

Формування нормативної моделі життєвого циклу військових наземних роботизованих комплексів

Forming a Regulatory Model of the Life Cycle for Military Ground Robotic Systems

Андрій Дядечко ^A

Corresponding author: доктор філософії, начальник науково-дослідного відділу проблем супроводження експлуатації інформаційних систем, e-mail: andrewvvs@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0191-8326

Andrii Diadechko ^A

Corresponding author: PhD, Head of the Research Department on Information Systems Support and Operation Issues, e-mail: andrewvvs@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0191-8326

Віталій Зуйко ^A

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геопросторової підтримки та застосування космічних систем, e-mail: vitalikzu@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1439-9502

Vitalii Zuiko ^A

Candidate of Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Geospatial Support and Space Systems Application Department, e-mail: vitalikzu@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1439-9502

^A Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

^A National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: August 15, 2025 | Revised: August 21, 2025 | Accepted: August 31, 2025

DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.4.9>

Мета роботи. Обґрунтування підходів до формування нормативної моделі життєвого циклу військових наземних роботизованих комплексів з урахуванням їхніх технологічних і функціональних особливостей, а також аналіз обмежень чинних нормативних документів щодо систем керування життєвим циклом озброєння та військової техніки.

Метод дослідження. Застосовано системний аналіз нормативної бази у сфері озброєння та військової техніки, а також порівняльний аналіз загальноприйнятих моделей життєвого циклу.

Результати дослідження. Розроблено адаптовану нормативну модель життєвого циклу військових наземних роботизованих комплексів, яка враховує необхідність гнучкої інтеграції швидких циклів модернізації, особливості управління конфігурацією, забезпечення підтримки програмного забезпечення та експлуатацію в умовах динамічних тактичних змін.

Теоретична цінність дослідження. Дослідження розширює теоретичну базу щодо нормативного регулювання життєвого циклу перспективних видів озброєння та військової техніки та сприяє подальшій розробці національних стандартів з урахуванням нових класів бойових систем.

Практична цінність дослідження. Запропонована модель може бути використана під час розроблення технічних завдань, програм випробувань, документів супроводження життєвого циклу та нормативних актів, що регулюють поставлення на озброєння та логістичне забезпечення військових наземних роботизованих комплексів.

Оригінальність дослідження. Полягає у поєднанні традиційного нормативного підходу з концепціями гнучкого управління життєвим циклом для кіберфізичних систем, а також у структурному розділенні життєвого циклу на апаратну й програмну підсистеми в межах однієї моделі.

Тип статті. Аналітично-дослідницька стаття.

Purpose. To substantiate approaches to the development of a regulatory life cycle model for military ground robotic systems, taking into account their technological and functional specificities, as well as to analyze the limitations of current regulatory documents on life cycle management of weapons and military equipment.

Method. The study applies a systems analysis of national regulatory standards in the field of weapons and military equipment, along with a comparative analysis of commonly used life cycle models.

Findings. An adapted regulatory life cycle model for military ground robotic systems is developed. The model accounts for the need for rapid modernization cycles, configuration management features, software support, and operation under dynamic tactical conditions.

Theoretical implications. The research expands the theoretical framework for regulatory control of the life cycle of advanced military systems and contributes to the development of national standards tailored to new classes of combat platforms.

Practical implications. The proposed model can be used in the development of technical requirements, testing programs, life cycle documentation, and regulatory acts governing the adoption and logistical support of military ground robotic systems.

Originality. Originality lies in the integration of traditional regulatory approaches with agile life cycle management principles for cyber-physical systems, and in the structural separation of hardware and software life cycles within a unified model.

Paper type. Analytical and research article.

Ключові слова: наземні роботизовані комплекси, життєвий цикл, нормативна модель, озброєння та військова техніка.

Key words: ground robotic systems, life cycle, regulatory model, weapons and military equipment.

Вступ

Сучасні тенденції розвитку озброєння та військової техніки (ОВТ) свідчать про стрімке зростання ролі наземних роботизованих комплексів (НРК) у забезпеченні бойових дій, охороні об'єктів, розвідці, логістиці та інших завданнях. Завдяки поєднанню автономних та дистанційно керованих функцій, такі системи значно розширюють можливості підрозділів у тактичній і оперативній площинах. Водночас, впровадження НРК вимагає принципово нових

підходів до управління їх життєвим циклом (ЖЦ), які мають враховувати кіберфізичну природу цих систем, динамічність оновлення програмного забезпечення, швидкі темпи морального старіння окремих компонентів, а також вимоги щодо адаптивного супроводження в умовах змінної тактичної обстановки.

