

МЕТОДИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ БОРТОВИХ ЕОМ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Вступ. Проблема модернізації спеціальних бортових електронних машин (ЕОМ) військової техніки стала актуальною в 2014 році з початком антитерористичної операції. Модернізація спеціалізованих бортових ЕОМ військової техніки це складний і багатоетапний процес, що включає оновлення апаратного і програмного забезпечення, а також інтеграцію нових технологій. Спеціалізовані бортові ЕОМ використовуються у системах управління, навігації, радіолокації, зв'язку та інших критично важливих підсистемах бойових машин, літаків, кораблів і інших засобів техніки. Основні завдання модернізації це підвищення продуктивності, надійності, безпеки, сумісності з новими технологіями та інтеграція нових функцій. Модернізація бортових ЕОМ дозволяє значно підвищити ефективність, безпеку та боєздатність військової техніки, а також продовжити термін служби технічних засобів, які вже знаходяться на озброєнні.

Основні методи модернізації бортових ЕОМ:

1. Оновлення апаратної частини

Заміна процесорних і обчислювальних елементів.

Оскільки технології значно прогресують, заміна застарілих процесорів на новіші, більш потужні і енергоефективні дозволяє значно підвищити продуктивність бортових ЕОМ. Наприклад, можна переходити до багато-ядерних процесорів або спеціалізованих обчислювальних платформ (GPU, FPGA) для обробки великих обсягів даних у реальному часі.

Інтеграція нових елементів пам'яті. Заміна застарілих оперативних і постійних запам'ятовувальних пристроїв на новіші модулі пам'яті з вищою швидкістю і більшою ємністю, такі як DDR4, DDR5 або твердотільні накопичувачі (SSD), що забезпечить значне прискорення обробки даних.

Покращення зв'язку і передачі даних. Встановлення швидших інтерфейсів передачі даних, таких як PCIe 4.0/5.0, Ethernet 100Gb, для зменшення часу передачі інформації між компонентами ЕОМ, що важливо для оперативного ухвалення рішень у бойових умовах.

Необхідність модернізації військової техніки – ключовий процес здійснення вдосконалення та оновлення існуючого озброєння, бойових машин, засобів зв'язку, радіолокаційних і навігаційних систем для підвищення їх бойових властивостей, збереження їх ефективності в умовах швидко змінюваних технологій і загроз.

Ключові слова: модернізація, ЕОМ, військова техніка, спецобчислювач, пульт управління та індикації.

2. Оновлення програмного забезпечення

– *Модернізація операційних систем і базового програмного забезпечення.* Встановлення сучасних версій операційних систем, які підтримують новітні технології, протоколи зв'язку та програмні інтерфейси. Для бортових ЕОМ часто використовуються спеціалізовані ОС з реальним часом (RTOS), такі як VxWorks, QNX, або пізніші версії Linux.

– *Розширення можливостей програмного забезпечення.* Включення нових алгоритмів обробки даних, підвищення точності розрахунків і часу реакції на запити. Оновлення програм для взаємодії з новими датчиками, сенсорами, системами навігації і керування.

– *Забезпечення кібербезпеки.* Встановлення сучасних засобів шифрування, автентифікації та захисту від зовнішніх атак для забезпечення безпеки передавання даних і захисту від електронних атак (наприклад, від атак типу DDoS або спроб злому програмного забезпечення).

3. Інтеграція нових технологій

– *Використання штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання.* Інтеграція технологій ШІ дозволяє підвищити ефективність обробки даних, автоматизувати процеси прийняття рішень на основі аналізу великих обсягів інформації, покращити прогнозування та коригування бойових дій.

– *Використання нових сенсорів і датчиків.* Модернізація ЕОМ для підтримки інтеграції з новими типами датчиків: радіолокаційними, оптичними, тепловізійними, акустичними і іншими, що дозволяє поліпшити точність і надійність виявлення цілей та оцінки ситуації.

– *Інтеграція з безпілотними системами.* Бортові ЕОМ можуть бути модернізовані для більш ефективної взаємодії з безпілотними літальними апаратами (БПЛА) або іншими автономними системами, що дозволяє розширити можливості з розвідки, коригування вогню та забезпечення автоматизації бойових операцій.

4. Підвищення надійності і живучості

– *Використання високотехнологічних компонентів.* Встановлення елементів з покращеною стійкістю до екстремальних температур, вібрацій, електромагнітних перешкод і впливу радіації. Це особливо важливо для військової техніки, яка працює у складних і екстремальних умовах.

