й для успішного приземлення. Вертольоти ж здатні здійснювати посадку в режимі

авторотації при виведених з ладу всіх двигунах.

Відносно експлуатаційної живучості варто підкреслити, що витрати на реалізацію заходів щодо її підвищення, на відміну від бойової живучості, виправдують себе не тільки під час ведення бойових дій, але й протягом усього строку експлуатації створеного ЛА.

Живучість ЛА	ЛТХ (діапазон висот і швидкостей польоту, швидкопідйомність, граничне перевантаження, енергоозброєність)
	Бойова живучість
	Експлуатаційна живучість
	Надійність (безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збережність)
	Невидимість (радіолокаційна, інфракрасна, візуальна й акустична непомітність)
	Здатність поставлення активних і пасивних перешкод
	Автономність використання
	Тактика використання
	Повнота й оперативність отримання інформації про противника
	Особливість використовуваного озброєння, вогневий захист
	Кваліфікація, бойовий досвід, психологічний стан та умови роботи екіпажу
	Невисокі вимоги до аеродрому базування й наземного обладнання.
	Експлуатаційна технологічність. Ремонтоздатність
	Імовірність впливу засобів ураження різноманітних типів

Рисунок 2.3 – Фактори, що впливають на живучість ЛА

3 КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ АКТ

3.1 *Визначення, терміни*

Серед найважливіших експлуатаційно-технічних характеристик (ЕТХ), що визначають ефективність літака, особливе місце займають показники надійності, безпеки й живучості. У ТТТ на проєктовані літаки значення показників надійності, безпеки й живучості задаються так само, як і льотно-технічні характеристики (ЛТХ): вантажопідйомність, крейсерська швидкість, довжина ЗПС, максимальна дальність, точність навігації та ін.

Відповідно до Держстандарту 27.002-83 «Надійність в техніці. Терміни й визначення» сформулюємо такі визначення.

Надійність – властивість літака зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати польотні завдання в розрахункових режимах і умовах

експлуатації, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання й транспортування.

Надійність є складною властивістю літака і має такі складові: безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність й збережність.

Безвідмовність – властивість літака безупинно зберігати працездатний стан протягом часу виконання польотного завдання.

Ремонтпридатність – властивість літака, що полягає у пристосованості до попередження й виявлення причин виникнення відмов, ушкоджень і підтримці й відновленню працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування й ремонтів. Ремонтпридатність входить до більш загальної властивості літака – експлуатаційної технологічності. Експлуатаційна технологічність характеризує пристосованість літака до виконання усіх видів робіт з технічного обслуговування й ремонтів, включаючи заправлення, спорядження, навантаження й вивантаження, тобто оперативне обслуговування, не пов'язане з відмовами та ушкодженнями.

Довговічність – властивість літака зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування й ремонту. Довговічність характеризує економічну доцільність експлуатації літака до граничного нальоту й календарного строку.

Збережність – властивість літака зберігати значення показників безвідмовності, довговічності й ремонтпридатності протягом і після зберігання і (або) транспортування.

Надійність літака є однією із властивостей сукупності, що визначає його якість (ефективність). У цю сукупність властивостей входять також безпека й живучість.

Безпека – властивість літака безупинно протягом польоту зберігати працездатний стан тих систем і агрегатів, які забезпечують завершення польоту без льотної події.

Під безпекою польотів розуміється властивість комплексу: екіпаж-літак – наземне забезпечення й керування повітряним рухом виконувати польоти без льотних подій.

Живучість – властивість літака зберігати працездатний стан при впливі уражаючих засобів і нерозрахованих навантажень, а також при

наявності нагромаджених ушкоджень.

Перелічені властивості літака виявляються у процесі експлуатації при певному впливі зовнішнього середовища, що залежить від режимів польотів, кліматичних умов, інтенсивності впливу нерозрахованих умов і при конкретних способах технічного обслуговування. Тому вони називаються експлуатаційними й визначають значення експлуатаційно-технічних характеристик (ЕТХ) літака. Точні оцінки значень ЕТХ можна одержати тільки після тривалої експлуатації великої кількості літаків даного типу.

Взаємозв'язок експлуатаційних властивостей літака з його реальною ефективністю зображено на рис. 3.1. Властивість літака виконувати польотні завдання без врахування експлуатаційних властивостей назовемо вихідною ефективністю. Вона визначає придатність літака для використання за призначенням залежно від його льотно-технічних характеристик (ЛТХ).

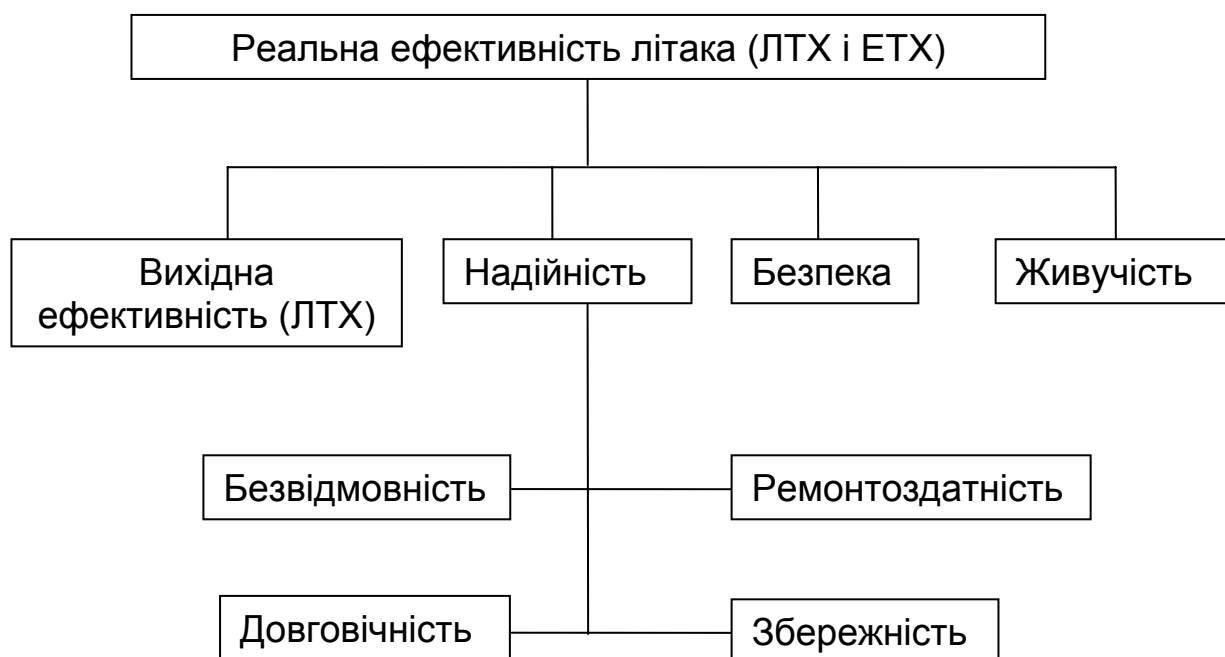


Рисунок 3.1 – Взаємозв'язок експлуатаційних властивостей літака з ефективністю

У процесі тривалої експлуатації літак, його системи й агрегати можуть переходити з одного стану в інший. ДОСТ 27.002-83 передбачає п'ять можливих станів об'єкта:

– справний стан, при якому він відповідає усім вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації;

– несправний стан, при якому він не відповідає хоча б одному з вимог нормативно-технічної і (або) конструкторської документації;

– працездатний стан, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати польотне завдання, відповідають вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації;

– непрацездатний стан, при якому значення хоча б одного параметра, що характеризує здатність виконувати польотне завдання, не відповідає вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації;

– граничний стан, при якому його подальше застосування з призначення неприпустиме або недоцільне, або відновлення його справного або працездатного стану неможливе або недоцільне.

Перехід літака і його складових частин з одного стану в інший відбувається внаслідок подій, що розрізняються за їхніми наслідками.

Ушкодження або несправність – подія, що полягає у порушенні справного стану системи літака при збереженні працездатного стану.

Відмова – подія, що полягає у порушенні працездатного стану системи літака.

Авіаційна подія – подія, пов'язана з експлуатацією літального апарата і така, що сталася в період знаходження на його борту екіпажу або пасажирів з метою виконання польоту, при якому відбулося повне руйнування або ушкодження літального апарата, що неможливо усунути в експлуатаційній організації, із загибеллю або без загибелі будь-якого із зазначених осіб.

Авіаційні події поділяють на льотні й наземні. До льотних відносяться події, що відбуваються в польоті, а до наземних – події до або після польоту.

Залежно від значущості наслідків льотні події поділяються на три види: поломки, аварії і катастрофи (ДОСТ 18340-73).

Поломка – льотна подія, що не спричинила загибель членів екіпажу або пасажирів, після якої відновлення літака проводиться ремонтним підприємством і він може бути допущений до

експлуатації.

Аварія – льотна подія, що не спричинила загибель членів екіпажу або пасажирів, після чого літак відновленню не підлягає.

Катастрофа – льотна подія, що призводить до загибелі хоча б одного члена екіпажу або пасажирів при повному або частковому руйнуванні літака.

Льотна подія класифікується як катастрофа, якщо смерть людей від поранень, отриманих у польоті, настає протягом десяти діб після цього. До катастроф також належать випадки зникнення літаків під час польоту.

Надзвичайна подія – подія, пов'язана з експлуатацією літака (але не пов'язана з авіаційними подіями), під час якої відбулися: руйнування або ушкодження літака з порушенням міцності або зміною льотно-технічних характеристик; поранення або загибель людей (загибель людей, що перебували на борту, після вимушеної посадки літака від голоду, спраги, холоду та інших причин).

До льотних подій відносять вимушену посадку літака на такій площадці, звідки він не може бути евакуйований незалежно від ступеня його ушкодження.

Зникнення літака також класифікується як льотна подія.

3.2 Кількісні показники надійності, безпеки й живучості літака

Безвідмовність літака найбільш просто може бути кількісно оцінена таким показником, як нальот на відмову системи, що спричинив невиконання польотного завдання T_n , год, яке визначається за формулою

$$T_n = t_{\Sigma} / N_n, \quad (3.1)$$

де t_{Σ} – сумарний нальот парку літаків даного типу за визначений календарний період експлуатації (наприклад, рік); N_n – сумарна кількість відмов систем цих літаків за той же календарний період експлуатації, що спричинили невиконання польотного завдання.

При розрахунках безвідмовності систем і літака в цілому широко користуються таким показником, як параметр потоку відмов $\omega_{пк}$, год⁻¹, який є величиною, зворотною T_n . Параметр потоку відмов – це кількість відмов, що приходяться на годину нальоту літака. Як

показник безвідмовності застосовується також імовірність безвідмовної роботи за час виконання завдання $P(t)$ і ймовірність відмови системи літака за час виконання польотного завдання $Q(t)$, що спричинило його зрив.

Ремонтопридатність літака може бути кількісно оцінена таким комплексним показником, як імовірність готовності до виконання польотного завдання. Для усталеного режиму експлуатації цей показник називають коефіцієнтом готовності K_r

$$K_r = t'_r, \quad (3.2)$$

де t'_r – відносний час перебування літаків у стані готовності до польоту й у польоті.

Однак на значення коефіцієнта готовності літаків даного типу дуже впливає організація постачання запасними деталями, використання технічного складу на допоміжних роботах, а також інші фактори, не пов'язані безпосередньо з особливостями конструкції даного літака. Тому на етапі проектування й у процесі початкової експлуатації поширення одержав показник експлуатаційної технологічності: питома сумарна трудомісткість технічного обслуговування літака K_T , що виражається в люд. год/год нальоту й зумовлена як трудомісткість усіх видів технічного обслуговування й ремонту в межах ресурсу до першого ремонту, що припадає на годину нальоту.

Показниками довговічності літака є значення ресурсів і строків служби. Розрізняють три види призначених ресурсів:

- повний ресурс – напрацювання, при досягненні якого літак не підлягає подальшій експлуатації й ремонту;
- ресурс до першого ремонту – напрацювання, при досягненні якого літак направляється в перший ремонт;
- міжремонтний ресурс – напрацювання на період експлуатації літака між двома послідовними ремонтами.

При обслуговуванні літаків за технічним станом використовуються тільки два показники фактичної досяжної довговічності – повний ресурс і повний термін служби кожного екземпляра літака. Замість ресурсу до першого ремонту встановлюється призначений ремонтний цикл – граничне

напрацювання, до якого завершуються всі необхідні для кожного екземпляра літака ремонтні роботи частинами.

Ресурси агрегатів і літака виражаються в годинах нальоту, кількості польотів або посадок і позначаються відповідно $t_{оп}$, t_1 , $t_{мр}$. Поряд з ресурсами довговічність літака вимірюється відповідними термінами служби – календарною тривалістю експлуатації у роках. Наприклад, термін служби літака до першого ремонту – це календарна тривалість експлуатації літака, при досягненні якої він направляється в перший ремонт. Терміни служби позначаються відповідно $T_{оп}$, T_1 , $T_{мр}$. Літак направляється на перший ремонт або в результаті виробітку ресурсу до першого ремонту, або по закінченні терміну служби до першого ремонту.

Показником збережності літака є термін зберігання $T_{зб}$ в роках.

При кількісному оцінюванні безпеки варто розрізняти безпеку польотів літака й безпеку літака. Безпека літака залежить тільки від особливостей його конструкції. Безпека польотів залежить як від безпеки літака, так і від професійної підготовки екіпажу й керівників польотами, а також від технічного оснащення й організаційної структури системи керування повітряним рухом. При оцінюванні безпеки польотів літака даного типу враховується загальна кількість льотних подій з усіх причин за певний календарний період експлуатації. При оцінюванні безпеки літака враховується кількість тільки тих льотних подій, які відбулися через конструктивно-виробничий недолік (КВН).

Як показник безпеки літака поширення одержав нальот на льотну подію $T_{л.п}$, год, що визначається як

$$T_{л.п} = t_{\Sigma} / n_{л.п}, \quad (3.3)$$

де $n_{л.п}$ – сумарна кількість льотних подій по КВН для усього парку літаків даного типу за розглянутий календарний період експлуатації.

Льотні події поділяються на катастрофи, аварії і поломки. Показником безпеки літака, що враховує найбільш важкі льотні події, є нальот на катастрофу $T_{кат}$, год:

$$T_{кат} = t_{\Sigma} / n_{кат}, \quad (3.4)$$

де $n_{кат}$ – сумарна кількість катастроф по КВН для усього парку літаків даного типу за розглянутий календарний період експлуатації.

У практиці міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) використовуються зворотні значення зазначених вище показників безпеки:

$K_{лп}$ – кількість льотних подій на 100 тис. годин нальоту або на 100 тис. посадок; $K_{кат}$ – кількість катастроф на 100 тис. годин нальоту або на 100 тис. посадок.

Для пасажирських літаків самостійного значення набув показник безпеки, що враховує місткість літака й значущість катастроф. Таким показником є обсяг пасажирських перевезень, що припадає на одного загиблого пасажира $A_{п}$ [пас.-км]:

$$A_{п} = (\sum_{i=1}^N n_{іпас} * l_{ірейс}) / n_{пас}, \quad (3.5)$$

де $n_{іпас}$ – кількість пасажирів в і-му рейсі; $l_{ірейс}$ – наліт у кілометрах в і-му рейсі; N – кількість рейсів усіх літаків даного типу за розглянутий період експлуатації; $n_{пас}$ – сумарна кількість загиблих пасажирів за розглянутий період у результаті катастроф через КВН літаків даного типу.

Кількісні показники живучості відбивають різний ступінь уразливості літака:

– імовірність збереження працездатності після дії уразливих засобів $P_{жив}$ характеризує здатність літака виконати польотне завдання й нормально повернутися на аеродром;

– імовірність повернення на свою територію після дії уразливих засобів $P_{пов}$ оцінює можливість повернення літака навіть із аварійними ушкодженнями та змушеною посадкою;

– імовірність виживання екіпажу й пасажирів після дії уразливих засобів $P_{виж}$ оцінює ефективність засобів захисту й аварійного покидання.

Оцінювання показників живучості проектованого літака може бути виконане на основі моделювання умови поразки й особливостей конструкції літака.

3.3 Взаємозв'язок ефективності, надійності й живучості літака

Найзагальнішою властивістю, що показує технічну досконалість літака, є ефективність. Для кількісного оцінювання цієї властивості

потрібен показник, який би в одній розмірності містив показники інших властивостей літака, що визначають успішність його функціонування. Одним з показників реальної ефективності літака, що враховує різнохарактерні його властивості, є ймовірність виконання типового польотного завдання $P_{\text{еф.р}}$. Цю ймовірність зручно подати як добуток трьох імовірностей: виконання польотного завдання при абсолютній надійності й живучості, що називають показником вихідної ефективності $P_{\text{еф.в}}$, надійної роботи літака як показника його надійності $P_{\text{над}}$, збереження живучості літака як показника його живучості $P_{\text{жив}}$:

$$P_{\text{еф.р}} = P_{\text{еф.в}} P_{\text{над}} P_{\text{жив}}. \quad (3.6)$$

Значення показника вихідної ефективності визначається, в основному, льотно-тактичними характеристиками (ЛТХ), такими, як максимальна швидкість, мінімальна висота польоту, маневреність, точність систем навігації й наведення, вантажопідйомність та ін.

