

# Розвиток, бойове застосування та озброєння зенітних ракетних військ

УДК 623.418.2

DOI: 10.30748/nitps.2021.42.10

В.В. Кобзєв, В.А. Васильєв, Д.В. Фоменко, І.Є. Ряполов

*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ІНДИКАЦІЇ ЗАСОБІВ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ

*Переведення індикаторних пристроїв на нову елементну базу є перспективним шляхом їх модернізації, який дозволить забезпечити працездатність виробів цього типу, поповнити відповідні позиції в комплектах запасних частин та одночасно суттєво розширити функціональність систем індикації. В статті акцентовується увага на необхідності комплексної розробки апаратної та програмної реалізації модернізованого індикаторного пристрою, розглядаються їх склад та характерні особливості та визначається орієнтовний перелік сучасних основних елементів модернізованого індикаторного пристрою. Також наводяться рекомендації щодо можливого використання під час модернізації індикаторних пристроїв окремих типів сучасної елементної бази.*

**Ключові слова:** зенітний ракетний комплекс, модернізований індикаторний пристрій, мікропроцесори, мікрокомп'ютери.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Заміна елементної бази є загально визнаною тенденцією при модернізації засобів зенітних ракетних комплексів (ЗРК) та їх складових частин. При цьому модернізація окремих систем може супроводжуватися розширенням їхнього функціоналу. Перспективним у цьому аспекті є заміна блоків систем індикації ЗРК, які розроблені наприкінці ХХ століття, на сучасні багатофункціональні індикатори. Актуальність такої заміни обумовлена наступним:

– основним елементом існуючих індикаторів є монохромні електронні променеві трубки (ЕПТ), які мають велику вартість виготовлення (спряжену з використанням сполук свинцю та барію, спеціальних видів скла тощо);

– функціонування ЕПТ потребує створення спеціальних режимів, які реалізуються за допомогою значної кількості супутніх радіоелектронних пристроїв (відхиляючі системи, спеціалізовані високочастотні трансформатори, помножувачі напруг тощо);

– підприємства промисловості давно припинили випуск вищезазначеної продукції;

– запаси ЕПТ та супутніх пристроїв, що входять до складу індикаторних блоків ЗРК в комплексах ЗПП, не поповнюються багато років, закупівля їх ускладнена через те, що такі ЗРК є лише в Російській Федерації або країнах, лояльних до неї;

– через поступове вичерпання запасів вищеза-

значених пристроїв з комплектів ЗПП ЗРК необхідність термінового пошуку варіантів їх заміни є лише питанням часу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Світові тенденції розвитку озброєння та військової техніки (ОВТ) свідчать про те, що основним напрямом модернізації зразків ОВТ є заміна значної частини основних підсистем існуючого ОВТ на підсистеми нового покоління і (або) на вдосконалені підсистеми, зокрема заміна застарілих ЕПТ на сучасні системи відображення інформації [1–2]. Так, компанія BAE Systems виконує розробку цифрового індикатора для винищувачів F-22 Raptor. Новий індикаторний пристрій повинний замінити на бойових літаках застарілі пристрої відображення інформації, які виконані на основі ЕПТ [1]. Крім того, аналогічним шляхом здійснюється модернізація пристроїв відображення корабельних РЛС та РЛС управління повітряним рухом [2]. У зв'язку з високою вартістю сучасних комплексів (систем) зенітного ракетного озброєння (ЗРО) багато країн світу зацікавлені в продовженні їх ресурсу шляхом модернізації та ремонту. Своєчасна і якісна модернізація дозволяє максимально розкрити весь потенціал ЗРК, що стоять на озброєнні, і привести їх у відповідність до сучасних вимог протиповітряної оборони з найменшими витратами для держави.

У країнах, що володіють достатнім науково-технічним, технологічним і виробничим потенціалом, створення таких складних виробів, як ЗРК середньої дальності, здійснюють на основі еволюцій-

но-технологічного підходу, суть якого полягає у створенні і вдосконаленні зенітних ракетних систем (комплексів) у формі окремих ітерацій. В ході кожної ітерації комплекс (система) доопрацьовується на основі впровадження нових технологій і до нього, при необхідності, додаються нові функціональні можливості.

