

## ОСОБЛИВОСТІ ЛЬОТНИХ ВИПРОБУВАНЬ РЕГІОНАЛЬНОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІТАКА

Льотні випробування являють собою заключний етап процесу створення нового літака, або його модифікацій. Особливостями льотних випробувань є те, що вони проводяться у випадкових зовнішніх умовах. При цьому засоби вимірювання розміщують на борту літака. Для економії сумарного льотного часу розробляють комплексні завдання для одного польоту.

Льотні випробування дослідного літака виконуються льотно-випробувальними доводочними базами (ЛВДБ), розташованими на аеродромі.

У роботі [1] наведено комплекс наземних робіт з підготовки дослідного повітряного судна до першого випробувального польоту, котрий містить:

- підготовчі наземні роботи на літаку;
- підготовка інформаційно-вимірювальної системи;
- підготовка льотного екіпажу;
- визначення маси, координат центру мас і моментів інерції;
- наземні перевірки працездатності й оцінка відповідності вимогам характеристик бортових функціональних систем і устаткування повітряного судна (ПС);
- комплексна оцінка ПС при русі по аеродрому та при підльоті.

За результатами цих робіт складають акт готовності літака до виконання першого польоту.

У роботі [1] наведено методи та програми льотних випробувань повітряних суден, котрі містять:

- програми випробувань дослідного повітряного судна;
- перший виліт дослідного літака;
- визначення характеристик стійкості та керованості літака;
- визначення льотно-технічних характеристик;
- визначення характеристик маневреності літака;
- визначення злітно-посадочних характеристик літака;
- льотні випробування літака із визначення характеристик міцності;
- випробування літака в граничній області. Встановлення експлуатаційних обмежень;
- льотні випробування силових установок і їх систем;
- льотні випробування пілотажно-навігаційних комплексів;
- оцінка безпеки в особливих випадках польоту;
- методи спеціальних льотних досліджень критичних режимів літака;
- методи автоматизованої обробки польотних матеріалів і управління льотним експериментом;
- методи ідентифікації характеристик;

– льотні сертифікаційні випробування.

За результатами цих робіт оцінюють характеристики повітряного судна, його двигунів та обладнання в усьому діапазоні очікуваних умов експлуатації та вимогам авіаційних правил [2].

Сучасний регіональний пасажирський літак (рисунок 1) є складною динамічною системою.



Рисунок 1 – Сучасний регіональний пасажирський літак Ан-148

Від якості та повноти інформації, отриманої при льотних випробуваннях, залежить своєчасне виявлення і усунення всіх його недоліків, здатних знизити безпеку польотів, або істотно обмежити його льотно-експлуатаційні можливості. Методологія льотних випробувань – це науковий пошук таких умов (процедури) проведення льотного експерименту, який дозволяє істотно скоротити необхідний обсяг випробувальних польотів, не знижуючи при цьому доказової цінності експериментальних матеріалів.

Організація льотних випробувань передбачає вироблення раціональної структури й ефективної системи управління, здатної вирішити всі поставлені завдання.

Методична підготовка льотних випробувань сучасного дослідного літака багатопланова і містить у собі:

- розроблення інформаційно-виміральної системи, що забезпечує одержання в необхідному обсязі всієї потрібної інформації;
- ефективні методики проведення льотного експерименту, пов'язаного з встановленням відповідності характеристик повітряного судна діючим нормам і послідовності виконання випробувальних польотів;

– розроблення алгоритмів і програм автоматизованої обробки.

Методи опрацювання результатів льотного експерименту базуються на методах теорії зв'язку, автоматичного управління, передачі сигналів, теорії систем, а також чисельних методів опрацювання натурного експерименту, які ґрунтуються на методах математичної статистики, апроксимації функцій, теорії ідентифікації та фільтрації, теорії оптимальних процесів і нелінійного програмування.

Для виконання сертифікаційних льотних випробувань регіонального пасажирського літака Ан-148-100 (моделі Ан-148-100А, Ан-148-100В, Ан-148-100Е) були задіяні два льотних екземпляри літака.

Перший політ літака Ан-148-100 № 01-01 відбувся 17 листопада 2004 р., Ан-148-100 № 01-02 – 19 квітня 2005 р.

З метою підвищення економічних показників та конкурентоспроможності сімейства літаків Ан-148-100 була розроблена модифікація літака Ан-158 (рисунок 2) зі збільшеною пасажиромісткістю до 99 чоловік в однокласній компоновці для експлуатації на маршрутах протяжністю до 2500 км.