Показник надійності літака, у свою чергу, можна подати як добуток імовірності готовності літака до виконання польотного завдання K_r на ймовірність безвідмовної роботи літака за час виконання польотного завдання $P(\tau)$:

$$P_{\text{над}} = K_r P(\tau). \quad (3.7)$$

Якщо, наприклад, винищувач-перехоплювач багато разів виконує польотне завдання з перехоплення повітряної цілі, то в ряді випадків це завдання не виконується і при надійній роботі літака, а також при повному збереженні живучості. Це може статися, якщо ціль зманеврувала з дуже великим перевантаженням або зникла в складних місцевих умовах й перехоплювач, який через недостатньо високу розв'язну здатність каналу супроводу втратив її. Ціль може залишитися не перехопленою при недостатній точності наведення. Подібні випадки є наслідком конкретних значень ЛТХ літака й ураховуються показником вихідної ефективності. Значення $P_{\text{еф.в}}$ завжди менше одиниці.

Але польотне завдання може бути не виконане і через ненадійну роботу матеріальної частини літака. В одних випадках на момент одержання завдання літак виявляється не готовим до вильоту з ряду причин: або на ньому проводяться регламентні

роботи, або дороблення конструкції за технічним бюлетенем, або усуваються несправності, що виникли. Ці випадки свідчать про таку властивість літака, як ремонтпридатність, що входить у більш загальну властивість – надійність. Вони враховуються таким показником ремонтпридатності, як усталене значення ймовірності готовності літака до вильоту, тобто коефіцієнтом готовності K_r . В інших випадках невиконання польотного завдання відбувається через відмову літака в повітрі. Ці випадки характеризують таку властивість літака, як безвідмовність, і вони кількісно враховуються таким показником безвідмовності, як імовірність безвідмовної роботи за час виконання польотного завдання. Значення $P(\tau)$, як і будь-якої ймовірності, завжди менше одиниці.

Польотне завдання може бути не виконане в ряді випадків через втрату літаком працездатності внаслідок впливу на нього уражаючих засобів або попадання його в нерозраховані умови експлуатації. У цих умовах виявляється така властивість літака, як живучість. Кількісно ці випадки враховуються ймовірністю збереження живучості літака $P_{жив}$.

Щодо транспортних літаків для узагальненої оцінки їхньої економічної ефективності використовується показник продуктивності літака на одиницю витрат. І у нього як множники входять імовірності надійної роботи й збереження живучості літака:

$$A = (m \cdot L \cdot n / t \cdot C) P_{над} \cdot P_{жив}, \quad (3.8)$$

де A – продуктивність літака на одиницю витрат; m – маса перевезеного вантажу; L – дальність перевезень; t – час транспортної операції; n – кількість планованих літако-вильотів за час операції; C – витрати, які списують за час операції; $P_{над}$ – імовірність надійної роботи літака; $P_{жив}$ – імовірність збереження живучості літака.

Таким чином, реальна ефективність охоплює усі основні властивості літака, що визначають технічну досконалість його конструкції. Під конструкцією літака розуміється не тільки його каркас, але й структурні, компоновочні й експлуатаційні особливості всіх його систем, включаючи устаткування.

У випадку, коли літак призначений для виконання істотно різних тактичних завдань, його ефективність може бути оцінена як

математичне очікування ефективностей при виконанні окремих завдань. І в частинні, і в узагальнені, і в комплексні показники ефективності літака як множники входять показники надійності й живучості. Оцінювання літака за однією будь-якою властивістю, наприклад, за надійністю у відриві від інших властивостей, буде неповним і не сприятиме розробленню літака з оптимальними характеристиками.

Метою створення нової конструкції літака є одержання більш високого значення показника реальної ефективності порівняно з конкуруючими проектами літаків. Аналіз формул (3.6) і (3.8) показує, що перший множник, який оцінює вихідну ефективність, можна збільшити практично тільки ціною ускладнення основних систем літака і його конструкції. Наприклад, для забезпечення крейсерської надзвукової швидкості польоту літака, максимальної швидкості, що відповідає числу $M = 3$, і можливості польоту на більших висотах з низьким рівнем демаскуючих ознак необхідно значно ускладнити обладнання, системи планера й силової установки. Якщо збільшення швидкості, дальності й висоти польоту, дальності захоплення й розв'язної здатності бортового радіолокатора, точності навігаційної системи й системи інструментальної посадки звичайно приводить до зростання значення показника вихідної ефективності літака $P_{\text{еф.в}}$, то внаслідок одночасного значного ускладнення більшої частини систем – до зниження значень показників надійності й живучості $P_{\text{над}}$ і $P_{\text{жив}}$.

Розглянемо числовий приклад. Якщо умовний літак А, що перебуває в експлуатації, характеризується такими значеннями показників ефективності, надійності й живучості:

$$P_{\text{еф.в}} = 0,75; P_{\text{над}} = 0,95; P_{\text{жив}} = 0,9; P_{\text{еф.р}} = 0,64,$$

то для більш складного проектованого літака Б

$$P_{\text{еф.в}} = 0,8; P_{\text{над}} = 0,85; P_{\text{жив}} = 0,8; P_{\text{еф.р}} = 0,54.$$

Збільшення вихідної ефективності літака Б за рахунок його ускладнення не призвело до підвищення реальної ефективності через істотне зниження значень показників надійності й живучості. Інший проєктований літак В характеризується такими значеннями:

$$P_{\text{еф.в}} = 0,74; P_{\text{над}} = 0,99; P_{\text{жив}} = 0,95; P_{\text{еф.р}} = 0,7.$$

Спрощення основних систем літака В у сполученні з

конструктивними заходами щодо поліпшення експлуатаційної технологічності й підвищення живучості хоча й спричинило деяке зниження значення показника вихідної ефективності, але привело до істотного збільшення значень показників надійності й живучості. У підсумку літак В порівняно з іншими літаками (А і Б) має найбільше значення показника реальної ефективності.

Як видно з викладеного вище, такі властивості літака, як надійність і живучість, безпосереднім чином впливають на значення показника його ефективності.

3.4 Значення надійності літака

Надійність є одним з основних властивостей сучасного літака. Цьому сприяли дві обставини в розвитку авіаційної техніки:

- 1) ускладнення літака;
- 2) зростання збитків від відмови літака.

Ускладнення літака було наслідком постійного прагнення збільшити його ефективність. З цією метою літак оснащується складним радіоелектронним устаткуванням, що вирішує завдання бойового застосування, автоматичного керування польотом, автономної навігації, зв'язку та ін.

Поліпшення льотно-тактичних даних літака (збільшення максимальної швидкості й дальності польоту, зменшення зльотно-посадочної дистанції і мінімальної робочої висоти польоту) також пов'язане з ускладненням його систем.

Ускладнення літака можна наочно простежити на прикладі збільшення кількості елементів електронної апаратури бомбардувальників фірми Боїнг по роках (рис. 3.2).

Якщо на літаках В-17 і В-29 застосовується устаткування, що складається з 1000–2000 елементів, то на літаку В-58 кількість елементів зросла до 95 000, а на надзвуковому стратегічному бомбардувальнику В-70 передбачалося використати електронне устаткування, що налічує 150 000 елементів.

Система керування американської балістичної ракети «Атлас» складається з 300 000 деталей.

У той же час, якщо для безвідмовної роботи літака потрібно,

щоб безвідмовно працювала певна кількість елементів, ймовірність безвідмовної роботи літака дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи цих елементів. Це правило, назване законом множення ймовірностей, дозволяє зробити висновок про те, що чим складніша система, тим нижча її надійність при однаковій безвідмовності елементів без резервування.

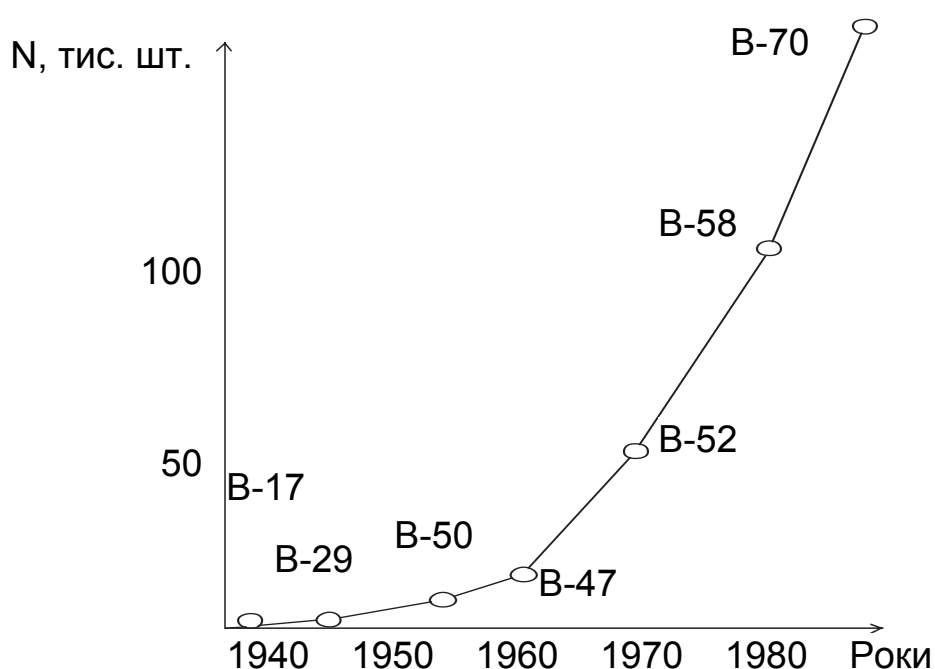


Рисунок 3.2 – Збільшення кількості елементів бортового устаткування літаків по роках

Якщо для простоти оцінювання припустити, що ймовірність усіх елементів системи однакова, то

$$P_c(\tau) = P_i^n(\tau), \quad (3.10)$$

де $P_c(\tau)$ – ймовірність безвідмовної роботи системи за час τ ; $P_i^n(\tau)$ – ймовірність безвідмовної роботи елемента за час τ ; n – кількість елементів, від яких залежить безвідмовна робота системи.

Наскільки сильно впливає кількість елементів на безвідмовність системи, видно з такого умовного прикладу. При досить високій безвідмовності елемента, оцінюваної значенням $P_i(\tau) = 0,999$, але при числі $n = 1000$, за формулою (3.10) одержуємо дуже низьке значення ймовірності безвідмовної роботи системи $P_c(\tau) = 0,37$. Завдяки застосуванню резервування (особливо в електронних схемах)

значення показника безвідмовності систем літака вдається збільшити до прийнятної величини.

Прагнення конструктора підвищити ефективність літака призводить до значного ускладнення основних його систем, а це, у свою чергу, знижує надійність літака, через що його ефективність не підвищується. Уникнути несприятливого впливу ускладнення систем на надійність літака вдається тільки застосуванням спеціальних методів, які розробляються в теорії надійності.

Зростання збитків від відмов літака найбільше гостро проявляється при аваріях і катастрофах. Збиток від катастрофи літака типу DC-10 незрівнянно більший, ніж від катастрофи літака типу DC-3 у минулому.

Збиток від недостатньої надійності літака проявляється також і в частій неготовності літаків до польоту, що, у свою чергу, впливає на величину середньорічного нальоту літаків. Збиток від літаків, що простоюють через несправності, може досягати десятків мільйонів доларів у рік.

Залежність середньорічного нальоту літака від кількості несправностей показано на рис. 3.3.

Обидва зазначених вище фактори – зниження надійності через ускладнення систем і підвищення збитку від відмов – привели до того, що показник надійності став найважливішою технічною характеристикою літака. А підвищення надійності авіаційної техніки є науково-технічним завданням державного значення.

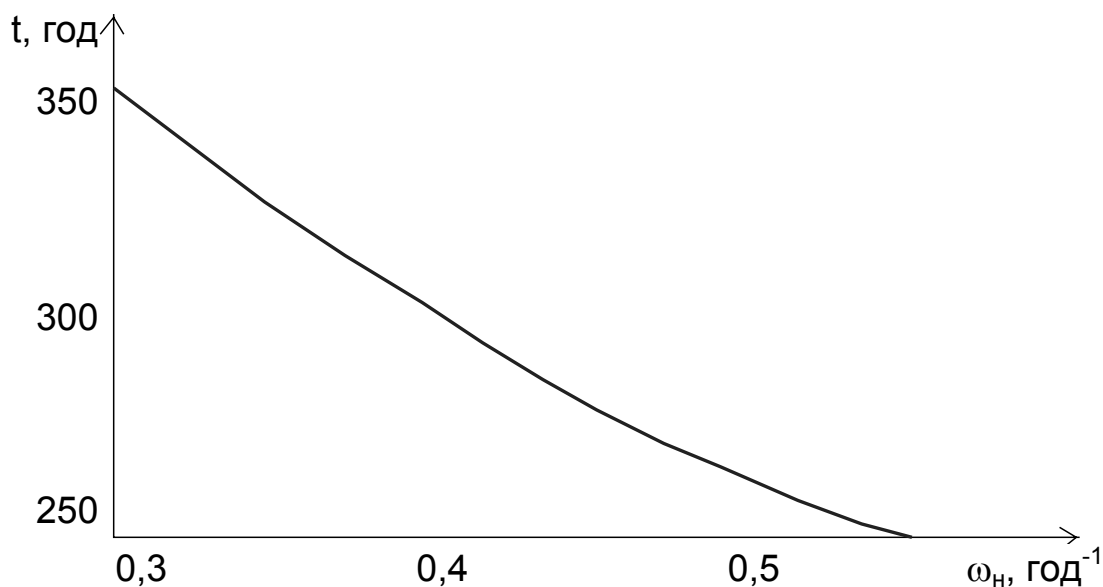


Рисунок 3.3 – Залежність середнього типового нальоту літака від кількості несправностей

4 ОСНОВНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ АКТ (ПРИ ПРОЕКТУВАННІ, ВИРОБНИЦТВІ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ, УТИЛІЗАЦІЇ)

Одним з критеріїв вибору товарів аерокосмічного призначення є його безпека й надійність. Шляхи підвищення цих характеристик залежать від стадії реалізації сучасних методів при розробленні, виробництві й експлуатації товарів аерокосмічного призначення. Удосконалення цих методів залежить від досвіду й високої кваліфікації робітників.

Заміна людського фактора на кожній стадії комп'ютерною технікою дозволяє інтенсифікувати зміни цих методів і вдосконалювати з точки зору сучасних тенденцій розвитку об'єктів АКТ.

4.1 Основні тенденції зміни конструкції сучасних літаків, що впливають на їхню безвідмовність

За минуле десятиліття значно поліпшилися льотно-технічні характеристики літаків. Швидкість винищувачів уже в три рази перевищує швидкість звуку. Надзвуковими стали бомбардувальники й пасажирські літаки. Безупинно збільшується вантажопідйомність дозвукових пасажирських і транспортних літаків. Підвищення ефективності авіаційної техніки виявилось можливим завдяки швидкому розвитку методів конструювання, виробництва й випробувань, які привели до істотних змін елементів деталей і агрегатів, що визначають їхню безвідмовність.

Розглянемо зміни в конструкції основних систем літака:

1. Каркас літака. Збільшилися напруги в основних силових елементах завдяки більш широкому застосуванню високоміцних сплавів. Збільшилися кількість навантажень у годину, а також рівень динамічних навантажень і коливань частин конструкції.

Усі ці фактори створили додаткові труднощі в забезпеченні необхідної статичної витривалості й динамічної міцності елементів каркаса. Збільшення величини й частоти пульсацій повітряного потоку висуває особливі вимоги до забезпечення міцності обшивання й заклепувальних з'єднань частин каркаса, омиваних повітряним потоком.

Погіршилися температурні умови роботи конструкцій через кінетичне нагрівання й підвищену тепловіддачу силової установки. У цілому конструкція фюзеляжу, крила й оперення значно ускладнилася. Збільшилася кількість дверей, аварійних і експлуатаційних люків, а також збільшилися їхні розміри. Ускладнилася конструкція повітрозабірників. У зв'язку із застосуванням здування примежового шару як по передній, так і по задній крайках крила, ускладнилась система механізації. Почали застосовуватися ламкі передкрилки, дво- і трицілінні закрилки. Літаки почали оснащуватися системою зміни стрілоподібності крила в польоті. Замість м'яких баків у крилі й фюзеляжі застосовуються паливні відсіки. Перехід до суцільноповоротного стабілізатора ускладнив його кріплення до фюзеляжу. На суцільноповоротному стабілізаторі з'явилися передкрилки.

2. Кабіна й ліхтарі. Збільшення максимальної швидкості польоту, аеродинамічного й теплового навантажень, а також необхідність розрахунку лобового засклення на випадок зіткнення із птахом спричинили ускладнення конструкції закладення засклення й систем керування стулками ліхтарів. Внаслідок збільшення динамічної стелі бойових літаків ускладнилася система герметизації кабіни. Значне ускладнення конструкції катапультуючого крісла, пов'язане із введенням електроприводів і агрегатів автоматики, спричинене збільшенням діапазону швидкостей і висот катапультування.

3. Зльотно-посадочні пристрої. Збільшені допустимі напруження в елементах шасі. Через збільшення швидкостей відриву й посадки зросли величини й частоти динамічних навантажень і ймовірність появи шиммі переднього колеса. Експлуатація літаків на ґрунтових аеродромах збільшила загальний рівень навантаження на шасі. Збільшення швидкостей випуску й вбирання шасі призвело до збільшення динамічних навантажень пульсуючого потоку, що діють на щитки й стулки шасі. Значно зросла енергоємність гальмівних коліс. Різко погіршилися температурні умови функціонування авіаційної техніки. Значне зростання зльотної маси сучасних важких літаків призвело до створення складних багатостоякових систем

шасі.