Більшість зразків ЗРО, які перебувають на озброєнні та експлуатуються в Україні, були розроблені у 70-х – 80-х роках минулого сторіччя та практично вичерпали свій експлуатаційний ресурс [3]. У той же час достатньо хороші технічні характеристики, простота та надійність при експлуатації, досконалість технічних рішень у сукупності з перевагами, забезпечили на протязі останніх десятиріч широку популярність цих засобів. Радіоелектронна апаратура цих засобів була виконана на елементній базі 3-го покоління, до складу якої входять інтегральні мікросхеми малого та середнього ступеню інтеграції. Таким чином, у зразках озброєння, які не є морально застарілими та експлуатуються у даний час, використовується морально та фізично застаріла елементна база. Це вказує на наявну диспропорцію темпів морального старіння зразків озброєння та фізичного і морального старіння елементної бази. Вказана диспропорція обумовила великі труднощі забезпечення експлуатації радіоелектронної апаратури, яка виконана на застарілій елементній базі. Крім того, велика кількість комплектуючих виробів, зокрема багато типів інтегральних мікросхем малого та середнього ступеню інтеграції, були зняті з виробництва у зв'язку з нерентабельністю [4]. Виходом з ситуації, що склалася, може стати заміна у системах індикації зразків військової техніки, гостродефіцитних комплектуючих виробів і складових частин, передбачених конструкторською документацією, на конструктивно або технологічно нові аналоги вітчизняного або закордонного виробництва [5–6]. Таким чином, задача обґрунтування пропозицій щодо удосконалення систем індикації засобів ЗРК є актуальною.

**Мета статті** – обґрунтування пропозицій щодо удосконалення системи індикації засобів ЗРК.

## Виклад основного матеріалу

Штатні індикаторні блоки засобів ЗРК, як правило, використовуються при бойовій роботі (відображення первинної або вторинної радіолокаційної інформації, інформації про кількість і тип ракет тощо) та при проведенні окремих налаштувань функціональних систем по контрольним сигналам під час технічних обслуговувань засобів ЗРК. Сучасний розвиток технологій дозволяє суттєво покращити ергономічні властивості та розширити функціонал індикаторних систем. Перш за все, це покращення сприйняття відображуваної штатно інформації та

винесення додаткової інформації на індикатор без збільшення його розмірів за рахунок використання кольорових дисплеїв. По-друге, при відсутності необхідності ведення бойової роботи додатково індикатор може використовуватися як:

- монітор системи оптико-електронного спостереження (виявлення безпілотних летальних апаратів, наземна охорона позицій дивізіону (батареї)), що дозволить створити основний (додатковий) відповідний спостережний пункт у замаскованому зразку озброєння;

- засіб відображення інтерактивної електронної експлуатаційної документації, що покращить інформаційне забезпечення процесів підтримання зразка озброєння в боєготовому стані, а також освоєння принципів його побудови та використання за призначенням, наприклад [7];

- модуль проведення тактичних розрахунків за допомогою комплексу спеціалізованих інформаційно-розрахункових задач, що покращить якість та оперативність прийняття відповідних рішень посадовими особами.

При створенні індикаторного пристрою на новій елементній базі необхідно розглядати апаратну та програмну складові цього процесу.

Апаратна частина модернізованого індикаторного пристрою повинна містити (рис. 1):

- модуль обробки вхідних сигналів, основною функцією якого є перетворення сигналів апаратури засобів ЗРК до виду, який дозволить їх подальшу обробку в мікропроцесорному модулі;

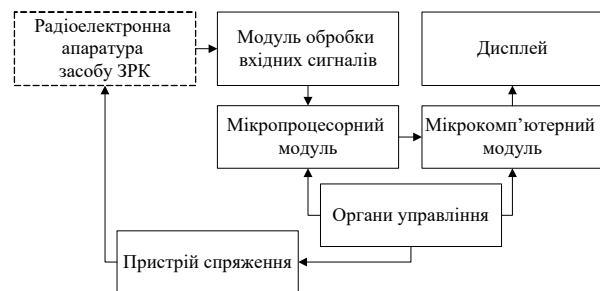


Рис. 1. Апаратна частина модернізованого індикаторного пристрою  
Джерело: розроблено авторами.