Рисунок 2 – Регіональний пасажирський літак Ан-158

Для виконання сертифікаційних льотних випробувань літака Ан-158 був задіяний один льотний екземпляр літака.

Перший політ літака Ан-158 відбувся 28 квітня 2010 р.

На літаках виконувалися сертифікаційні випробування за такими тематиками:

- із визначення льотних характеристик, характеристик стійкості та керованості, маневреності та характеристик функціональних систем та обладнання літака в умовах:
  - а) близьких до стандартних;
  - б) високих температур зовнішнього повітря та високогір'я;

- в) низьких температур зовнішнього повітря;
- г) природного зледеніння;
- на великих кутах атаки;
- на граничних за міцністю режимах;
- з оцінки відповідності типової конструкції літака вимогам сертифікаційного базису СБ-148 при імітації відмов функціональних систем;
- із визначення характеристик стійкості та керованості з імітаторами льоду;
- на злітно-посадкових смугах із низьким коефіцієнтом зчеплення та на злітно-посадкових смугах з різноманітним покриттям;
- на злітних смугах, покритих снігом;
- із визначення маневрених характеристик літака для встановлення метеомінімуму;
- із визначення метеомінімуму літака на зльоті та при посадці;
- щодо визначення відповідності характеристик ПНО, РТО, НП та УПР, РЗО вимогам СБ-148, в тому числі у високих широтах і при імітації відмов різноманітних елементів цього обладнання;
- з оцінки забезпечення польотів на міжнародних трасах;
- з ергономічної оцінки компонування кабіни екіпажу;
- з оцінки можливості виявлення тліючої пожежі та димовидалення;
- з оцінки аварійно-рятувального обладнання, систем пожежного захисту, оцінки чистоти повітря та рівня шуму в кабінах;
- з оцінки зовнішніх впливів на працездатність систем і устаткування, а також за оцінкою електромагнітної сумісності систем і устаткування при їх спільній роботі.

Для виконання всіх перелічених вище льотних випробувань оформлялися комплексні програми сертифікаційних випробувань літаків Ан-148-100/Ан-158, розроблені фахівцями ЛВ і ДБ ДП «АНТОНОВ» на підставі:

- робочих програм (у кількості 40);
- спеціальних сертифікаційних програм (у кількості 12)

з урахуванням високого ступеня комплексування тематик і польотних завдань у кожному випробувальному польоті.

Станом на дату вручення сертифіката типу 26 лютого 2007 р. (для літака Ан-148-100) та 28 лютого 2011 р. (для літака Ан-158), фактичний наліт становив:

- на літаку Ан-148-100 № 0101 - 414 польотів (672 години);
- на літаку Ан-148-100 № 0102 - 267 польотів (529 годин);
- сумарний наліт - 681 політ (1201 година);
- на літаку Ан-158 № 0102 - 152 польоти (262 години).

Темп випробувань оцінюється показниками середнього місячного нальоту (польотів/годин) дослідних літаків.

Наліт на один літак на місяць при льотних випробуваннях Ан-148-100 становив 13,5 польота та 24 години, а для літака Ан-158 – 15,2 польота та 26 годин. Діапазон температур зовнішнього повітря, при яких проводилися випробування, сягав від мінус 52 °С (рисунок 3) до плюс 45 °С .



Рисунок 3 – Випробування при наднизьких температурах (до –55 °С). Якутськ, Нерюнгрі (Росія)



Рисунок 4 – Випробування при високих температурах (до +45 °С) і в умовах високогір'я (висота аеродромів до 4100 м). Гюмрі(Вірменія), Карші(Узбекистан), Іран, Ла-Паз (Болівія)

Для розширення очікуваних умов експлуатації літаків Ан-148-100/ Ан-158 та забезпечення регулярності польотів в умовах низьких мінімумів в липні-вересні 2009 р. в аеропортах: Київ-Антонов, Бориспіль, Донецьк і Сімферополь бригадою спеціалістів ДП «АНТОНОВ» за участю експертів сертифікаційних центрів виконані наземні та льотні випробування літака за програмою «Дополнительные сертификационные



испытания по оценке Главного изменения типовой конструкции «Обеспечение минимума посадки по IIIA категории ИКАО».

Загалом за цією програмою було виконано 111 випробувальних польотів. За результатами виконаних випробувань був оформлений технічний звіт.

Для забезпечення максимального використання широких експлуатаційних можливостей літаків Ан-148-100/Ан-158 (моделей Ан-148-100А, Ан-148-100В, Ан-148-100Е та Ан-158) – розширення очікуваних умов їх експлуатації на підготовлених ґрунтових аеродромах у період з 03.11.07 р. по 09.11.07 р. виконані наземні та льотні випробування літака за програмою «Додаткові сертифікаційні наземні та льотні випробування на ґрунтових злітно-посадкових смугах» (рисунок 5).