Широке застосування одержали гальмівні парашути. Бойові літаки при експлуатації із ґрунту почали оснащуватися стартовими прискорювачами.

4. Гідросистеми. Значне ускладнення гідросистем відбулося внаслідок збільшення кількості виконуваних ними функцій. Перехід на більш високий робочий тиск і погіршення зовнішніх умов роботи гідроагрегатів (температура, вібрації, забруднення робочої рідини) спричинили додаткові складнощі у забезпеченні необхідної безвідмовності.

5. Пневмосистеми. Поряд зі збільшенням кількості виконуваних функцій пневмосистеми почали забезпечуватися більшою кількістю автоматичних агрегатів. На більшості літаків встановлюються системи автоматичного розгальмовування коліс із пневматичними електромагнітними клапанами й електричними інерційними датчиками. Широке застосування одержали передні гальмівні колеса.

6. Паливна система. Збільшення висоти польоту й швидкопідйомності, кількості паливних відсіків і продуктивності паливопідкачувальних насосів, введення централізованого заправлення літаків паливом призвело до істотного ускладнення паливних систем. Замість простого бачка від'ємних перевантажень застосовуються бачки-акумулятори з рухомою мембраною. Збільшення температури повітря, що відбирається від двигуна, погіршило умови роботи агрегатів системи наддуву. Кількість агрегатів паливної системи значно зросла.

7. Система кондиціонування. Збільшення висотності й швидкопідйомності літаків призвело до ускладнення конструкції автоматичного регулятора тиску й запобіжного клапана. Збільшення температури вище припустимої у відсіках радіоелектронного й приладового устаткування призвело до необхідності їхнього охолодження за допомогою системи кондиціонування. Підвищення температури повітря, що відбирається від двигунів для системи кондиціонування, потребує значного збільшення холодомісткості системи й відповідного ускладнення її структури з одночасним збільшенням кількості агрегатів.

8. Система керування. В усіх каналах керування почали застосовуватися пружинні механізми завантаження й демпфери. У канал керування стабілізатором включається автомат завантаження по висоті й швидкості польоту. Застосування електромеханізмів тримерного ефекту забезпечує балансування літака на заданому режимі польоту. Більша частина літаків обладнується електронними системами автоматичного керування (САК).

9. Двигуни. Найбільше поширення одержали дво- і тривальні двоконтурні турбореактивні двигуни з осьовим багатоступінчастим компресором високого ступеня підвищення тиску. Для забезпечення необхідного запасу стійкості компресора на перехідних режимах більша частина щаблів напрямного апарата обладнана поворотними лопатками. Збільшення кількості споживачів ускладнило вузол приводів і агрегатів, що обслуговують двигун і літак. Ускладнилася й система керування стулками реактивного сопла. Значно ускладнилася паливно-регулююча апаратура. Широко застосовуються пристрої реверса тяги.

10. Електроустаткування. Значно зросла потужність джерел постійного і змінного току. Збільшення кількості споживачів ускладнило електромережу, потребувало введення великої кількості захисних пристроїв, а також великої кількості агрегатів комутаційних апаратів (реле, контакторів, вимикачів і перемикачів). Погіршилися умови роботи елементів електроустаткування внаслідок підвищення температури, збільшення рівня вібрації й збільшення висотності літаків.

11. Приладове устаткування. Зміна приладового устаткування відбулася у напрямку збільшення номенклатури приладів, розширення діапазону вимірів, підвищення точності вимірів і створення комбінованих приладів.

12. Радіоустаткування. Ускладнення радіоустаткування сучасних літаків було наслідком їхнього оснащення радіолокаційними станціями наведення й керування з більш високими тактико-технічними даними і їхнього сполучення з навігаційними системами. Кількість елементів комплексу радіоустаткування сучасного літака завдяки мікромініатюризації збільшилась у багато разів. Устаткування

бойових літаків системами радіопротидії й збирання інформації також ускладнило їхнє радіоустаткування в цілому.

13. Озброєння й навантажувальне устаткування. За даними закордонних фахівців застосування ракетних систем різних класів за рахунок складності конструкції самих ракет, пристроїв їхньої підвіски й пуску, систем їхнього керування істотно ускладнило надійну експлуатацію цих систем.

14. Вантажно-розвантажувальне устаткування важких транспортних літаків значно ускладнилося завдяки збільшенню кількості виконуваних ними функцій і забезпеченню виконання нових тактичних завдань.

Таким чином, ускладнення основних систем літака з метою поліпшення його льотно-тактичних даних, а також погіршення зовнішніх умов роботи елементів систем створили об'єктивні передумови для збільшення потоку відмов і несправностей.

Тому для забезпечення необхідного високого рівня безвідмовності й відмовобезпеки систем нового літака конструктор повинен вирішувати такі основні завдання:

1. Проаналізувати вимоги до розроблювальної системи, особливості конструкцій і досвід експлуатації аналогічних систем на інших літаках.

2. Дослідити очікувані умови експлуатації (ОУЕ) системи й спектр навантажень.

3. Зробити аналіз працездатності й забезпечення заданих вимог за надійністю паралельно з розробленням варіантів схемно-конструктивного вирішення системи.

4. Розробити комплекс програм експериментальних досліджень незрозумілих питань виробництва й функціонування системи.

5. Застосовувати прості й перевірені під час експлуатації конструктивні рішення агрегатів у формі модулів і блоків, що забезпечують взаємозамінність, доступність, легкознімність, контролепридатність, виробничу й експлуатаційну технологічність.

6. Використати резервування агрегатів і підсистеми як засіб забезпечення необхідної безвідмовності й експлуатаційної технологічності.

7. Зменшувати вплив місцевих концентраторів напруг шляхом вибору відповідного матеріалу деталей конструкції, розроблення досконалої технології виготовлення й контролю якості, застосування плавних переходів зміни геометрії деталей, спеціальної термообробки, температурних компенсаторів, збільшення радіусів концентраторів, підвищення класу чистоти поверхонь і точності сполучних деталей, використання стандартного кріплення з натягом.

8. Забезпечити необхідну чистоту робочих рідин, повітря й газів у процесі експлуатації шляхом організації їхнього постійного очищення від сторонніх домішок.

9. Розробити методи й засоби контролю працездатності системи. Джерела робочого тиску й енергії, задавачі командних сигналів мають бути обладнані датчиками і розніманнями для підключення контрольної апаратури без демонтажу агрегатів з літака й без рознімання робочих з'єднань.

10. Передбачати фіксування положення елементів агрегата, що відмовив, або переведення їх у крайнє працездатне положення.

11. Конструкція стикових вузлів і рознімань має виключати можливість неправильного устанавлення, з'єднання, підключення тощо.

12. Розробити наочну, зрозумілу й обґрунтовану інструкцію з експлуатації системи.

4.2 Причини типових відмов і несправностей систем планера літака

Для аналізу й класифікації відмов і несправностей планер літака доцільно розбити на такі основні системи:

1. Фюзеляж. 80% несправностей фюзеляжу – це тріщини малонавантажених елементів конструкції, на які діють пульсуючі навантаження повітряного потоку. До таких елементів належать: патрубки обдування хвостової частини фюзеляжу, обтічники тяг протипомпажних ступок, теплові екрани відсіків двигунів, гальмівні щитки.

Обрив головок заклепок у каналі повітрозабірників спричиняє передчасне знімання двигуна. Негерметичність паливних відсіків

надовго виводить літак з ладу.

2. Крило. Більшу частину несправностей становлять тріщини таких елементів, як деталі хвостової частини крила, обшивки й деталі каркаса ніші шасі й аеродинамічні перегородки. Негерметичність паливних відсіків крила частіше за все зустрічається в кутках і біля інших елементів, які сильно деформуються.

3. Оперення. Типовими несправностями є тріщини обшивки стабілізатора через високі вібраційні навантаження. Ці несправності усувають звичайно збільшенням товщини обшивки стабілізатора.

Внаслідок висихання змащення з'являються надирі поверхонь ковзання підшипників півосей стабілізатора, що виявляють при регламентних роботах і профілактичних ремонтах. Під час експлуатації порушення чистоти поверхонь виявляється за збільшеними зусиллями обертання від'єданого від бустера стабілізатора. Часто відбувається провертання внутрішнього кільця підшипника й при цьому з'являються небезпечні поперечні риси на високонавантаженої півосі стабілізатора.

4. Кабіна. Найбільша частина відмов припадає на механізми керування стулками ліхтаря, особливо при тросовому керуванні замками стулок. Малі радіуси перегину тросів спричиняють їхні обриви й зайоршеність.

Випадки розгерметизації стулок ліхтаря пов'язані з руйнуванням шлангів герметизації, відмовами кранів і негерметичністю трубопроводів.

Тріщини й втрата прозорості зашклення кабіни являють собою несправності, усунення яких потребує значного часу.

5. Гальмівний парашут. Обриви троса гальмівного парашута відбувається через високі динамічні навантаження в момент розкриття купола. Застосування м'якої фали парашута через більші пружні деформації дозволяє ліпше демпфірувати ударне навантаження й знизити кількість випадків обривання гальмівного парашута. До типових відмов гальмівного парашута належать також випадки мимовільного його скидання в момент розкриття купола через нечітку фіксацію замка.

6. Шасі. Тріщини й жолоблення щитків і стулок шасі виникають

внаслідок впливу на них нерозрахункових динамічних навантажень, що виникають від завихрень повітряного потоку при випущених шасі.

Випадки поломки механізму гасителя коливань передньої стійки шасі також пов'язані з виникненням нерозрахункових навантажень у разі шиммі переднього колеса.

Тріщини зварних швів стійок шасі можуть призвести до руйнування стійки й до льотної події. Для зниження концентрації напруг у звареному шві застосовується чистове проточування зварних швів.

Випадки порушення герметичності амортизаторів стояків шасі спричинені, в основному, виробничими несправностями під час виготовлення й складання деталей ущільнення.

Тріщини деталей гальмівних коліс через їхній перегрів з'являються в результаті застосування гальмівних коліс недостатньої енергоємності або нечіткої роботи агрегатів протиязової автоматики.

Вихід з ладу авіашин внаслідок проколів, порізів і потертостей є поширеною несправністю швидкісних літаків. Руйнування авіашин може призвести до важких льотних подій, оскільки при руйнуванні авіашини на великій швидкості при розбігу або пробігу відбувається, як правило, руйнування колеса, деталі якого часто пробивають криловий паливний відсік, і при цьому можливо займання літака. З метою попередження руйнування авіашин через їхнє надмірне зношування в конструкції покришок із зовнішньої сторони протектора виконуються циліндричні колодязі невеликого діаметра й певної висоти. При зношуванні протектора до дна колодязя авіашина підлягає заміні. Для цього ж шар корду, до появи якого шину можна експлуатувати, зафарбовується в яскравий колір.

7. Силові гідросистеми. Зовнішня негерметичність трубопроводів, арматур і корпусів агрегатів у більшості випадків кваліфікується як несправність. При виявленні зовнішньої негерметичності системи під час передпольотної підготовки й стартового огляду зривається виконання польотного завдання.

Внутрішня негерметичність агрегатів гідросистеми, таких, як насоси, гідроаккумулятори й гідроциліндри призводить у багатьох випадках до відхилення вихідних параметрів системи за межі норми.

Відмови гідрокранів відбуваються, в основному, через вихід з ладу їхніх електричних частин.

8. Бустерна гідросистема. Відмови бустерів є надзвичайно рідкими подіями. У польоті (за розповідями льотчиків) іноді виникає ускладнення керування, що зникає до завершення польоту. Зафіксувати заклинювання золотників бустерів під час експлуатації дуже важко. Дефекти бустерів проявляються й у вигляді зовнішньої негерметичності. Інші відмови аналогічні відмовам силових гідросистем – це відмови насосів, негерметичність шлангів і трубопроводів.

9. Пневмосистема. Типові відмови спричиняються порушенням герметичності агрегатів і трубопроводів. Відмови інерційних датчиків і електромагнітних клапанів пневматичних гальмівних систем спричиняються важкими зовнішніми умовами їхньої роботи, сильним забрудненням й високими температурами гальмівних коліс.

10. Паливна система. Негерметичність клапанів, трубопроводів, бачка-акумулятора та інших агрегатів становить понад 75% відмов і несправностей паливної системи. Негерметичність зворотного клапана трубопроводу наддування підвісного бака може спричинити пожежу на літаку, оскільки після зупинення двигуна при заправлених підвісних баках паливо під тиском, створеним наддуванням, з бака через зворотний клапан, що відмовив, попадає у гарячий компресор двигуна.

11. Система кондиціонування. Руйнування мембрани спричиняє негерметичність клапана стравлювання. На гарячих трубопроводах відбору повітря від компресорів двигунів утворюються тріщини. Засмічення й осмолення, що супроводжуються корозією, виникають у клапанах і агрегатах, які живляться гарячим повітрям від компресора, через його забруднення.

12. Система керування літаком. Найменш надійними виявляються електричні елементи агрегатів керування. У механічній проводці найпоширенішими несправностями є: збільшені люфти, збільшене тертя й заїдання підшипників тяг і качалок.

13. Система установлення й охолодження двигунів. До типових дефектів цієї системи належать: жолоблення літакових сопел

двигунів, негерметичність редукторів кисневого підживлення двигунів, тріщини патрубків турбостартерів і перепускання повітря з компресора двигунів.

14. Маслосистема. Поширеними дефектами є внутрішня негерметичність паливо-масляних радіаторів внаслідок неякісного паяння стільників і зовнішня негерметичність маслобака.

Дослідження технічних причин відмов і несправностей є найважливішою основою для розроблення конструктивно-технологічних заходів щодо підвищення надійності літака.

Найціннішу інформацію про фізику відмов дають дослідження технічного стану агрегатів, що відмовили, літаків з максимальним нальотом.

4.3 Конструктивні заходи щодо підвищення надійності систем планера літака

Фюзеляж, крило, оперення. Для запобігання утворенню тріщин на малонавантажених елементах конструкції, на які діють пульсуючі навантаження повітряного потоку, необхідно знизити загальний рівень розрахункових напруг до $\sigma_p(0,3...0,5)\sigma_b$ і зменшити вплив концентраторів напруги. Варто широко застосовувати обшивку, що хімічно протравлена, й фюзеляжні панелі зі стовщеннями полотна в місцях розташування заклепок, болтів і точкового електрозварювання. При конструюванні фюзеляжу необхідно звернути увагу на забезпечення підвищеної міцності таких вузлів, як патрубки забору повітря, обтічники тяг і протипомпажні стулки повітрозабірників, гальмові щитки, стулки шасі й легкознімні панелі, теплові екрани двигунів і кути в паливних відсіках. Заклепки в каналах повітрозабірників повинні мати подвійний запас міцності потайної головки, яка працює на обрив. Для скорочення кількості наскрізних отворів у клепаних паливних відсіках, які необхідно герметизувати, варто застосовувати фрезеровані панелі з ребрами по поздовжньому й поперечному наборах, використовуючи їх для з'єднання зі стінками, шпангоутами й нервюрами. Шви по периметру паливного відсіку бажано винести із зони палива, застосовуючи для цього стінки швелерного перетину. Експлуатаційні люки в паливному відсіку

повинні забезпечувати доступ до будь-якої точки внутрішньої поверхні, омиваної паливом, для ремонту системи герметизації в експлуатаційних умовах.

При конструюванні крила необхідно звернути увагу на забезпечення підвищеної міцності хвостової частини між кесоном і закрилками, деталей ніші (якщо колесо й стояк вбираються в крило) і аеродинамічних перегородок, оскільки ці частини крила піддаються втомному розтріскуванню внаслідок впливу на них завихреного повітряного потоку. У паливних відсіках, розташованих в крилі, необхідно забезпечити підвищену жорсткість закладення кутів і силових елементів, що дуже навантажені, таких як, рейки навішування закрилків і передкрилків, кронштейни навішування елеронів і інтерцепторів, вузли кріплення пілонів і силових гідроприводів. Ці заходи у процесі експлуатації літака дозволять зменшити кількість випадків розгерметизації паливних відсіків, розташованих в крилі.

При конструюванні оперення з урахуванням знакозмінного навантаження його вихрами, що збігають із крила, товщини обшивок і панелей варто вибирати на 10...20% більше, ніж потрібно з розрахунку статичної міцності. Щоб внутрішнє кільце підшипника ковзання осі суцільноповоротного горизонтального оперення не поверталось і на сильно навантаженій осі не утворювалися небезпечні поперечні ризики, доцільно внутрішнє кільце підшипника робити збільшеної ширини, а як матеріал для нього використовувати бронзу. На всіх третюх поверхнях необхідно забезпечити наявність консистентного змащення від 200 до 1000 годин нальоту літака. Це досягається установленням сальникових ущільнень, що герметизують дану пару тертя. Перспективне також і застосування пар тертя із плівкою із пластичних мас. Такі поверхні не потрібно змащувати.

З метою локалізації втомного руйнування, яке почалося, елементів планера на пасажирських літаках, які мають більший ресурс, раціонально застосовувати так звані безпечноушкоджені типи конструкцій. До них можна віднести: а) статично невизначувані багатостінові конструкції крила й оперення; б) агрегати, зібрані з

окремих панелей по хорді крила або по периметру перетину фюзеляжу, тріщини яких не передаються на сусідні панелі; в) панелі, що складаються із двох листів по товщині; г) подвійні вушка стикових вузлів і кронштейнів навішування агрегатів.

