

Нормативно-методологічне забезпечення життєвого циклу наукоємної продукції: інтеграція системної інженерії та управління проєктами

С. Г. Кривова¹ - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5677-3729>

С. І. Трубочев¹ - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7349-9426>

Received: 14 October 2025 / Revised: 6 November 2025 / Accepted: 2 February 2026

Анотація: Українські підприємства високотехнологічного машинобудування стикаються з розривом між національною нормативно-методологічною базою управління життєвим циклом (ЖЦ) та вимогами глобальних ринків і сертифікації. Проблематика полягає у неповному охопленні пізніх фаз ЖЦ, термінологічній неоднорідності та фрагментарному використанні цифрових інструментів (PLM, MBSE, цифрові двійники), що ускладнює інтеграцію з міжнародними рамками (ISO/IEC/IEEE 15288, ISO 2150x, ECSS, AAP) і практиками PMI/INCOSE. Мета дослідження – запропонувати узгоджену з міжнародними стандартами та придатну до впровадження в Україні модель інтеграції системної інженерії (SE) та управління проєктами/програмами/портфелями (PPPM) з підтримкою цифрової “нитки” і прозорого прийняття рішень. Методика передбачає порівняльний аналіз міжнародних і національних нормативних документів, процесне моделювання ЖЦ з “воротами рішень”, побудову таблиць відповідності (mapping tables) та синтез пакета наскрізних планів. Результати включають референтну архітектуру інтеграції SE і PPPM; трирівневі профілі застосування L/M/H; ролі та інституції; цифрову інфраструктуру; дорожню карту впровадження на 12–24 місяці і систему метрик. Висновки засвідчують, що запропонована модель зменшує методологічні розриви, підвищує керованість і простежуваність ЖЦ, скорочує час виходу на ринок і полегшує відповідність EASA/FAA/EN 9100/AQAP. Практична цінність – типові рекомендації та інструменти гармонізації для підприємств авіа- та оборонно-промислового комплексів України.

Ключові слова: життєвий цикл, системна інженерія, управління проєктами, наукоємна продукція, ворота рішень, конфігураційний менеджмент, сертифікація, цифровий двійник.

1. Вступ

Цифрова трансформація промисловості, ускладнення виробничо-технологічних систем та посилення вимог до сертифікації продукції в аерокосмічній, оборонній і суміжних галузях створюють потребу у формуванні інтегрованих моделей управління життєвим циклом (ЖЦ) наукоємної продукції. У сучасних умовах глобальної конкуренції вирішальним чинником інноваційної спроможності підприємств стає здатність забезпечити безперервність, простежуваність і керованість усіх фаз ЖЦ – від прекоцептуальних досліджень

та проєктування до експлуатації, модернізації та утилізації складних технічних систем.

Вітчизняна нормативно-методологічна база у наукоємному виробництві історично формувалася поетапно. Спершу основу становили радянські державні, галузеві (ГОСТи, ОСТи) стандарти, інші регламентуючі документи: керуючі, методичні, технічні умови, інструктивні матеріали, які протягом десятиліть визначали вимоги до матеріалів, технологій та організації виробничих процесів, зокрема в авіаційній промисловості. Після розпаду СРСР частина цих документів була адаптована та продовжила діяти у вигляді міждержавних стандартів Співдружності Незалежних Держав (СНД), що дало змогу зберегти певну єдність технічних норм на пострадянському просторі. Згодом почалося активне впровадження державних стандартів України (ДСТУ). Частина ДСТУ є перекладом або гармонізованою версією міжнародних документів (ISO, IEC, IEEE та ін.), що дозволяє наближати національні вимоги до світових практик. При цьому біль-

¹ Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна, <https://ror.org/00syn5v21>

✉ С. Г. Кривова
skrivova@ukr.net



пність ДСТУ мають рекомендаційний характер і формально застосовуються добровільно, однак вони часто стають основою для розроблення технічних умов, галузевих, корпоративних вимог і процедур сертифікації.

