УДК 621.39:623.1/.7

Д. О. Нелідін , В. В. Борисов

ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ

Анотація. *Проведено аналіз розвитку системи технічної експлуатації зенітних ракетних комплексів. Визначені основні проблемні питання технічної експлуатації на сучасному етапі та прогнозуємі зміни у майбутньому.*

Ключові слова*: прогнозовані зміни, технічна експлуатація, елементна база. етап розвитку.*

Abstract*. An analysis of the development of the technical operation system for anti-aircraft missile systems has been conducted. The key issues regarding technical operation at the present stage, as well as projected future changes, have been identified.*

Keywords*: projected changes, technical operation, component base, stage of development.*

Розвиток засобів повітряного нападу (ЗПН) історично визначав вимоги до протиповітряної оборони (ППО), а з появою зенітних ракетних комплексів (ЗРК) постало питання підтримання їх у боєздатному стані. Російсько-українська війна, найінтенсивніша за застосуванням різнотипних ЗПН з часів Другої світової, змінює підходи до експлуатації ракетного озброєння. Дефіцит часу та високий ризик знищення засобів ППО вимагають відмови від класичних систем технічної експлуатації (СТЕ) на користь гнучких, мобільних рішень [1].

Бойова ефективність ЗРК залежить від коефіцієнта технічної готовності, який забезпечує СТЕ. В історії її розвитку виділяють чотири етапи. Планово-попереджувальна система (1950 – 1970-ті рр.). Обслуговування здійснювалося за часовими інтервалами незалежно від фактичного стану обладнання. Характерними були висока трудомісткість, залежність від громіздкої контрольно-вимірювальної апаратури та контрольновипробувальних станцій, низька технологічність польових ремонтів і багато ручних операцій із налаштування апаратури.

Модульність та напівпровідникова революція (1970 – 1990-ті рр.). Твердотільна елементна база та мікросхеми дозволили застосувати блочно-модульний принцип: у полі працездатність відновлювали заміною блоків. Перші вбудовані системи автоматизованого контролю скоротили час виявлення несправностей, але локалізували відмову лише до групи блоків, тож подальший пошук вівся вручну, а налаштування й калібрування в складі комплексу залишалися необхідними. Ранні напівпровідники були чутливими до температур, вологості й електромагнітних перешкод, що спричиняло періодичні збої. Через жорсткі регламенти ЗРК виводили з бойового чергування незалежно від його стану. Цифровізація та обслуговування за станом (1990 – 2010-ті рр.). Обчислювальна техніка, цифрова обробка сигналів і фазовані антенні решітки започаткували перехід до обслуговування за фактичним станом. Самодіагностика локалізує несправність до плати чи модуля у 90–95% випадків. Водночас польовий ремонт обмежився заміною блоків, ЗІП став дорогим і дефіцитним, а техніка залежала від іноземних виробників COTS-компонентів. Хибні спрацьовування самодіагностики, збої програмного забезпечення (ПЗ) та вразливість мікроелектроніки до засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) призводили до зайвих замін справних блоків та евакуації техніки на сервісні центри. Інтегрована логістична підтримка (2010-ті – теперішній час). Сучасна СТЕ ґрунтується на концепціях Integrated Logistics Support (інтегроване логістичне забезпечення) та Condition-Based Maintenance (технічне обслуговування за фактичним станом), що об’єднують обслуговування, постачання ЗІП, навчання персоналу й оновлення ПЗ в єдиний цифровий цикл, а виробники надають дистанційну підтримку через захищені канали. Через загрозу ураження стаціонарних баз ремонт децентралізовано: виїзні мобільні ремонтні групи швидко замінюють блоки за принципом “plug-and-play” в замаскованих укриттях у безпосередній близькості від бойових позицій, а несправні блоки відправляються на спеціалізовані підприємства.

Основні проблеми сучасного етапу розвитку СТЕ ЗРК [1]:

в Україні немає повного циклу виготовлення чи глибокого ремонту високотехнологічних елементів, тож їх ремонт проводиться за кордоном, що збільшує час відновлення ЗРК;

дистанційна діагностика потребує захищеного зв’язку, який у безпосередній близькості до лінії фронту часто блокується засобами РЕБ;

різнотипність ЗРК вимагає окремих комплектів запасних частин, обладнання й ПЗ;

робота з інженерами служби підтримки та технічною документацією на ЗРК іноземного виробництва потребує від персоналу високого рівня технічної підготовки та знання англійської мови;

хибне спрацювання надчутливих систем самоконтролю через вплив факторів навколишнього середовища (пил, волога, перешкоди і т. ін.).

Прогнозовані зміни в СТЕ ЗРК [2-3]:

перший напрям – перехід до Predictive Maintenance (прогнозоване технічне обслуговування), коли математичні моделі та штучний інтелект аналізують деградацію параметрів і передбачають відмову до її настання;

другий – цифрові двійники, тобто віртуальні моделі кожного комплексу, що в реальному часі відображають моторесурс, навантаження та історію ремонтів;

третій – децентралізація за принципом “Fast-Field Repair”, що скорочує плече логістики завдяки мобільним майстерням із 3D-друком деяких деталей поблизу лінії фронту.

Головними викликами є залежність від зовнішніх постачань, відсутність власного глибокого ремонту, різнотипність парку ЗРК, вразливість цифрових систем до РЕБ та високі вимоги до підготовки персоналу. Тому подальший розвиток СТЕ пов’язується з прогнозованим обслуговуванням на основі штучного інтелекту, цифровими двійниками, децентралізованим ремонтом із 3D-друком та уніфікацією за стандартами NATO. Головний вектор – автономність підрозділів, мінімізація часу обслуговування і ремонту техніки та передбачувальна діагностика.

Список використаних джерел:

1. Рощупкін Є. Використання досвіду бойового застосування військових частин та підрозділів зенітних ракетних військ, технічної експлуатації та ремонту озброєння та військової техніки в освітньому процесі та науковій діяльності факультету зенітних ракетних військ / Є. Рощупкін, В. Шулежко, А. Удовенко, О. Батюшин // Освітній процес: методика, досвід, проблеми. – Х.: ХНУПС, 2025. – №4 (178). – С. 82-87.

2. Туринский, А.В., Певцов, Г.В., Крючков, Д.Н., & Рощупкин, Е.С. (2020). Методы повышения достоверности и эффективности контроля технического состояния радиотехнических систем подвижных объектов. Azərbaycan dövlət dəniz akademiyasının elmi əsərləri, 1, 176–182.

3. Герасимов, С.В., Гречка, А.В., Рощупкин, Е.С., Рощупкина, А.Е., & Кукобко, С.В. (2020). Адаптивный метод технической диагностики системы разнесенных радиотехнических устройств. Azərbaycan dövlət dəniz akademiyasının elmi əsərləri, 2, 129–137.

Нелідін Дмитро Олегович *– курсант факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, Україна, e-mail: dimanelidin345@gmail.com*

Борисов Вадим Володимирович *– старший викладач Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, e-mail: vadzzzyabig@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0000-0001-6564-7874*

Nelidin Dmytro *– Cadet of Faculty of Anti-Aircraft Missile Troops, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University; Kharkiv, Ukraine, e-mail: dimanelidin345@gmail.com*

Borysov Vadym *– Senior Lecturer of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: vadzzzyabig@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0006-1300-1987*