ENGINEERING AND MANUFACTURING

DOI: https://doi.org/10.64076/ap261026.06

Oleksandr Zalyvchyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
Abliatif Biekirov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

MODERNIZATION OPTIONS FOR CONTROL AND DIAGNOSTICS OF THE MI-8MTV ROTOR ICE PROTECTION SYSTEM

Abstract. Modernization options for the Mi-8MTV rotor ice protection system are compared: supplementary diagnostics, PMK-21TV replacement, and integrated control and diagnostics. Selection conditions, diagnostic indications, and fault isolation limits are defined. A bench test programme preserving existing protection functions is proposed. Reduced unnecessary component replacement is treated as a hypothesis for further investigation.
Keywords: Mi-8MTV, rotor ice protection system, PMK-21TV, modernization, diagnostics, reliability management.

Олександр Заливчий
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна
Аблятіф Бєкіров
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

НАПРЯМИ МОДЕРНІЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКИ ПРОТИЛЬОДОВОЇ СИСТЕМИ ГВИНТІВ МІ-8МТВ

Анотація. Зіставлено напрями модернізації керування протильодовою системою гвинтів Мі-8МТВ: додаткову діагностику, заміну ПМК-21ТВ та поєднання цих функцій. Сформульовано умови вибору напряму, діагностичні ознаки й межі визначення причин відмов. Запропоновано програму стендової перевірки зі збереженням штатного захисту. Скорочення необґрунтованих замін розглядається як гіпотеза для подальшого дослідження.
Ключові слова: Мі-8МТВ, протильодова система, ПМК-21ТВ, модернізація, діагностика, управління надійністю.

Вертольоти сімейства Ми-8МТВ українські цивільні оператори використовують для перевезень, пошуково-рятувальних робіт і гасіння пожеж. ПрАТ "Авіакомпанія “Українські вертольоти”" є найбільшим вертолітним оператором України. За даними річного звіту компанії за 2024 рік, вона мала 48,48% ринку вертолітних послуг, що надаються в Африці міжнародним організаціям з підтримки миру й безпеки та міжнародним гуманітарним організаціям [1]. Цей показник стосується саме зазначеного сегмента, а не всього ринку вертолітних послуг. У звіті також описано експлуатацію модернізованого парку та труднощі із закупівлею запасних частин. В умовах повномасштабної війни підтримання наявної техніки набуває особливого значення через обмежену доступність агрегатів і ремонтної підтримки.

За дефіциту агрегатів їх переставлення з інших повітряних суден – технічний канібалізм – дозволяє забезпечити пріоритетний борт, проте збільшує обсяг демонтажних, монтажних і перевірних робіт та навантаження персоналу. Поряд з оновленням навігаційного й спеціального обладнання [1] доцільно розглянути модернізацію штатних агрегатів керування з урахуванням їх ремонтопридатності та можливостей діагностування.

Мета роботи – визначити умови вибору напряму модернізації керування протильодовою системою (ПЛС) гвинтів Мі-8МТВ та сформувати програму його перевірки. Порівняно з попередньою пропозицією програмованого реле [2] робота доповнює відтворення циклограми контролем виконання команд і розмежуванням задач діагностики та заміни агрегату.

Технічний аналіз виконано для конфігурації ПЛС із програмним механізмом ПМК-21ТВ, описаної в керівництві з технічної експлуатації (РТЕ) [3]. Чотири секції обігріву лопатей несучого гвинта працюють у порядку I–IV, дві секції рульового – I, II, I, II. Чотири серії тривалістю (38,5 ± 2) с утворюють цикл (154 ± 8) с. Механізм формує 18 контактних команд; заміна має відтворювати їх склад та індикацію.

У розглянутій схемі силове живлення ПЛС надходить від каналу генератора № 1 СГС-40ПУ напругою 200 В і частотою 400 Гц [4]. Отже, опис джерела й циклограми прийнято за експлуатаційною документацією конкретного виконання. Новий блок повинен узгоджуватися зі штатними колами керування, дозволами та захистом.

Штатна перевірка передбачає послідовний вибір лопатей і зіставлення амперметра з індикацією секцій. Карта 030.60.00 b обмежує ввімкнення одним циклом за частоти обертання несучого гвинта (95 ± 2) %; повторне ввімкнення допускається не раніше ніж через 5 хв [3]. Реєстрація параметрів зберігатиме дані для аналізу після перевірки.

Прикладом вбудованого контролю є ініційований тест системи захисту гвинтів від обледеніння Sikorsky S-92A – Rotor Ice Protection System Initiated Built-In Test (RIPS IBIT), передбачений його керівництвом з льотної експлуатації (РЛЕ) [5, с. 2-17]. Для Мі-8МТВ застосування самоперевірки потребує врахування власної схеми. Умови вибору наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Умови вибору напряму модернізації

Варіант	Умова вибору	Предмет оцінювання
Штатне виконання	Наявне керування й контроль задовольняють потреби; ремонтна підтримка доступна.	Достатність штатної перевірки й забезпечення агрегатами.
Окрема діагностика	ПМК-21ТВ підтримується; потрібні реєстрація й додаткові діагностичні дані.	Інформативність, хибні повідомлення, вплив на штатні кола.
Програмоване керування	Підтверджено труднощі ремонту або постачання ПМК-21ТВ.	Відтворення команд, сумісність із захистом, підтримуваність заміни.
Керування з діагностикою	Обґрунтовані і заміна механізму, і розширення контролю.	Користь поєднання та наслідки спільних відмов.

