

УДК 629.7.05

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2026.1\(503\).2.4](https://doi.org/10.15589/znп2026.1(503).2.4)

FEATURES OF THE DESIGN OF MODERN AIRBORNE ELECTRONIC SYSTEMS

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СУЧАСНИХ КОМПЛЕКСІВ
БОРТОВОГО РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ

Serhii V. Rahulin

rahulin_s@ukr.net

ORCID: 0000-0001-8955-0380

С. В. Рагулін,

канд. техн. наук, доцент

*Kherson State agrarian and economic University, Kherson**Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон*

Abstract. Purpose. To substantiate the construction features of modern avionics complexes using the An-148 aircraft as an example, and to develop recommendations for increasing its operational efficiency in the post-warranty period through the implementation of an information and analytical logistics support system.

Methodology. The study employs a systematic analysis of avionics architecture, structural modeling of information flows, and mathematical modeling of maintenance processes. Calculations of efficiency indicators are based on statistical failure data and reliability theory methods for complex systems.

Findings. The study examines the structure of the An-148 avionics complex, based on digital interaction via ARINC-429 and RTM1495-75 standards. The functional roles of the Onboard Maintenance System (OMS) and the aircraft maintenance computer (AMC) within the diagnostic loop are defined. A concept for a modular information-logistics system is formulated, integrating reliability, finance, personnel, and diagnostic management modules into a single environment.

Research Novelty. The principles of avionics integration have been further developed by transitioning from autonomous systems to an integrated information environment using cross-links. The necessity of using the Mean Time Between Confirmed Removals (MTBCR) as a base parameter for optimizing the line-replaceable unit (LRU) exchange fund during the post-warranty period is substantiated.

Practical Value. Ten specific practical recommendations have been developed, including: the transition to an adaptive maintenance schedule, optimization of the Automatic Test Equipment (ATE) structure depending on the fleet size (9–12 aircraft), and the use of the Minimum Equipment List (MEL) to minimize aircraft downtime. Implementation of the proposed system significantly increases flight regularity and reduces operational costs for airlines.

Key words: Avionics; An-148; Integrated Modular Avionics; OMS; ARINC-429; MTBCR; ATE; Information and Logistics Support; Maintenance; Post-warranty Operation.

Анотація. Мета. Обґрунтування особливостей побудови сучасних комплексів бортового радіоелектронного обладнання (БРЕО) на прикладі літака Ан-148 та розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності його експлуатації в післягарантійний період через впровадження системи інформаційно-логістичної підтримки.

Методика. У роботі застосовано системний аналіз архітектур побудови авіоніки, методи структурного моделювання інформаційних потоків та математичне моделювання процесів технічного обслуговування (ТО). Розрахунки показників ефективності базувалися на статистичних даних відмов та методах теорії надійності складних систем.

Результати. Досліджено структуру комплексу БРЕО Ан-148, засновану на цифровій взаємодії через стандарти ARINC-429 та RTM1495-75. Визначено функціональну роль бортової системи технічного обслуговування (БСТО) та обчислювача АОТО у контурі діагностики. Сформовано концепцію модульної інформаційно-логістичної системи, що інтегрує модулі управління надійністю, фінансами, персоналом та діагностикою в єдине середовище.

Наукова новизна. Дістали подальшого розвитку принципи комплексування бортового обладнання шляхом переходу від автономних систем до інтегрованого інформаційного середовища з використанням перехресних зв'язків. Обґрунтовано необхідність застосування показника середнього часу напрацювання на підтверджену відмову (СЧНПР) як базового параметра для оптимізації обмінного фонду легкознімних блоків у післягарантійний період.

Практична значимість. Розроблено 10 конкретних практичних рекомендацій, серед яких: перехід до адаптивного регламенту ТО, оптимізація структури наземних автоматизованих систем контролю (НАСК) залежно від

обсягу парку ПС (9–12 літаків), та використання переліку мінімально допустимого обладнання (MEL) для мінімізації простоїв. Впровадження запропонованої системи дозволяє суттєво підвищити регулярність польотів та знизити експлуатаційні витрати авіакомпаній.

