

УДК 629.7

В.Б. Єрко

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО ПОБУДОВИ БОРТОВИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ, ЯКІ ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ ЗА СТРАТЕГІЄЮ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ «ЗА СТАНОМ»

У статті розглянуто напрямок створення сучасного науково-методичного апарату побудови бортових вимірювальних систем, які дозволяють підвищити достовірність проведення вимірювань з метою оцінювання технічного стану бортового обладнання літальних апаратів, що експлуатуються за станом.

Ключові слова: технічний стан, бортове обладнання, експлуатація за станом, оцінювання авіаційної техніки, засоби вимірювань, бортові вимірювальні системи.

Вступ

Постановка проблеми. Підвищення ефективності технічного обслуговування (ТО) літальних апаратів (ЛА) є одним з напрямків розвитку авіації Повітряних Сил Збройних Сил України (ПС ЗС України).

Один із шляхів підвищення ефективності ТО полягає в практичній реалізації стратегії ТО за станом, яка найбільш повно використовує індивідуальні можливості кожного конкретного виробу чи системи із складу конкретного виробу військової авіаційної техніки (ВАТ). При цьому підтримання високого рівня справності досягається шляхом своєчасного виявлення та усунення передвідмовних та несправних станів і попередженням тим самим відмов літального апарату (ЛА) в процесі експлуатації [1].

Процес експлуатації ЛА за технічним станом можливо надати у вигляді циклу (рис. 1).

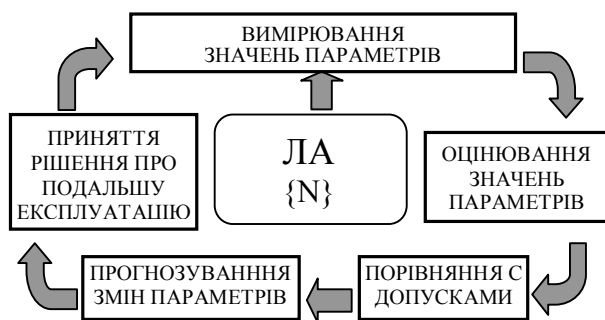


Рис. 1. Процес експлуатації АТ за технічним станом

У загальному випадку достовірність оцінювання технічного стану (ТС) ЛА визначається заданими кількістю вимірюваних параметрів $\{N\}$ і похибками засобів вимірювань $\{\sigma_N\}$.

На теперешній час оцінювання ТС ЛА здійснюється за допомогою бортових систем вимірювань та наземних комплексів, які розроблені для експлуатації ЛА за ресурсними показниками.

Сучасні системи вимірювань для оцінювання ТС ЛА можливо поділити на наземні та бортові системи. Бортові вимірювальні системи (БВС) можуть бути розділені, за призначенням, на: аварійні, експлуатаційні та спеціальні (рис. 2), при цьому останні застосовуються для проведення льотних випробувань.

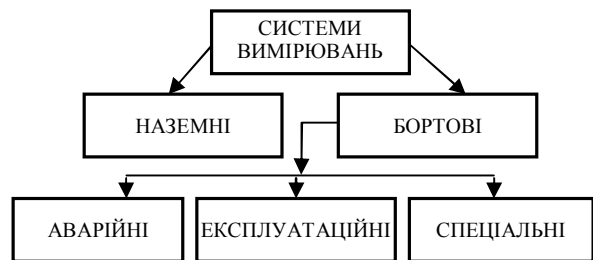


Рис. 2. Системи вимірювань, що використовуються для оцінювання ТС ЛА

Основним недоліком існуючих наземних систем є проведення вимірювань без урахування реальних умов польоту: перевантажень, вібрацій, атмосферних і кліматичних факторів, а також комбінації даних впливів тощо.

В авіації ПС ЗС України для оцінювання ТС ЛА в більшості використовуються аварійні системи (аварійні реєстратори) (рис. 3).

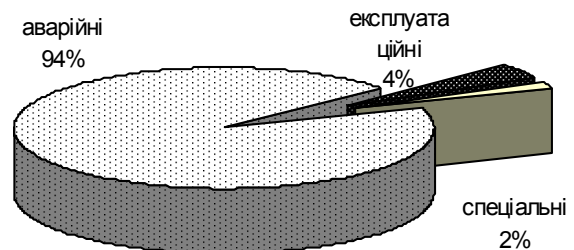


Рис. 3. Розподіл систем вимірювань ТС ЛА

Дані системи реєструють у польоті обмежену кількість разових команд і параметрів, у першу чер-

гу, з метою контролю виконання польотних завдань і лише деяку частку, яка свідчить про працездатність ЛА. Аналіз існуючих систем показав, що частка зареєстрованих у польоті параметрів ТС ЛА становить в середньому не більше 20% (рис. 4).

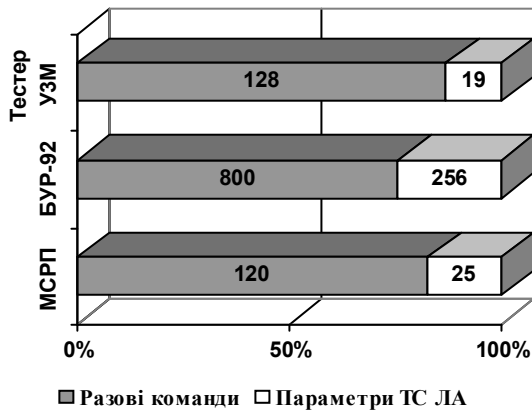


Рис. 4. Співвідношення разових команд та параметрів ТС ЛА, що реєструються в основних системах об'єктивного контролю

У цьому аспекті одним з найбільш перспективних шляхів щодо збільшення достовірності оцінки ТС ЛА вважається збільшення кількості параметрів, які вимірюються на борту в реальних умовах польоту.

На даний час в авіації ПС ЗС України відсоток параметрів про ТС ЛА, зокрема про ТС бортового обладнання (БО), не дозволяє повною мірою забезпечувати вимірювальною інформацією експлуатацію БО ЛА за станом.

Таким чином, при експлуатації ЛА за технічним станом існують об'єктивні потреби застосування БВС для оцінювання ТС БО, що визначає актуальність задачі з розробки науково-методичного апарату побудови БВС для експлуатації за технічним станом БО ЛА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При побудові БВС застосовують методики, які базуються на мінімізації похибок вимірювань, оптимізації процесу проведення вимірювань, а також мінімізації маси обладнання. Дані підходи досліджені в роботах Цапенка А.М. [2], Цибатова В.А. [8], Фоміна А.Ф. [9]. Однак, більшість з них стосується наземних стаціонарних систем вимірювань, що суттєво перешкоджає їх застосуванню при створенні систем вимірювань для оцінки ТС БО.

Разом з тим, протягом останніх десятиріч в передових авіаційних державах світу все більше уваги приділяється створенню саме БВС. У якості прикладу можливо привести системи, які використовуються для вимірювань ТС БО з метою інформаційного забезпечення експлуатації за станом: літака С-5В – система MADAR-II; БО літака В-1В – система CITS; БО літака Rafale – система PEDRO, літака Бе-200 – РВС «Регата.» [3...6].

Формулювання мети статті. Метою даної статті є формування основних засад побудови БВС для проведення вимірювань на борту ЛА для оцінювання реального ТС БО.

В статті пропонується методичний підхід щодо побудови БВС з оптимальними показниками маси та вартості системи при похибках вимірів параметрів ТС БО не гірше ніж завдані.

Викладення основного матеріалу

З ростом складності військової авіаційної техніки об'єктивно зростають витрати на її експлуатацію. За даними зарубіжних джерел ці витрати за рік складають приблизно 10% від вартості нового літального апарату (рис. 5).

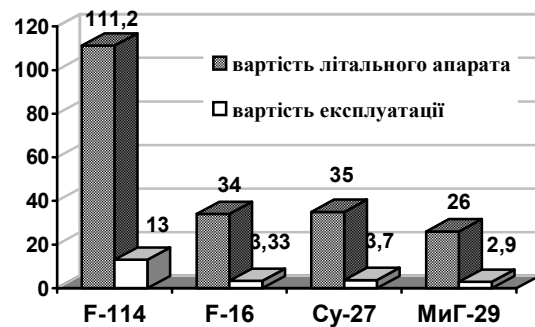


Рис. 5. Порівняння вартості літака з вартістю на його щорічну експлуатацію (в мільйонах у.о.)

Експлуатація ВАТ може здійснюватися за ресурсними показниками або за станом. Відомо, що найбільш передовою є експлуатація за станом [1], яка дозволяє скоротити витрати на ТО і використовувати ресурсні показники авіаційної техніки аж до повного їх вичерпання. Проведений порівняльний аналіз досвіду експлуатації військової авіації в США, Франції та Україні в період з 1992 по 2012 роки дозволяє зробити висновок про неухильне зростання зразків ВАТ, які експлуатуються за технічним станом (рис. 6). Наприклад, в 2012 році в ВАТ Збройних Силах США 89% становили зразки, що експлуатуються за технічним станом.

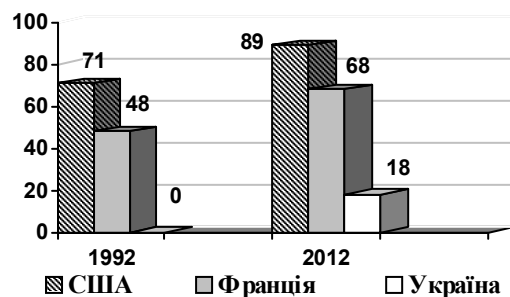


Рис. 6. Доля авіаційної техніки, що експлуатується за технічним станом

Досвід експлуатації ВАТ провідними авіаційними країнами свідчить про те, що при переході на

експлуатацію за технічним станом пропорційно зростає частка параметрів, що вимірюються під час виконання польотного завдання. (рис. 7).

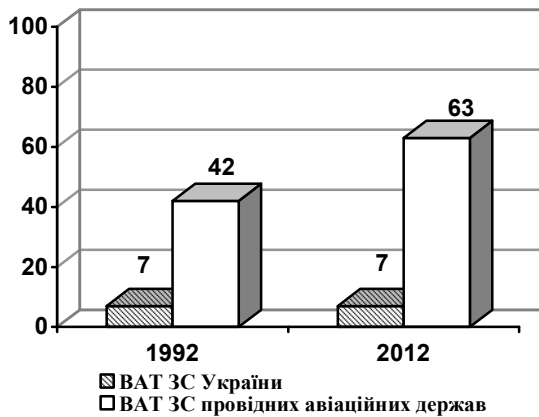


Рис. 7. Динаміка зростання параметрів ТС ЛА, що вимірюються на борту (в %)

Наприклад, в авіації армії США, за останні 20 років, кількість параметрів, які вимірюються та реєструються бортовими вимірювальними системами збільшилася приблизно на 20%. За той самий час в авіації ПС ЗС України суттєвих змін щодо розширення переліку параметрів, які вимірюються на борту з метою оцінювання ТС ЛА або ТС БО не відбулось.

Аналіз відмов ЛА авіації ПС ЗС України за останні десять років показав, що доля відмов БО складає приблизно три чверті від загальної кількості. Розподіл відмов ЛА ПС ЗС України за спеціальностями наведено на рис. 8.

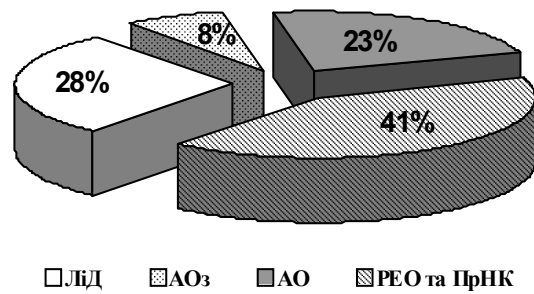


Рис. 8. Розподіл відмов ЛА ПС ЗС України за спеціальностями

Технічними засобами, що можуть реалізувати задачі підвищення достовірності оцінки ТС БО при експлуатації ЛА за технічним станом є БВС.

Структурно БВС доцільно розглядати, як сукупність **I** вимірювальних каналів [2]. Кожен з каналів складається з давача – **D**, певної кількості **R** функціональних модулів – **ФМ** і пристрою збору та накопичення інформації про проведені вимірювання (рис. 9).

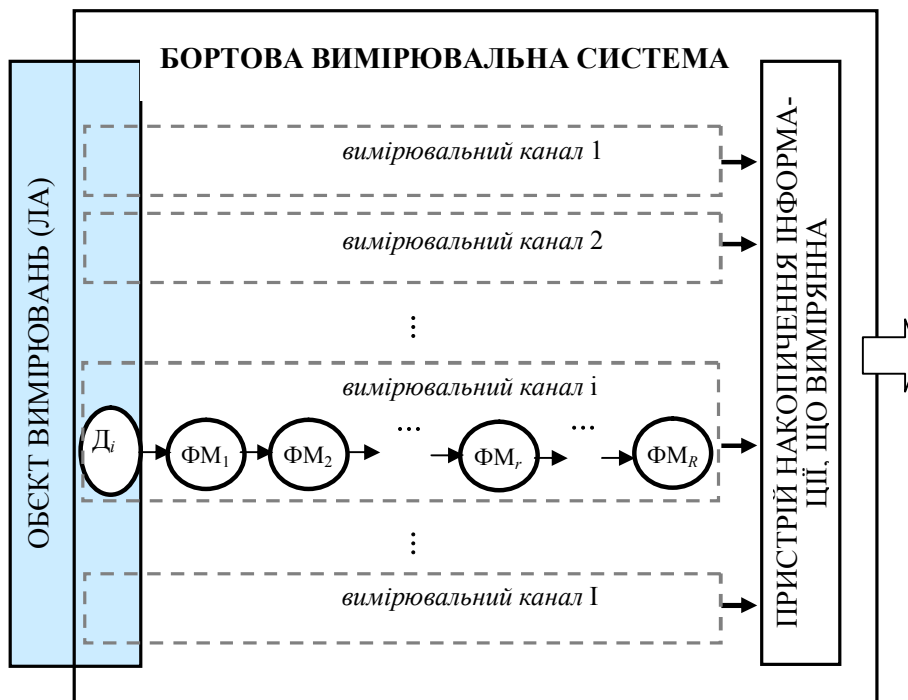


Рис. 9. Структура бортової вимірювальної системи

Використання існуючого науково-методичного апарату дозволяє здійснювати оптимальну побудову БВС за одним з її показників [2, 8, 9]. Використання даних методик дозволяє здійснювати оптимальну побудову БВС за одним критерієм, а інші показники або відносять до обмежень (з досить довільними зна-

ченнями), або не враховують, що не є прийнятним до об'єктів ВАТ. Крім того, ці методики не розглядають розміщення системи на борту и не враховують просторове положення БВС в монтажному просторі ЛА, масу і вартість міжмодульних мереж, однак маса та вартість міжмодульних мереж може досягати до 50%

від маси та вартості всієї системи відповідно. Таким чином, застосування існуючих підходів призводить до значного підвищення техніко-економічних ризиків, тобто оптимальна лише за одним критерієм система за іншими критеріями може виявитися ненайкращою [9]. Отже, побудова БВС має проводитись з урахуванням критеріїв, що важливі для ВАТ: похибок проведених вимірювань; маси і вартості обладнання; а також система повинна бути оптимально розміщена на борту ЛА. Одночасний облік даних показників БВС знижує рівень техніко-економічних ризиків при їх побудові.

Таким чином, у якості визначальних показників БВС доцільно прийняти похибки вимірювань, масу і вартість обладнання, масу і вартість міжмодульної мережі.

Проведений аналіз каналів вимірювань, які входять до складу БВС свідчить про взаємозв'язок вартості, маси апаратури і точності вимірювань. Залежність показників похибок вимірювань каналу та маси апаратури від їх вартості наведені на рис. 10 та 11 відповідно.

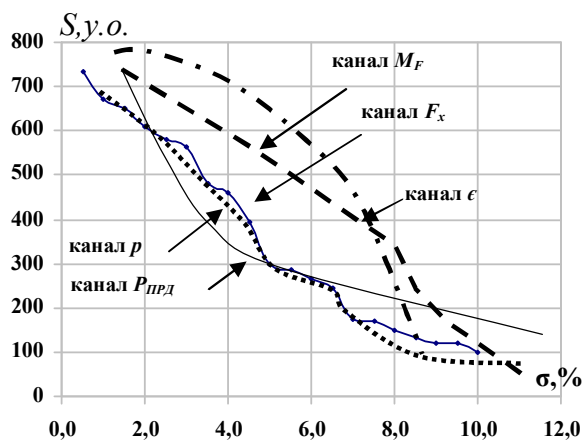


Рис. 10. Залежність показників похибок вимірювального каналу від його вартості

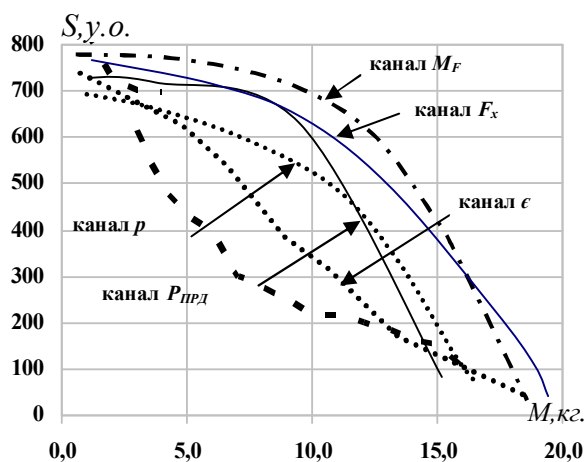


Рис. 11. Зростання вартості вимірювального каналу при мініатюризації

Тобто, підвищення показників точності вимагає додаткових витрат і призводить до подорожчання апаратури. При цьому, необхідно зменшення маси обладнання БВС, що призводить до значних витрат на мініатюризацію. За результатами проведених досліджень з'ясовано, що показники похибок вимірювань, маси і вартості – взаємопов'язані і суперечливі.

Аналіз критеріїв показав, що вибір складу апаратури (обрис) БВС залежить від значень похибок вимірювань, а розміщення апаратури в монтажному просторі ЛА залежить від просторових координат функціональних модулів.

Таким чином, одночасний розгляд декількох критеріїв в задачі побудови БВС відносить її до класу задач векторної оптимізації. Розв'язання її у прямій постановці можливе, але досить складне через «прокляття розмірності» [10] – кількість можливих варіантів побудови системи може досягати сотень тисяч. Для кожного з даних варіантів потрібен розрахунок оптимального розміщення. При цьому, в подальшому, частина варіантів апріорно не буде прийнята до розгляду.

Задача оптимальної побудови БВС для вимірювання параметрів ТС БО в [12] поділяється на окремі але взаємопов'язані задачі, а саме, звуження можливих обрисів БВС до області ефективних рішень та розміщенню БВС у монтажному просторі ЛА. При цьому декомпозиція можлива завдяки тому, що в задачі знаходження оптимального обриса БВС критеріальними функціями є маса та вартість обладнання, а їх аргументами є вектор похибок вимірювань $\{\sigma_N\}$. У задачі розміщення БВС використані аналогічні критеріальні функції, але їх аргументами виступає довжина міжмодульної мережі.

Застосування відомих методів векторної оптимізації [10, 11] дозволяє отримати область ефективних обрисів БВС. Вибір єдиного варіанта побудови системи зазвичай проводиться за допомогою схем компромісів, методів експертних оцінок або внесення в математичний опис задачі додаткової інформації з іншого рівня ьєрархьє складної технічної системи, якою є БВС [11]. Відповідно до розглядаємої задачі, інформацією такого роду є інформація про оптимальне розміщення БВС в дозволеному монтажному просторі ЛА.

За результатами рішення задач розміщення для кожного обриса бортових вимірювальних систем з області ефективних рішень знаходиться варіант, який відповідає оптимальній системі [11, 12].

При розв'язанні задачі побудови БВС реалізовано наступну структурно-логічну схему (рис. 12): перше – визначається область ефективних обрисів бортових вимірювальних систем, друге – отримані обриса БВС розміщуються на борту літального апарату у дозволеному для монтажу просторі.

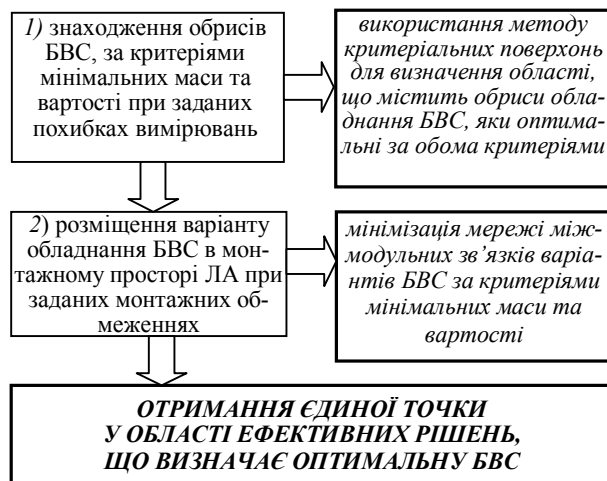


Рис. 12. Структурно-логічна схема побудови БВС

Висновки

За результатами аналізу світового досвіду застосування систем вимірювань визначено, що при ТО ВАТ за станом, пріоритетним напрямком збільшення достовірності оцінки ТС БО є збільшення кількості параметрів, які вимірюються на борту в реальних умовах польоту.

Застосування БВС дозволяє визначати ТС БО з урахуванням: перевантажень, вібрацій, атмосферних і кліматичних факторів, а також в їх комбінації, що значно підвищує достовірність проведення вимірювань.

Запропонований у статті науково-методичний підхід є суворо формалізованим (у змісті обчислень) апаратом щодо побудови БВС для оцінки ТС БО.

Список літератури

1. Соловійов В.І. Організація експлуатації авіаційної техніки / В.І. Соловійов. – К.: НАОУ, 2005. – 222 с.

2. Эксплуатация самолета будущего должна начинаться сегодня / А. Крутилин, В. Коковин, Г. Герман, С. Ловчиков // Авиапанорама. – 2008. – №5. – С. 30-34.

3. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы / М.П. Цапенко. – М.: «Наука» 1985. – 357 с.

4. Ратникова Н.А. РВС "Регата" для диагностики и контроля эксплуатационно-функционального состояния ЛА и его систем / Н.А.Ратникова // Метрологическое обеспечение эксплуатации и хранения технических объектов. Тезисы докладов научно-технической конференции. М.: ГУЛ "ВИМИ". 1999. – С. 42-44.

5. Городенко Ю.П. Военная авиация. Справочник / Ю.П. Городенко, В.П. Морозов, А.С. Прибылов. – Мн.: «Попурри», 1999 – 512 с.

6. McClelland Lori A. TheB-1B has arrived. // Def. Electronics. 1985. – №8. p. 72-74, 76, 78,79,81,82, 84.

7. Виттих В.А. Оптимизация бортовых систем сбора и обработки данных / В.А. Виттих, В.А. Цыбатов. – М.: Наука, 1985. – 176 с.

8. Новоселов О.Н. Основы теории расчета информационно-измерительных систем / О.Н. Новоселов, А.Ф. Фомин. – М.: Машиностроение, 1980. – 280 с.

9. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, А.В. Харченко, В.В. Остаивский. – Х.: Факт, 1997. – 240 с

10. Векторная оптимизация динамических систем / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов, А.И. Козлов, В.С. Чабанюк. – К.: Техніка, 1999. – 282 с.

11. Єрко В.Б. Методика синтезу бортових інформаційно-вимірювальних комплексів літальних апаратів / В.Б. Єрко // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. Випуск №6(13). – К.: ДНДІА, 2010, – С. 36-40.

12. Ратніков І.М. Щодо побудови бортових вимірювальних систем / І.М. Ратніков, М.М. Вознюк, В.Б. Єрко // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. Випуск №7(14). – К.: ДНДІА, 2011, – С. 232-236.

Надійшла до редколегії 17.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук доцент О.А. Кононов, Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИИ БОРТОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, КОТОРЫЕ ЭКСПЛУАТИРУЮТСЯ ПО СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ «ПО СОСТОЯНИЮ»

В.Б. Єрко

В статье рассмотрено возможное направление по созданию современного научно-методического аппарата построения бортовых измерительных систем, которые обеспечивают повышение достоверности проведения измерений технического состояния бортового оборудования летательных аппаратов эксплуатирующихся по состоянию.

Ключевые слова: техническое состояние, бортовое оборудование, эксплуатация по состоянию, оценивание авиационной техники, средства измерений, бортовые измерительные системы.

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACH TO BUILDING A BOARD MEASUREMENT SYSTEM FOR EVALUATING THE TECHNICAL CONDITION OF AIRCRAFT EQUIPMENT LETHAL DEVICES THAT OPERATE ON MAINTENANCE STRATEGY "AS"

V.B. Yerko

The article considers the possible direction of creation of modern scientific methods of constructing the apparatus onboard measurement systems that enhance the reliability of the measurement of technical condition of the equipment onboard aircraft operated by state.

Keywords: technical condition, avionics, maintenance as, evaluation of aircraft, measuring tools, on-board measurement system.