– *Вдосконалення систем охолодження.* Встановлення новітніх систем охолодження, що дозволяють зменшити перегрів компонентів, збільшити їх термін служби і зменшити ймовірність поломки у бойових умовах.

– *Захист від електромагнітних перешкод (ЕМП).* Оновлення схем електромагнітного захисту, таких як фільтрація та екранізація, для забезпечення працездатності бортових ЕОМ в умовах активної радіоелектронної боротьби.

5. Забезпечення інтероперабельності

– *Стандартизація інтерфейсів.* Модернізація бортових ЕОМ для забезпечення сумісності з іншими системами і компонентами національних та міжнародних рівнів. Це дозволяє техніці різних родів військ або країн працювати разом у рамках спільних операцій або миротворчих місій.

– *Підтримка нових стандартів зв'язку і протоколів.* Модернізація бортових систем для підтримки нових стандартів протоколів передачі даних (наприклад, IP, TCP/IP, MIL-STD-1553, ARINC 429), що дозволяє покращити ефективність зв'язку і обміну даними між різними системами техніки.

6. Оновлення засобів тестування і діагностики

– *Автоматизація тестування.* Впровадження нових засобів тестування та діагностики, що дозволяють своєчасно виявляти несправності та поліпшувати процес технічного обслуговування.

– *Забезпечення віддаленого моніторингу і управління.* Інтеграція систем моніторингу і діагностики, що дозволяють здійснювати віддалене спостереження за станом бортових ЕОМ, оперативно здійснювати коригування і оновлення програмного забезпечення без необхідності фізичного доступу до техніки.

Об'єкт дослідження

У 2015 році виникла потреба модернізувати спеціалізований обчислювач 1В57 РЛС контрбатарейної боротьби АРК-1 (1РЛ239 «Рись»). У ході досліджень з'ясувалось, що спеціалізований обчислювач 1В57 (рис. 1) у різних варіантах встановлювався й на інші комплекси, які стоять на озброєнні Збройних сил України, а також на машини технічного обслуговування та перевірки таких комплексів.



РИС. 1. Спецобчислювач 1В57

Зокрема, модернізований спецобчислювач 1В57 є штатною ЕОМ у складі наступних видів озброєнь та засобів розвідки:

- РЛС контрбатарейної боротьби АРК-1 «Рись» (1РЛ239) (рис. 2);
- автоматизований звукометричний комплекс пасивної дії АЗК-5 «Тембр» (1Б17);
- автоматизований звукометричний розвідувальний комплекс АЗК-7 «Мезотрон» (1Б33);
- тактичний ракетний комплекс «Точка» (7К79).

Технічні характеристики ЕОМ:

- частота центрального процесора 100 кГц;
- оперативна пам'ять 1 МБ;
- розрядність 24 біт;
- типів операцій 31;
- 3 види пам'яті: постійна (ДЗУ), оперативна (ОЗУ) та констант (ДЗУС).

Надалі 1В57 було розвинуто у сімейство ЕОМ "Аргон", виробництво якого велося Кишинівським радіотехнічним заводом.



РИС. 2. РЛС контрбатареїної боротьби АРК-1 «Рись» (1РЛ239)

Методи модернізації спеціалізованих ЕОМ

Обчислювач було модернізовано з використанням сучасних електронних компонент, що дозволило значно зменшити розмір, збільшити надійність роботи та продуктивність.

Модель центрального обчислювального пристрою

Для здійснення модернізації було обрано метод повної віртуалізації, тобто створення віртуальної машини, що працює на базі сучасного мікроконтролера, яка виконує оригінальне програмне забезпечення, повторюючи весь набір процесорних операцій:

- логічних;
- цілочисельної арифметики;
- з плаваючою точкою;
- роботи з пам'яттю всіх типів;
- переходу, зупинки тощо.

Для вирішення цієї задачі було створено невелику операційну систему реального часу для мікроконтролера Atmel Sam3x, яка забезпечувала роботу периферії, інтерфейсу користувача та основної складової – віртуальної машини.

У процесі досліджень було визначено, що таймінги роботи процесорних команд не впливають на коректність роботи ЕОМ у складі комплексу, тому час роботи процесорних команд не приводився у відповідність до оригінальної ЕОМ, а натомість був реалізований із максимальною швидкістю, яку дозволив сучасний мікроконтролер.