- мікропроцесорний модуль, основною функцією якого є оцифрування аналогових сигналів (якщо це не було зроблено раніше штатною апаратурою), проведення первинних перетворень оброблюваного сигналу, підготовка даних у форматі, необхідному для передачі їх до мікрокомп'ютерного модуля;

- мікрокомп'ютерний модуль, основною функцією якого є обробка інформації за визначеним алгоритмом у кожному з режимів роботи, підготовка даних для відображення на дисплеї;

- дисплей, основною функцією якого є відо-

браження інформації в залежності від режиму роботи індикаторного блоку (відображення радіолокаційної інформації, інформації про результати вирішення зонної задачі, кількість і тип ракет, відображення інтерактивної електронної експлуатаційної документації, відображення інформації від системи оптико-електронного спостереження, відображення інтерфейсу комплексу спеціалізованих інформаційно-розрахункових задач тощо);

– органи управління, основною функцією яких є вибір режиму роботи модернізованого індикаторного пристрою, введення величин змінюваних характеристик та параметрів відображення інформації тощо.

Можливості штатних органів управління засобу ЗРК, навіть при їх адаптації до модернізованого індикаторного пристрою, як правило, не дозволятимуть повністю реалізувати функціонал останнього. Введення додаткового комплексу органів управління окремо для модернізованого індикаторного пристрою поряд зі штатними є недоцільним з ергономічних міркувань. Тому актуальним є створення пристрою спряження сучасних органів управління (USB клавіатура, маніпулятори типу “миша”, “трекбол”, “джойстик”) з радіоелектронною апаратурою засобу ЗРК, що дозволить додатково модернізувати й штатні органи управління.

Програмна частина модернізованого індикаторного пристрою повинна містити (рис. 2):

– модуль обробки сигналів з виходу приймального пристрою, який перетворює відбиті аналогові сигнали у відповідну цифрову форму;

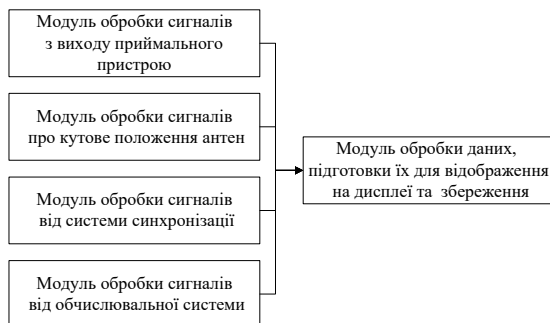


Рис. 2. Програмна частина модернізованого індикаторного пристрою

Джерело: розроблено авторами.

– модуль обробки сигналів про кутове положення антен, який перетворює аналогові сигнали (синусна та косинусна складові) у відповідну цифрову форму;

– модуль обробки сигналів від системи синхронізації, який визначає моменти початку і кінця відповідних перетворень;

– модуль обробки сигналів від обчислювальної системи, який перетворює цифрові сигнали з формату, який видається обчислювальною системою, у

формат, передбачений для подальшої обробки;

– модуль обробки даних, підготовки їх для відображення на дисплеї та збереження, який здійснює обробку інформації за визначеним алгоритмом у кожному з режимів роботи, підготовку даних з використанням визначеної графічної бібліотеки.

Якщо обмежитись обробкою відеосигналів, то з урахуванням характеристик сигналів, які мають місце у системах індикації засобів ЗРК, що стоять на озброєнні Збройних Сил України, для реалізації запропонованого підходу достатньо буде обрати:

– в якості модуля обробки сигналів – перетворювачі двополярних сигналів в однополярні, підсилювачі-обмежувачі, активні смугові фільтри на сучасній елементній базі (спеціалізовані мікросхеми, операційні підсилювачі AD8602 тощо);

– в якості мікропроцесорного модуля – сучасні ARM процесори на базі ядер Cortex M3 або Cortex M4 (SAM3X8E фірми ATMEL [8] або STM32F3, STM32F4 фірми STMicroelectronics [9] тощо);

– в якості мікрокомп’ютерного модуля – сучасні одноплатні комп’ютери (наприклад, Raspberry Pi [10], Orange Pi [11], ASUS Tinker Board [12], Hardkernel ODROID [13], Banana Pi [14] тощо);

– в якості дисплея – кольоровий дисплей (розміри залежатимуть від можливостей інтеграції у стійки з апаратурою робочих місць) з роздільною здатністю не менше як 800×600 пікселів на дюйм.

Для виконання заданих технічних вимог до засобів ЗРК модернізовані індикаторні блоки конструктивно повинні бути обладнані необхідними пристроями температурної стабілізації та віброгасіння.

