УДК 629.7.069

Є. О. Борсук, В. С. Чорний

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЬНО-ПЕРЕВІРОЧНОЇ АПАРАТУРИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ЛІТАКА

Анотація. *Розглянуто проблематику вдосконалення засобів наземного контролю системи електропостачання (СЕП) багатоцільового літака МиГ-29. Проаналізовано статистику відмов СЕП у період 2022–2026 рр. та доведено метрологічну неспроможність штатних аналогових пультів контролю ПКЕ-1. Обґрунтовано перехід до цифрових вимірювально-обчислювальних систем (МВОС) на основі 24-бітних АЦП з високочастотною дискретизацією та алгоритмами швидкого перетворення Фур'є (FFT). Запропоновано чотирирівневу функціонально-архітектурну схему інтеграції МВОС у штатний контур літака, що забезпечує автоматизацію збору даних, скорочення часу перевірки на 40% та перехід до обслуговування за фактичним технічним станом (CBM) за стандартами НАТО.*

Ключові слова: *система електропостачання, контрольно-перевірочна апаратура, завадозахищеність, аналого-цифровий перетворювач, технічний стан.*

Annotation: *The paper addresses the problem of improving ground test equipment for the electrical power supply system (EPSS) of the MiG-29 multirole aircraft. Statistical data on EPSS failures during 2022–2026 were analyzed, proving the metrological inconsistency of standard analog test benches (PKE-1). The transition to digital mobile measuring and computing systems (MVOS) based on 24-bit ADCs with high-frequency sampling and Fast Fourier Transform (FFT) algorithms is substantiated. A four-level functional architecture for integrating MVOS into the standard aircraft interface is proposed, enabling automated data collection, a 40% reduction in inspection time, and a transition to Condition-Based Maintenance (CBM) under NATO standards.*

Keywords: *electrical power supply system, test equipment, noise immunity, analog-to-digital converter, technical condition.*

Досвід інтенсивного застосування авіації у ході російсько-української війни свідчить, що працездатність бортового радіоелектронного обладнання, комплексів навігації та засобів РЕБ напряму залежить від якості електричної енергії СЕП [1]. Підвищені динамічні навантаження, режим польотів із розосереджених аеродромів та інтеграція новітніх зразків озброєння суттєво підвищили вимоги до швидкості та точності інструментального контролю параметрів бортових мереж. Існуючий парк штатної контрольно-перевірочної апаратури (КПА) типу ПКЕ-1, розроблений на аналоговій елементній базі, є морально і фізично застарілим та не забезпечує виявлення прихованих динамічних дефектів СЕП, що обумовлює актуальність даного дослідження.

За статистичними даними аналізу надійності авіаційної техніки за 2022–2026 рр., частка відмов СЕП становить 46% від загальної кількості несправностей бортових систем літака МиГ-29 [2]. Метрологічний аналіз пульта ПКЕ-1 виявив два критичні недоліки:

1. Низька точність вимірювання: через нормування зведеної похибки аналогових приладів від кінця шкали, реальна відносна похибка вимірювання номінальної напруги 115 В сягає 3,26% (абсолютна похибка ±3,75 В), що унеможливлює контроль вузьких допусків авіоніки [3].

2. Механічна інерційність: стрілочні прилади виступають фільтром низьких частот і «згладжують» мікросекундні й мілісекундні сплески та провали напруги, створюючи хибну ілюзію стабільності мережі, що призводить до раптових відмов напівпровідникових блоків у польоті [2].

З метою підвищення точності та оперативності контролю системи електропостачання (СЕП) багатоцільового літака пропонується модернізувати наявні контрольно-перевірочні засоби шляхом впровадження мобільної вимірювально-обчислювальної системи (МВОС).

Основу запропонованого комплексу доцільно побудувати на використанні високоточних 24-бітних аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) із частотою дискретизації до 200 кГц на

канал [1-3]. Це дасть змогу здійснювати детальніший аналіз електричних сигналів, фіксувати короткочасні зміни параметрів мережі та виявляти відхилення, які складно визначити за допомогою традиційних аналогових вимірювальних приладів.

Основні напрями вдосконалення апаратної частини системи (впровадження додаткових вимірювальних каналів і засобів моніторингу):

1. Підвищення метрологічної точності: абсолютна похибка вимірювання напруги МВОС становить ±0,2 В, що забезпечує відносну похибку 0,17% в точці номіналу (покращення точності у 19 разів).

2. Спектральний аналіз (FFT): застосування швидкого перетворення Фур'є в програмному забезпеченні АРМ техніка дозволяє контролювати коефіцієнт нелінійних спотворень та вищі гармоніки (до 50-ї) в реальному часі.

3. Ергономічність та мобільність: масу обладнання зменшено з 30 кг до 10 кг, корпус виконано за стандартом IP67, що дозволяє виконувати перевірку однією особою в польових умовах.

4. Схема інтеграції: розроблено чотирирівневу схему підключення МВОС до штатних контрольних точок літака (ШРАП-500, КРШ-57, АЗУ-400А, ПТО) через гальванічно ізольовані канали, без внесення змін у конструкцію електричних мереж винищувача.

Впровадження системи МВОС забезпечує скорочення часу повної діагностики СЕП на 40% за рахунок паралельного синхронного збору даних за 16 каналами, повну ліквідацію людського фактора при зчитуванні показників, автоматичне формування PDF-протоколів та збереження історії перевірок у базі даних SQL терміном до 5 років. Це гарантує успішний перехід до концепції обслуговування авіатехніки за фактичним станом (CBM) відповідно до стандартів НАТО (STANAG 4107) [3].

Запропоновані рішення щодо впровадження мобільної вимірювально-обчислювальної системи МВОС дозволяють подолати метрологічну та технологічну застарілість штатної КПА. Перехід на цифрову реєстрацію перехідних процесів підвищує достовірність контролю якості електроенергії, забезпечує високу оперативність підготовки літаків до бойових вильотів та сприяє збереженню боєздатності авіаційних підрозділів.

Список використаних джерел:

1. Харківченко В. П., Поляков М. В., Рябуха О. В. та ін. Технічна експлуатація авіаційного обладнання: підручник. Харків: ХНУПС ім. Івана Кожедуба, 2018. 340 с..

2. Кальних В. В., Коваль О. М. Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та якість електричної енергії: підручник. Київ: Центр навчальної літератури, 2022. 412 с..

3. Ковальчук І. В., Жильцов А. О. Якість електричної енергії в системах живлення обмеженої потужності: монографія. Львів: Львівська політехніка, 2021. 198 с.

Борсук Єгор Олександрович *– слухач інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, e-mail: eborsuk415@gmail.com.*

Чорний Владислав Сергійович *– викладач кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, email: vladchornui9@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0006-6206-6189.*

Yehor Oleksandrovych Borsuk *– student from the Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, e-mail: eborsuk415@gmail.com.*

Vladyslav Serhiiovych Chornyi *– lecturer, Faculty of Aviation Engineering of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, email: vladchornui9@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0006-6206-6189.*