Ці стандарти досить детально регламентують етапи конструкторської та технологічної підготовки виробництва, постановки продукції на серійний випуск і контролю її якості. Водночас їх охоплення залишається неповним: процеси експлуатації, після продажно-підтримки, модернізації та зняття з експлуатації описані поверхово або зовсім не враховані. Унаслідок цього виникають методологічні розриви між національною практикою та сучасними міжнародними підходами до управління повним ЖЦ складних технічних систем. Така невідповідність ускладнює гармонізацію діяльності українських виробників із вимогами міжнародних сертифікаційних органів та глобальних партнерів.

Міжнародні рамки, зокрема ISO/IEC/IEEE 15288, серія ISO 21500/21503/21504/21505, стандарти Європейської кооперації зі стандартизації у космічній сфері (ECSS), керівні документи НАТО (AAP-20, AAP-48), а також звід знань з проєктного менеджменту – PMBOK, пропонують системне охоплення ЖЦ і інтегрують технічні та управлінські виміри. Вони визначають ітеративність і рекурсивність процесів, формалізують критерії входу й виходу на кожній фазі, забезпечують наскрізне управління якістю, ризиками та конфігурацією, а також узгоджують системну інженерію (SE) з управлінням проєктами, програмами та портфелями (PPPM). Важливим інструментом є “ворота рішень” (decision gates), які підвищують прозорість і контроль управлінських рішень.

Ключовою рисою сучасних підходів стає цифрова трансформація процесів ЖЦ, що спирається на використання PLM-систем (Product Lifecycle Management) як інтегрованого “цифрового хребта”, методів модельно-орієнтованої системної інженерії (MBSE), модельно-орієнтованого визначення (MBD) та цифрових двійників. Такі інструменти забезпечують трасованість вимог, уніфікацію даних у форматі “єдиного джерела достовірної інформації” (Single Source of Truth, SSOT) та створюють основу для прогнозованого управління ризиками й оптимізації витрат на всіх етапах ЖЦ. Ці підходи особливо важливі для високотехнологічних секторів, де якість, безпека та відповідність міжнародним сертифікаційним вимогам визначають доступ до глобальних ринків.

Таким чином, для України актуальним завданням є перехід від фрагментарних локальних стандартів до гармонізованих інтегрованих моделей управління життєвим циклом, які поєднують кращі міжнародні практики з урахуванням національних виробничих та правових реалій. Це дозволить підвищити ефективність внутрішніх процесів, забезпечити відповідність вимогам глобальних партнерів і сертифікаційних органів, а також створити підґрунтя для стійкої конкурентоспроможності українських підприємств на світових ринках. У цьому контексті особливо важливим є

аналіз сучасної нормативно-методологічної бази, визначення її сильних і слабких сторін та вироблення узгоджених рекомендацій щодо впровадження інтегрованої моделі управління життєвим циклом наукоємної продукції.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У міжнародній практиці життєвий цикл (ЖЦ) складних технічних систем розглядають як багаторівневий, рекурсивний і міждисциплінарний процес, що охоплює всі стадії – від визначення потреб замовника, формування початкової концепції та до утилізації й закриття проєкту. Ключовим орієнтиром є стандарт ISO/IEC/IEEE 15288:2023 [1], який описує процеси ЖЦ систем і програмного забезпечення, поділяючи їх на технічні, організаційні, проєктні та допоміжні. Його характерною рисою є ітеративність і повторюваність кроків, що відображає складну природу розвитку систем та потребу у гнучкому реагуванні на зміни вимог. Стандарт підкреслює важливість інтеграції технічних процесів із завданнями управління проєктами, що дає змогу уникати розриву між інженерною та менеджерською діяльністю.

Додаткового значення набувають стандарти серії ISO 21500/21503/21504/21505 [2]–[5], що формують узгоджену методологію управління проєктами, програмами та портфелями, а також врядуванням на корпоративному рівні. У них наголошено на необхідності поєднання стратегічного, тактичного та операційного рівнів управління, що особливо актуально для високотехнологічних підприємств, які реалізують довготривалі інноваційні програми та багатокомпонентні проєкти (наприклад, створення нових типів авіалайнерів або безпілотних літальних апаратів). Аналіз цих стандартів показує низку ключових концептів (див. табл. 1):

- формалізація “ворот рішень” (Key Decision Points, KDP) як контрольних точок для оцінювання готовності переходу між фазами;
- наскрізне управління ризиками – від початку концептуалізації до експлуатації;
- інтегрована логістична підтримка (ILS), що враховується вже на ранніх стадіях для зниження вартості експлуатації та обслуговування;
- чітко регламентовані процеси інтеграції, верифікації, валідації та кваліфікації (IVVQ), що гарантують відповідність системи визначеним вимогам.