Модель пам'яті

Оскільки оригінальне машинне слово має розмір 28 біт і не має відповідників у сучасних комп'ютерних архітектурах та типах даних, як контейнер було взяте 32-бітне слово сучасного мікроконтролера.

Моделювання пам'яті було виконано трьома способами, що відповідають їх типам: ДЗУ (постійна), ОЗУ (оперативна), ДЗУС (констант).

Для постійної пам'яті було виділено місце в області програм та даних, реалізоване у вигляді масивів констант, які відповідають банкам пам'яті оригінальної ЕОМ.

Оперативна пам'ять моделювалась масивом 32-бітних цілих чисел відповідного розміру.

Пам'ять констант має зберігатись при перевантаженні ЕОМ, тому для її моделювання було обрано вільний банк флеш-пам'яті.

Моделювання переривань

У процесі досліджень виявилось, що операційна система реального часу оригінальної ЕОМ в основній своїй частині має реактивну архітектуру, тобто не має головного циклу опитування периферійних пристроїв, а натомість базується на перериваннях, і обробники переривань виконують всі необхідні дії у режимі бойової роботи.

Система переривань моделювалась з використанням підсистеми переривань мікроконтролера та слова із бітовими ознаками переривань, що відповідає оригінальній реалізації, з тією лише різницею, що в ЕОМ слово з ознаками переривань є апаратним регістром.

Модель блоку обміну

Блок обміну є складовою ЕОМ, яка забезпечує взаємодію із зовнішніми пристроями. Підсистема вводу-виводу має три групи:

- система разових команд;
- магістраль вводу-виводу;
- система зчитування ознак.

Загалом система обміну здійснюється за принципом адрес абонентів, спершу звертаючись до них командою СІ, а далі виконується запис чи читання (ЧВУ та ЗВУ), відповідно до функції абонента.

Адреси абонентів можуть бути внутрішні, до яких відносяться цифровий індикатор, позиційні перемикачі, підсистеми разових команд і ознак, та зовнішні, з якими відбувається обмін магістраллю вводу-виводу.

Блок обміну моделювався ретельно вираженими за таймінгом реалізаціями команд ЧВУ та ЗВУ, які відповідно до попередньо заданої адреси взаємодіяли з віртуальними чи реальними пристроями.

Пульт управління та індикації

Пульт оригінальної ЕОМ складається з цифрових індикаторів, багатопозиційних перемикачів і тумблерів. Його слабким місцем є велика кількість механічних контактів та відповідно невисока надійність. Модель пульта управління та індикації було створено на основі кольорового сенсорного екрану з віртуальними елементами керування та індикації, які відображаються на ньому. Апаратно дублювались лише найбільш вживані кнопки для більшої зручності операторів.

Дослідний зразок

На основі запропонованих моделей було розроблено конструкторську документацію та виготовлено першу серію екземплярів модернізованого обчислювача 1В57М (рис. 3) на сучасних електронних компонентах та мікропроцесорах. 1В57М за своїми технічними характеристиками повністю відповідає 1В57, при цьому має значно більшу надійність та тривалість безперервної роботи. 1В57М надійшов для перевірки до бригад ЗСУ, які працювали у зоні АТО/ООС де показав високі показники надійності на швидкодії.



РИС. 3. Модернізований 1B57М

Метод часткової віртуалізації

З початку повномасштабного вторгнення було досліджено роботу спеціальної частини ракетного комплексу 9К79 “Точка” з метою розроблення конструкторської документації для виготовлення блоків ОЗУ та ДЗУ обчислювача 1B57 (рис. 4).

З огляду на стислі строки та виняткову важливість задачі було запропоновано метод часткової віртуалізації ЕОМ, коли віртуалізується не весь виріб, а лише проблемні складові.