Під час експлуатації використовується ряд методів обмеження появи втомних тріщин, які виявляють засобами неруйнівного контролю. Найбільш прості методи – засвердловка вершини тріщини й пластична деформація тиском. У більш складних випадках зона тріщини панелі або стінки додатково підсилюється внутрішніми, а іноді й зовнішніми накладками, які істотно знижують діючу напругу. На підвищення надійності навантажених агрегатів планера впливає застосування високоресурсного кріплення.

Кабіна. Керувати замками зсувної частини або відкидних стулок ліхтаря доцільно за допомогою твердих тяг, а не тросової проводки, тому що при малих радіусах роликів троси зайоршуються й часто обриваються. Для запобігання потертості й руйнування в процесі виконання наземних робіт шланги герметизації ліхтаря треба повністю утопити в колодязях борту кабіни. Утворення тріщин і втрата прозорості застосування кабіни в процесі експлуатації літака можуть бути зменшені при застосуванні такої конструкції вправлення застосування, що забезпечує відсутність монтажних напруг.

Гальмівний парашут. Конструкція троса гальмівного парашута за рахунок пружних деформацій має забезпечити демпфірування високих динамічних навантажень у момент розкриття купола. При цьому капроновий фал більш перевантажений, ніж сталевий трос. Для скорочення випадків мимовільного скидання гальмівного парашута через нечітку фіксацію чеки троса в замку необхідно забезпечити можливість візуального контролю закриття замка при спорядженні гальмівного парашута.

Шасі. Щитки й стулки шасі повинні мати підвищену міцність внаслідок впливу на них нерозрахованих динамічних навантажень від завихрень повітряного потоку при випущених шасі. Механізм гасителя коливань передньої ноги шасі (демпфер шини) також повинен мати підвищені запаси міцності й потужності, щоб його працездатність і цілісність зберігалися з появою шиммі. Для

зменшення кількості випадків утворення тріщин у зварних швах і руйнування стояків шасі по зварних швах застосовується їхня чистове проточування, що зменшує концентрацію напруг у швах. Спрощення конструкції ущільнень дозволить зменшити кількість випадків порушення герметичності амортизаторів стояків шасі внаслідок виробничих несправностей, що допускають у складних конструкціях при виготовленні деталей і складенні вузлів ущільнення. Розтріскування деталей гальмових коліс внаслідок перегріву при пробігу й при рулюванні можна зменшити, збільшуючи їхню енергоємність і підвищуючи безвідмовність роботи агрегатів протиюзової автоматики.

Для підвищення безвідмовної роботи авіащини бажано не застосовувати пневматики з надмірно високим тиском. Для запобігання надмірному навантаженню й можливому руйнуванню пневматика переднього колеса відцентровими силами при розбігу з великою швидкістю відриву передньої ноги для літаків варто вибирати максимальний зовнішній діаметр колеса. Необхідні конструктивні індикатори зношування авіащин (колодязі певної глибини на зовнішній поверхні покришки, кольоровий корд тощо).

Безвідмовність шасі можна підвищити й шляхом схемних рішень. Наприклад, заднє розташування підйомника-підкосу передньої ноги при її вбиранні вперед при польоті забезпечує сприйняття переднього удару при русі по ЗПС навіть у випадку відмови кулькових замків положення у випущеному стані. При передньому розташуванні підйомника-підкоса й вбиранню ноги назад по польоті у випадку відмови замків випущеного положення вплив переднього удару викличе складання ноги шасі.

Гідросистеми. Зниження ймовірності появи зовнішньої негерметичності гідросистем можливо за допомогою зменшення робочого тиску, скорочення числа стиків трубопроводів і зниження їхнього вібраційного навантаження при зменшенні пульсації тиску робочої рідини. Велике значення мають характеристики втомної довговічності матеріалу трубопроводів високого тиску, особливо при монтажі, що допускають резонансні коливання трубопроводу. Зменшення кількості випадків внутрішньої негерметичності агрегатів

гідросистем, таких, як насоси, гідромотори, гідроакумулятори й гідроциліндри, пов'язане з підвищенням їхнього ресурсу. Великий вплив на безвідмовність гідросистем має чистота робочої рідини, що забезпечується рядом конструктивних заходів, у тому числі й установленням відповідної кількості фільтрів грубого й тонкого очищення. Підвищення безвідмовності електрогідрокранів пов'язане, у першу чергу, з усуненням технічних причин відмов їхніх електричних частин.

Застосування бустерних гідросистем закритого типу підвищує їхню безвідмовність.

Радикальним засобом підвищення безвідмовності гідросистем є їхнє резервування, однак при його використанні доводиться зважати на збільшення маси, вартості й кількості дефектів, які необхідно усувати, щоб літак був готовий до вильоту.

Чотириразове резервування гідросистем, що забезпечують керування польотом літака, незначно підвищує їхню безвідмовність порівняно з трикратним.

Пневмосистеми. Підвищення безвідмовності пневмосистем головним чином пов'язане зі зменшенням кількості випадків порушення герметичності агрегатів і трубопроводів. Для підвищення безвідмовності інерційних датчиків і електромагнітних клапанів пневматичних гальмових систем необхідно надійно захистити їх від шкідливого впливу пилу, вологи й високої температури гальмівного колеса.

Паливна система. Основні заходи щодо підвищення безвідмовності паливної системи спрямовані на поліпшення герметичності трубопроводів і агрегатів, а також на забезпечення безперебійного постачання всіх двигунів паливом при відмові окремих елементів системи.

Застосування паливно-повітряних і паливно-масляних радіаторів (через важкі наслідки порушення їхньої герметичності) припустимо тільки при гарантії високої якості виготовлення паяних стільників. Такі агрегати системи, як підкачувальні і перекачувальні насоси паливних відсіків повинні дублюватися.

Система кондиціонування. Підвищення безвідмовності

регулюючих агрегатів системи кондиціонування повітря забезпечується підвищенням їхньої корозійної стійкості під впливом високої температури (до 500°C) і при осмоленні речовинами, що попадають у компресор двигуна через повітрозабірник. У схему трубопроводів і агрегатів гарячої частини системи повинні входити сільфони, що забезпечують компенсацію температурного подовження. Ресурс сільфонів має бути не менше ресурсу літака до першого ремонту. Підвищення ресурсу мембрани клапана стравлювання дозволить істотно збільшити значення показника його безвідмовності.

Керування літаком. Підвищення безвідмовності цієї важливої системи літака пов'язане в першу чергу зі збільшенням надійності електричних і електронних елементів агрегатів і блоків введенням резервування й полегшення зовнішніх умов роботи.

Безвідмовність механічної проводки керування можна збільшити, зменшуючи контактні напруги в парах тертя, поліпшуючи умови їхнього змащення й застосовуючи герметичні підшипники.

Установлення й охолодження двигунів. Установлення двигунів на пілонах потребує підвищених запасів міцності з урахуванням знакозмінних і вібраційних навантажень вузлів. Для запобігання утворенню тріщин на обшивці патрубків забору повітря для охолодження двигунів її товщина повинна бути збільшена на 30...50%.

Підвищення безвідмовності систем планера сучасних літаків забезпечується, як правило, не резервуванням, про недоліки якого сказано раніше, а в першу чергу розробленням й впровадженням конструктивних заходів, що підвищують надійність елементів. При сучасному стані техніки застосування резервування можна визнати раціональним у системах з електричними й електронними елементами малої маси, а також у тих системах, відмова яких загрожує безпеці літака або наносить значний економічний збиток.

4.4 Технологічні способи забезпечення надійності

Надійність літака значною мірою забезпечується рівнем технологічного опрацювання його конструкції в процесі проектування. Конструювання агрегатів літака з урахуванням новітніх прогресивних

технологічних способів виготовлення є основою високоякісного виробництва серійного літакобудівного заводу. Дослідження оптимальних способів виготовлення складних деталей і складання агрегатів, проведені під керівництвом технологічного відділу дослідного конструкторського бюро, спрямовані на зниження кількості схованих виробничих дефектів, підвищення безвідмовності й довговічності конструкції літака.

Основні відділи серійного літакобудівного заводу, такі, як відділ головного конструктора (ВГК), відділ головного технолога (ВГТ) і відділ головного металурга (ВГМ), у конструктора й технолога при розробленні робочих креслень дослідного літака закладається база для забезпечення високої якості й надійності при виробництві машин на серійному заводі.

Більшу допомогу технологічному відділу ОКБ при розробленні нових способів виготовлення й контролю деталей і агрегатів, що забезпечують високі значення показників надійності літака, надають науково-дослідні інститути авіаційної технології і авіаційних матеріалів. Вони проектують, випробовують і впроваджують на авіаційних заводах прогресивні технологічні процеси виготовлення деталей і складання агрегатів, відповідне устаткування й автоматичні лінії, прилади для контролю якості й вимірів у процесі виробництва. У процесі конструктивно-технологічного доведення нового літака спільно розробляють і впроваджують більш прогресивні процеси виготовлення, монтажу й контролю якості. Найважливішим показником раціональності цих процесів є рівень надійності літаків, які випускають. Особливою турботою працівників серійного виробництва є забезпечення стабільності експлуатаційних властивостей літаків, які випускають, у тому числі й надійності.

Вплив технології виготовлення на показники надійності. Раціональна технологія створення літака має у першу чергу забезпечити вимоги до якості, а потім до продуктивності й економічності виробничих процесів. Особливості технологічних способів виробництва спочатку позначаються на показниках якості продукції. Такі показники якості деталей і вузлів літака, як точність витримання розмірів товщин і посадочних поверхонь, сполучень,

обводів і монтажних зазорів, чистота й структура поверхні третьових пар, показники люфту в механізмах і натягу в нерознімних з'єднаннях, ступінь герметичності ємностей і з'єднань трубопроводів, міцнісні характеристики зварних, клейових з'єднань і агрегатів, значення маси деталей і вузлів, кінематичні характеристики агрегатів, що рухаються, і зусилля тертя в їхніх рухомих з'єднаннях, значення вихідних параметрів систем, є узагальненою характеристикою результатів виробничого процесу за даною технологією й об'єктивно прогнозує майбутню працездатність машини. Значення показників якості лежать в основі рішень про приймання або вибраковування деталей, вузлів, агрегатів і літака в цілому. Таким чином, показники якості є вихідними параметрами виробничого процесу з даними технологічними способами. Закономірності впливу технологічних способів виробництва літаків на показники їхньої якості вивчаються у спеціальній дисципліні «Технологія літакобудування».

Однак показники якості виробничого процесу служать лише для оцінювання завершального етапу виготовлення літака. А надалі починається етап його експлуатації. Тут на перший план виступають показники експлуатаційних властивостей літака, у тому числі й показники надійності. Чи існує залежність між показниками якості виробництва й надійності? Безумовно, існує і це наочно підтверджує той факт, що більша частина відмов під час експлуатації спричиняється виробничими недоліками виробу. Стосовно агрегатів планера літака приховані або пропущені виробничі недоліки при сучасному рівні технології контролю якості призводять до несправностей, пов'язаних, головним чином, з недостатньою статичною і втомною міцністю малонавантажених деталей, інтенсивною корозією під напругою й швидким зношуванням рухомих з'єднань. Вплив конкретних значень показників якості виробничого процесу на показники надійності можна оцінити тільки в процесі випробувань і експлуатації. На це впливає комбінація двох випадкових процесів. З одного боку, дана технологія визначає рівень випадкової нестабільності виробничого процесу, з іншого - на даний літак у реальних умовах експлуатації діють випадкові навантаження різної фізичної природи. Статистичні дані про відмови під час

експлуатації є тим зворотним зв'язком, що дозволяє за допомогою зміни значень показників якості продукції коректувати технологічні способи виробництва. Наприклад, коли для з'єднання обшивки каналу повітрозабірника з полками шпангоутів на надзвуковому літаку застосували звичайну технологію клепаання, то показник якості в умовах утрудненого підходу для формування замикальної головки заклепки допуслав невеликий відсоток наявності дефектних заклепок. Ослаблення заклепувальних з'єднань, що допускається при цьому, не впливало на міцність каналу повітрозабірника. Однак у процесі експлуатації з'ясувалося, що під впливом вібрації й розрядження в каналі дефектне заклеювання поступово розгойдувалося і, випадаючи в канал, засмоктувалось у двигун. Ударяючись об лопатку першого щабля компресора, заклепка залишала на ній забоїну, через що необхідно було достроково знімати двигун. Серед понад трьох тисяч заклепок каналу повітрозабірника завжди було трохи дефектних, які в будь-який момент могли потрапити у двигун. Після підвищення вимог до показників якості клепаання каналу повітрозабірника цей виробничий недолік був усунутий і показники надійності літака поліпшились.

Незважаючи на зростання кількості випробувань у процесі проектування, початковий етап експлуатації майже кожного літака є періодом його конструктивно-технологічного доведення. Залежно від глибини технологічного розроблення нової конструкції літака в процесі проектування й на етапі серійного освоєння період конструктивно-технологічного доведення виробу під час експлуатації звичайно триває від двох до п'яти років.

Залежності між показниками якості виробництва літаків і показниками їхньої надійності є результатом аналізу причин відмов під час експлуатації й вивчення виникнення їхніх фізичних процесів. Звичайно необхідність визначення такої залежності виникає для несприятливих з погляду надійності вузлів і агрегатів літака. При цьому аналізуються не тільки картки відмов по даному агрегату, результати дослідження екземплярів, що відмовили, і технічний стан цих агрегатів при профілактичному ремонті машин, але й особливості технології виробництва агрегату на заводі.

Знання закономірностей впливу технології виготовлення на показники надійності літака забезпечують розроблення оптимального виробничого процесу, при якому прийняті показники якості продукції гарантують необхідні показники надійності.

Виробничі недоліки літаків. Значна частина відмов, які виявляють в процесі експлуатації, є наслідком виробничих недоліків літаків, з якими вони були випущені з заводів. На основі аналізу статистики пропонується така класифікація причин виробничих недоліків літаків.

1. Занижені значення прийнятих показників якості напівфабрикатів, готових виробів, агрегатів і систем.

2. Методологічні недоліки технології виготовлення, складання й випробування.

3. Низька стабільність виробничих процесів через відхилення параметрів вихідних матеріалів і готових виробів, недостатньої надійності устаткування.

Для забезпечення заданого рівня надійності елементів конструкції й систем літака необхідно регламентувати технологічні способи виробництва такими значеннями показників якості, які б визначали припустимі відхилення режимів виробничого процесу від оптимальних. Номенклатура й конкретні значення показників якості, оговорені в технічних умовах (ТУ) на виготовлення й поставку, визначають середній рівень організації виробничих процесів літака. Указані в ТУ значення показників якості продукції мають забезпечувати необхідні значення показників надійності літака. Обґрунтовані й досить високі значення показників якості напівфабрикатів, готових виробів, агрегатів і систем, оговорені в ТУ, необхідні, але недостатні для випуску літаків з необхідними показниками надійності. Потрібно, щоб фактичні значення показників якості реальної продукції були не гірше вказаних у ТУ. Відхилення від ТУ у виробництві можуть відбутися як через порушення теоретичних основ побудови технологічних процесів виготовлення, складання й випробувань, так і за рахунок зовнішніх причин нестабільності виробничих процесів: поставки некондиційних вихідних матеріалів і готових виробів, порушень трудової дисципліни й низької надійності

устаткування.

Істотною ознакою відмови через виробничий недолік є час його прояву – малий наліт годин літаком після його випуску. Протягом перших кількох сотень годин нальоту сховані виробничі недоліки, як правило, виявляються за експонентним законом.

Залежно від походження виробничі недоліки можна поділити на такі три основні групи: недоліки матеріалів, недоліки оброблення й недоліки складання.

Недоліки матеріалів (у тому числі й металургійні) – це такі відхилення від ТУ або ДСТ на напівфабрикати й вихідні матеріали, які знижують міцність деталей і призводять до виникнення дефектів літака під час експлуатації. У матеріалів недоліки бувають місцеві у формі порушень сплошности й розподілені як в обмежених зонах (зони неоднорідності хімічного складу, неповного загартування й корозійного ушкодження), так і по всьому обсязі напівфабрикату (відхилення за хімічним складом і структурою).

Технологічною спадковістю називається збереження й підсумовування недоліків у послідовних стадіях виробничого процесу. Недоліки матеріалів також пов'язані з поганою технологічною спадковістю. У процесі плавлення й лиття утворюються усадочні й газові раковини й рихлоти, неметалеві включення, неоднорідність хімічного складу і структури, ливарні напруги. Так, тріщини деталей під час експлуатації часто є наслідком міжкристалітної пористості або послідовних мікропорожнеч, що підтверджується дослідженням мікрошліфів під мікроскопом. Наприклад, усадочні раковини призводили до втомного руйнування кульок підшипників. Неметалеві включення в сплаві у вигляді окислів, сульфідів, силікатів і нітридів при розташуванні у формі ланцюжка часток по напрямку перпендикулярно діючим напругам також призводять до утворення тріщин і втомного руйнування деталей. Неоднорідність хімічного складу, що виникла при кристалізації сплаву, – ліквація, вона призводить до руйнування деталей під час експлуатації. Ливарні напруги, що виникають при усадці, призводять до утворення тріщин у вилівку або до втомного руйнування деталі під час експлуатації внаслідок перевищення сумарних напруг (ливарної і експлуатаційної)

границі втоми сплаву.