Рисунок 5 – Випробування на ґрунтовій злітній смузі

Льотні випробування проводилися в аеропорту комунального підприємства «Міжнародний аеропорт Одеса» у фактичних метеоумовах та при фактичному стані ґрунтової злітної смуги. Виконано 12 випробувальних польотів і три швидкісні пробіжки із загальним нальотом 15 годин 15 хвилин. За результатами виконаних випробувань оформлено технічний звіт.

Для забезпечення максимального використання широких експлуатаційних можливостей літака Ан-148-100 і розширення очікуваних умов його експлуатації в частині висоти аеродромного базування до 2200 м виконані наземні та льотні випробування літака на аеродромах, розташованому на висотах 2050 м (Шахрекорд, Ісламська Республіка Іран) і 1800 м (Керман, Ісламська Республіка Іран). Виконано 17 випробувальних польотів із загальним нальотом 19 годин 15 хвилин. За результатами виконаних випробувань оформлено технічний акт.

Додатково на літаку Ан-158 виконані роботи щодо розширення очікуваних умов експлуатації в частині висоти аеродромного базування

вище 2200 м. Наземні та льотні випробування літака були виконані на аеродромах, розташованих на висотах 2800 м (Латакунга, Еквадор) і 4058 м (Ла-Паз, Болівія).

Для реєстрації та відображення інформації, яка надходить від системи бортових вимірів, був розроблений і впроваджений програмно-апаратний комплекс (ПАК) АВІОНІКС-КІ. До складу комплексу входять пристрої узгодження для прийому інформації від систем збирання ГАММА-1101, ГАММА-3101 і 64-х потоків штатної інформації ARINC-429. Програмно-апаратний комплекс (ПАК) АВІОНІКС-КІ дозволяє одночасно реєструвати до 17000 параметрів. Система відображення інформації побудована на базі трьох персональних комп'ютерів і дозволяє провідному інженерові з льотних випробувань, який бере участь у випробувальному польоті, приймати рішення про хід виконання льотного експерименту. Система АВІОНІКС-КІ була розроблена і атестована спільно з Незалежною Інспекцією. За результатами атестації було прийнято Рішення про використання ПАК АВІОНІКС-КІ при льотних випробуваннях літаків розробки ДП «АНТОНОВ».

На літаку встановлювалися два робочих місця провідних інженерів з льотних випробувань, повністю комп'ютеризовані для аналізу і запису бортової інформації, що складаються з п'яти комп'ютерів, а також системи відеоспостереження, що дозволяє проводити відеоспостереження за діями екіпажу всередині літака і зовнішнє відеоспостереження за станом літака. Робочі місця були обладнані резервними приладами визначення швидкості, висоти, перевантаження, годинниками, кисневими приладами та переговорним пристроєм.

Для оброблення кодової інформації після виконання польоту, яку було зареєстровано ПАК АВІОНІКС-КІ, був створений наземний комплекс автоматизованої обробки (НКАО) - розроблений та реалізований проект мережі з трьома серверами на базі NOVELL 5.0 і 25 робочими місцями на базі WINDOWS XP.

На робочих місцях було встановлено спеціальне програмно-математичне забезпечення (СПМО) ГАММА-ПКС. СПМО дозволило виконувати оброблення матеріалів у повному обсязі, а також оперативний перегляд, отримання фізичних значень із кодів та вторинну обробку.

За результатами проведених наземних і льотних випробувань (кожного з перерахованих видів робіт, перевірок і випробувань) оформлені технічні акти, протоколи, тематичні звіти, матеріали випробувань або інші документи. Ці матеріали використані як доказова документація для підтвердження відповідності вимогам СБ-148 кожної із систем або характеристик. Їх найменування наведені в Переліку доказової документації, яка складається з 68 книг, обсягом 7200 друкованих сторінок, 7900 графіків і таблиць в Додатках.

Всі доказові документи з льотних випробувань, а також більше ніж 200 аналітичних документів (інженерних аналізів, протоколів, звітів за

результатами трубних, стендових випробувань, моделювання, польотів на імітаторі польоту літака, висновків профільних інститутів авіапромисловості та ін.) узгоджені Незалежною Інспекцією й схвалені Авіарегістром Міждержавного авіаційного комітету та Державною авіаційною адміністрацією України.