У галузях з підвищеними вимогами до безпеки та надійності – таких як авіабудування та космічне машинобудування – вагомим значення набули галузеві стандарти ECSS та документи НАТО:

- ECSS-E-ST-10C Rev. 1, ECSS-M-ST-10C Rev. 1 та ECSS-M-ST-40C Rev. 1 [6]–[8] деталізують фазування проєктів, управління конфігурацією та інформацією, а також визначають набір незалежних технічних оглядів (Preliminary Design Review – PDR, Critical Design Review – CDR, Qualification Review – QR), що знижують ризик помилок на пізніх етапах;

Таблиця 1. Мапа відповідності процесів ISO/IEC/IEEE 15288 до українських і галузевих нормативних документів

Процес ISO 15288	Норма/ пункт	Відповідник (и) в Україні (ДСТУ/відомчі)	Відповідник у PPPM (ISO 2150x / PMBOK)	Галузеві рамки (ECSS/AAP)	Охоплення в Україні (оцінка)	Проголина/ рекомендація
Stakeholder Needs & Requirements	ISO 15288 §6.4.2	ДСТУ ISO/IEC/IEEE 15288:2016 (розд. вимог)	ISO 21500: контекст; PMBOK 6: Collect Requirements	ECSS-E-10 (вимоги)	Частково	Єдина методика трасованості вимог (ReqIF/OSLC)
System Requirements Definition	ISO 15288 §6.4.3	ДСТУ ISO/IEC/IEEE 15288	PMBOK 6: Scope; PMBOK 7: Outcomes	ECSS-E-10	Частково	Стандартизувати SRS/SRD-шаблони на рівні SOP
Architecture Definition	ISO 15288 §6.4.4	–	PMBOK 6/7: Integration, Design Mgmt (частково)	ECSS-E-10 (архітектура)	Обмежено	Впровадити MBSE/SysML як обов'язковий підхід
Integration	ISO 15288 §6.4.7	ДСТУ В-П 15.004 (етапи постановки у виробництво)	PMBOK 6: Integration	ECSS-E/Q (інтеграція)	Частково	Формалізувати інтеграційні плани в IVVQ Plan
Verification	ISO 15288 §6.4.8	–	PMBOK 6: Quality Control	ECSS-Q / ECSS-E (випробування)	Нерівномірно	Єдина V&V-матриця “вимога → перевірка”
Validation	ISO 15288 §6.4.9	–	PMBOK 6: Validate Scope	ECSS-E (валідація)	Нерегулярно	Незалежні огляди на Gate G4–G6
Transition	ISO 15288 §6.4.10	ДСТУ В-П 15.004 (постановка на виробництво)	PMBOK 6: Transition/Close (частково)	ECSS-M-30 (фазування)	Добре (виробн. фази)	Додати критерії приймання для експлуатації
Operation	ISO 15288 §6.4.11	–	Benefits Realization (PMBOK 7)	AAP-20/48 (експлуатація)	Слабко	Розробити ILS/PHM політики
Maintenance	ISO 15288 §6.4.12	–	–	ECSS ILS	Слабко	Ввести ILSP та цифрових двійників
Disposal	ISO 15288 §6.4.13	–	–	AAP-48 (decommissioning)	Відсутнє	Методика утилізації/ демілітаризації та LCA
Project Planning/Control	ISO 15288 §6.3.2	ДСТУ (організаційно-розпорядчі)	ISO 21500; PMBOK 6/7	AAP-20	Частково	Ворота рішень і SPI/CPI як обов'язкові KPI
Risk & Opportunity	ISO 15288 §6.3.5	–	ISO 21500, PMBOK Risk	ECSS-M, AAP-20	Варіативно	Єдиний реєстр ризиків, пороги ескалації
Configuration Mgmt	ISO 15288 §6.3.6	Фрагментарно	PMBOK 6: Change & Config Mgmt	ECSS-M-40	Частково	Постійна ССВ і базові лінії у PLM

– документи НАТО AAP-20:2015 (Ed. C, Ver. 1) та AAP-48:2013 (Ed. B, Ver. 1) [9]–[10] пропонують уніфіковані моделі управління програмами та системами оборонного призначення, інтегруючи управління ризиками, якістю та конфігурацією в єдиний життєвий цикл, вони забезпечують сумісність методологій держав-членів Альянсу та полегшують участь у спільних розробках.