Теоретичні основи дослідження

Розроблення та впровадження військових НРК відбувається в умовах стрімкого розвитку кіберфізичних систем (КФС), високої технологічної динаміки та необхідності нормативного регулювання ЖЦ. Теоретичні основи дослідження формуються на перетині концепцій управління ЖЦ ОВТ, моделювання КФС, стандартів оборонного призначення (зокрема ДСТУ В 15.003:2021 [1] та ДСТУ В 15.004:2022 [2]), а також сучасних наукових підходів [3-10] до створення та супроводу складних систем подвійного і військового призначення.

У вітчизняному науково-технічному просторі питання НРК набуває все більшої актуальності. У працях [3, 4] підкреслено необхідність системного підходу до класифікації НРК, з урахуванням їх масогабаритних характеристик, рівня автономності та типів бойового застосування. Вказані дослідження окреслюють функціональні та структурні відмінності НРК порівняно з традиційними зразками ОВТ, що вимагає адаптації або перегляду існуючих моделей ЖЦ.

З позицій технічного моделювання та розроблення, у роботах [5, 6] подано аналітичні та симуляційні методи оцінювання кінематичних характеристик роботизованих платформ, що слугують підґрунтям для формалізації та уніфікації підетапів ЖЦ, зокрема у частині верифікації конструкції, етапів адаптації до умов експлуатації та технічного супроводу.

Інший важливий аспект – забезпечення інформаційної безпеки та конфігураційної цілісності протягом усього ЖЦ. Цю проблему розглядають автори у роботі [7], в якій пропонують системний підхід до керування ЖЦ інформаційної безпеки систем через моделі DevSecOps та оцінку динаміки загроз. Оскільки НРК — це кіберфізичні системи, що містять сенсорні, виконавчі, комунікаційні й програмні компоненти, питання безпеки слід розглядати не як окрему фазу, а як наскрізний процес ЖЦ.

Міжнародні дослідження [8-10] висвітлюють концепцію інтеграції безпеки, адаптивної архітектури та цифрових двійників як інструментів оптимізації ЖЦ КФС. Наприклад, моделі CLOPA дозволяють враховувати ризики на кожному етапі розробки та використання КФС, що прямо корелює з вимогами до військових НРК у змінному тактичному середовищі.

Таким чином, у контексті формування нормативної моделі ЖЦ військових НРК доцільно спиратися на такі теоретичні засади:

ієрархічну структуру життєвого циклу згідно з положеннями ДСТУ В 15.003:2021 та ДСТУ В 15.004:2022;

урахування специфічних характеристик НРК (автономність, мобільність, керованість), як це обґрунтовано у вітчизняних роботах;

модельно-орієнтовані методики (Model-Driven Engineering, цифрові двійники) для інтеграції розробки, тестування та експлуатації;

принципи наскрізного забезпечення кібербезпеки;

інституційно-нормативне обґрунтування — як підстава для адаптації моделі до умов застосування у ЗС України.

Постановка проблеми

У сфері військового озброєння НРК становлять окремий клас техніки, що відрізняється високим рівнем інтеграції апаратного забезпечення, програмного керування та функціональної адаптивності до умов бойового застосування. Однак на практиці впровадження таких систем

супроводжується відсутністю цілісної нормативної моделі їх ЖЦ, яка б враховувала специфіку їх кіберфізичної природи та сучасних вимог до військової робототехніки.

Чинні нормативні документи визначають загальні підходи до управління ЖЦ ОВТ, однак не деталізують особливості ЖЦ систем із гнучкою архітектурою, високим рівнем автономності та інтенсивною взаємодією з інформаційно-телекомунікаційними мережами. Зокрема, існує низка ключових методологічних та прикладних прогалин:

відсутність чіткого розмежування між етапами розроблення апаратної частини й програмного забезпечення НРК;

невизначеність процесів інтеграції, тестування, сертифікації та експлуатаційного супроводу систем подвійного (технічного та інформаційного) характеру;

недостатнє нормативне закріплення методів цифрового моделювання, симуляції, створення цифрових двійників;

ігнорування сучасних підходів до безперервного вдосконалення функцій безпеки та адаптивності систем в умовах змін тактичної обстановки;

розрив між практикою створення НРК і наявною нормативною документацією з боку замовника.

Крім того, досвід провідних країн засвідчує ефективність модульного, конфігураційного та ризик-орієнтованого підходів до управління ЖЦ кіберфізичних систем, проте в українській системі оборонного управління ці підходи ще не стандартизовані.

Таким чином, актуальною науково-прикладною проблемою є обґрунтування та формалізація нормативної моделі ЖЦ НРК, яка відповідала б вимогам до адаптивності та масштабованості систем, принципам наскрізної кібербезпеки, необхідності стандартизованого супроводу на всіх етапах ЖЦ — від ініціації до завершення експлуатації.