Недоліки оброблення деталей виявляються, починаючи зі стадії пластичної деформації заготовок. Успадковуючи недоліки лиття, процес пластичної деформації має такі недоліки, як розшарування, розривини. Розшарування являє собою значне порушення суцільності кованки або прутка в зоні невилученої при обробленні тиском усадочної раковини або усадочної рихлості злитка. При холодному деформуванні тонкостінних заготовок можливе утворення розривин і надривів. Так, у процесі розвальцьовування надриви утворюються у формі малопомітних наскрізних тріщин. Волосовини – це такі порушення суцільності заготовок, які утворюються в результаті розкочування підкоркових газових міхурів або скупчень неметалевих включень. Волосовина є потужним концентратором напруг і призводить до швидкого втомного ушкодження деталі. Окисні плівки в товщі заготовки також є схованим металургійним дефектом і призводять до передчасного руйнування відповідальних деталей літака. Заковування утворюються у процесі кування або штампування, коли на поверхні деталі залишаються порушення суцільності матеріалу в місцях усадочних раковин, що зварилися, або рихлот. Заковування в процесі експлуатації призводять до утворення утомних тріщин у деталях. При порушенні режимів термічного оброблення деталей утворюються гартівні тріщини, перегрів при загартуванні, неповне загартування, знеуглецювання, залишкові напруги й неповне загартування. У випадку термічного оброблення як деталей з високоміцних сплавів, так і деталей з неметалевих і композиційних матеріалів, наочно виявляється роль експериментального відпрацювання технології процесу стосовно особливостей геометрії деталей. Часткове або повне невиконання операцій термічного оброблення деталей призводить до їхнього руйнування в процесі експлуатації.

Порушення технології хіміко-термічного оброблення деталей призводять до зменшення твердості поверхневого шару, окрихчування тонкостінних ділянок. Усе це спричиняє передчасне руйнування відповідальних деталей. Порушення суцільності проміжного захисного покриття призводить до утворення азотованого

стою в різі, появи внутрішніх напружень і втомного руйнування деталей по різі. Незадовільне виконання операцій діагностичного травлення деталей з метою виявлення тріщин спричиняє роз'ятрування поверхневого шару, глибоку міжкристалічну корозію й втомне руйнування.

Недоліки антикорозійних покриттів деталей літака, спричинені порушенням технології, призводять до ушкоджень поверхневого шару й наступного втомного руйнування. Це торкається і процесів анодування з наповненням плівки хромпіком для деталей з алюмінієвих сплавів, оксидування для деталей з магнієвих сплавів, кадмування й цинкування з наступною пасивацією для сталевих деталей. Для глибокопрофільованих деталей зі сталевих сплавів додатково застосовується фосфатування в цинкофосфатній ванні. Відшаровування хромового покриття поверхонь пара тертя призводить до втомного руйнування деталей з високоміцних сталевих сплавів.

Виробничі недоліки механічного оброблення деталей виявляються найчастіше в перекручуванні геометрії, передбаченої кресленням. Уступоподібне розточення отворів, вихід діаметра за межі поля допуску, місцеве стоншення панелей і стінок, які фрезеруються, ризики й підрізи галтельних переходів, шліфовочні тріщини й опіки – все це в процесі експлуатації призводить до дефектів, відмов і навіть льотних подій.

Різноманітні недоліки можуть бути допущені в процесах зварювання, паяння, склеювання, складання вузлів і агрегатів літака. Напруги у зварному шві, пори й тріщини в зоні розплаву спричиняють порушення герметичності й втомне руйнування агрегату. Наслідком неякісного паяння можуть бути витікання робочої рідини в стику трубопроводу гідросистеми, а також тріщини по границях зерен у зоні паяного шва. Дефекти склеювання й складання агрегатів на герметику пов'язані з порушенням технології виконання окремих операцій. Погана підготовка поверхні й недотримання режимів сушіння – це основна причина непроклеювання і відшарування. При формуванні й пресуванні агрегатів з полімерних композиційних матеріалів утворюються пористість, розшарування, ділянки

неповного затвердіння, складки, різнотовщинність, тріщини, обриви ниток і волокон. Ці виробничі недоліки призводять до зниження фізико-механічних властивостей конструкції і її передчасного руйнування в процесі експлуатації. До недоліків механічного складання агрегатів літака варто віднести утворення внутрішніх напружень у конструкції, порушення посадок, перекося, нерівномірне затягування, механічні ушкодження деталей і порушення їхнього захисного покриття.

Систематичний аналіз виробничих недоліків дозволяє розробляти ефективні технологічні заходи щодо підвищення надійності літака, удосконалювати методи й засоби дефектоскопічного контролю.

Технологічні засоби зменшення виробничих недоліків літаків. Усі заходи з підвищення якості виробничих процесів проводяться на основі комплексної програми забезпечення надійності. Під час підготовки виробництва нової машини розробляється комплекс технологічних заходів, впровадження яких гарантує зменшення виробничих недоліків літака до прийнятного рівня. Увесь досвід сучасного літакобудування, узагальнений у теоретичних основах технології виробництва літаків, є основою для розроблення раціональної схеми основних виробничих процесів. І все-таки тільки експериментальне технологічне відпрацювання основних процесів виробництва, реалізоване як у рамках спеціальних програм експериментальних робіт, так і при виготовленні головної серії нових літаків, може продемонструвати досягнення необхідного рівня якості виготовлення. На етапі технологічного відпрацювання здійснюється й зворотний зв'язок: уточнюються ТУ й креслення генерального конструктора. У ТУ деталізуються окремі вимоги, усуваються непотрібні обмеження, що ускладнюють виробництво. У кресленнях міняються розмірні бази, допуски на розміри, чистота поверхонь, захисні покриття та ін.

Для ряду елементів конструкції літака роль технологічного відпрацювання в забезпеченні їхньої надійності особливо висока. Це насамперед стосується зварних, клейових і паяних з'єднань, конструкцій з композиційних матеріалів, отворів і радіусів

концентраторів, розривних болтів, еластомірних підшипників, герметизації паливних відсіків і антикорозійного захисту деталей.

На всіх етапах виробництва літаків технологія впливає на характеристики готових деталей і агрегатів, що визначають безвідмовність, довговічність і збережність.

На етапі виробництва, що характеризується виготовленням деталей, їхні робочі поверхні є основним об'єктом доповнення технологічних способів зменшення зношування, підвищення втомної міцності й корозійної стійкості. Залежно від способу заточення різального інструменту втомна довговічність виточеної деталі може значно зрости. Наприклад, зміна переднього кута різця з $+10^\circ$ на -10° при практично одній і тій же чистоті поверхні деталі зі сталі EI-643 збільшує її витривалість на два порядки.

Оброблення поверхонь як засіб підвищення надійності можна розділити на три види: механічну, хіміко-термічну й спеціальну. Застосовуючи той або інший спосіб поверхневого зміцнення, ми поліпшуємо одні властивостей, але іноді погіршуємо інші. До позитивних факторів зміцнення деталей належать: зниження впливу місцевих концентраторів напруги, місцеве підвищення міцності, підвищення зносостійкості. Погіршенню експлуатаційних властивостей виробу може сприяти:

1. Жолоблення поверхні до 0,1...0,15 мм при термодифузійному обробленні й поверхневому загартуванню, а також її значна деформація при газовому наплавленні спеціальних металів на деталі зі сталі й чавуну.

2. Зниження чистоти поверхні при хіміко-термічному обробленні, газовому наплавленні, плазмовому і газовому напилюванні.

3. Виникнення залишкових напруг розтягання, що знижує фактичний запас статичної міцності й опір втоми при наплавленні, плазмовому і газовому напилюванні на плоскі деталі й хромованні.

При пластичному деформуванні поверхневого шару (наклепі) і хіміко-термічному обробленні підвищується твердість і створюються залишкові напруги стиску, які знижують загальний рівень діючих напруг розтягання в зоні концентраторів і тим самим зменшують їхній вплив на опір втоми. Необхідно, щоб зміцнений шар безупинно

проходив по найнебезпечніших зонах з погляду концентрації напруг розтягання.

Технологічні засоби поверхневого пластичного деформування, такі, як дробоструминне і віброзміцнення, дозволяють істотно підвищити довговічність деталей. Розкочування класних отворів, крім того, перешкоджає розвитку на контактних поверхнях вушок болтових з'єднань фреттинг-корозії. Інші способи деформаційного зміцнення поверхневого шару застосовуються залежно від форми й розмірів деталей, що працюють при помірно високих температурах. До них входять такі способи, як ультразвукове деформаційне зміцнення, деформаційне зміцнення мікрокульками, алмазне шліфування, деформаційне зміцнення енергією вибуху. Ультразвукове зміцнення після фрезерування великогабаритних панелей зі сплаву АК4-1 зменшує розміри зерен у поверхневому шарі, підвищує чистоту поверхні і, як наслідок, – значно підвищує витривалість і знижує швидкість корозійного зношення поверхні. Поверхнево-термічне оброблення є ефективним способом підвищення надійності деталей з вуглеводних і легуваних сталей. Загартування з нагріванням струмами високої частоти забезпечує більш високу поверхневу твердість і чистоту поверхні за рахунок більшої швидкості нагрівання. Спосіб високочастотного загартування на відміну від таких способів зовнішнього нагрівання, як киснево-ацетиленовий, у рідкій ванні з перегрітим свинцем або в електроліті забезпечує одержання структури дрібногочастого мартенситу в повному обсязі зміцненого шару. Для зняття залишкових напруг після механічного оброблення у відповідальних деталях проводиться відпалювання в аргоні або у вакуумі. Різні способи дифузійних покриттів забезпечують насичення поверхневого шару деталей, що зношуються, вуглецем (цементация сталі), карбідами хрому, ванадію, ніобію, молібдену або вольфраму, азотом, бором, кремнієм, хромом або алюмінієм. Покриття напилюванням (газоплазмове, детонаційне, електродугове, плазмове, високочастотне індукційне) підвищують зносостійкість, термостійкість і корозійну стійкість деталей, що працюють у тяжких умовах. Більша частина деталей планера літака піддається електролітичному покриттю (м'яке й тверде хромування, тверде

нікелювання, оксидування й фосфатування). Застосовуються також електрофоретичні покриття, хімічні покриття нікелем, хромом й кобальтом, покриття з неметалевих матеріалів (жаростійке емалеве покриття деталей гарячого тракту авіадвигунів і пластмасові покриття для підвищення зносостійкості деталей пар тертя, стійкості до корозії й ерозії).

Якість перелічених вище способів зміцнення поверхневого шару деталей визначається конкретним змістом технології, значеннями параметрів режимів виробничих процесів і рівнем оснащення новітнім устаткуванням.

На етапі складання агрегатів літака технологічні способи виконання окремих операцій відіграють істотну роль у забезпеченні необхідної надійності. Фактична взаємозамінність найважливіших агрегатів і вузлів безпосередньо впливає на експлуатаційну технологічність літака. Точне витримування зовнішніх обводів крила, закрилків, елеронів і горизонтального оперення дозволяє уникнути такого виробничого недоліку, як "валіжка" літака в повітрі на різних режимах. Для цього застосовується технологічне відпрацьовування припусків зварених швів, що компенсують їхню усадку. Для підвищення втомної довговічності з'єднань електроточечним зварюванням застосовується підвищений тиск електродів. Поряд з утворенням більш глибоких слідів від електродів на поверхні цей технологічний спосіб дозволяє частково компенсувати усадку відлитого ядра, зменшити залишкові напруги й імовірність утворення тріщин. Також існує спосіб створення додаткової кільцевої вдавлення у матеріалі навколо ядра точки. Усередині кільцевого вдавлення створюються радіальні стискальні напруги, що компенсують залишкові напруги розтягання в зоні зварювання. Виробничі недоліки електроточкового зварювання залежать від якості підготовки поверхонь. Технологічні способи травлення алюмінієвих і титанових сплавів і зберігання травлених деталей перед зварюванням дозволяють підвищити надійність зварних з'єднань.

Надійність клейових з'єднань забезпечується такими технологічними способами, які дозволяють одержувати стабільно високу якість підготовки склеюваних поверхонь. Це рівною мірою

відноситься і до вкладишів рейок закрилка дозвукового літака, і до термозахисних плиток космічного літака. Кількість виробничих дефектів конструкцій з композиційних матеріалів істотно залежить від технологічних способів просочення армуючого матеріалу зі сполучним, сушіння армуючого матеріалу, формування заготовок з напівфабрикату, затвердіння заготовок в оснастці.

До серйозних виробничих недоліків літаків належить негерметичність паливних відсіків. З огляду на високу проникну здатність гасу й труднощі виявлення місця розгерметизації у складній конструкції великого об'єму, а також на тривалість процесів знежирення відсіку й полімеризації нових шарів герметика усунення негерметичності в експлуатаційних умовах украй небажано. Прикладом технологічного способу, що підвищує надійність герметизації паливних відсіків, може служити поливання всієї внутрішньої поверхні відсіку рідким герметиком з попереднім плівковоклейовим захистом попередньо нанесеного джгутового герметика від розчинення й спучування.

Повний ресурс сучасних літаків значною мірою залежить від технологічних способів виконання заклепувальних і болтових з'єднань. Використання комбінованого інструмента (свердло-зенківка) для виконання отворів, свердлильних машин зі змінюваною протягом циклу оброблення подачею забезпечує високу якість утворення отворів. Застосування клепальних автоматів, що здійснюють стискання пакета протягом усіх послідовних операцій, дозволяє уникнути утворення задирок на стику деталей, які склепують, і зберегти необхідне осьове затягування. Остаточне оброблення отворів по 2-3 класах точності способом розгортання здійснюється декількома ручними пневматичними машинами з автоматичною подачею й самоцентруванням розгорнень. Таку ж витривалість з'єднанню забезпечує більш продуктивний спосіб гвинтового протягання. Виконання болтових з'єднань із пружно-пластичним натягом механізованим безударним способом також супроводжується рядом технологічних особливостей, що істотно впливають на повний ресурс. Послідовність встановлення кріплення в конструкції теж впливає на рівень залишкових напруг і

довговічність. Тому технологічне відпрацювання оптимального варіанта маршрутного оброблення клепанних швів, наприклад, при клепанні панелей стрижневими заклепками на автоматах із числовим програмним керуванням мають велике значення.

При виборі того чи іншого технологічного способу виконання операцій необхідно враховувати наслідки ймовірних порушень прийнятої технології, тобто оцінювати надійність технологічного процесу. Наприклад, зняття вручну пластмасовим ножом задирок пластмасової втулки повітряного гвинта виявилось на практиці важким, а самовільне використання робітником сталевого ножа призвело до нанесення на основу лопати малопомітних ризик-концентраторів, обриву лопати в польоті й важких льотних подій.

Технологічні способи неруйнівного контролю агрегатів, виробничих випробувань агрегатів і літаків у цілому, у тому числі й льотних, дуже впливають на кількість виробничих дефектів у літаків даного типу під час експлуатації. Застосовуючи більш новітні, технічно оснащені способи контролю й випробувань, можна підвищити надійність літака.

Усі технологічні способи, що зменшують кількість виробничих дефектів літака, важко навіть перелічити. Важливо переконати конструктора у тому, що технологічні способи виробництва є потужним засобом підвищення надійності літака. Тому технологічному проектуванню – розробленню технологічних процесів, що забезпечують заданий рівень якості, конструктор має приділяти найпильнішу увагу.

У період науково-технічної революції розроблення нових технологічних способів виготовлення деталей і агрегатів літака лежить в основі створення надійних конструкцій. У міру підвищення вимог до конструкції сучасних літаків роль технологічних способів виготовлення, складання й випробувань, що базуються на використанні новітнього автоматичного устаткування й ЕОМ, значно зростає.

4.5 Контроль якості й надійності продукції на заводі

Хоча технологічним способам виробництва й належить провідна

роль у забезпеченні випуску літаків з необхідними значеннями показників надійності, контроль якості й надійності продовжує залишатися необхідним засобом виявлення браку, збоїв і відхилень від прийнятої технології. Різні методи контролю продукції є найважливішою складовою частиною виробничого процесу й незамінним інструментом оперативного керування якістю. Співробітники відділу головного контролера заводу й відділів технічного контролю виробничих підрозділів, озброєні новітніми методами й технічними засобами, здійснюють перевірку показників якості на всіх етапах виробничого циклу літака. Контроль - це перевірка відповідності продукції або процесу, від якого залежить якість продукції, установленим технічним вимогам.

Вхідний контроль матеріалів, напівфабрикатів і готових виробів призначений для оцінювання відповідності параметрів їхньої якості значенням, оговореним у ТУ на поставку. У процесі вхідного контролю усі матеріали й вироби, що надходять на літакобудівний завод від підприємств-суміжників, піддаються випробуванням у спеціалізованих лабораторіях. Матеріали й напівфабрикати випробовуються на міцність на різні види навантажень в експлуатаційному діапазоні температур. Готові вироби проходять перевірку на функціонування в умовах, максимально наближених до експлуатаційних. Забраковані на вхідному контролі матеріали й готові вироби з рекламацийними актами відправляються назад заводам-постачальникам.

Контроль виробничих процесів називають активним, якщо за його результатами налагоджується устаткування, уточнюються режими, відсортуються браковані деталі або припиняється виготовлення виробів. Розвиток автоматизації виробничих процесів і методів активного контролю дозволяє створювати самонастроювальні лінії, у яких, незважаючи на зміну умов і режимів оброблення без втручання людини, підтримуються необхідні показники якості продукції. Усі види контролю, що застосовуються для виявлення виробничих дефектів, можна віднести до руйнівних і неруйнівних.