Ключові слова: БРЕО; Ан-148; ARINC-429; СЧНПР; НАСК; інформаційно-логістична підтримка; технічне обслуговування.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Сучасний етап розвитку авіації характеризується стрімким ускладненням бортового радіоелектронного обладнання (БРЕО), що вимагає нових підходів до його проектування та технічного обслуговування (ТО). Головним завданням є створення такої архітектури комплексу, яка б поєднувала високу функціональність із максимальною експлуатаційною надійністю. Особливої ваги це питання набуває в післягарантійний період експлуатації літака, коли ефективність процесу залежить від інтеграції бортових систем у загальну інформаційно-логістичну мережу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Досвід провідних світових авіакомпаній та виробників авіаційної техніки (Boeing, Airbus) свідчить про повну комп'ютеризацію процесів ТО згідно зі стандартами EASA та JAA. Дослідження в галузі CALS-технологій підтверджують, що сучасне БРЕО повинно базуватися на відкритій архітектурі та цифрових протоколах обміну даними (ARINC-429), що дозволяє інтегрувати системи підтримки життєвого циклу безпосередньо в контур управління польотом.

Незважаючи на високу автоматизацію, залишається актуальною проблема оптимізації взаємодії між вбудованими засобами контролю (ВСК) та наземними системами (НАСК). Існує потреба в узгодженні технічних параметрів БРЕО з логістичними процесами (управління запасами, обмінний фонд) для мінімізації випадків непідтверджених дефектів.

Метою статті є аналіз особливостей побудови БРЕО літака Ан-148 та розробка концепції інформаційно-логістичної підтримки його експлуатації для підвищення надійності та економічної ефективності в післягарантійний період.

Розглянемо особливості побудови сучасних комплексів бортового радіоелектронного обладнання на прикладі комплексу літака Ан-148. Комплекс бортового радіоелектронного обладнання (БРЕО) літака Ан-148 використовується спільно з обчислювальною системою літаководіння (БСС-100) і забезпечує:

- управління літаком на всіх етапах польоту, включаючи захід на посадку;
- максимальну гнучкість і надійність систем за рахунок прямих і перехресних інформаційних зв'язків між ЛБ;
- простий інтуїтивний інтерфейс з пілотом;
- відповідність сучасним вимогам, що пред'являються до апаратури даного типу.

Узагальнена структурна схема комплексу БРЕО наведена на рис. 1.

Комплекс працює в контурі системи централізованого технічного обслуговування, яка включає в себе:

- бортову систему технічного обслуговування (БСТО) до складу якої входить авіаційний обчислювач технічного обслуговування (АОТО);
- багатофункціональні пульти управління (БФПУ) БСС і електронні системи індикації (ЕСІ).

До складу комплексу входять:

- радіостанція ДКМВ діапазону (VHF-4000);
- радіостанція МВ діапазону (HF-9000);
- бортовий мовний реєстратор "Опал-Б";
- бортовий пристрій реєстрації "БУР-92А-05";
- бортова інтегрована апаратура навігації і посадки "Курс-93М";
- метеонавігаційна радіолокаційна станція "БУРАН-А-148";
- радіовисотомір "А-053-08.04";
- бортова система запобігання зіткнення "TCAS-2000";
- радіотехнічна система ближньої навігації "РСБН-85";
- радіодальномір DME / P-85;
- автоматичний радіокомпас АРК-25;
- літаковий відповідач XS-950;
- літаковий відповідач СО-96;
- супутникова навігаційна система СНС-2.

Пілотажно-навігаційне обладнання (ПНО), яке взаємодіє з комплексом БРЕО, включає в себе:

- систему раннього попередження наближення землі (СРППЗ);
- інформаційний комплекс висотно-швидкісних параметрів (ІКВШП);
- систему курсу і вертикалі (ВКВ);
- систему автоматичного управління (САУ).

У комплекс загальнолітакового обладнання (ЗЛО) входять:

- апаратура польотних вимірів (АПВ);
- система електропостачання (СЕП);
- система управління загальнолітаковим обладнанням (СУЗС). Відмінною особливістю комплексу є цифрова обробка інформації та наявність цифрових зв'язків. Обмін і передача контрольних, стимулюючих і керуючих сигналів між системами, а також видача інформації в зовнішні засоби контролю здійснюється послідовним кодом згідно з ARINC-429 і РТМ1495-75.