Методологія дослідження

Методологічна база дослідження сформована на основі міждисциплінарного підходу, що поєднує принципи системного аналізу, нормативної інженерії, кіберфізичного моделювання та теорії ЖЦ складних технічних систем.

В межах дослідження застосовано такі основні методи:

Системний аналіз — для ідентифікації ключових етапів, процесів і взаємозв'язків у ЖЦ військових НРК, а також для формалізації структури ЖЦ як цілісної системи з ієрархічною організацією.

Порівняльно-нормативний аналіз — для вивчення положень чинних стандартів (зокрема ДСТУ В 15.003:2021, ДСТУ В 15.004:2022) з метою визначення їх відповідності специфіці НРК, а також для виявлення регуляторних прогалин і невідповідностей в існуючих моделях ЖЦ.

Елементи Model-Based Systems Engineering (MBSE) — як методологічний підхід для побудови концептуальної моделі ЖЦ НРК із врахуванням специфіки КФС, зокрема — циклів розроблення, верифікації, сертифікації, супроводу та виводу з експлуатації.

Функціонально-логічне моделювання — для структурування життєвого циклу НРК у вигляді набору послідовних, взаємопов'язаних процесів (із виділенням фаз, підетапів, зворотних зв'язків і точок контролю).

Експертно-аналітичний підхід — на основі аналізу наукових публікацій, технічних описів і досвіду застосування НРК у ЗС України та збройних силах інших країн, із залученням опосередкованих оцінок через відкриті джерела.

Крім того, дослідження опирається на концепцію ЖЦ КФС, що використовується у провідних міжнародних підходах (зокрема, Cyber LOPA, DevSecOps для CPS), а також на принципи безперервної модернізації, конфігураційного управління та наскрізного забезпечення кібербезпеки.

Загальна логіка дослідження реалізована у вигляді послідовних етапів:

1. Аналіз чинної нормативної бази з питань ЖЦ ОВТ.
2. Ідентифікація особливостей військових НРК як об'єктів кіберфізичної природи.
3. Виявлення регуляторних та методичних обмежень існуючих моделей ЖЦ.
4. Формування вимог до адаптованої моделі ЖЦ НРК.
5. Розроблення концептуальної нормативної моделі ЖЦ військових НРК.

Таким чином, обґрунтована методологія дозволяє не лише виявити невідповідності існуючих підходів до ЖЦ сучасним характеристикам роботизованих комплексів, але й запропонувати практичну модель, що може бути покладена в основу майбутнього нормативного документа оборонного призначення.

Результати

На першому етапі дослідження було здійснено системний аналіз нормативної бази, що регламентує процеси управління ЖЦ ОВТ в ЗС України. Основну увагу зосереджено на положеннях двох ключових документів — ДСТУ В 15.003:2021 та ДСТУ В 15.004:2022, які визначають відповідно процеси управління ЖЦ ОВТ та структурно-фазову модель його ЖЦ.

ДСТУ В 15.003:2021 регламентує набір процесів, що реалізуються на всіх етапах ЖЦ ОВТ — від ініціювання потреби до завершення експлуатації. Документ передбачає класифікацію процесів ЖЦ на основні, допоміжні та організаційні, і містить формалізований підхід до їх узгодження, управління та документального супроводу. Водночас, акцент зроблено на традиційні типи ОВТ, у яких домінує апаратна (фізична) компонента, а процеси розроблення програмного забезпечення розглядаються побічно — як допоміжні або супровідні.

ДСТУ В 15.004:2022, у свою чергу, встановлює етапну модель ЖЦ ОВТ, що включає стадії: формування концепції, дослідно-конструкторські роботи, підготовку виробництва, серійне виробництво, постачання, експлуатацію, ремонт, модернізацію та списання. Хоча в документі формально закладено можливість уточнення змісту стадій з урахуванням особливостей конкретного виду озброєння, він не передбачає спеціального трактування складних технічних систем кіберфізичної природи, таких як НРК.

Проведений аналіз дозволив виявити низку важливих обмежень чинної нормативної бази з точки зору її придатності для регламентування ЖЦ НРК:

По-перше, відсутнє розмежування між розробкою апаратної платформи та створенням програмного забезпечення, яке відіграє ключову роль у функціонуванні НРК. Програмна частина, що забезпечує автономне керування, адаптацію до середовища, виявлення об'єктів тощо, на практиці має окрему логіку створення, тестування та оновлення, яка не відображена в існуючих регламентуючих документах.