В українській практиці ключовими залишаються ДСТУ ISO/IEC/IEEE 15288:2016 (IDT) [11], що гармонізує національну систему з міжнародною, та ДСТУ В-П 15.004:2019 (оновл. 2023) [12], який регламентує стадії ЖЦ озброєння та військової техніки – від дослідження й розроблення до виробництва та експлуатації. Ці документи заклали процесно-орієнтований фундамент, проте виявляються певні обмеження:

- цивільні стандарти охоплюють здебільшого ранні етапи; експлуатація, модернізація та утилізація залишаються слабо регламентованими;

- відсутня системна реалізація незалежних оглядів і механізму “воріт рішень”, що знижує якість контролю та прийняття управлінських рішень;

- термінологічна неоднорідність ускладнює інтеграцію з міжнародними партнерами;

- впровадження цифрових інструментів PLM, MBSE, ALM, OSLC має точковий, несистемний характер, що не забезпечує наскрізної цифрової трасованості та повноцінної підтримки Digital Thread/Digital Twin.

У сфері управлінських практик важливу роль відіграє Project Management Institute (PMI), який у посібниках РМВОК шостого (2017) та сьомого (2021) видань [13]–[14] систематизував сучасні підходи. Якщо шосте видання акцентувало процесно-орієнтоване управління, то сьоме запровадило ціннісно-орієнтовану концепцію, де фокус зміщено з “залізного трикутника” (час – вартість – якість) на створення стійкої цінності та довгострокової користі для зацікавлених сторін. Це відповідає тенденціям високотехнологічного виробництва, де вартість післяпроектної експлуатації та модернізації часто перевищує початкову ціну розробки, а стратегічна гнучкість є критичною для конкурентоспроможності.

Паралельно Міжнародна рада зі системної інженерії (INCOSE) та стандарти ECSS наголошують на рекурсивному характері системної інженерії й необхідності наскрізної цифрової простежуваності для узгодження даних між усіма фазами ЖЦ. Такий підхід формує нову інтеграційну парадигму, за якої системна інженерія відповідає за технічну цілісність і оптимальність рішень зі створення продукту, а проектний менеджмент – за стратегічну орієнтацію, управління цінністю та синхронізацію зацікавлених сторін.

Додаткові узагальнення пропонують аналітичні посібники, зокрема Guide to Life Cycles and Life Cycle Models (INCOSE UK; APM, 2016) [15], де класифіковано численні моделі ЖЦ та наведено рекомендації щодо їх адаптивного використання [16]–[17]. Тут підкреслено, що не існує єдиної універсальної моделі, а успіх організації залежить від здатності адаптувати методологічні принципи до власних технологічних і організаційних особливостей.

Аналіз наукових і нормативних джерел дозволяє сформулювати проблемне поле, характерне для української практики управління життєвим циклом наукоємної продукції. Передусім йдеться про неповне охоплення пізніх фаз життєвого циклу, що ускладнює комплексне управління системами на етапах експлуатації, модернізації та утилізації. Важливим бар’єром залишається відсутність інтеграційної архітектури між процесами системної інженерії та управління проектами, які у вітчизняній практиці функціонують паралельно, що зумовлює дублювання функцій і втрату узгодженості. Неуніфікованість термінології посилює бар’єри для інтеграції з міжнародними партнерами й обмежує ефективність співпраці. Недостатня цифрова інфраструкту-

ра, що характеризується точковим впровадженням PLM, MBSE, ALM і OSLC, не створює належних передумов для наскрізної цифрової простежуваності, яка нині є базовою вимогою на глобальному ринку. Серед інших проблем слід відзначити нерегулярне застосування незалежних оглядів і контрольних “воріт рішень”, що часто замінюється формальними процедурами ухвалення рішень, а також відсутність адаптивних профілів застосування для проектів різного рівня критичності.