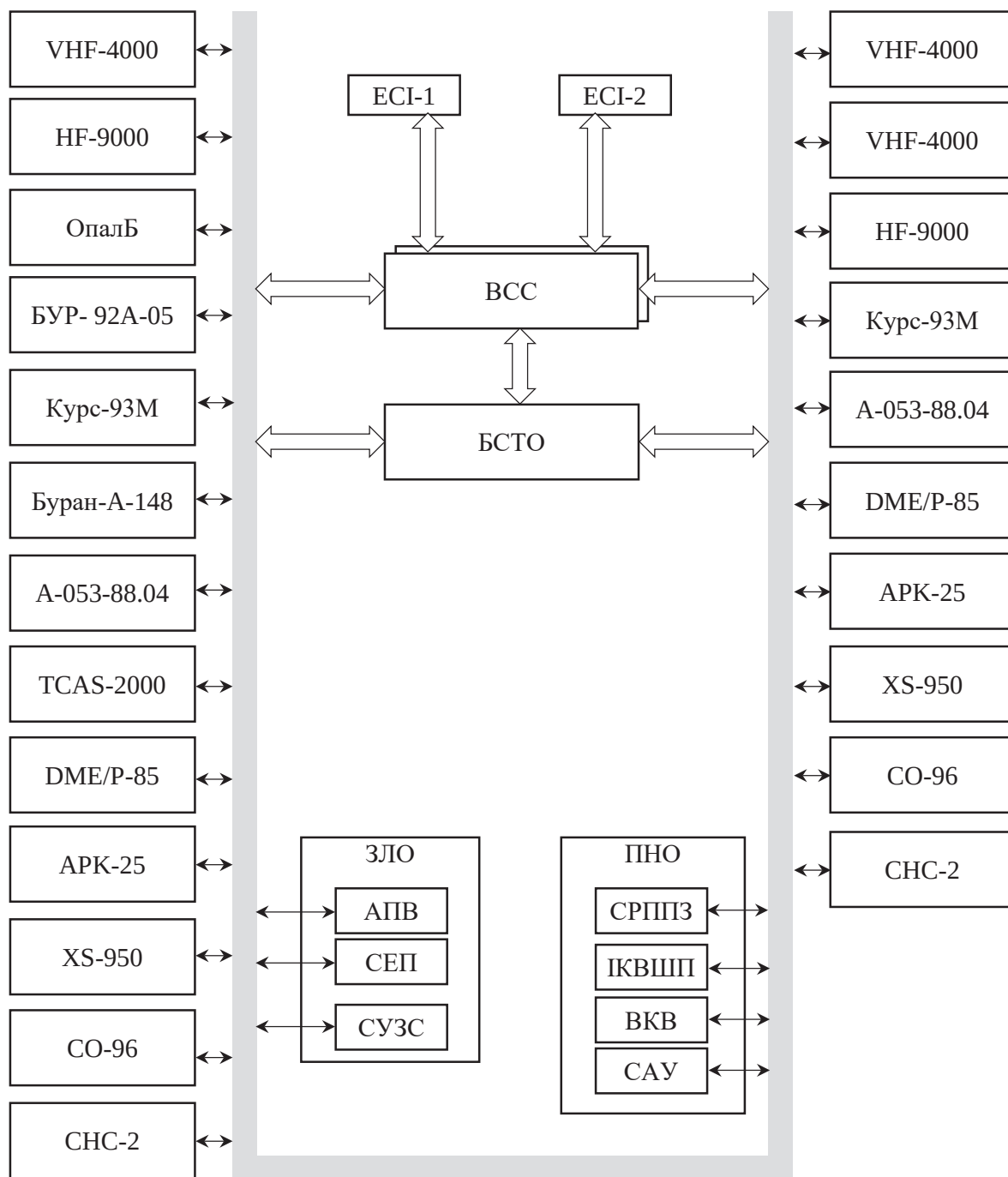


Рис. 1. Узагальнена структурна схема комплексу БРЕО літака Ан-148

БСТО вирішує наступні завдання:

- оцінка працездатності, як окремих систем, так і всього комплексу при всіх видах технічного обслуговування і в польоті, включаючи перевірку готовності до роботи або виконання режимів польоту, відсутність або наявність стійких відмов;
- пошук місця відмови з глибиною до ЛБ і лінії зв'язку;
- збір зафіксованих у польоті збоїв цифрових обчислювальних машин;

- формування та відображення узагальненого повідомлення про технічний стан пілотажно-навігаційного комплексу із зазначенням відмовивших ЛБ і ліній зв'язку (для технічного персоналу), справності режимів роботи (для екіпажу);
- зберігання інформації про відмови та збоїв в періоді декількох польотів;
- формування та видача сигналів для документування результатів контролю.

Перед кожним зльотом літака з базового аеропорту здійснюється контроль працездатності всіх систем комплексу БРЕО Ан-148 за допомогою БСТО. Забравковані ЛБ в польоті або на стоянці демонтуються з борту ПС у базовому аеропорту і замінюються на запасні з обмінного фонду. Оскільки демонтаж забравкованих ЛБ проводиться в БА, то на експлуатаційну надійність впливає тільки КР ЛБ, що виконується за допомогою ВСК на стоянці в БА.

За результатами КР ЛБ за допомогою БСТО і ВСК на стоянці ПС у БА приймаються наступні рішення:

- допустити ЛБ до використання за призначенням до наступного моменту контролю, якщо він визнаний працездатним;
- демонтувати ЛБ з борту ПС, якщо він визнаний непрацездатним;
- встановити на борт ПС працездатний ЛБ з ОФ, а демонтований відправити на відновлення.

Призначення бортових радіоелектронних систем літака Ан-148 і їх комплектність наведено в табл. 1.

Завдання організації системи ТО. Основними завданнями, які необхідно вирішити при організації системи ТО літаків Ан-148 на етапі післягарантійного обслуговування є:

1. Створення базового (еталонного) модуля класифікації агрегатів і комплектуючих виробів літака:
 - формалізація структури борту;
 - систематизація паспортних даних;
 - рух виробів і компонентів;
 - еталонні ресурси і періодичність ТО.
2. Забезпечення надійності основних і комплектуючих виробів:
 - облік і систематизація відмов і несправностей;
 - експлуатаційний моніторинг стану надійності;
 - формування переліку мінімального-необхідного обладнання;
 - супровід процесів відкладеного ТО;
 - оцінка якості проведення форм ТО;
 - формування програм підтримки експлуатаційної надійності.
3. Діагностичне забезпечення:
 - оптимізація складу засобів контролю та діагностики;
 - оптимізація параметрів контролю бортовими вбудованими засобами;
 - впровадження наземних автоматизованих засобів контролю та діагностування;
 - метрологічне забезпечення та повірка засобів контролю.
4. Забезпечення і управління запасами агрегатів та комплектуючих виробів:
 - організація системи управління запасами;
 - формування оптимального обмінного фонду;
 - автоматизація контролю запасів та обліку їх руху на складах;
5. Організація, обґрунтування структури і місць розташування сервісних центрів ТО і ремонту:

– формування оптимальної структури мережі сервісних центрів з ремонту та відновлення агрегатів та комплектуючих виробів;

- оптимізація діагностичного забезпечення сервісних центрів;
- оптимізація системи управління запасами комплектуючих і компонентів.

6. Система управління використанням парку ПС:

- Планування і диспетчеризація польотів;
- формування плану ТО.

7. Методичне забезпечення та документація:

- ведення посібників з технічної та льотної експлуатації;
- автоматизація та ведення адаптивного регламенту ТО;
- ведення бюлетенів і доробок;
- автоматизація формування звітів.

8. Телекомунікаційне, комп'ютерне забезпечення і захист інформації:

- побудова системи ведення баз даних;
- побудова комп'ютерної та телекомунікаційної мережі;
- побудова системи захисту інформації.