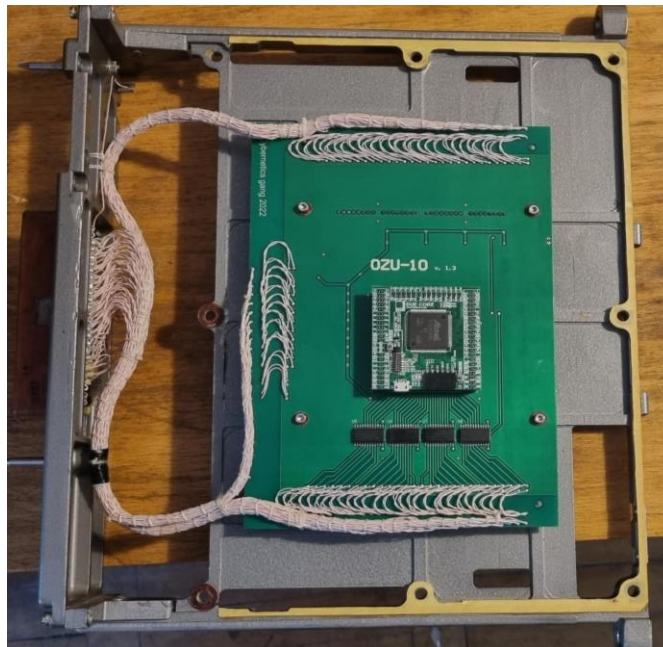


РИС. 4. Блок оперативної пам'яті ОЗУ

Відремонтовані та оновлені пускові установки “Точка” беруть участь у бойових діях та є найбільшим доступним для ЗСУ засобом ураження на даний час.

Результати

Запропоновані методи модернізації дозволяють проводити поступову модернізацію зразків озброєння шляхом підвищення надійності, додаванням сучасних методів комунікації.

Проведена робота дозволила у критичний для війни момент та стислі терміни відновити боєздатність важливих для ЗСУ пускових установок “Точка”, аналогів яких на озброєнні у той час не було. Однак слід зазначити, що досягнення швидкого результату для “Точки” зумовлено тривалими дослідженнями, експериментами та досвідом, здобутими для АРК-1 та АЗК-7, а також конструкторською документацією на обчислювач 1В57, комплекси АРК-1, АЗК-7 та “Точка”.

Передумовою для успішного виконання досліджень запропонованими методами є наявність документації на виріб, та доступ до хоча б частково працюючої ЕОМ у складі виробу.

Етапність дослідних робіт пропонується таким чином:

- провести повне дослідження діючого комплексу ЕОМ, визначити функціональне призначення та режими роботи всіх роз’ємів введення та виведення даних;
- виготовити спеціалізовані перехідні плати, та зняти з їх допомогою епюри вхідних та вихідних сигналів кожного з контактів роз’ємів;
- розробити дослідний зразок ЕОМ, що дозволить перевірити вищевизначені параметри роботи;
- провести дослідження відповідності дослідного зразка та оригінального виробу шляхом проходження регламентного самотестування обчислювального комплексу;
- розробити прототип ЕОС та індикації в основному конструктиві, із врахуванням особливості ергономіки та розташування у складі комплексу;
- провести тестування прототипу пульта, визначити та виправити невідповідності;
- підготувати новий виріб у виробництво у взаємодії із технологами та іншими фахівцями.

Варто також підкреслити, що такі роботи не замінюють задачі розробки нових зразків озброєння і не зважаючи на позитивний результат, у роботі було досягнуто лише відновлення боєздатності у межах локального “латання дір” без істотного покращення ТТХ комплексу в цілому, за виключенням хіба що збільшення часу безперервної роботи та надійності модернізованого обчислювача. Фундаментальні методи вимірювання АЗК-7, їх точність та якість класифікації артилерійської зброї не покращились. Аналогічно з комплексом “Точка”: точність та дальність ураження ракетою не змінились. Задача була виконана у межах початкового ТЗ.

Висновки

1. Усі функції та програми оригінальної ЕОМ 1В57 збережено у модернізованій версії.
2. Модернізацію було проведено без застосування російських комплектуючих.
3. Модернізація зробила можливість модульної заміни та ремонту у польових умовах.
4. Значно зменшено розмір, вагу та споживання електроенергії виробу.
5. Модернізований обчислювач було протестовано під час стрільб на полігоні та у зоні бойових дій.
6. Досягнуті результати можливо масштабувати на інші зразки озброєння, які не містять обчислювач 1В57. Однак для них доведеться проходити весь шлях спочатку, від вивчення документації і дослідження схемотехніки та принципів роботи ЕОМ.

Авторські внески. Головинський А.Л. – дослідження, концептуалізація, методологія, формальний аналіз, написання – оригінальна чернетка; Кравченко Н.В. – методологія, ресурси, написання – рецензування та редагування; Маленко А.Л. – формальний аналіз, узагальнення, концептуалізація, програмне забезпечення, візуалізація.