Отже, попри наявність фундаменту у вигляді гармонізованих міжнародних і національних стандартів, вітчизняна система управління ЖЦ потребує глибшої інтеграції SE та PM, розбудови цифрової інфраструктури та гармонізації термінології. Це стане необхідною умовою підвищення конкурентоспроможності українських машинобудівних і аерокосмічних підприємств та їх здатності інтегруватися у глобальні виробничо-технологічні ланцюги.

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є розроблення узгодженого з міжнародними рамками підходу до методологічного забезпечення управління життєвим циклом (ЖЦ) наукоємної продукції. Такий підхід має забезпечити інтеграцію системної інженерії (SE) та управління проектами/програмами/портфелями (PPPM), гармонізацію національної нормативно-методологічної бази з провідними міжнародними стандартами (ISO/IEC/IEEE 15288, ISO 21500/21503/21504/21505, ECSS, AAP, РМВОК), а також створення передумов для цифрової трансформації процесів управління ЖЦ у відповідності до сучасних вимог глобального ринку.

Задачі дослідження сформульовані наступним чином.

1. Провести порівняльний аналіз національних і міжнародних стандартів ЖЦ і PPPM. У межах цього завдання необхідно здійснити системне зіставлення чинних українських нормативних документів (ДСТУ, міждержавних стандартів СНД, окремих галузевих стандартів) з міжнародними рамками. Аналіз має охопити структуру життєвого циклу, набір процесів, рівень деталізації термінології, вимоги до ролей і функцій, а також інтеграцію системної інженерії та управління проектами. Очікуваним результатом є виявлення прогалин і визначення напрямів гармонізації.

2. Сформулювати референтну модель ЖЦ із системою “воріт рішень”. Завдання полягає у розробленні структурованої моделі ЖЦ, яка передбачає поділ на фази, визначення критеріїв входу та виходу, формалізацію артефактів, що підлягають оцінюванню, та впровадження механізму незалежних оглядів (Decision Gates, Key Decision Points). Така модель дозволить забезпечити прозорість процесів, контрольованість прийняття рішень та узгодженість дій усіх учасників.

3. Визначити набір наскрізних планів і артефактів. Для створення повноцінної методології необхідно розробити стандартизований пакет планів та документів, які супроводжують систему протягом усього ЖЦ.

До них належать:

- Quality Plan (QA) – план забезпечення якості;
- Risk & Opportunity Management Plan – план управління ризиками й можливостями;
- Configuration Management Plan (CM) – план управління конфігурацією;
- IVVQ Plan – план інтеграції, верифікації, валідації та кваліфікації;
- ILS Plan – план інтегрованої логістичної підтримки;
- Safety Case / Certification Plan – план безпеки й сертифікації;
- Data Management & Cybersecurity Plan – план управління даними й кібербезпеки;
- Environmental & Sustainability Plan – план екологічної відповідальності та стійкості.

Уніфікація цих планів забезпечить простежуваність, узгодженість і відповідність міжнародним вимогам.

4. Окреслити цифрову інфраструктуру ЖЦ. Завданням є визначення ключових цифрових інструментів та стандартів, які формують сучасну “цифрову нитку” (digital thread). До них належать:

- PLM-системи (Product Lifecycle Management) як цифровий “хребет” управління;
- MBSE (Model-Based Systems Engineering) – модельно-орієнтована системна інженерія;
- MBD (Model-Based Definition) – модельно-орієнтоване проектування;
- Digital Twin – цифрові двійники;
- ALM, OSLC, API-інтеграції – для забезпечення інтероперабельності між PLM, ERP, MES, PMIS та іншими корпоративними системами.

Впровадження такої інфраструктури створює передумови для наскрізної цифровізації й підвищення прозорості управління.

5. Розробити профілі застосування (L/M/H) та організаційні ролі/інституції.

У рамках завдання пропонується створення профілів застосування методології залежно від рівня критичності й масштабу проєктів:

- L (Light) – для малих і експериментальних проєктів;
- M (Core) – для середніх інженерних розробок;
- H (Critical) – для високочитичних проєктів із сертифікацією (наприклад, у цивільній авіації чи оборонній сфері).