Руйнівні методи контролю призводять до псування

контрольованих деталей і не дозволяють виявити браковані деталі в партії. Наприклад, контроль діаметра гідравлічного золотника індикаторним приладом належить до руйнівного методу, оскільки кулька індикатора залишає неприпустимий слід. Подібні деталі контролюються безконтактним методом. Руйнівні методи контролю застосовуються при оцінюванні механічних властивостей партій матеріалів. Різні зразки, виготовлені з періодично відібраних листів, плит, панелей, прутків і вибок, дозволяють проводити технологічні проби, металографічний аналіз, визначати твердість й міцність при декількох видах навантаження.

Неруйнівні методи контролю відкривають широку перспективу застосування новітньої апаратури для оцінювання якості виготовлення складних деталей і агрегатів літака. Використання проникних випромінювань різних спектрів дозволяє одержувати об'єктивну інформацію про наявність схованих виробничих дефектів. Рентгено- і гамма-просвічування застосовуються для контролю лиття й стикових з'єднань. Виявляються поверхневі й глибинні тріщини, раковини, рихлоти, ліквіційні зони, включення. Поверхні деталей контролюються капілярним методом. При цьому фіксуються втомні, гартівні й шліфувальні тріщини, пори й рихлоти. Ультразвукові методи використовуються для контролю розшарувань, тріщин і пористості в листах, трубах, прокаті, куванні, а також в агрегатах з полімерних композиційних матеріалів. Магнітні й електромагнітні методи неруйнівного контролю знайшли широке застосування при виявленні дефектів поверхневих шарів магнітних деталей і зварних з'єднань сталевих деталей, а також гальванічних і лакофарбових покриттів. Інфрачервона дефектоскопія агрегатів з композиційних матеріалів забезпечує ефективний контроль внутрішньої структури. На фотодфектограмах чітко видно пори, раковини, складки й взаємне розташування поздовжніх і поперечних елементів. Для стільникових конструкцій застосовується мікрорадіохвильова дефектоскопія, за допомогою якої чітко фіксуються непроступування і розшарування. Перспективні також методи контролю, засновані на застосуванні лазера, й голографічні методи.

Приймальний контроль деталей, агрегатів і літаків проводиться

на завершальних стадіях виробництва. До виконання контрольних операцій і оснащення контрольних ділянок новітніми технічними пристроями широко залучають робітників.

Контроль надійності літаків у процесі виробництва істотно доповнює інформацію, що надходить із експлуатуючих організацій. За результатами великого обсягу контрольних наземних і льотних випробувань літаків на заводі фіксуються усі відмови й дефекти, оцінюються показники надійності й розробляються заходи щодо керування якістю.

Наземні контрольні випробування кожного літака передбачають: перевірку параметрів радіопрозорості конусів, відпрацьовування і юстирування радіоелектронного устаткування, прогонку двигунів, перевірку функціонування основних систем і спрацьовування різних пристроїв. Періодично вибірково окремі екземпляри літаків піддаються: випробуванням на руйнування статичними й повторно-статичними навантаженнями, а також частотним випробуванням. Статичні випробування проходить наземне устаткування. На повторну статистику окремо випробовується ліхтар кабіни екіпажу. Підвісні баки й контейнери проходять випробування на статистику й віброміцність. Рухомі шланги й електроджгути не випробовуються на тривалу міцність при згинальних деформаціях. Стендові ресурсні випробування проходять агрегати паливної системи, засоби аварійного покидання літака, агрегати шасі, системи керування, кондиціювання, гідро- і пневмосистеми. Спеціальний екземпляр літака виділяється для наземних ресурсних випробувань. Для підтвердження стабільності виробництва періодично проводяться: зважування літака, стендова перевірка вихідних параметрів основних систем, перевірка ємностей і їхній виробіток, перевірка захисту літака від проникнення вологи (дощування), точність спрацьовування ряду пристроїв, протаскування крісел, що катапультуються.

Льотні приймально-здавальні випробування кожного літака забезпечують контроль його працездатності. Для підтвердження ЛТХ літака, зазначених у ТУ замовника, проводяться періодичні льотні випробування. На окремому літаку проводяться льотні ресурсні випробування. Усі випробування на заводі аналізуються у відділі

надійності, при цьому особлива увага приділяється перспективним питанням якості й керуванню якістю продукції.

4.6 Значення експлуатаційної технологічності літака

Експлуатаційна технологічність – сукупність властивостей літака, що визначають його пристосованість до виконання усіх видів робіт з експлуатації, технічного обслуговування й ремонту з використанням найбільш економічних технологічних процесів.

У міру ускладнення конструкції й устаткування літаків значно збільшився час їхньої підготовки до польоту. Збільшення трудомісткості всіх форм технічного обслуговування (попередньої, передпольотної і післяпольотної підготовок, підготовки до повторного вильоту, різних регламентних робіт і цільових оглядів при обмеженому штаті обслуговуючого персоналу) призводить до збільшення часу, протягом якого літак не готовий до вильоту. Сюди ж варто віднести час, що затрачується на усунення несправностей, і період часу перебування літака в профілактичному ремонті. Збільшення кількості не готових до вильоту в цей момент літаків з одного парку знижує їх бойову або економічну ефективність.

4.7 Конструктивні рішення, що підвищують експлуатаційну технологічність літака

Конструкція літака, що характеризується високою експлуатаційною технологічністю, має такі особливості:

- 1) достатньо більшу довговічність агрегатів при відсутності технічного обслуговування;
- 2) мінімальну потрібну трудомісткість технічного обслуговування;
- 3) доступність і легкознімання;
- 4) взаємозамінність агрегатів і блоків під час експлуатації;
- 5) наявність вбудованої або наземної системи автоматизованого контролю (САК) справності літака.

Скорочення часу підготовки до повторного вильоту досягається такою конструкцією літака, що погоджується з цикловим графіком підготовки літака, не створює вузьких місць при підготовці фахівцями різних служб і забезпечує виконання всіх робіт з підготовки літака з мінімальною трудомісткістю.

Зниження питомої трудомісткості планового обслуговування, значну частину якої становлять регламентні роботи, забезпечують також конструктивні рішення, які дозволяють скоротити періодичність регламентних робіт (залишити тільки 200-годинні) і знизити їхню трудомісткість. Підвищуючи довговічність агрегатів і вузлів за рахунок такої конструкції пар тертя, що безвідмовно працює без додаткового змащення, ми можемо скоротити періодичність регламентних робіт. Це досягається раціональним підбором матеріалів у парах тертя, герметизацією підшипників і використанням більш довговічних змащень.

З іншого боку, ускладнення систем й агрегатів, підвищення діючих напруг в елементах конструкції літака, підвищення рівня вібрацій і температур під час польоту, а також психологічний фактор непевності в довговічності заново спроектованої конструкції в межах ресурсу до першого ремонту змушують конструктора збільшувати періодичність різних форм регламентних робіт. Тільки ресурсні випробування нових конструкцій у процесі проектування літака можуть продемонструвати високу довговічність без технічного обслуговування й бути підставою для скорочення періодичності регламентних робіт.

Зниження трудомісткості як планового обслуговування, так і усунення несправностей пов'язане з двома важливими властивостями конструкції літака: доступністю й легкозніманням.

Доступність – властивість конструкції, що забезпечує можливість підходу до її елементів для виконання обслуговування й зручність роботи виконавця інструментами.

Легкознімання – властивість конструкції елемента, що забезпечує його монтаж і демонтаж.

Для кількісного оцінювання цих властивостей застосовується метод підрахунку елементарних рухів, кількість яких і оцінює легкознімання. Елементарним вважається найпростіший рух у процесі роботи (поворот ключа, наживлення болта в різі тощо).

Показником легкознімання є n_0 – кількість елементарних рухів (ЕР) при основній роботі демонтажу в умовах реального доступу. Показником доступності є n_d – кількість ЕР при додаткових роботах,

що забезпечують доступ (розкриття люків, демонтаж елементів, що заважають, тощо). Доступність також оцінюється відносним показником – коефіцієнтом доступності K_d :

$$K_d = 1 - \frac{n_d}{n_0 + n_d}. \quad (4.1)$$

Наприклад. Розрахунок коефіцієнта доступності насоса першої гідросистеми літака. Спочатку проводиться оцінювання обсягу додаткових робіт:

1. Зняти дві кришки люків з легкознімних замків. Для відкриття замка затрачається один ЕР, $n_{d1} + n_{d2} = 19$.

2. Зняти кришку третього люка й демонтувати насос другої гідросистеми. Кришка кріпиться на дев'яти легкознімних замках, $n_{d3} = 9$.

Для демонтажу насоса затрачається 432 ЕР, тоді $n_{н,д2} = 432$. Потім оцінюється обсяг основної роботи: для демонтажу насоса першої гідросистеми затрачається 515 ЕР, тоді $n_{о,д1} = 515$.

Загальна кількість ЕР при виконанні додаткової й основної робіт дорівнюватиме $n_{\Sigma} = n_{d1} + n_{d2} + n_{d3} + n_{н,д2} + n_{н,д1} = 975$. За формулою (4.1) $K_d = 0,528$.

Легкознімання визначається особливостями конструкції: для бустера на лафеті $n_0 = 440$ ЕР, а для бустера з осьовим кріпленням у двох точках $n_0 = 260$ ЕР.

Вплив конструктивних рішень на експлуатаційну технологічність літака можна наочно продемонструвати на прикладі трьох варіантів конструкції, які забезпечують заміну двигуна на надзвуковому літаку. Виявляється, що на багатьох літаках застосовуване раніше рішення, що передбачає попереднє відстикування хвостової частини літака, є найбільш трудомістким. Коефіцієнт доступності двигуна дорівнює $K_d = 0,18$. Сумарна кількість ЕР, що затрачуються на заміну двигуна, становить 7580.

Значне збільшення діаметра форсажної камери сучасних ТРД для надзвукових літаків дозволяє конструктивно організувати демонтаж двигуна разом з коробкою приводів назад, проти польоту, знімаючи попередньо лише невеликий обтічник хвостової частини фюзеляжу (рис. 4.1). При такому рішенні коефіцієнт доступності

двигуна збільшується до $K_d = 0,58$. Трудомісткість заміни двигуна зменшується в три рази.

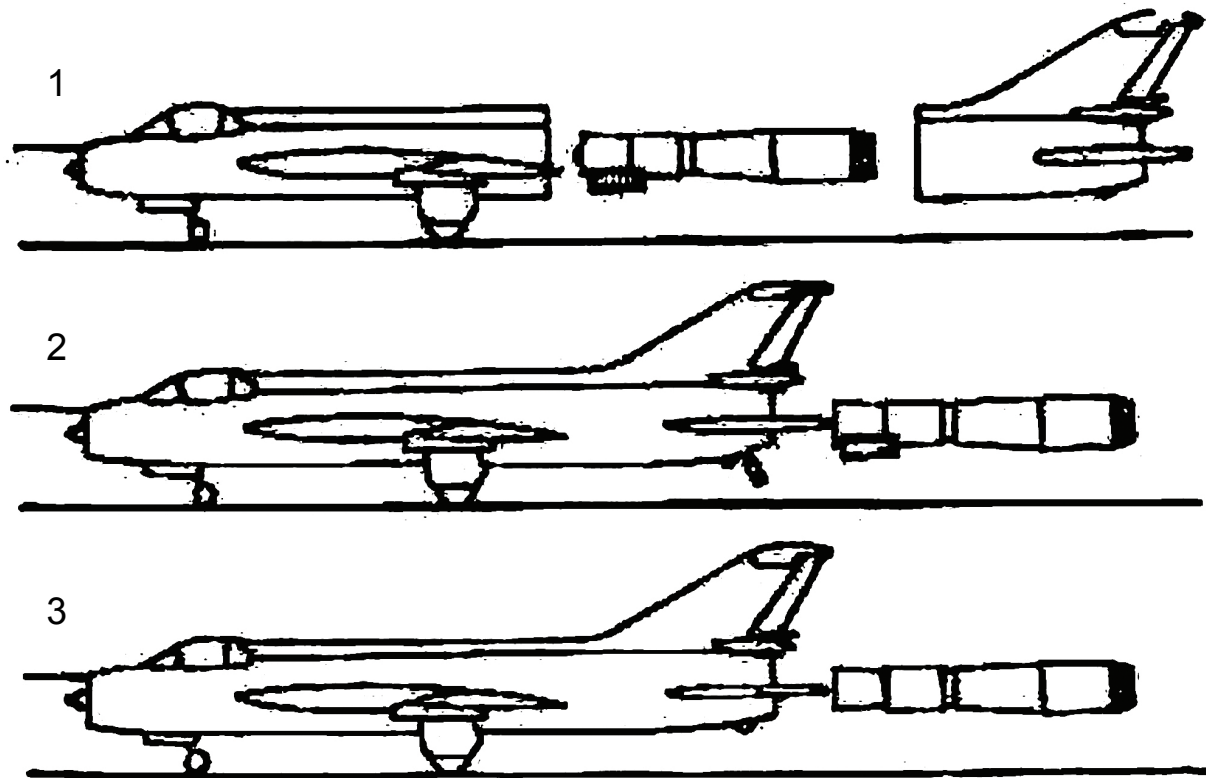


Рисунок 4.1 – Вплив конструктивних особливостей літака на його експлуатаційну технологічність (на прикладі демонтажу двигуна):

- 1 – необхідне відстикування хвостової частини фюзеляжу;
- 2 – достатнє часткове відстикування хвостового обтічника;
- 3 – відстикування двигуна від коробки агрегатів

Третій варіант конструкції забезпечує найлегший демонтаж двигуна, але без коробки агрегатів. Збільшення кількості споживачів енергії на борту літака призвело до ускладнення коробки приводів як за рахунок підвищення кількості точок відбору потужності, так і за рахунок більшої кількості зв'язків з літаковими системами. Коробка приводів стала належати до агрегатів літака, а не до систем двигуна. З'явилися навіть пропозиції використати тільки одну коробку приводів із приводом від двох близько розташованих двигунів. З іншого боку, безвідмовність і ресурс коробки приводів істотно вище, ніж двигуна. Тому конструктивне оформлення розстикування двигуна від коробки приводів при його демонтажі є раціональним. При цьому сумарне

число EP, необхідних для заміни двигуна порівняно з першим варіантом демонтажу, зменшується майже в сім разів. Неважко уявити, у скільки разів знизяться працевитрати на заміну одного двигуна (наприклад, через забоїні лопатки першого ступеня компресора) на дводвигунному літаку при їхньому розташуванні у хвостовій частині фюзеляжу.

Можна показати, що для скорочення трудомісткості планового технічного обслуговування, а також трудомісткості усунення несправностей найважливіше значення має доступність. Правилком для конструктора-компонувальника має стати забезпечення більшої доступності менш безвідмовних агрегатів.

Відсутність взаємозамінності агрегатів і блоків призводить до тривалих простоїв літака в очікуванні, поки знятий агрегат буде відновлений і знову поставлений на літак. При забезпеченні взаємозамінності агрегатів і наявності їхнього обмінного фонду заміну агрегату, що відмовив, можна вирішити з виконанням передпольотної підготовки літака.

Вбудована система автоматизованого контролю (САК) справності літака, незважаючи на додаткову вартість і масу конструкції, забезпечує істотне підвищення експлуатаційної технологічності літака за рахунок скорочення трудомісткості планових перевірок систем і значного скорочення часу виявлення елемента, що відмовив, у складних системах. Чим менше несправностей буде виникати в процесі експлуатації літака, тим менше працевитрат буде використано на позапланові роботи. Сполучення планового обслуговування з усуненням несправностей може дати істотне скорочення сумарної трудомісткості робіт і часу простою літака за рахунок виконання усунення несправності в умовах кращого доступу, що утворився при виконанні планового обслуговування. Але питання у тому, чи можна експлуатувати літак з такою несправністю до чергового планового обслуговування? Відповідь буде негативною, якщо ця несправність істотно впливає на безпеку й безвідмовність літака. Звідси й впливає ідея ввести резервування (дублювання) заради підвищення експлуатаційної технологічності. Особливо на важких літаках збільшується кратність резервування тих елементів,

трудомісткість негайного усунення відмови яких найбільш висока (вище призначеного рівня).

4.8 Бортові й наземні системи контролю

Експлуатаційний контроль обов'язковий для будь-якого типу літака й призначений для перевірки працездатності (діагностики) агрегатів і систем, оцінювання технічного стану, прогнозування технічного стану.

На літаках застосовуються такі засоби контролю.

1. Штатні системи (прилади) індикації експлуатаційних параметрів.
2. Системи раннього виявлення несправностей.
3. Системи аварійної сигналізації.
4. Системи автоматизованого експлуатаційного контролю.

Штатні системи контролю працездатності у формі стрілкових і цифрових приладів, світлових індикаторів та інших носіїв інформації виводяться на приладові дошки членів льотного екіпажу й на пульт техніка, розташований у зручному для обслуговування на землі відсіку літака. Контрольовані параметри цих систем характеризують працездатність найважливіших агрегатів і функціональних систем літака. Наприклад, параметри роботи силової установки, системи електроенергопостачання, гідравлічних систем, системи кондиціонування, навігації, бортових ЕОМ та ін.

Системи раннього виявлення несправностей призначені для профілактики й виявлення передвідмовного технічного стану агрегатів і систем літаків. Їхні контрольовані параметри відбивають поступово зміни, що накопичуються, таких показників технічного стану агрегатів і систем, які об'єктивно сигналізують про виникнення несправності, що переходить надалі у відмову. Системою сигналізації появи несправностей обладнуються усі нові літаки.