Джерело: авторське порівняння на основі [2–5].

Окремий діагностичний модуль розширює контроль без заміни ПМК-21ТВ. Мікропроцесорне керування створює основу для альтернативного відтворення його функцій, якщо підтверджено дефіцит механізмів або ремонтних комплектуючих. Поєднання керування з діагностикою забезпечує безпосередній доступ до команди та етапу циклу, проте потребує оцінювання відмов спільних апаратних і програмних засобів. Порівняння діагностичних можливостей виконують за однакових вимірювальних каналів і набору несправностей.

Під час вибору нового блока необхідно враховувати можливість його подальшого обслуговування й ремонту. У звіті DOT/FAA/TC-15/33 розглянуто ризики застарівання авіоніки, зокрема втрати доступності компонентів і ремонтної підтримки [6]. Тому для мікропроцесорного пристрою слід оцінювати доступність комплектуючих, можливість їх заміни та збереження документації, необхідної для ремонту.

Контроль виконання команд ґрунтується на зіставленні команди, напруги керувального виходу, живлення системи та струму навантаження. Це поєднує пороговий контроль із перевіркою узгодженості сигналів [7]. Штатна схема охоплює п’ять лопатей несучого гвинта та спільне коло рульового [3]. Використання наявних трансформаторів струму для цифрової реєстрації потребує перевірки навантаження їх вторинних кіл; альтернативою є окремі датчики.

Відсутність струму після команди ввімкнення за підтвердженого живлення та справного вимірювання означає, що обігрів у контрольованому колі не підтверджено. Ознака звужує напрям пошуку, але не розрізняє обрив нагрівача, пошкодження проводки й неввімкнення контактора. Втрату живлення та несправність вимірювання реєструють окремо. Таке розмежування зменшує ризик необґрунтованого висновку про відмову агрегату.

Струм після команди вимкнення всіх охоплених вимірюванням секцій є ознакою неприпиненого живлення. Під час штатної зміни секцій струм у спільному колі може зберігатися; тому його зникнення не перевіряють на кожному перемиканні. Пороги та час підтвердження визначають за характеристиками кіл із врахуванням перехідних процесів.

Журнал зберігатиме час, етап циклу, команду, виміряні значення та ознаки їх достовірності. Такі дані потрібні для пошуку короткочасних відхилень. Н. Піктолл пов’язує труднощі діагностування з випадками непідтвердженої несправності – No Fault Found (NFF) [8]. Гіпотеза роботи полягає в тому, що реєстрація допоможе скоротити зайві перевірки й необґрунтовані заміни; її перевірка потребує обліку причин демонтажів і результатів перевірки знятих агрегатів.

В окремому модулі діагностики виявлена подія спричинятиме повідомлення й запис без втручання у циклограму. Для всіх варіантів зберігається дія штатних дозволів і захисту; реєстрація подій не повинна перешкоджати їх спрацюванню. Аналіз охоплює зависання програми, відмову виходу, втрату вимірювання, неприпинене живлення та втрату обігріву через збій контролера. Для керувального варіанта нові автоматичні блокування потребують окремого аналізу наслідків, зокрема хибного припинення обігріву. FAA AC 20-73A [9] використано як методичний орієнтир аналізу відмов і живлення.

Наведене РЛЕ Мі-8МТВ вимагає вимкнення ПЛС гвинтів при відмові одного генератора [10]; автоматичне перенесення її живлення на інший канал не пропонується. (Викликано високим споживанням ПЛС гвинтів, інші поверхні, захищені ПЛС мають резервування живлення. Цікавим напрямком було застосування ШІМ для ПЛС з метою адаптивного обігріву, це ще краще обгрунтовувало вибір програмованого керування на основі мікропроцесора, можливе створення ПІ- чи ПІД-регулятора для керування потужністю, проте на це не вистачило часу. Окремим завданням в цьому питанні було б ускладнене резервування на випадок відмови генератора №1, що потребувало б зміни електроавтоматики, штатно живлення системи від ген. №2 не передбачено. Можливість реалізації такої ідеї потребує окремого обгрунтування)

Для експериментального оцінювання визначено склад стенду: змінний блок керування, комутаційні кола, еквіваленти навантаження, засоби введення несправностей і незалежний реєстратор. Досліджуваний пристрій отримуватиме лише сигнали власних вимірювальних каналів. Програма охоплює штатний цикл і типові відхилення (табл. 2).