## Висновки

Таким чином, запропонований підхід до модернізації індикаторних систем засобів ЗРК дозволить покращити ергономічні властивості та розширити їх функціональність. Реалізація такого підходу окрім основного позитивного ефекту дозволить:

– зменшити кількість налаштувань, регулювань блоків систем індикації, що скоротить кількість операцій при проведенні технічних обслуговувань і, як наслідок, тривалість їх проведення;

– зменшити номенклатуру елементів комплектів ЗПП, за рахунок використання в різних блоках однотипного апаратного забезпечення з різним програмним, тобто один пристрій замість десятків типів елементів (відхиляючі системи, спеціалізовані висковольтні трансформатори, помножувачі напруг тощо);

– покращити характеристики безвідмовності роботи блоків системи індикації, за рахунок кращої надійності сучасних пристроїв у порівнянні з тими елементами, що використовуються штатно в ЗРК.

## Список літератури

1. Офіціальний сайт CEZARIUM.COM. Пентагон модернізує F-22. – Режим доступу: <https://cezarium.com/f-22-modernizatsiya>.
2. Офіціальний сайт групи компаній “Связь и Радионавигация”. Замена ЭЛТ кинескопов у старих РЛС на ЖК дисплеї. – Режим доступу: [https://cirspb.ru/blog/other-articles/st\\_zamena\\_elt](https://cirspb.ru/blog/other-articles/st_zamena_elt).
3. Теорія озброєння. Науково-технічні проблеми та завдання. Т. 5. Воєнно-технічна політика України: формування, стан та шляхи удосконалення: монографія / І.Б. Чепков, В.В. Зубарєв, В.О. Смірнов [та ін.]. – К.: ВД Дмитра Бурого, 2017. – 448 с.
4. Колганов С.К. Ситуация в области элементной базы российского оружия выходит из-под контроля и становится угрозой национальной безопасности страны [Электронный ресурс] / С.К. Колганов, Э.Г. Лазаревич // Воздушно-космическая оборона. – 2008. – № 6. – Режим доступу: <http://www.vko.ru/konceptii/put-k-kristallu>.
5. Механізм заміни комплектуючих виробів озброєння та військової техніки сучасними аналогами нової техніки / І.Б. Чепков, Б.М. Ланецький, В.В. Лук'яничук, І.М. Ніколаєв // Наука і оборона. – 2012. – № 2. – С. 54-60.
6. Ніколаєв І.М. Пропозиції щодо порядку використання іноземної елементної компонентної бази в радіоелектронній апаратурі зенітного ракетного озброєння, за яким не здійснюється авторський нагляд / І.М. Ніколаєв // Озброєння та військова техніка. – 2018. – № 1. – С. 32-37.
7. Розробка інтерактивного електронного технічного керівництва самохідної вогневої установки 9A310M1 / В.В. Кобзєв, В.А. Васильєв, О.М. Доска, Д.В. Фоменко, М.П. Долина // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2018. – № 1(55). – С. 159-166. <https://doi.org/10.30748/zhups.2018.55.22>.
8. Офіціальний сайт MICROCHIP.COM. ATSAM3X8E – 32-bit SAM Microcontrollers. – Режим доступу: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATSAM3X8E>.
9. Офіціальний сайт ST.COM. STM32 32-bit Arm Cortex MCUs. – Режим доступу: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>.
10. Офіціальний сайт RASPBERRYPI.ORG. Raspberry Pi 4 Tech Specs. – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications>.
11. Офіціальний сайт ORANGEPI.ORG. Orange Pi Pc Plus. – Режим доступу: <http://www.orangepi.org>.
12. Офіціальний сайт ASUS.COM. Tinker Board S. – Режим доступу: <https://www.asus.com/Motherboards-Components/Single-Board-Computer/All-series/Tinker-Board-S>.
13. Офіціальний сайт ODROID.COM. ODROID Wiki. – Режим доступу: <https://wiki.odroid.com/start>.
14. Офіціальний сайт BANANA-PI.ORG. BPI-M5 Specification. – Режим доступу: <http://www.banana-pi.org/m5.html>.