Паралельно з виконанням залікових сертифікаційних випробувань велася безперервна робота щодо вдосконалення алгоритмів і програм функціонування, індикації та сигналізації, поліпшення ергономіки кабіни екіпажу, комфорту пасажирів, виконувалися доробки, пов'язані як з продовженням польотів за програмою, так і доведенням літака, систем і устаткування до рівня відповідності вимогам норм льотної придатності в очікуваних умовах експлуатації.

При льотних випробуваннях літака Ан-148-100 були розроблені і впроваджені ряд систем, комплексів, методів, методик та апаратно-програмних продуктів, що дозволили автоматизувати процес збирання, реєстрації, оперативного аналізу та оброблення параметрів, і забезпечити безпеку та виконання залікових польотів як на основній базі (аеродром Київ – Антонов 2), так і поза базою в різних географічних районах - Крайньої Півночі (аеропорти Архангельськ і Нар'ян-Мар), Сибіру РФ (аеропорти Якутськ, Чульман, Новосибірськ, Красноярськ), Середньої Азії (аеропорти Карші, Бухара, Ташкент), Вірменії (аеропорт Гюмрі), Криму (аеродром Кіровське), а також різні аеропорти СНД).

Серед них: базовий полігон і еквівалентна методика проведення випробувань для вимірювання шуму на місцевості, система управління льотним експериментом, унікальний апаратно-програмний комплекс і методика льотних випробувань в умовах природного обмерзання, авторська методика випробувань за оцінкою характеристик виконання польоту за стандартними термінальними процедурами (SID, STAR, APPROACH, HOLD), у тому числі в системі точної зональної навігації PRNAV, створення полігону в Криму з випробувань режимів «ГОРІ» EGPWS, розроблення універсальних методик розрахунку ЗПХ і ЛТХ за даними, отриманими в льотних випробуваннях, що дозволяють виконувати попередні розрахунки досліджуваних характеристик в ОУЕ, в тому числі при відмовах двигунів або функціональних систем літака.

За результатами льотних випробувань літака Ан-148 та його модифікацій оформлено такі технічні звіти:

1. Сертифікаційні льотні випробування щодо дослідження закономірностей навантаження агрегатів планера в діапазоні експлуатаційних обмежень і на граничних за умовами міцності режимах.
2. Сертифікаційні льотні випробування щодо визначення статичних характеристик повторюваності навантажень на режимах типової експлуатації.
3. Випробування з визначення вібраційних та ударних навантажень



- на бортове обладнання та планер.
4. Випробування з визначення віброннапружень у трубопроводах паливної системи.
  5. Випробування з визначення рівнів акустичного шуму, що діє на бортове обладнання.
  6. Випробування з визначення акустичних навантажень, що діють на конструкцію планера.
  7. Випробування з визначення рівня шуму, створюваного літаком на місцевості.
  8. Випробування з визначення рівнів вібраційної та бафтингової безпеки.
  9. Випробування з визначення впливів зовнішніх факторів на обладнання.
  10. Сертифікаційні випробування з визначення льотних характеристик, характеристик маневреності, стійкості та керованості. Оцінка системи управління.
  11. Спеціальні сертифікаційні льотні випробування з визначення характеристик літака на великих кутах атаки та при звалюванні.
  12. Спеціальні сертифікаційні льотні випробування в умовах природного зледеніння.
  13. Спеціальні сертифікаційні випробування на злітно-посадкових смугах різноманітного стану.
  14. Спеціальні сертифікаційні випробування щодо визначення максимально допустимої швидкості вітру.
  15. Спеціальні сертифікаційні наземні та льотні випробування в умовах високих температур і високогір'я.
  16. Спеціальні сертифікаційні наземні та льотні випробування в умовах низьких температур.
  17. Спеціальні сертифікаційні наземні та льотні випробування щодо визначення відповідності характеристик літака загальним вимогам норм льотної придатності при імітації відмов функціональних систем.
  18. Сертифікаційні наземні та льотні випробування маршової рушійної установки з двигунами Д-436-148.
  19. Сертифікаційні наземні та льотні випробування паливної системи.
  20. Сертифікаційні наземні та льотні випробування ДСУ з ВГТД АІ-450-МС.
  21. Сертифікаційні наземні та льотні випробування засобів пожежного захисту силової установки та ДСУ.
  22. Сертифікаційні наземні та льотні випробування пілотажно-навігаційного обладнання.
  23. Сертифікаційні наземні та льотні випробування радіотехнічного обладнання навігації, посадки та управління повітряним рухом.