По-друге, етапи ЖЦ не враховують ітеративності та циклічності процесів, характерних для сучасних технологій створення складних систем. У життєвому циклі НРК критично важливо забезпечити можливість багаторазового оновлення програмного забезпечення, повторного тестування, впровадження нових алгоритмів керування — тобто передбачити адаптивну модель із численними зворотними зв'язками, чого немає в чинній лінійно-послідовній структурі.

По-третє, ігнорується роль цифрових технологій управління конфігурацією, таких як цифрові двійники, цифрові паспорти та інструменти симуляції, які мають принципове значення для експлуатації НРК у бойових умовах. На рівні стандартів ці процеси поки не формалізовані.

По-четверте, не регламентовано питання безперервного моніторингу та технічної адаптації, які є критичними для КФС, особливо у військовому середовищі з високим рівнем динамічності та непередбачуваності загроз.

Таким чином, проведений нормативний аналіз засвідчив, що чинна модель управління ЖЦ ОБТ не дозволяє повною мірою врахувати специфіку НРК як кіберфізичних систем, які поєднують в собі фізичні, програмні та інформаційно-телекомунікаційні компоненти. Це стало передумовою до формулювання наступного етапу дослідження — виокремлення ключових особливостей НРК як об'єктів з особливою архітектурною та функціональною природою.

Наступним етапом дослідження стало визначення ключових техніко-функціональних та архітектурних особливостей військових НРК, що відрізняють їх від класичних зразків ОБТ. Це дало змогу уточнити вимоги до нормативної моделі їхнього ЖЦ, яку необхідно адаптувати до сучасних технологічних реалій.

НРК за своєю сутністю є складними кіберфізичними системами. У них органічно поєднуються апаратна частина (мобільна платформа, сенсори, засоби ураження), програмна частина (вбудоване програмне забезпечення, алгоритми автономного керування, інтерфейси взаємодії) та інформаційно-телекомунікаційна складова (засоби зв'язку, захищені канали управління, інтеграція в мережоцентричне середовище).

До основних характеристик НРК, що суттєво впливають на вимоги до моделі їхнього ЖЦ, належать:

1. Кіберфізична архітектура. НРК є системами, де фізичні процеси та дії керуються, координуються і адаптуються в реальному часі за допомогою цифрових алгоритмів. Система прийняття рішень працює на основі даних від сенсорів, відеокамер, LIDAR- або RADAR-систем, які обробляються onboard-комп'ютерами з високою обчислювальною здатністю. Це означає, що оновлення програмного забезпечення чи зміна алгоритмів може радикально змінити поведінку НРК, без фізичного втручання у його конструкцію.

2. Модульність і масштабованість. Більшість сучасних НРК проектується за модульним принципом, що дозволяє змінювати сенсорне навантаження, замінювати виконавчі модулі (наприклад, зброю або системи транспортування), додавати нові програмні функції або комунікаційні інтерфейси. Це створює виклики для управління конфігурацією та відстеження змін протягом усього ЖЦ.

3. Інтенсивне використання програмного забезпечення. На відміну від класичних зразків ОБТ, НРК залежні від постійно оновлюваного ПЗ, яке може містити десятки або сотні тисяч рядків коду. До програмної частини НРК входять: система навігації, розпізнавання об'єктів, планування маршрутів, системи ухвалення рішень, засоби самоадаптації тощо. Тому управління ПЗ стає окремим і повноцінним процесом у ЖЦ, що має бути нормативно врегульовано.

4. Необхідність безперервного цифрового моніторингу. Функціонування НРК вимагає постійного віддаленого контролю стану апаратних вузлів, програмного забезпечення, батарей, зв'язку. Цей контроль зазвичай здійснюється через захищені канали та цифрові інтерфейси. У перспективі застосування цифрових двійників дозволить симулювати поведінку НРК в умовах, наближених до реальних, що потребує включення таких цифрових засобів до нормативної моделі ЖЦ.

5. Високий рівень кіберзалежності та вимоги до кіберзахисту. НРК функціонують у середовищі інформаційної боротьби, тому забезпечення стійкості до кібератак, захист каналів управління, криптографічна безпека, верифікація коду та перевірка цілісності ПЗ стають обов'язковими елементами експлуатації. Таким чином, функції кіберзахисту мають бути закладені в усі етапи ЖЦ, починаючи з проектування.

6. Адаптивність до динамічного бойового середовища. На відміну від статичних або прогнозованих умов застосування звичайного ОБТ, НРК діють у мінливому, непередбачуваному середовищі, що вимагає від них здатності до адаптації. Це обумовлює потребу в частих оновленнях функціоналу, гнучкому плануванні місій та зміні конфігурацій — усе це має бути передбачено на рівні ЖЦ.