9. Побудова системи підготовки та сертифікації кадрів:

- організація центру з підготовки та сертифікації кадрів;
- розробка програм і методик підготовки та сертифікації фахівців.

10. Оптимізація системи ТО:

- розробка оптимальних програм ТО;
- розробка оптимальних регламентів;
- побудова системи інформаційно-логістичної підтримки процесу ТО.

11. Загальна фінансове управління:

- узагальнення показників процесу експлуатації для планування процесу експлуатації всього парку ПС;
- розрахунок інтегральних показників експлуатації, прогнозування показників.

Як видно з перерахованих завдань, в цілому вони вирішують весь комплекс проблем, спрямованих на підвищення ефективності процесу експлуатації. Усі завдання є взаємопов'язаними, тому необхідно їх поєднати в комплексну інформаційно-логістичну систему забезпечення ефективної експлуатації ПС. До цього висновку приводить досвід зарубіжних авіакомпаній, які в даний час, активно займаються питаннями інформаційної підтримки та комп'ютеризацією процесу ТО.

Концепція побудови системи інформаційно-логістичної підтримки процесу ТО.

Грунтуючись на переліку основних завдань процесу експлуатації, вимог стандартів ISO, досвіди вітчизняних і зарубіжних авіакомпаній, рекомендовану структуру системи інформаційно-логістичної підтримки експлуатації літаків «Антонов» можна представити у вигляді, наведеному на рис. 2.

Таблиця 1. Призначення бортових РЕНС літака Ан-148 і їх комплектність

№ п/п	Найменування, шифр РЕНС	Призначення	Найменування, шифр ЛБ	Кратність резервування (т)
1	2	3	4	5
1.	Радіостанція УКХ діапазону “VHF– 4000”	Призначена для ведення дальнього симплексного радіозв'язку екіпажу з наземними службами УПР і іншими літаками	Прийомо-передатчик VHF– 4000	3
2.	Радіостанція КХ діапазону “HF-9000”	Призначена для ведення дальнього симплексного радіозв'язку екіпажу з наземними службами УПР і іншими літаками	Прийомо-передатчик HF– 9000	2
3.	Бортовий мовний реєстратор “Опал– Б”	Призначений для реєстрації і зберігання інформації по 5 мовним незалежним каналам	Пристрій запису УЗ– Опал-Б	1
4.	Бортовий пристрій реєстрації “БУР-92А– 05”	Призначений для збору, обробки, реєстрації і зберігання польотної інформації	Бортовий накопичувач інформації БСПИ-92А– 05	1
5.	Бортова інтегрована апаратура навігації та посадки “Курс-93 М”	Призначена для забезпечення польотів за сигналами наземних навігаційних маяків VOR, виконання передпосадкових маневрів і заходу на посадку за сигналами маяків ILS і СП	Блок радіо-приймальний БРП-93	2
6.	Метеонавігаційна радіолокаційна станція “БУ– РАН-А-148”	Призначена для огляду повітряного простору та земної поверхні з метою виявлення небезпечних метеооб'єктів і вирішення навігаційних завдань.	Блок антенний, прийомо-передаючий БР-702	1
7.	Радіовисотомір “А-053-08.04”	Призначений для безперервного автоматичного вимірювання істинної висоти польоту	Прийомо-передатчик А-053-1-02	2
8.	Бортова система запобігання зіткнення “TCAS-2000”	Призначена для виявлення загроз зіткнення літака з іншими ПС і видачі рекомендацій екіпажу про виконання маневру	Обчислювач RT– 951	1
9.	Радіодальномір DME/P-85	Призначений для вимірювання дальності до наземних маяків VOR / DME і впізнання обраного маяка	Прийомо-передатчик DME	2
10.	Автоматичний радіокомпас АРК-25	Призначений для навігації за радіосигналами приводних і радіомовних радіостанцій за рахунок безперервного визначення курсового кута	Приймач А220-1-1	2
11.	Літаковий відповідач XS-950	Призначений для виконання функцій відповідача УПР та підтримки системи TCAS	Прийомо-передатчик XS	2
12.	Літаковий відповідач СО-96	Забезпечує вирішення завдань УПР	Прийомо-передатчик СО	2
13.	Супутникова навігаційна система СНС-2	Призначена для визначення поточних координат місця розташування літака і його істинної висоти польоту при роботі в зоні дії супутникових навігаційних систем	Блок поєднання і обчислення БСП-11	1
14.	Бортова система технічного обслуговування БСТО	Призначена для прийому інформації від вбудованих засобів контролю, її обробки, реєстрації та формування інформації про відмови систем	Авіаційний обчислювач технічного обслуговування АОТО	1
15.	Обчислювальна система літаководіння ВСС-100	Рішення задач навігації в автоматичному і напівавтоматичному режимах керування літаком	бортовий обчислювач ВЦ, 3	2

Система включає в себе наступні модулі:

- модуль "Управління надійністю", який здійснює вирішення всіх завдань, пов'язаних з обліком, систематизацією відмов, напрацювань та оцінки показників надійності, ведення звітності;
- модуль "Управління технічним обслуговуванням" забезпечує супровід усього процесу ТО, моніторингу виконання окремих операцій ТО; супровід всіх робіт по модифікаціям і доопрацюванням ПС; забезпечення надійності систем ПС відповідно до стандартів EASA та JAA, регулярний розрахунок експлуатаційних показників надійності СЧМВ і СЧНПР, ведення переліків мінімально-допустимого обладнання, ведення робочої документації з ТО і відмов авіаційної техніки;
- модуль "Планування ТО" дозволяє здійснювати всі питання планування процесу ТО, диспетчеризації роботи служб;
- модуль "Діагностичного забезпечення" здійснює обробку результатів контролю вбудованими засобами контролю та інформації, отриманої за системою ACARS, оптимізацію процесів контролю та діагностування, ведення процесу метрологічного забезпечення;
- модуль "Управління взаємодії постачальник-експлуатант" вирішує завдання, пов'язані з рекламційною роботою, взаєморозрахунків між постачальником і експлуатантом;
- модуль "Інтерактивна документація" – це ведення нормативно-технічної та керівної документації всіх рівнів; ведення адаптивного регламенту ТО; ведення бюлетенів і доробок;

– модуль "Управління персоналом і підготовкою кадрів" вирішує завдання з ведення обліку кадрів, проведення своєчасної перепідготовки та сертифікації;

– модуль "Управління фінансами" об'єднує всі модулі і дозволяє керівникам здійснювати загальне планування і управління ТО, отримувати всю узагальнену статистичну інформацію, проводити розрахунок інтегральних показників ефективності експлуатації і здійснювати моделювання довгострокової діяльності підприємства;

– модуль "Інтерфейс" забезпечує взаємодію системи з системами зовнішнього рівня, передачею необхідних даних по внутрішніх і зовнішніх комп'ютерних і телекомунікаційних мережах;

– модуль "Центральний модуль управління" здійснює загальне управління системою, ведення і управління системами баз даних, верифікації інформації, розподіл потоків інформації, а також захист інформації від несанкціонованого доступу та обмеження доступу до інформації користувачам різного рівня.

Впровадження такої системи в авіакомпаніях, що експлуатують літаки «Антонов», дозволить істотно підвищити ефективність експлуатації ПС.

Проведений аналіз дозволяє сформулювати такі практичні рекомендації, які дозволять забезпечити ефективну експлуатацію літака Ан-148 в післягарантійний період.

1. Оцінка показників ефективності експлуатації радіоелектронного навігаційного комплексу літака Ан-148, показала, що ряд систем має відносно



Рис. 2. Структурна схема системи інформаційно-логістичної підтримки процесу експлуатації

невисокі показники достовірності контролю і надійності. Це може привести до значного зниження загальних показників ефективності експлуатації, тому необхідно підвищувати вірогідність контролю цих систем, використовуючи оптимальні алгоритми, або змінити комплектацію літака, використовуючи більш надійні системи інших виробників.

2. Необхідно зробити формування та оптимізацію обмінного фонду (незнижуваного запасу) легкознімних блоків. Причому, розрахунки мають базуватися на використанні показника СЧНПР. Тому треба ввести у звітність експлуатанта обов'язковий розрахунок показника СЧНПР за результатами обліку відмов агрегатів і компонентів.

3. При великій кількості ПС в парку авіакомпанії необхідно перейти до розподіленої системи управління запасами, з можливістю зберігання запасів на різних рівнях.

4. Для боротьби з непідтвердженими дефектами необхідно впровадження НАСК. Як показали розрахунки, якщо час відновлення не перевищує 24 год, то на початковому післягарантійному періоді можна експлуатувати літак без НАСК. Однак при наявності в парку 9 і більше ПС експлуатація літака без НАСК може виявитися неефективною.

5. Необхідно провести оптимізацію структури НАСК для конкретних авіакомпаній, оскільки як показують розрахунки, при наявності в парку більш 12 літаків, універсальна НАСК може не забезпечити необхідної продуктивності через великий потік демонтованих блоків, тому необхідно розглянути можливість використання розподіленої структури НАСК.

6. Необхідно ввести обов'язковий облік явних і прихованих відмов у звітності експлуатанта, що дозволить більш адекватно оцінювати показники ефективності експлуатації в післягарантійний період, як це робиться в передових авіакомпаніях світу. Розробити та впровадити адаптивний регламент ТО, який буде змінюватися в залежності від поточних умов експлуатації та значень показників ефективності експлуатації.

7. Необхідно провести оптимізацію побудови мережі сервісних центрів ТО з урахуванням показників ефективності експлуатації та передбачуваної

структури побудови оптимальної системи управління запасами, що дозволить мінімізувати простой ПС і забезпечити необхідну регулярність польотів.

8. Необхідно створити навчальний центр з підготовки та сертифікації фахівців з експлуатації літака Ан-148, його агрегатів для різних форм ТО. При цьому потрібно підготувати відповідно до міжнародних вимог навчально-методичні комплекси з навчання та сертифікації фахівців.

9. Як показують розрахунки, відмови блоків резервованих РЕНС літака Ан-148 приводять не більше ніж до погіршення умов польоту, тому необхідно широко використовувати систему польотів з використанням переліку мінімально допустимого обладнання.

10. Необхідно розробити систему фінансових взаємовідносин між постачальником виробів і експлуатантом в період післягарантійного обслуговування.

Необхідно розробити і впровадити систему інформаційно-логістичної підтримки процесу експлуатації літака Ан-148.

Аналіз показав, що ефективність експлуатації Ан-148 критично залежить від достовірності контролю. Встановлено, що при наявності в парку понад 12 ПС універсальні НАСК потребують розподіленої структури для подолання великого потоку демонтованих блоків. Важливим є перехід до використання показника СЧНПР (середнє напрацювання на підтверджену відмову) для розрахунку обмінного фонду, що дозволяє усунути проблему простоїв через непідтверджені дефекти.

ВИСНОВКИ

1. Архітектура БРЕО Ан-148 відповідає сучасним вимогам завдяки гнучким цифровим зв'язкам та розвиненій системі вбудованого контролю.

2. Для підвищення ефективності післягарантійного обслуговування необхідно впровадити комплексну інформаційно-логістичну систему, що об'єднує діагностику, логістику та фінансове управління.

3. Практична реалізація повинна базуватися на оптимізації обмінного фонду за показником СЧНПР та створенні центрів сертифікації кадрів.

4. Використання системи польотів за переліком мінімально допустимого обладнання (MEL) є ключовим фактором підтримання регулярності польотів при відмовах резервованих систем.

REFERENCES

- [1] ATA specification 100. Specification of Manufacturer's Technical Data. Rev.1999.8. *Air Transport Association of American, Inc.*: Washington, (1999). 98 p.
- [2] The airline handbook. Rev.2001.1. *Air Transport Association of American, Inc.*: Washington, (2001). 61 p.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] ATA specification 100. Specification of Manufacturer's Technical Data. Rev.1999.8. *Air Transport Association of American, Inc.*: Washington, (1999). 98 p.
- [2] The airline handbook. Rev.2001.1. *Air Transport Association of American, Inc.*: Washington, (2001). 61 p.

© Рагулін С. В.

Дата першого надходження статті до видання: 23.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 19.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)