Таблиця 2. Програма стендових досліджень

Режим або несправність	Предмет перевірки	Показники оцінювання
Штатний цикл, пуск і зупинка	Послідовність команд, тривалість етапів, дія дозволів.	Відхилення від циклограми, несумісні команди.
Обрив або відмова контактора	Виявлення відсутності струму чи неприпиненого живлення.	Час виявлення, пропуски, хибні повідомлення.
Втрата живлення або вимірювання	Розрізнення подій живлення, вимірювання та навантаження.	Правильність повідомлень і записів.
Збій програми чи реєстрації	Незалежність захисту, стан виходів і відновлення.	Дія блокувань, відсутність самовільного пуску.
Короткочасне відхилення	Збереження даних і пошук несправності за журналом.	Повнота запису, час і правильність діагностування.

Джерело: програма сформована на основі [3, 4, 7–9].

Час виявлення відлічують від введення несправності до повідомлення; пропуском вважають відсутність очікуваного повідомлення, хибним повідомленням – його появу в безвідмовному прогоні. Функціональну відповідність оцінюють за порядком команд, допусками часу РТЕ та дією штатних блокувань. Діагностичний результат – правильне визначення контрольованого кола й типу відхилення в межах доступних сигналів, без обов’язкового встановлення несправного елемента.

Пошук за штатною індикацією та з журналом порівнюватимуть за однакових сценаріїв, окремо обліковуючи час роботи техніка. Стенд не оцінює вібрацію, температурну стійкість, електромагнітну сумісність і теплову ефективність. Fu та співавтори [11] досліджують вплив теплового потоку й тривалості нагрівання; відповідне моделювання становить окремий подальший етап. Для первинної перевірки прийнято штатні режими обігріву.

Результатом роботи є умови вибору між додатковою діагностикою, заміною керування та їх поєднанням, а також діагностичні ознаки й програма перевірки. У системі управління надійністю ці варіанти пов’язано з підтримуваністю обладнання та обґрунтованістю його замін. Скорочення вимушених переставлень залишається очікуваним ефектом, який потребує стендових результатів і даних експлуатації. Аналітичні висновки визначають подальше дослідження; працездатність нового блока та приріст безвідмовності цією роботою не встановлено.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. ПрАТ "Авіакомпанія "Українські вертольоти". Річний звіт за 2024 рік. URL: https://ukrcopter.com/storage/files/ricnii-zvit-za-2024-dlya-publikaciyi-na-saiti_1764142552.pdf (дата звернення: 21.10.2026).

2. Заливчий О. С., Осняков Б. В., Книш С. В., Книш А. С., Сорока В. В. Обґрунтування використання програмованого реле в протиобморожувальній системі гелікоптера. Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації: матеріали XXI Міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених і спеціалістів. 2024. С. 123–124. DOI: 10.32782/2079-5106.2024.5.12.

3. Ми-8МТВ-1. Руководство по технической эксплуатации. Книга 3. Вертолётные системы. Розд. 030.60.00, с. 1–4; технологічна карта b, с. 205/206.

4. Ми-8МТВ-1.0000.00 РЭ. Руководство по технической эксплуатации. Книга 7. Авиационное оборудование. Розд. 024.00.00, с. 1; 024.20.00, с. 6–7, рис. 3, с. 9/10.

5. Sikorsky Aircraft Corporation. S-92A Rotorcraft Flight Manual. SA S92A-RFM-006. Part 1. Revision 13, 26 July 2012. Section II, p. 2-17. URL: https://www.scribd.com/document/927956107/RFM-S92-pt1 (дата звернення: 21.10.2026).

6. Wilkinson C. Obsolescence and Life Cycle Management for Avionics. Final Report DOT/FAA/TC-15/33. FAA, 2015. URL: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/aircraft/air_cert/design_approvals/air_software/TC-15-33.pdf (дата звернення: 21.10.2026).

7. Isermann R. Fault-Diagnosis Systems: An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance. Berlin; Heidelberg: Springer, 2006. XVIII, 475 p. DOI: 10.1007/3-540-30368-5.

8. Pickthall N. The Contribution of Maintenance Human Factors to No Fault Founds on Aircraft Systems Engineering. Procedia CIRP. 2014. Vol. 22. P. 59–64. DOI: 10.1016/j.procir.2014.07.013.

9. Federal Aviation Administration. Aircraft Ice Protection. Advisory Circular AC 20-73A. 16 August 2006. § 8.1.7, 8.1.9. P. 16–17. URL: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_20-73A.pdf (дата звернення: 21.10.2026).

10. Руководство по лётной эксплуатации Ми-8МТВ. Розд. 8.7.4, с. 8.7.11. Аркуш "Рег. № 4, 12.11.96".

11. Fu J., Zhuang W., Yang B., Chang S. Simulation of heating control law of electro-thermal deicing of helicopter rotor blade. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics. 2014. Vol. 40, no. 9. P. 1200–1207. DOI: 10.13700/j.bh.1001-5965.2013.0551. (Китайською мовою).