Системи аварійної сигналізації використовують як вихідний сигнал світлову індикацію червоних кольорів на приладових дошках і пультах членів екіпажу, звукову сигналізацію у формі переривчастого зумера або записаних на магнітну стрічку мовних команд і інструкцій, а також механічне коливання штурвала керування літаком. Системи

аварійної сигналізації реагують на такі зміни в роботі основних систем, які загрожують безпеці польоту. Наприклад, помпаж двигуна, пожежа, падіння тиску палива, мимовільне вбирання передкрилків, відключення генераторів та ін. Перелік аварійних сигналів розробляється на основі аналізу надійності літака.

Бортова автоматизована система контролю (БАСК) поєднує усі бортові системи контролю (штатний контроль працездатності, раннього виявлення несправностей і аварійної сигналізації) і реєструє усі параметри цих трьох систем. БАСК має у своєму складі бортову ЕОМ з достатнім обсягом пам'яті й не має потреби в наземному пристрої дешифрування й аналізу інформації. Через значну масу БАСК застосовується, в основному, на важких літаках. У кожній функціональній системі літака є логічний пристрій, що порівнює фактичний вихідний сигнал від датчика даного контрольованого параметра з еталонним із блока пам'яті ЕОМ. При неприпустимій неузгодженості цих сигналів на дисплеї екіпажу з'являється інформація про несправність або відмову з необхідною рекомендацією. БАСК літаків В747 і DC-10 забезпечують пошук 95% несправних блоків. На літаку Іл-86 застосовується БАСК «Прогноз».

Наземно-бортові автоматизовані системи контролю використовують високоінформативні бортові магнітні нагромаджувачі інформації, а також наземну систему дешифрування й аналізу інформації. Магістральні пасажирські літаки допускаються до польоту після перевірки запису контрольних параметрів попереднього польоту.

Наземні системи експлуатаційного контролю літаків являють собою мобільні комплекти розосереджених рухомих засобів контролю (РЗК) окремих функціональних систем літака, експлуатаційно-ремонтних пультів (ЕРП) і контрольно-вимірювальної апаратури (КВА).

Конструктор повинен урахувати особливості експлуатації майбутнього літака, досвід використання різних методів діагностики і оснащеність експлуатуючих організацій уніфікованими наземними технічними засобами експлуатаційного контролю. Уже на самому ранньому етапі проектування при розробленні структури й

компонуванні системи літака конструктор вирішує основні питання забезпечення ефективного контролю її технічного стану. Досліджуються різні способи реалізації одержання об'єктивної інформації про стан найбільш відповідальних елементів і вузлів, різні конструкції датчиків контрольованих параметрів. На основі розрахунків безвідмовності й питомої трудомісткості обслуговування розробляється перелік контрольованих параметрів. Потім конструктивно розробляються точки виміру параметрів їх сполучення з апаратурою, що реєструє. Надійність і точність систем контролю підтверджується розрахунками й випробуваннями.

4.9 Методи технічного обслуговування

Експлуатаційна технологічність виробів - це важливий науковий напрямок теорії технічної експлуатації, що взаємодіє з наукою про надійність. Конструктор повинен забезпечувати і відбивати в технічній документації такі властивості, що входять в експлуатаційну технологічність: доступність, контролепридатність, легкознімання, обслуговування, взаємозамінність (вузлів і агрегатів) і ремонтпридатність (приспосованість до ремонту в заданий час).

Розрізняють технічне обслуговування й ремонт за напрацюванням й технічне обслуговування й ремонт за станом.

Метод обслуговування за напрацюванням (за ресурсом) оснований на виконанні через заздалегідь заплановані інтервали напрацювання або календарного часу експлуатації постійних наперед заданих обсягів відновлювальних робіт поза залежністю від фактичного стану систем і агрегатів. Метод ремонту агрегату за ресурсом передбачає його знімання з літака після вироблення призначеного ресурсу або після закінчення призначеного терміну служби й відправлення в ремонт або для використання в наземних системах. Обслуговуються й ремонтуються за ресурсом особливо відповідальні системи, агрегати й вузли літака (за спеціальним списком), а також нерезервовані агрегати, фактичний стан яких у процесі експлуатації важко діагностувати.

Для деяких типів літаків ще використовується метод профілактичного ремонту за ресурсом. Після виробітку призначеного

для всіх літаків даного типу єдиного ресурсу до першого ремонту або міжремонтного ресурсу (або відповідних термінів служби) машина направляється в ремонт без врахування його технічного стану. Можна відзначити такі недоліки цього методу:

- тривалість і висока вартість ресурсних випробувань, за результатами яких призначається ресурс;
- фактичний ресурс через невелику кількість випробуваних зразків і відмінностей умов випробувань від умов під час експлуатації істотно відрізняється від отриманого за результатами ресурсних випробувань;
- фактичний ресурс кожного екземпляра літака різний, оскільки залежить від його режимів польоту, завантаження;
- великий розкид ресурсу випробуваних зразків призводить до призначення в діючих керівництвах таких значень коефіцієнтів безпеки, які істотно занижують призначувані ресурси;
- профілактичний ремонт літака за випрацюванням ресурсу надовго виводить його з ладу, дуже дорогий (близько 30% собівартості нового літака) і вносить багато нових несправностей (порушення герметичності паливних відсіків, трубопроводів, монтажні напруги).

При обслуговуванні й ремонті за технічним станом обсяги й склад відбудовних і ремонтних робіт встановлюються для кожного агрегата або літака даного типу відповідно до його фактичного технічного стану на даний момент експлуатації. Використовуються два методи.

Метод обслуговування й ремонту за технічним станом з контролем параметрів, який передбачає безперервне або періодичне виявлення передвідмовного стану агрегатів і систем у процесі експлуатації, їхню заміну, відновлення або ремонт до виникнення відмови.

Метод обслуговування за технічним станом з контролем рівня надійності, який передбачає керування рівнем надійності агрегатів і вузлів за статистичними даними про кількість їхніх відмов, їхню заміну або відновлення працездатності після виникнення відмови.

Перший метод зводиться до керування технічним станом

кожного конкретного агрегата, системи. Складається перелік контрольних параметрів з алгоритмами їхнього аналізу. Застосування методу через складність систем індикації параметрів і діагностики економічно виправдано поки для обмеженої кількості агрегатів і систем літака. У міру вдосконалювання методів і засобів інструментального контролю технічного стану літакових систем збільшуватиметься кількість вузлів і агрегатів, що будуть обслуговуватися за технічним станом з контролем параметрів.

Другий метод застосовується для агрегатів і вузлів, відмова яких не впливає на безпеку й безвідмовність літака або він практично неймовірний. Тому передбачається експлуатація цих елементів до відмови. Проводяться оперативний збір, оброблення й аналіз даних про відмови сукупності однотипних виробів і виробляються рішення про зміну обсягів профілактичних робіт під час експлуатації або про конструктивно-технологічне доведення у виробництві для менш надійних з них.

У табл. 4.1 дано значення розподілу вузлів і агрегатів пасажирських літаків за методами технічного обслуговування. Як видно з таблиці, методом за ресурсом обслуговується невеликий відсоток вузлів і агрегатів даних літаків. Раціональне сполучення обслуговування за всіма трьома методами дозволяє підвищити економічність технічної експлуатації літаків даного типу, знизити необхідні працевитрати й забезпечити високу готовність.

Таблиця 4.1 – Методи технічного обслуговування

Метод технічного обслуговування	Кількість вузлів і агрегатів, %		
	DC-8	DC-10	B-747
За ресурсом	5	10	6
За технічним станом:			
з контролем параметрів	16	30	31
з контролем надійності	79	60	63

5 ДОВГОВІЧНІСТЬ І ЗБЕРЕЖНІСТЬ ОБ'ЄКТІВ АКТ ЯК ОДНА З ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗПЕКИ ТОВАРУ

5.1 Взаємозв'язок довговічності, збережності й надійності літака

Визначення довговічності й збережності літаків були дані раніше. Раніше ж були наведені основні показники довговічності й збережності. Відповідно до прийнятої в нашій країні термінології

довговічність і збережність технічних виробів разом з безвідмовністю й ремонтпридатністю визначають їх більш загальну властивість – надійність. Чим довше літак може зберегти свої експлуатаційні й льотно-технічні властивості, тим менша кількість машин може бути закуплена для виконання певної багаторічної програми перевезень пасажирів і вантажів. Довговічність і збережність є складовими загальної властивості надійності тому, що дві ці властивості впливають на значення показників безпеки, безвідмовності й ремонтпридатності довгостроково до граничного напрацювання, граничного календарного строку експлуатації, після зберігання й транспортування. Хоча показники довговічності й збережності не входять безпосередньо у формулу для ймовірності надійної роботи літака, їхні значення показують, протягом якого періоду експлуатації й зберігання забезпечується задана надійність літака.

Обмеження тривалості експлуатації й зберігання пов'язане з витратами на відбудовний ремонт і організацію зберігання. Тому довговічність і збережність літака визначають границі його економічно доцільної експлуатації й зберігання.

Серед факторів, що обмежують довговічність літака, найважливішим є втома конструкції планера. До інших факторів належать зношування пар тертя, корозія металів і деструкція неметалевих матеріалів. Конденсаційна волога має іонний і сольовий склад і є досить агресивним корозійним середовищем. Корозія залежить від навантажень і сильніше уражує деталі, що перебувають під більшою експлуатаційною напругою. Зміна механічних і діелектричних властивостей неметалевих матеріалів у процесі тривалої експлуатації також обмежує довговічність літака. При великій календарній тривалості експлуатації літака відбуваються окрихчування й розтріскування гумових деталей і покриттів з герметика, втрата прозорості застаклення, порушення ізоляції електричних проводів. Ось чому довговічність літака є двопараметричною властивістю й виражається двома типами кількісних показників – ресурсами й термінами служби.

Якщо ресурси (ресурс до першого ремонту – t_1 , міжремонтний ресурс – t_{mp} і повний ресурс – t_n) відображують здатність конструкції

літака в процесі тривалого функціонування нормально сприймати експлуатаційні навантаження й граничний стан літака, при цьому визначається зношуванням і втомною пошкоджуваністю, то відповідні терміни служби (T_1 , T_{mp} , T_n) виражають властивість конструкції не старіти. Граничний стан літака, зумовлений неможливістю його подальшої експлуатації для відповідних термінів служби буде зумовлений певним ступенем корозії металів і деструкції неметалевих матеріалів конструкції.

Ресурси літака виражаються в одиницях напрацювання. Напрацювання – тривалість експлуатації літака в польоті й наземних умовах, що виражається в годинах нальоту, числом польотів або посадок. Льотними ресурсними випробуваннями встановлено, що основна частина ушкоджуваності, що накопичується, вноситься не в процесі польоту на крейсерській висоті, а в процесі зльоту-посадки й рулювання. Ресурс шасі прийнято виражати числом посадок.

На рис. 5.1 взаємозв'язок між ресурсами літака і його термінами служби показано у формі часового графіка.

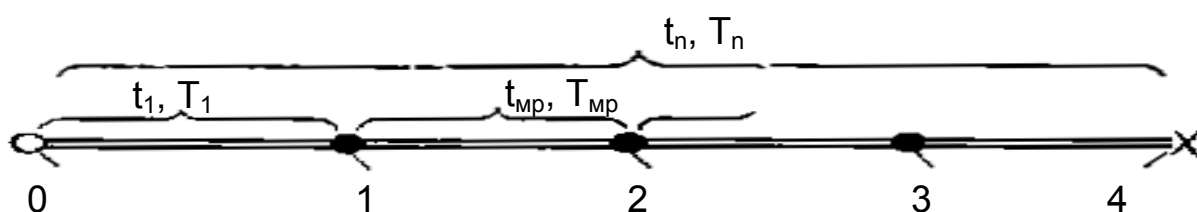


Рисунок 5.1 – Часовий графік ресурсів і термінів служби літака:

0 – початок експлуатації; 1, 2, 3 – перший, другий і третій профілактичні ремонти; 4 – списання

Ресурс до першого ремонту звичайно призначається трохи більшим за міжремонтний ресурс, оскільки новий літак має більшу довговічність, ніж літак, що пройшов ремонт. Щоб виключити заміну агрегатів літака й готових виробів, що виробили свій ресурс, у процесі експлуатації літака й сполучити її із профілактичним ремонтом літака або підвищеним технічним обслуговуванням, повний ресурс агрегатів і готових виробів не повинен бути меншим за ресурс до першого ремонту літака. Міжремонтний ресурс призначається з таким розрахунком, щоб період напрацювання між першим профілактичним

ремонт і списанням літака відповідно до кількості ремонтів був розбитий на однакові проміжки.

Експлуатація літака має бути припинена, якщо вироблено призначений ресурс або минув відповідний термін служби літака. Наприклад, магістральний пасажирський літак з високим середньорічним нальотом буде направлено у профілактичний ремонт внаслідок виробітку ресурсу до першого ремонту, а такий же літак відомчої приналежності, що літає час від часу, буде направлений у профілактичний ремонт через закінчення терміну служби до першого ремонту у роках. Таким чином, граничний стан літака, при якому він списується чи направляється в ремонт, настає залежно від того, що відбудеться раніше: чи виробиться ресурс, чи пройде календарний термін служби. У термін служби включається період зберігання й транспортування літака.

Значення показників довговічності й збережності у формі відповідних ресурсів, термінів служби й терміну зберігання обов'язково вказуються в ТТТ на розроблювальний літак. Але на початку експлуатації парку літаків даного типу встановлюються часові значення ресурсів і термінів служби, які називаються початковими. У міру нагромадження досвіду експлуатації, відомостей про умови навантаження і після дослідження технічного стану головної групи парку літаків з максимальним нальотом початково призначені ресурси й терміни служби підлягають поетапному збільшенню аж до значень, оговорених у ТТТ.

Згідно з НЛГЛ-3 ресурс конструкції літака встановлюється за ресурсом незамінних конструктивних елементів, руйнування або появи ушкоджень, які можуть безпосередньо призвести до катастрофічної ситуації. При встановленні ресурсу повинні враховуватися вплив зношування й можливе зниження міцнісних характеристик конструкції, спричинене температурними впливами, корозією, а також іншими змінами властивостей конструкції, пов'язаними із часом, умовами експлуатації й зберігання. Ресурс складається на етапі проектування й демонструється за результатами натурних втомних випробувань окремих агрегатів і планера літака в цілому. При цьому він не може бути нижче за ресурс

до списання за ТТТ.

Ускладнення конструкції новітніх літаків, застосування високоміцних матеріалів і значне збільшення економічно обґрунтованого повного ресурсу роблять завдання забезпечення тривалої безпеки й надійності особливо актуальним.

5.2 Ресурс і термін служби до першого ремонту

У процесі тривалої експлуатації нового літака в ньому з'являються такі ушкодження, спричинені втомою, зношуванням і старінням, які слід усувати на ремонтному заводі. Період експлуатації, після якого літак направляється вперше на ремонт, регламентується такими важливими показниками його довговічності, як ресурс і термін служби до першого ремонту. Ресурс й термін служби до першого ремонту призначаються з таким розрахунком, щоб за весь період експлуатації літака даного типу в межах повного ресурсу й повного терміну служби він пройшов кілька профілактичних ремонтів. Конструктори літака прагнуть у процесі розроблення забезпечити максимальне значення ресурсу до першого ремонту. Чим більші ресурс і термін служби до першого ремонту, тим вище ефективність літака даного типу. У той же час повний ресурс і повний термін служби агрегатів, систем, готових виробів і, зокрема, двигунів не повинні бути менша за ресурс й термін служби до першого ремонту літака.

На початку експлуатації літаків даного типу призначається початковий ресурс до першого ремонту. Після дослідження технічного стану літаків, що виробили початковий ресурс до першого ремонту й надійшли на ремонтний завод, міжвідомча комісія фахівців дає висновок про можливість продовження й призначення більш високого ресурсу до першого ремонту літакам даного типу. Висновок комісії базується на результатах повного дослідження працездатності літаків на ремонтному заводі до їхнього розбирання, у тому числі й на результатах нівелювання. Після розбирання літаків проводяться стендові й лабораторні дослідження працездатності агрегатів і готових виробів основних систем з урахуванням значень їхніх вихідних параметрів. Наступне розбирання агрегатів і вузлів з повною

дефектацією деталей на базі інструментальних і неруйнівних методів контролю дозволяють визначити ступінь зношування пар тертя, розміри втомних і корозійних ушкоджень деталей планера, старіння гумових і ізоляційних деталей. Крім дослідження технічного стану літаків для вирішення питання про можливість продовження ресурсу до першого ремонту використовуються матеріали з дослідження агрегатів, що відмовили, статистики відмов і льотних подій інших літаків даного типу. Більш високі значення ресурсу до першого ремонту й терміну служби до першого ремонту призначаються тільки в тому випадку, якщо вони економічно доцільні й забезпечують безпеку літаків даного типу.

Конструктивні заходи, що забезпечують більш тривалу експлуатацію літака без необхідності його повного розбирання, дозволяють підвищити його ресурс до першого ремонту.

Міжремонтні ресурс і термін служби визначаються для літаків, що експлуатуються, довгостроково, аналогічно ресурсу й терміну служби до першого ремонту. Оскільки загальний наліт і календарна тривалість експлуатації літаків, що направляють у черговий профілактичний ремонт, істотно більше, ніж у літаків, що надходять вперше на профілактичний ремонт, і значення міжремонтних ресурсів і термінів служби прийнято призначати однаковими для наступних міжремонтних циклі під час експлуатації, то величина міжремонтного ресурсу завжди призначається меншою, ніж ресурс до першого ремонту.