Надійшла до редколегії 07.12.2020

Схвалена до друку 05.01.2021

### Відомості про авторів:

#### Кобзєв Владислав Володимирович

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
старший науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-0954-8887>

#### Васильєв Вадим Анатолійович

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
старший науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-5802-9111>

#### Фоменко Дмитро Володимирович

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3620-4297>

### Information about authors:

#### Vladislav Kobzev

Candidate of Technical Sciences  
Senior Research  
Senior Research Associate  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-0954-8887>

#### Vadym Vasiliev

Candidate of Technical Sciences  
Senior Research  
Senior Research Associate  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-5802-9111>

#### Dmytro Fomenko

Candidate of Technical Sciences  
Senior Research Associate  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3620-4297>

**Ряполов Іван Євгенович**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3139-1644>

**Ivan Ryapolov**

Candidate of Technical Science  
Senior Research Associate  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3139-1644>

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ  
СИСТЕМ ИНДИКАЦИИ СРЕДСТВ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

В.В. Кобзев, В.А. Васильев, Д.В. Фоменко, И.Е. Ряполов

*Перевод индикаторных устройств на новую элементную базу является перспективным путем их модернизации, который позволит обеспечить работоспособность изделий этого типа, пополнить соответствующие позиции в комплектах запасных частей и одновременно существенно расширить функциональность систем индикации. В статье акцентируется внимание на необходимости комплексной разработки аппаратной и программной реализации модернизированного индикаторного устройства, рассматриваются их состав и характерные особенности и определяется ориентировочный перечень современных основных элементов модернизированного индикаторного устройства. Также приводятся рекомендации по возможному использованию при модернизации индикаторных устройств отдельных типов современной элементной базы.*

**Ключевые слова:** зенитный ракетный комплекс, модернизированное индикаторное устройство, микропроцессоры, микрокомпьютеры.

**PROSPECTIVE WAYS OF MODERNIZATION  
OF INDICATION SYSTEMS FOR AIR DEFENSE COMPLEX**

V. Kobzev, V. Vasiliev, D. Fomenko, I. Ryapolov

*Element base replacement is a generally accepted trend in the modernization of surface-to-air missile systems and their components. At the same time, the systems modernization may be accompanied by an expansion of their functionality. Promising in this aspect is the replacement of indication blocks of surface-to-air systems, which were developed at the end of the XX century, with modern multifunctional indicators. The urgency of this replacement is due to the fact that the main element of existing indicators are monochrome electronic tubes (high cost of production, industrial enterprises have long ceased production of these products), their operation requires special modes, which are implemented using a large number of related electronic devices (specialized high-voltage transformers, voltage multipliers, etc.), stocks of electronic tubes and related devices that are part of the indicator units of surface-to-air missile systems in spare parts sets are not replenished for many years, their purchase is complicated by the fact that such surface-to-air missile systems are available only in Russian Federation or countries loyal to it, due to the gradual depletion of stocks of the above devices from the spare parts sets of surface-to-air missile systems, the need to urgently seek options for their replacement is only a matter of time. Substantiation of propositions for improving the indication systems of anti-surface-to-air missile systems is a necessary step towards the modernization of these systems. Modern development of technologies allows to significantly improve ergonomic properties and expand the functionality of indicator systems. First of all, it is to improve the perception of the displayed standard information and bring additional information to the indicator without increasing its size due to the use of color displays. Secondly, in the absence of the need for combat operations, the indicator can be additionally used as a monitor of the optoelectronic surveillance system (detection of unmanned aerial vehicles, ground protection of batteries positions), a means of displaying interactive electronic operational documentation to improve information support in combat readiness, a module for conducting tactical calculations using a set of specialized information and calculation tasks, etc. The article emphasizes that when creating an indicator device on a new element base, it is necessary to consider the hardware and software components of this process. The characteristics of each component are given. Taking into account the characteristics of signals that take place in the indication blocks of surface-to-air systems, which are using in the Armed Forces of Ukraine, an approximate list of modern basic elements of the modernized indicator device is determined. In addition, it is noted that the implementation of the proposed approach in addition to the main positive effect will reduce the number of settings, adjustments of units of indication systems (this will reduce the number of operations during maintenance and, consequently, their duration), reduce the range of spare parts set (different units with the same type of hardware but different software), to improve the performance characteristics of the units of the indication system (due to the better reliability of modern devices compared to those elements used in surface-to-air missile systems).*

**Keywords:** air defense complex, upgraded of indication systems, microprocessors, microcomputers.