Таким чином, НРК є високотехнологічними гібридними системами, ЖЦ яких вимагає зовсім іншого підходу до управління, ніж класичний лінійний. Ідентифіковані ознаки обґрунтовують необхідність трансформації чинної нормативної моделі ЖЦ відповідно до парадигми безперервного, адаптивного, цифрово-керованого ЖЦ.

Після ідентифікації характерних ознак НРК як кіберфізичних систем, наступним логічним кроком стало співставлення цих вимог із чинними нормативними та методичними підходами до управління ЖЦ ОВТ. Метою даного етапу було визначення тих регуляторних розривів, які обмежують ефективну інтеграцію НРК у діючу систему забезпечення ЖЦ в секторі безпеки і оборони України.

Аналіз нормативно-методичних документів, а також супровідних документів, які регламентують постановку ОВТ на виробництво, організацію дослідно-конструкторських робіт, вимоги до експлуатації та ремонту, виявив низку суттєвих обмежень, які знижують адаптивність чинної моделі ЖЦ до умов функціонування НРК.

По-перше, це лінійна структура життєвого циклу. Чинна нормативна модель ЖЦ ОВТ передбачає переважно лінійну послідовність етапів: від формування потреби — до списання. Такий підхід є ефективним у випадку техніки зі стабільною апаратною структурою та мінімальною динамікою оновлення. Проте НРК, як кіберфізичні системи, вимагають циклічної (ітеративної) моделі, що враховує часті оновлення програмного забезпечення, конфігурацій апаратних модулів, зміну призначення або тактики застосування. В існуючій моделі такі ітерації або не передбачені, або трактуються як винятки (модернізація, ремонт), що не відповідає їх системній природі.

Наступне обмеження це інтеграція цифрових процесів лише на рівні експлуатації. Незважаючи на визнання значення цифрових технологій у супроводі ЖЦ ОВТ, їх роль у чинних стандартах здебільшого обмежена етапом експлуатації (звітування, технічна діагностика тощо). Водночас НРК потребують цифрового супроводу на всіх етапах життєвого циклу, зокрема — у формі цифрових моделей, верифікаційних платформ, цифрових двійників, моделей місії, симуляцій середовища. Відсутність нормативної вимоги щодо використання таких інструментів у фазах розроблення та тестування унеможливорює комплексну перевірку поведінки НРК до моменту його бойового застосування.

Також має місце неврегульованість управління конфігурацією та оновленням ПЗ в існуючій моделі ЖЦ ОВТ. НРК функціонують у реальному часі за рахунок високодинамічного програмного забезпечення, яке може змінюватися навіть після початку експлуатації (через патчі, апдейти, зміну алгоритмів тощо). У чинних моделях ЖЦ управління ПЗ не виділено в окрему фазу або підпроцес. Оновлення ПЗ часто розглядаються як частина модернізації, хоча на практиці це нормальний і частий цикл супроводу. Відсутність процедур версифікації, атестації, технічного супроводу програмної частини призводить до ризику неконтрольованих змін бойових можливостей комплексу.

Ще одне з обмежень це неузгодженість ролей між розробниками ПЗ, виробником та експлуатантом. У кіберфізичних системах, де апаратна і програмна частини часто створюються різними організаціями, виникає проблема координації ролей між суб'єктами ЖЦ. В існуючій нормативній базі не визначено, хто відповідальний за технічну підтримку, аудит, виправлення вразливостей ПЗ, а також яким чином це відображається на гарантійних зобов'язаннях виробника. Така неузгодженість створює регуляторні "сірі зони", що унеможливають формалізацію управління ЖЦ у повному обсязі.

Поряд з цим формальний характер етапів тестування та сертифікації для складних адаптивних систем також створюють обмеження для ефективної інтеграції НРК у діючу систему забезпечення ЖЦ. НРК потребують досконалих і багатоетапних процедур тестування, які повинні охоплювати: валідацію функціоналу, стрес-тести, поведінкове тестування в симульованому середовищі, оцінювання адаптивності, відмовостійкості тощо. Проте існуючі

стандарти передбачають переважно формальні процедури приймальних та кваліфікаційних випробувань, які не охоплюють програмну та поведінкову складову повною мірою. Це ускладнює виявлення критичних помилок ще до постачання комплексів в підрозділи.

Таким чином, на основі співставлення вимог, обумовлених природою НРК, з наявною нормативною базою, було встановлено, що існуюча модель ЖЦ ОВТ є недостатньо придатною для повноцінного управління ЖЦ НРК. Це створює передумови для обґрунтування та формування вимог до альтернативної нормативної моделі ЖЦ НРК, що буде предметом наступного етапу дослідження.