Технічне обслуговування й ремонт авіаційної техніки потребують виконання ряду вимог.

1. Забезпечення високого рівня експлуатаційно-ремонтної технологічності конструкції агрегатів і вузлів. Доступність для візуального огляду внутрішніх поверхонь силових елементів або пера літака повинна забезпечуватися експлуатаційними люками й панелями достатніх розмірів, а також легкозніманням устаткування.

2. Контролепридатність конструкції стосовно конкретних способів дефектоскопії й діагностики технічного стану.

3. Розроблення блокових і модульних конструкцій, що забезпечують високий рівень взаємозамінності.

4. Розроблення ефективних засобів діагностики й неруйнівного контролю.

5. Розвиток виробничо-технічної й лабораторної бази експлуатуючих організацій.

Стратегія ремонту авіаційної техніки за технічним станом (ДОСТ 24212-80) передбачає замість капітально ремонту літака ряд відбудовних ремонтів у процесі підвищеного технічного обслуговування. Тому ремонт – це усунення несправностей, що нагромадилися, для своєчасного запобігання порушення працездатності агрегатів і систем літака.

5.3 Повний ресурс і повний термін служби

Максимальна тривалість експлуатації літаків даного типу визначається призначенням для них повним ресурсом або повним терміном служби. Повний ресурс і повний термін служби призначаються і для окремих агрегатів, і готових виробів, які замінюються на літаку, якщо їхній повний ресурс або термін служби менше, ніж у літака. Повний ресурс і повний термін служби є найбільш загальними кількісними показниками довговічності виробів авіаційної техніки. Повний ресурс, як і інші ресурси (ресурс до першого ремонту, міжремонтний і гарантійний ресурси), виражаються кількістю годин нальоту, кількістю польотів, посадок, спрацьовувань, кількістю годин сумарного напрацювання в повітрі й на землі залежно від специфіки агрегатів, готових виробів і літаків у цілому.

Збільшуючи обсяг кожного наступного профілактичного ремонту, можна відновлювати працездатність і забезпечувати безпеку експлуатації літака протягом дуже тривалого часу. Призначувані збільшені значення повного ресурсу й терміну служби літаків даного типу залежать від обсягу даних і економічної доцільності витрат на черговий відбудовний ремонт і забезпечення подальшої безпечної експлуатації парку цих літаків. Наприклад, невдачі в створенні нових стратегічних бомбардувальників, таких, як В-58, В-70, змусили американських конструкторів шукати рішення, що забезпечують подовження експлуатації старих стратегічних бомбардувальників В-52, що виробили свій повний ресурс. За

рахунок спеціальних асигнувань, затверджених Конгресом США, обмежена кількість літаків B-52 була капітально відремонтована й уведена в дію.

Призначений ресурс – це кінцевий термін, і літаки даного типу після його випрацювання списуються з таких причин:

1) прогноз експлуатаційного і, в основному, втомного пошкодження планера літака наприкінці діючого ресурсу свідчить про ймовірності таких руйнувань, ремонт яких економічно недоцільний;

2) розроблений новий тип літака даного класу з істотно ліпшими характеристиками, якими економічно доцільно замінити застарілі літаки.

Розроблення конструкції проектного літака ведеться на повний ресурс і повний термін служби, що оговорені в ТТТ і визначені з урахуванням прогнозу можливості створення в майбутньому більш досконалого літака, ніж проєктований. Повний ресурс і повний термін служби змінюваних агрегатів в ідеалі мають дорівнювати повному ресурсу й терміну служби літака. Повні ресурси й терміни служби, прийняті при розробленні конструкції агрегатів і літака, називаються розрахунковими.

На практиці експлуатація парку літаків нового типу ведеться в межах початкового призначеного повного ресурсу й терміну служби, які значно менше розрахункових. Послідовне продовження повних ресурсів і термінів служби агрегатів і літака на основі результатів натурних втомних випробуванні, дослідження технічного стану машин головної групи й прогнозу експлуатаційної пошкоджуваності є необхідною умовою забезпечення безпеки. У випадках, коли фактичний повний ресурс літака виявився значно нижче розрахункового, а посилення конструкції планера (наприклад, кесона крила) пов'язане з більшими додатковими витратами, використовуються різні способи зниження діючих напруг у найбільш ушкоджуваних зонах конструкції. Наприклад, надмірне захоплення полегшенням конструкції планера стратегічного військово-транспортного літака C-5A (США) призвело до того, що повний ресурс крила виявився в кілька разів менше розрахункового повного

ресурсу літака, що дорівнює 30 000 годин. Заміна крила на 77 літаках потребує значних капіталовкладень. Зниження діючих напруг у кореневій частині кесона крила було досягнуто зменшенням корисного навантаження зі 100 до 74 кН і перерозподілом аеродинамічного навантаження по розмаху крила в крейсерському польоті. Елерони в крейсерському польоті відхиляються вгору на постійний кут у кілька градусів. Зменшення підйомної сили кінцевих частин крила компенсується збільшенням загального кута атаки літака. У результаті цього кореневі частини крила створюють більшу піднімальну силу, а згинальний момент у кореневій частині кесона крила зменшується. Однак таке рішення пов'язане зі збільшенням опору літака й підвищенням витрат палива.

Продовження терміну служби пасажирських літаків може бути досягнуте зниженням максимального надлишкового тиску в кабіні при обмеженні крейсерської висоти польоту або зменшенні крейсерської швидкості.

Розроблення конструкції планера літака з урахуванням можливості застосування сучасних методів неруйнівного контролю дозволяє значно збільшити повний ресурс завчасним виявленням малих тріщин на кожному екземплярі літака й проведенням профілактичного ремонту в зручне для експлуатуючої організації час. Наприклад, метод вихрових потоків дозволяє виявляти тріщини довжиною понад 1,8 мм. При візуальному огляді виявляються лише тріщини довжиною більше 8 мм. За час росту тріщини з 1 до 8 мм літак може зробити десятки тисяч безпечних польотів. Раннє виявлення тріщин деталей конструкції дозволяє завчасно розробити оптимальний варіант місцевого посилення, що забезпечує літаку великий повний ресурс. Часто незначне посилення конструкції у критичній зоні збільшує ресурс деталі до значення, що перевищує повний ресурс літака. Наприклад, невелике збільшення ширини окантовки люка нижньої панелі крила збільшило її повний ресурс у 10 разів. Підвищення повного ресурсу й терміну служби має велике значення, оскільки дозволяє зменшити кількість замовлених агрегатів і літаків. При цьому економічні показники поліпшуються.

5.4 Гарантійний ресурс

Матеріальна відповідальність постачальника літака в межах певного періоду з початку його експлуатації відіграє велику роль у забезпеченні заданих показників його надійності.

Експлуатаційна надійність літака багато в чому визначається якістю виробничого виконання його основних агрегатів і систем. Цілком природно, що в умовах на поставку виробів авіаційної техніки поряд з матеріальною відповідальністю виготовлювача за поставку некомплектної продукції, а також продукції, що не відповідає стандартам і технічним умовам, передбачається матеріальна відповідальність постачальника у випадку виходу продукції з ладу в процесі експлуатації з його вини. Тривалість відповідальності постачальника за якість виготовленого виробу визначається такими юридичними категоріями, як гарантійний ресурс і строк гарантії.

Гарантійний ресурс – сумарне напрацювання об'єкта з початку експлуатації, при досягненні якого припиняється матеріальна відповідальність постачальника за невиконання вимог умов поставки.

Строк гарантії – календарна тривалість з початку експлуатації об'єкта, при досягненні якої припиняється матеріальна відповідальність постачальника за невиконання вимог умов поставки.

Зміст вимог умов поставки, гарантованих виготовлювачем у період гарантійного ресурсу й строку гарантії, так само, як і значення гарантійного ресурсу й строку гарантії, узгоджуються між виготовлювачем і замовником. При цьому ціна виробу визначається залежно від змісту й тривалості гарантій постачальника. Виготовлювач гарантує й забезпечує виконання певних вимог до виробу за умови дотримання споживачем правил експлуатації, у тому числі правил зберігання й транспортування.

Постачальник повинен гарантувати, що в період експлуатації виробу в межах гарантійного ресурсу фактична кількість відмов, які призвели до зриву виконання завдання, не перевищить установлену за узгодженням із замовником норму.

Розроблювач і виготовлювач сприяють нормальній експлуатації їхнього виробу в межах його повного ресурсу й терміну служби.

5.5 Збережність літаків

У міру ускладнення й підвищення цін на літаки і комплектуючі вироби зросло значення такої властивості, як збережність. При невеликій кількості спеціальних літаків, що експлуатуються, і при тривалому строку їхньої служби виявляється економічно раціональним виробництво за короткий період усієї партії літаків з наступним зберіганням значної їхньої частини. Наприклад, протягом семи років після завершення виробництва стратегічного розвідника ВПС США SR-71A під час експлуатації перебувало менш третини виготовлених літаків, інші були законсервовані. При необхідності поповнити парк експлуатованих літаків внаслідок їхніх втрат у льотних подіях і виробітку ними повного ресурсу розконсервовується необхідна кількість машин, що зберігаються. Конструкція літака і його агрегатів мають бути пристосовані до тривалого зберігання й транспортування автомобільним, залізничним і повітряним транспортом. Вимоги до консервації, режимів зберігання й умов транспортування мають забезпечити задані в ТТТ значення показників збережності.

Термін зберігання T_3 – календарний час зберігання виробу в спеціально оговорених умовах, протягом якого зберігаються його експлуатаційні властивості.

Середній термін зберігання $T_{с.зб}$ – середнє значення терміну зберігання виробів даного типу.

Гамма-відсотковий термін зберігання $T_{зб.г}$ – термін зберігання, що перевищує в середньому зумовлене число гамма-відсотків виробів даного типу.

Високі значення показників збережності важливі для агрегатів літака, які замінюють, й готових виробів, таких, як двигуни, насоси, генератори, електронні блоки, акумуляторні батареї, авіащини, різні підвіски, стартові прискорювачі.

6 ТОВАРОЗНАВЧІ Й ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗПЕКИ АКТ

Оцінювання технічної досконалості проектованого варіанта конструкції літака можна провести з урахуванням вартості

розроблення й випробувань дослідних літаків, а також вартості виготовлення й експлуатації в межах повного технічного ресурсу кількості серійних літаків, що замовляється. При цьому підході мінімізується загальна вартість створення й функціонування літаків даного типу.

Можна написати рівняння

$$C_k = C_p + C_b + C_e + C_{вт}, \quad (6.1)$$

де C_k – загальна вартість створення й функціонування літакового комплексу протягом запланованої кількості років; C_p – вартість розроблення й випробувань дослідних літаків і наземного устаткування; C_b , C_e – вартості, відповідно, виготовлення й експлуатації потрібної кількості комплектів літаків і устаткування протягом запланованої кількості років; $C_{вт}$ – вартість втрачених літаків при аваріях і катастрофах протягом запланованої кількості років.

При порівнянні варіантів конструкції проектного літака, що відрізняються значеннями показника надійності, усі члени цього рівняння будуть приймати різні значення.

На рис. 6.1 показано залежність зміни загальної вартості та її складових від величини показника надійності літака. Вартість розроблення C_p збільшується у міру того, як збільшується задане значення показника надійності літака. Чим ближче до одиниці значення $P_{опт}$, тим більш різко зростає вартість розроблення. Створення літака з дуже високим рівнем надійності пов'язане з більшим обсягом експериментальних робіт і необхідністю резервування багатьох систем. Інші складові загальної вартості зменшуються зі збільшенням надійності літака, а загальна вартість створення й функціонування літака має явно виражений мінімум при певному значенні показника надійності. Це значення показника надійності літака й прийнято вважати оптимальним.

Надійність сучасних літаків перебуває на такому рівні, при якому оптимальне значення ще не досягнуте й заходи щодо подальшого підвищення надійності призводять до зниження загальних витрат на їх створення й експлуатацію.

Якщо, наприклад, необхідна кількість літаків становить 500 штук вартістю по 1,5 млн дол. кожний, то зменшення надійності літака з

0,95 до 0,83 потребує збільшення парку літаків до 572. До витрат на придбання 72 літаків у сумі 108 млн дол. додадуться витрати на їхнє обслуговування протягом 10 років у сумі 144 млн дол. Загальні витрати, спричинені зниженням надійності літака, становитимуть 252 млн дол.

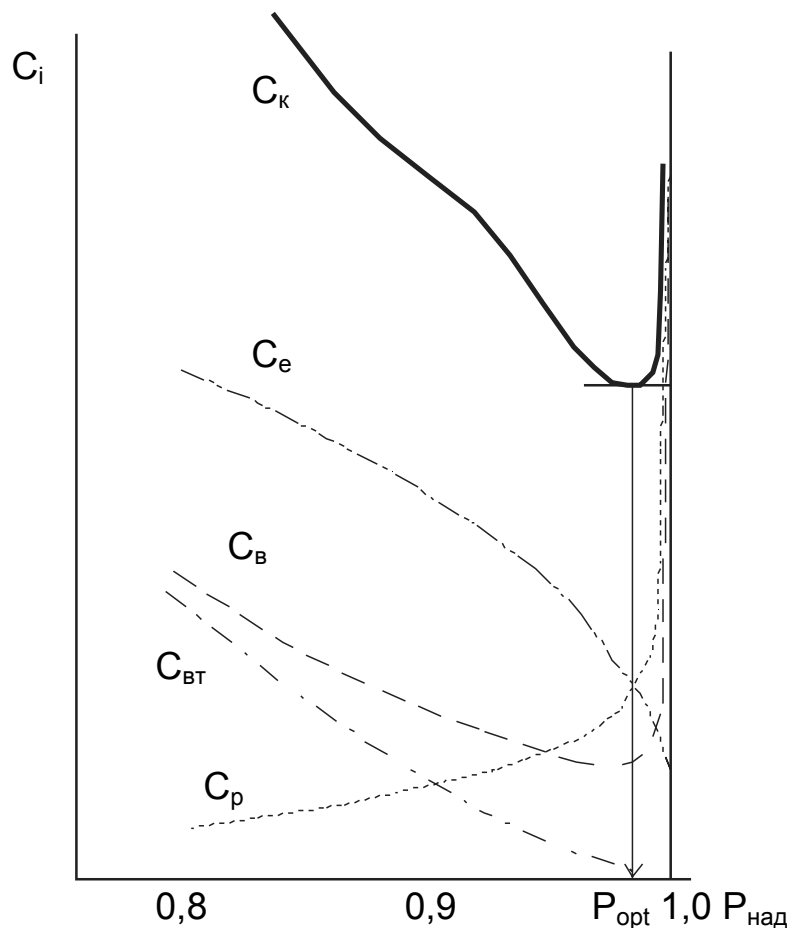


Рисунок 6.1 – Залежність зміни складової сумарної вартості створення й функціонування парку літаків від величини показника надійності літака

Наслідком недостатньо високої надійності сучасних літаків є більша сума витрат на їхнє обслуговування. Проведений аналіз показав, що експлуатаційні витрати для літака, виготовленого в 50-х роках, у три з лишком рази перевищили його закупівельну ціну. Експлуатаційні витрати більш дорогих сучасних надзвукових літаків у два з лишком рази перевищують витрати на їхнє придбання.

Найбільшу частину експлуатаційних витрат становлять витрати на запасні двигуни і їхній капітальний ремонт, які в цьому випадку становлять 28%. Середня вартість капітального ремонту двигуна – 15 ... 30% його закупівельної ціни.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

Житомирський Г. І. Конструкція літаків: підруч. для вузів авіац. спеціальностей / Г. І. Житомирський. – М.: Машинобудування, 1991. – 400 с.

Кривцов В. С. Основи аеродинамічної техніки: підруч. для вищих навч. закладів (напрямок "Авіація й космонавтика"): в 2 ч. / В. С. Кривцов, Я. С. Карпов, М. М. Федотов. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2003. – Ч. 2. – 901 с.

Основи авіаційної техніки: підруч. для вузів / С. М. Єгер, А. М. Матвієнко, І. А. Шаталов. – М.: МАІ, 1999. – 576 с.

Проектування літаків: підруч. для вузів / С. М. Єгер, В. Ф. Мішин, Н. К. Лисейцев та ін. – М.: Машинобудування, 1983. – 616 с.

Риженко О. І. Причини авіаційних подій із цивільними й військовими літаками / О. І. Риженко, В. І. Рябков. – Х.: Харк. авіац. ін-т, 1997. – 208 с.

Риженко О. І. Особливі польотні ситуації та запобігання їх виникнення на літаках і вертольотах / О. І. Риженко, В. І. Рябков. – Х.: Харк. авіац. ін-т, 1998. – 288 с.

Технічна експлуатація літальних апаратів: підруч. для вузів / М. М. Смирнов, М. І. Владимиров, Ж. С. Черненко та ін.; за ред. Н. Н. Смирнова. – М.: Транспорт, 1990. – 423 с.

Навчальне видання

**Бетін Олександр Володимирович
Вамболь Віола Владиславівна
Тіняков Дмитро Васильович**

**ТОВАРОЗНАВЧІ АСПЕКТИ БЕЗПЕКИ
АЕРОКОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

Редактор С.П. Гевло

Зв. план, 2010

Підписано до друку 17.12.2010

Формат 60x84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 4,8. Обл.-вид. арк. 5,44. Наклад 100 прим. Замовлення 436.

Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

"Харківський авіаційний інститут"

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр "ХАІ"

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu