

А. О. Нішук

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАЛИВОМІРНО-ВИТРАТОМІРНОЇ СИСТЕМИ СТР7-2А ЛІТАКА Су-27, ЗА ДОСВІДОМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛІТАКІВ ВИРОБНИЦТВА КРАЇН-ПАРТНЕРІВ

Анотація. У роботі розглянуто напрями вдосконалення паливомірної-витратомірної системи СТР7-2А літака Су-27 з урахуванням відкритого досвіду експлуатації літаків виробництва країн-партнерів. Запропоновано модульний підхід до модернізації системи із застосуванням цифрового оброблення вимірювальної інформації, вбудованого контролю справності, порівняння незалежних оцінок запасу палива та вдосконалення індикації. Реалізація запропонованих рішень спрямована на підвищення точності, достовірності та експлуатаційної придатності системи.

Ключові слова: Су-27, СТР7-2А, паливомірно-витратомірна система, запас палива, цифрове оброблення, діагностика, модернізація.

Annotation. The paper considers proposals for improving the STR7-2A fuel quantity and fuel flow measurement system of the Su-27 aircraft, taking into account open operational experience of partner-country aircraft. A modular modernization approach is proposed using digital processing of measurement data, built-in diagnostics, comparison of independent fuel quantity estimates and improved indication. The proposed solutions are aimed at increasing the accuracy, reliability and maintainability of the system.

Keywords: Su-27, STR7-2A, fuel quantity and fuel flow system, fuel quantity, digital processing, diagnostics, modernization.

Паливомірно-витратомірна система СТР7-2А літака Су-27 призначена для контролю запасу та витрати палива, формування сигналів про рівень палива в баках, видачі інформації про сумарний, резервний та аварійний залишок. Система поєднує паливомірну, витратомірну й автоматичну частини. Вимірювання запасу в окремих баках здійснюється ємнісними датчиками, а поточний сумарний запас уточнюється за даними витрати палива. Для системи характерні аналогові канали перетворення та індикації, що відповідають технічному рівню періоду її розроблення.

За відкритими технічними матеріалами похибка вимірювання сумарного запасу палива СТР7-2А може становити до ± 480 кг, а похибка видачі інформації про запас у бортові системи - до ± 540 кг [1]. Під час тривалої експлуатації додатковий вплив мають старіння елементної бази, похибки датчиків, контактних з'єднань і калібрування. Це обґрунтовує доцільність модернізації системи без зміни принципової побудови паливної системи літака.

Досвід літаків виробництва країн-партнерів показує доцільність поєднання безпосереднього вимірювання запасу з обчислювальним контролем. На F-16 застосовуються ємнісні датчики, блок оброблення, цифрова індикація сумарного запасу, режим TEST та засоби виявлення відмов; у навчальних матеріалах для цієї системи наводиться зменшення похибки ємнісного вимірювання до близько 1 % [2, 3]. На Mirage 2000С екіпаж отримує окрему інформацію про внутрішній і сумарний запас, миттєву витрату та заданий мінімальний залишок BINGO [4].

На підставі порівняльного аналізу пропонується модернізація СТР7-2А за модульним принципом: зберегти штатні датчики там, де їх характеристики є прийнятними, а аналогові блоки оброблення та частину індикації доповнити цифровим обчислювальним модулем. Модуль повинен приймати сигнали паливомірних і витратомірних каналів, виконувати цифрову фільтрацію, температурну та густинну корекцію, порівнювати незалежні оцінки залишку палива та формувати ознаку розбіжності каналів.

Для підвищення експлуатаційної придатності доцільно передбачити вбудований контроль справності під час увімкнення живлення та за командою екіпажу/технічного складу. Результати контролю можуть видаватися у вигляді коду несправності із зазначенням каналу:

датчик, лінія зв'язку, витратомір або обчислювальний модуль[4]. Це скоротить час пошуку відмови та зменшить обсяг перевірок методом послідовної заміни блоків.

Запропонований підхід не вимагає повної заміни паливної автоматики Су-27. Модернізацію доцільно виконувати поетапно: спочатку встановити цифровий блок збору та контролю зі збереженням штатної індикації, після підтвердження надійності - ввести розширену індикацію й цифровий обмін з іншими бортовими системами[5]. При цьому конкретні значення порогів, коефіцієнтів корекції та допустимих розбіжностей повинні визначатися за результатами стендових і льотних випробувань.

Порівняння підходів до побудови паливовимірювальних систем показує, що одним із ключових напрямів розвитку є перехід від простого відображення вимірюваного значення до комплексного контролю достовірності інформації[5, 6]. Для СТР7-2А це може бути реалізовано шляхом програмного порівняння зміни запасу палива з фактичною витратою двигунів. Якщо темп зменшення вимірюваного запасу істотно відрізняється від розрахункового, система повинна фіксувати невідповідність та формувати діагностичне повідомлення. Такий алгоритм підвищує ймовірність своєчасного виявлення несправностей датчиків, вимірювальних каналів або можливого витоку палива.

Модернізація повинна проводитися з урахуванням принципу мінімального втручання у штатне обладнання літака. На першому етапі можливе встановлення цифрового блока оброблення паралельно з існуючими каналами СТР7-2А для накопичення та порівняння даних. Після підтвердження працездатності алгоритмів під час стендових і льотних випробувань цифровий канал може використовуватися як основний засіб уточнення та контролю паливної інформації[4, 5]. Такий поетапний підхід зменшує технічні ризики та дозволяє оцінити ефективність запропонованих рішень до їх широкого впровадження.

Аналіз СТР7-2А та досвіду експлуатації F-16 і Mirage 2000С показує, що найбільш доцільними напрямками вдосконалення є цифрове оброблення вимірюваної інформації, автоматична діагностика, порівняння незалежних каналів визначення запасу палива та більш інформативне подання даних екіпажу. Реалізація цих пропозицій може підвищити точність і достовірність контролю палива, скоротити час пошуку несправностей та покращити експлуатаційні характеристики системи при збереженні максимально можливої частини штатного обладнання.

Список використаних джерел:

1. Назначение, состав и принцип действия системы топливомерно-расходомерной СТР 7-2А самолёта Су-27 [Електронний ресурс].–Режим доступу: <https://studfile.net/preview/2806964/page:3/>
2. Flight Manual USAF Series F-16A/B Aircraft. T.O. 1F-16A-1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://archive.org/details/usaf-f-16>
3. Troubleshooting Capacitive Fuel Indication Systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kipdf.com/troubleshooting-capacitive-fuel-indication-systems_5aad346a1723dd8418a3bf05.html
4. M-2000C User Manual. Fuel System [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://djvu.online/file/nyU4KUSSdCb3>
5. Керівництво по технічній експлуатації системи СТР7-2А : 6Л1.571.009РЭ. – Київ, 1986.
6. Книш В. О., Шевченко В. І. Аналіз точності розробленого ємнісного датчика паливоміра, інваріантного до якості палива. – Харків : ХАІ, 2004.

Ніщук Андрій Олександрович – здобувач освітнього рівня бакалавр кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: andreyovruch2004@gmail.com.

Nishchuk Andrii Oleksandrovich – Bachelor's Degree Holder of the Department of Aircraft and Helicopter Avionics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St., building 77/79, ind. 61023, e-mail: andreyovruch2004@gmail.com.