Враховуючи виявлені на попередньому етапі обмеження чинної нормативної бази, а також специфіку НРК як високотехнологічних КФС, сформульовано узагальнені вимоги до нормативної моделі їхнього ЖЦ. Ці вимоги покликані забезпечити гнучкість, адаптивність, технологічну відповідність і наскрізну керованість ЖЦ НРК в умовах сучасного оборонного середовища.

Сформульовані вимоги згруповано за п'ятьма ключовими напрямками (див. таблицю):

Таблиця 1 – Вимоги до нормативної моделі життєвого циклу військових наземних роботизованих комплексів

№ з/п	Напрямок вимог	Сформульована вимога	Обґрунтування вимоги	Очікувані результати реалізації
1.	Циклічність і адаптивність ЖЦ	Життєвий цикл НРК має бути організований як замкнена адаптивна петля з можливістю зворотних переходів між етапами.	НРК потребують частого оновлення, адаптації до умов місії, модернізації та доопрацювання в умовах динамічної обстановки.	Підвищення оперативності реагування на зміни; можливість швидкого вдосконалення та корекції функцій.
2.	Управління життєвим циклом ПЗ	ПЗ повинно мати окремий, інтегрований у загальний ЖЦ НРК життєвий цикл із чіткими процедурами оновлення, тестування, атестації.	Програмне забезпечення — критичний компонент НРК, що визначає поведінку, функціональність і безпеку.	Забезпечення стабільності, передбачуваності та керованості при оновленнях ПЗ; зменшення ризиків збоїв.
3.	Цифровізація процесів ЖЦ	Усі етапи ЖЦ мають супроводжуватись цифровими моделями (цифрові двійники, digital thread), з єдиним цифровим простором.	Цифрові технології дозволяють проводити симуляції, моделювання та аналіз без реального втручання в НРК.	Прискорення прийняття рішень, оптимізація логістики, зниження вартості експлуатації.
4.	Управління конфігурацією та змінами	Модель ЖЦ має містити процедури управління конфігурацією, верифікації змін,	Часті модифікації НРК унеможливають статичний облік; потрібен динамічний контроль технічного стану.	Підвищення надійності, передбачуваності та сумісності систем після змін.

№ з/п	Напрямок вимог	Сформульована вимога	Обґрунтування вимоги	Очікувані результати реалізації
		контролю версій та фіксації впливу на		
5.	Інтеграція кіберзахисту	Усі етапи ЖЦ мають включати заходи з аналізу загроз, тестування на вразливості, сертифікації безпеки ПЗ та апаратури.	НРК як кіберфізичні системи є об'єктами потенційного зовнішнього втручання через мережу, сенсори чи ПЗ.	Зниження ймовірності кібератак, підвищення рівня довіри до систем.

Отже, сформульовані вимоги дозволяють окреслити рамки цільової нормативної моделі ЖЦ НРК — моделі, яка ґрунтується на принципах цифрової трансформації, адаптивного управління, відкритої архітектури, кіберзахищеності та наскрізної керованості.

На основі попередньо визначених напрямів та вимог, сформовано концептуальну структуру нормативної моделі ЖЦ НРК. Основою структури стали такі принципи:

Модульність — модель складається з чітко визначених процесних блоків;

Адаптивність — передбачено зворотні зв'язки між етапами;

Цифрова підтримка — кожен блок супроводжується цифровими представленнями (моделями, параметрами, документацією);

Безпековий вектор — заходи кіберзахисту інтегруються в кожен етап.

Запропонована структура нормативної моделі ЖЦ НРК:

1. Ініціація потреби:

аналіз оперативних задач;

ідентифікація функціональних прогалів;

формування тактико-технічного завдання.

2. Концептуальне проєктування:

побудова цифрової концептуальної моделі;

аналіз життєздатності у симульованому середовищі;

попередній аналіз ризиків і вразливостей.

3. Розроблення дослідного зразка:

створення фізичного прототипу НРК;

окреме створення версій ПЗ з модульною архітектурою;

розгортання цифрового двійника.

4. Випробування і сертифікація:

функціональні випробування;

кіберзахисна перевірка (пентести, статичний/динамічний аналіз ПЗ);

верифікація відповідності конфігурації цифровому двійнику.

5. Постачання і впровадження:

адаптація до оперативного середовища;

навчання операторів;

імплементация системи моніторингу в реальному часі.

6. Експлуатація з динамічним супроводженням:

постійний зворотний зв'язок (лог-файли, телеметрія);

впровадження оновлень ПЗ через захищені канали;

автоматичне керування конфігурацією.

7. Модернізація / Відновлення / Виведення з експлуатації:

інтеграція з новими технологіями (edge-AI, нові сенсори);

аналіз рентабельності модернізації;

цифрова фіксація утилізації.