Список літератури

1. Писаренко Т.В. Глобальні технологічні тренди у сфері озброєння та військової техніки. Київ: УкрІНТЕІ, 2020. 89 с. http://www.uitei.kiev.ua/sites/default/files/ozbron_tech_0.pdf (звернення: 30.11.2024)
2. Жирний В.А., Кузін С.Є., Панков С.А. Науково-технічне супроводження підконтрольної експлуатації озброєння та військової техніки що пройшли випробування. *Збірник наукових праць Військової академії*. Одеса: ВА, 2017. Вип. 1. 104 с. https://nangu.edu.ua/uploads/files/documenty/Naukova%20diyalnist/naukovu%20forumy/2020/konf_2020.pdf (звернення: 30.11.2024)

Одержано 30.11.2024

Головинський Андрій Леонідович,

завідувач лабораторії, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0009-0008-7185-3293>

Кравченко Наталія Володимирівна,

кандидат економічних наук, інженер-програміст 1 категорії
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0009-0009-5404-8150>

Маленко Андрій Леонідович,

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0009-0007-9188-9827>

УДК 004.38

А.Л. Головинський, Н.В. Кравченко *, А.Л. Маленко

Методи модернізації спеціалізованих бортових ЕОМ військової техніки

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ

* Листування: icybcluster@gmail.com

Вступ. Проблема модернізації спеціальних бортових електронних машин (ЕОМ) військової техніки стала актуальною в 2014 році з початком антитерористичної операції. Модернізація спеціалізованих бортових ЕОМ військової техніки це складний і багатоетапний процес, що включає оновлення апаратного і програмного забезпечення, а також інтеграцію нових технологій.

Мета роботи. Модернізація бортових ЕОМ дозволяє значно підвищити ефективність, безпеку та боєздатність військової техніки, а також продовжує термін служби технічних засобів, які вже знаходяться на озброєнні. Використовуючи сучасні електронні компоненти та застосовуючи методи модернізації можна значно зменшити розмір, збільшити надійність роботи та продуктивність ЕОМ військової техніки (на прикладі ЕОМ 1В57).

Результати. Такі методи модернізації як оновлення апаратної частини, оновлення програмного забезпечення, інтеграція нових технологій, підвищення надійності та живучості, забезпечення інтероперабельності, оновлення засобів тестування та діагностики тощо дозволяють проводити поступову модернізацію зразків озброєння шляхом підвищення надійності, додаванням сучасних методів комунікації.

Висновки. Отже, проведена модернізація ЕОМ 1В57 була здійснена без російських комплектуючих, також значно зменшено розмір, вагу та споживання електроенергії виробу. Досягнуті результати можливо масштабувати на інші зразки озброєння, які не містять обчислювач 1В57. Однак для них доведеться проходити весь шлях спочатку, від вивчення документації, дослідження схемотехніки та принципів роботи ЕОМ.

Ключові слова: модернізація, електронні обчислювальні машини (ЕОМ), методи модернізації, спецобчислювач 1В57, пульт управління та індикації.

UDC 004.38

Andrii Golovynskyi, Nataliia Kravchenko *, Andrii Malenko

Methods for Upgrading Specialized On-Board Computers of Military Equipment

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv

* *Correspondence: icybcluster@gmail.com*

Introduction. The problem of modernizing special onboard electronic machines of military equipment became relevant in 2014 with the start of the anti-terrorist operation in Ukraine. Modernization of specialized onboard computers of military equipment is a complex and multi-stage process, which includes updating hardware and software, as well as integrating new technologies.

The purpose. Modernization of on-board computers allows to significantly increase the efficiency, safety and combat capability of military equipment, as well as extend its service life. Using modern electronic components and applying modernization methods, it is possible to significantly reduce the size, increase the reliability and productivity characteristics.

Results. Such modernization methods as hardware and software upgrades, integration of new technologies, increasing reliability and survivability, ensuring interoperability, updating testing and diagnostic tools, etc. allow for the gradual modernization of weapons models by increasing reliability and adding modern communication methods.

Conclusions. The modernization of the 1B57 computer was made without Russian components, and the size, weight and power consumption of the system were significantly reduced. The achieved results can be extended to other weapons models that do not contain the 1B57 computer. However, for them you will have to go all the way from the beginning, from studying the documentation, the circuitry and principles of operation of the computer.

Keywords: onboard electronic machines, 1B57 computer, military computer upgrade.