24. Спеціальні сертифікаційні льотні випробування щодо встановлення мінімуму зльоту та посадки.
25. Сертифікаційні наземні та льотні випробування бортового обчислювального комплексу ВСС-100.
26. Сертифікаційні наземні та льотні випробування системи управління загальнолітаковим обладнанням СУОСО-148.
27. Сертифікаційні наземні та льотні випробування кисневого обладнання
28. Сертифікаційні наземні та льотні випробування системи підготовки повітря та системи кондиціювання повітря
29. Сертифікаційні наземні та льотні випробування комплексу шасі.
30. Сертифікаційні наземні та льотні випробування гідравлічної системи.
31. Сертифікаційні наземні та льотні випробування щодо оцінки видалення диму при тліючій пожежі в кабінах.
32. Сертифікаційні наземні та льотні випробування побутового та санітарно-технічного обладнання.
33. Сертифікаційні наземні та льотні випробування системи електропостачання та світлотехнічного обладнання.
34. Сертифікаційні наземні та льотні випробування бортової системи технічного обслуговування БСТО-148
35. Сертифікаційні наземні та льотні випробування бортового пристрою реєстрації БУР-92А-05.
36. Сертифікаційні наземні та льотні випробування реєстратора параметрів міцності РПМ.
37. Сертифікаційні випробування аварійно-рятувального обладнання.
38. Сертифікаційні наземні та льотні випробування системи пожежного захисту кабін і багажно-вантажних відсіків.
39. Сертифікаційні випробування засобів забезпечення авіаційної безпеки.
40. Сертифікаційні наземні та льотні випробування КСЕІС-148.
41. Льотні випробування з визначення характеристик стійкості, керованості та можливості безпечного завершення польоту при роботі СШУ в резервному режимі управління.
42. Додаткові сертифікаційні випробування при внесенні головного зміни: забезпечення експлуатації літака типу Ан-148-100 (моделі Ан-148-100А, Ан-148-100В, Ан-148-100Е) на підготовлених ґрунтових аеродромах».
43. Додаткові випробування системи пожежного захисту БВВ.
44. Додаткові сертифікаційні випробування у зв'язку з введенням Головної зміни типової конструкції: «Забезпечення мінімуму посадки по ІІІА категорії ІКАО».
45. Додаткові сертифікаційні випробування у зв'язку з введенням Головної зміни типової конструкції: «Збільшення висоти

аеродромного базування».

46. Додаткові сертифікаційні наземні та льотні випробування у зв'язку з введенням в типову конструкцію літака Ан-148-100 Головної зміни «Літак Ан-158».
47. Додаткові спеціальні сертифікаційні льотні випробування щодо визначення декрементів затухання коливань конструкції літака після імпульсів рульовими поверхнями у зв'язку з введенням Головної зміни типової конструкції літака Ан-158 «Самолет Ан-158».
48. Спеціальні сертифікаційні льотні випробування з визначення характеристик літака на великих кутах атаки та при звалюванні у зв'язку з введенням Головної зміни типової конструкції літака Ан-158 «Літак Ан-158».
49. Додаткові сертифікаційні наземні та льотні випробування паливної системи з паливно-вимірювальною системою ПВС-158.
50. Додаткові сертифікаційні випробування у зв'язку з введенням в типову конструкцію другорядної зміни: «Виконання зльоту на режимі роботи двигунів менше злітного».
51. Літак Ан-158. Додаткові сертифікаційні випробування системи пожежного захисту кабін та багажно-вантажних відсіків.
52. Додаткові сертифікаційні випробування у зв'язку з введенням до типової конструкції головної зміни: «Збільшення висоти аеродромного базування більше 2200 м».
53. Додаткові сертифікаційні випробування у зв'язку з введенням до типової конструкції другорядної зміни: «Впровадження режиму роботи маршових двигунів «Малий газ реверсу».

Всі ці звіти входять до переліку необхідної доказової документації при подальшій сертифікації літака.

### **Список використаних джерел**

1. Машиностроение. [Текст]: энциклопедия / под ред. К. В. Фролова и др. Самолеты и вертолеты. Т. IV-21. Проектирование, конструкции и системы самолетов и вертолетов. Кн. 2 [Текст] / А. М. Матвеевко, А. И. Акимов, М. Г. Акопов и др.; под общ. ред. А. М. Матвеевко. – М.: Машиностроение, 1994. – 752 с.

2. Нормы летной годности самолетов транспортной категории (АП-25) [Текст]. – М.: МАК, 1994. – 322 с.

*Поступила в редакцию 30.08.2018.*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Бычков,  
ГП «Антонов», г. Киев.*