Графічне представлення запропонованої нормативної моделі ЖЦ НРК представлена на рис. 1.

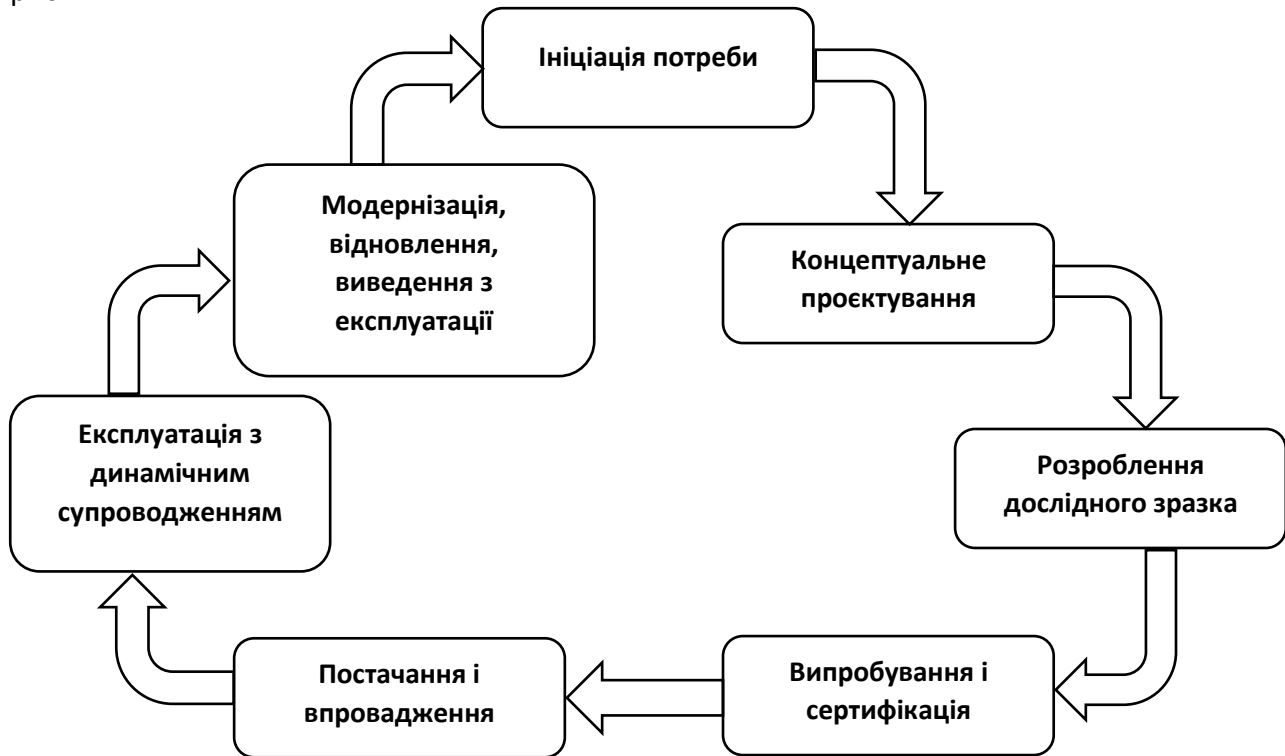


Рис. 1. Нормативна модель життєвого циклу наземних роботизованих комплексів

Висновки

В результаті дослідження сформовано нормативно орієнтовану структуру ЖЦ військових НРК, яка відображає особливості функціонування, цифрового супроводження та безперервної модернізації таких систем. Визначено сім послідовних етапів ЖЦ НРК, побудованих за принципом замкненого циклу, що передбачає повернення до ініціації потреби після модернізації або виведення з експлуатації.

Запропонована модель охоплює:

повний цикл від ідентифікації потреб до утилізації НРК;

інтеграцію цифрового двійника як інструмента супроводження на всіх етапах;

закладену здатність до динамічного оновлення та адаптації;

врахування вимог кіберзахисту, інтероперабельності та автономності.

Модель забезпечує структурну основу для подальшої розробки стандартів, методичних документів і цифрових рішень, орієнтованих на практичне впровадження військових роботизованих систем.

Подальші дослідження доцільно зосередити на формалізації критеріїв оцінювання ефективності процесів ЖЦ НРК, створенні моделей супроводження із використанням технологій цифрових двійників, а також на розробленні інформаційної платформи управління ЖЦ НРК у складі об'єднаної інформаційної інфраструктури.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. ДСТУ В 15.003:2021 Система керування життєвим циклом озброєння та військової техніки. Процеси життєвого циклу озброєння та військової техніки. Дійсний з 01.09.2022. ДП «УкрНДНЦ», 2021.
2. ДСТУ В 15.004:2022. Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Стадії життєвого циклу озброєння та військової техніки. Дійсний з 01.10.2023. ДП «УкрНДНЦ», 2022.
3. Кириченко Іван. Наземні роботизовані комплекси: основи та майбутнє. Молодий вчений, № 12 (100), 2021, с. 16-20. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-12-100-4>.
4. Залипка В. Д. Особливості створення та застосування наземних роботизованих комплексів у провідних країнах світу та Україні. Науковий вісник НЛТУ України, № 32 (4), 2022, с. 60-65. <https://doi.org/10.36930/40320410>.
5. Струтинський В.Б., Гуржій А.М. Наземні роботизовані комплекси: монографія. ПП «Рута», Житомир, 2023, 497 с.
6. Alyokhina, S., Nevliudov, I., Romashov, Yu. Computer simulations of controllability processes for robotic wheeled platforms taking into account restrictions of jerk motions. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. № 1 (19), 2022, С. 65-75. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.19.065>.
7. Мохор В.В., Бакалинський О.О., Дорогий Я.Ю., Цуркан В.В. Життєвий цикл систем управління інформаційною безпекою. Тези XXIII міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2023)». Харків, 20-22 вересня 2023 року, НТУ «ХПІ», С.16. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14601460>.
8. Sun Cong, Ma Jianfeng, Yao Qingsong. On the architecture and development life cycle of secure cyber-physical systems. Journal of Communications and Information Networks. № 1 (4), 2016, p. 1-21. <https://doi.org/10.11959/j.issn.2096-1081.2016.041>.
9. Ashraf Tantawy, Sherif Abdelwahed, Abdelkarim Erradi. Cyber LOPA: An integrated approach for the design of dependable and secure cyber-physical systems. IEEE Transaction on Reliability. Vol. 71, № 2, 2022, p. 1075-1091. <https://doi.org/10.1109/TR.2022.3163652>.
10. Mustafa Abshir Mohamed, Geylani Kardas, Moharram Challenger. A systematic literature review on model-driven engineering for cyber-physical systems: Technical report. Cornell University, Ithaca, NY, USA, 2021, 90 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.08644>.

References

1. DSTU V 15.003:2021 Life cycle management system for weapons and military equipment. Life cycle processes for weapons and military equipment. Valid from 01.09.2022. "UkrNDNC", 2021.
2. DSTU V 15.004:2022. System for the development and commissioning of weapons and military equipment. Stages of the life cycle of weapons and military equipment. Valid from 01.10.2023. "UkrNDNC", 2022.
3. Ivan Kyrychenko. Ground robotic complexes: basics and future. Young Scientist, No. 12 (100), 2021, pp. 16-20. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-12-100-4>.
4. Zalyпка, V.D. Features of the creation and application of ground robotic complexes in leading countries of the world and Ukraine. Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine, No. 32 (4), 2022, pp. 60-65. <https://doi.org/10.36930/40320410>.

5. Strutynskyi, V.B., Gurzhii, A.M. Ground robotic complexes: monograph. PP “Ruta”, Zhytomyr, 2023, 497 p.
6. Alyokhina, S., Nevliudov, I., Romashov, Yu. Computer simulations of controllability processes for robotic wheeled platforms taking into account restrictions of jerk motions. Current status of scientific research and technologies in industry. No. 1 (19), 2022, pp. 65-75. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.19.065>.
7. Mohor, V.V., Bakalynsky, O.O., Dorogy, Ya.Yu., Tsurkan, V.V. Life cycle of information security management systems. Abstracts of the XXIII International Scientific and Technical Conference “Problems of Informatics and Modeling (PIM-2023)”. Kharkiv, September 20-22, 2023, NTU “KhPI”, p.16. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14601460>.
8. Sun Cong, Ma Jianfeng, Yao Qingsong. On the architecture and development life cycle of secure cyber-physical systems. *Journal of Communications and Information Networks*. № 1 (4), 2016, p. 1-21. DOI: <https://doi.org/10.11959/j.issn.2096-1081.2016.041>.
9. Ashraf Tantawy, Sherif Abdelwahed, Abdelkarim Erradi. Cyber LOPA: An integrated approach for the design of dependable and secure cyber-physical systems. *IEEE Transaction on Reliability*. Vol. 71, № 2, 2022, p. 1075-1091. DOI: <https://doi.org/10.1109/TR.2022.3163652>.
10. Mustafa Abshir Mohamed, Geylani Kardas, Moharram Challenger. A systematic literature review on model-driven engineering for cyber-physical systems: *Technical report*. Cornell University, Ithaca, NY, USA, 2021, 90 p. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.08644>.