Одночасно має бути окреслено ролі та організаційні інституції, включно з офісом управління проєктами (PMO), центром компетенцій із системної інженерії (SE CoE) та радою з управління конфігурацією (CCB). Це дозволить забезпечити інституційну сталість та підтримку методології.

6. Запропонувати дорожню карту впровадження, метрики та заходи мінімізації ризиків. Завдання передбачає створення поетапної дорожньої карти впровадження методології, розроблення системи метрик для моніторингу ефективності (готовність до проходження “воріт”, якість, ризики, цифрове трасування, навчання персоналу), а також визначення ключових ризиків і за-

побіжних заходів. Особлива увага приділяється мінімізації бюрократичного навантаження, підвищенню готовності персоналу до змін і гармонізації з міжнародними практиками сертифікації.

4. Методи досліджень

Методологічна основа дослідження спиралася на комплексний підхід, що поєднує аналітичні, порівняльні, моделювальні та синтетичні методи. Такий підхід дозволив забезпечити цілісність розгляду проблеми, а також підвищити валідність і практичну значущість отриманих результатів.

Передусім було застосовано аналітико-порівняльний огляд міжнародних і національних стандартів, що регламентують управління ЖЦ складних технічних систем і наукоємної продукції. До аналізу були залучені ключові міжнародні документи, зокрема ISO/IEC/IEEE 15288, стандарти серії ISO 2150x (21500, 21503, 21504, 21505), галузеві документи Європейської кооперації зі стандартизації у космічній сфері (ECSS), керівні документи НАТО (AAP-20, AAP-48), а також “Звід знань з управління проєктами” (PMBOK 6-го і 7-го видань). Порівняльний аналіз охоплював структуру процесів, визначення фаз ЖЦ, формалізовані механізми прийняття рішень (Decision Gates/Key Decision Points), а також наскрізні процеси управління якістю, ризиками, конфігурацією й логістичною підтримкою. Це дозволило виявити спільні методологічні засади, а також принципові відмінності між міжнародними рамками та чинними національними ДСТУ і відомчими нормативними документами.

Другим важливим напрямом виступало процесне моделювання ЖЦ та контрольних “воріт рішень” [18]–[19]. У цьому контексті було побудовано референтні моделі ЖЦ, структуровані у вигляді фаз із критеріями входу й виходу, а також визначено перелік артефактів, що підлягають перевірці на кожному етапі. Застосування процесного підходу дозволило не лише формалізувати структуру управління ЖЦ, але й виявити критичні точки, у яких прийняття управлінських і технічних рішень найбільше впливає на ефективність і безпеку створюваної продукції [20].

Особливу увагу приділено розробленню мап відповідності (mapping tables) між міжнародними стандартами (передусім ISO/IEC/IEEE 15288) і чинною українською нормативною базою (ДСТУ та галузеві нормативні документи). Такий інструмент дозволив здійснити гармонізацію термінології, уточнити ступінь покриття процесів національними документами, а також виявити прогалини, які потребують додаткового методологічного забезпечення. Використання mapping tables забезпечує можливість систематичного перенесення міжнародного досвіду в національну практику.

Важливою складовою методології став кейс-аналіз провідних практик у галузі системної інженерії та управління проєктами. Було досліджено досвід NASA (NASA SE Handbook), Європейської космічної коопе-

рації (ECSS), НАТО (AAP-20/48), а також корпоративні стандарти компанії Airbus. Аналіз кейсів дав змогу ідентифікувати конкретні механізми реалізації інтегрованих моделей ЖЦ, наприклад, використання цифрових двійників, модельно-орієнтованої системної інженерії (MBSE), інтегрованої логістичної підтримки (ILS), а також незалежних технічних оглядів. Це забезпечило практичне підґрунтя для формування типових рекомендацій, придатних до адаптації в українських умовах.

Для узагальнення результатів було використано метод структурного синтезу, який дозволив інтегрувати виявлені принципи в єдину систему [21]–[23]. У рамках цього підходу було розроблено пакет наскрізних планів та шаблонів документів (забезпечення якості, управління ризиками, управління конфігурацією, IVVQ, ILS, безпека/сертифікація, управління даними та кібер-безпекою, екологічна стійкість), а також профілі застосування (L/M/H) для різних рівнів критичності проєктів. Такий підхід забезпечує баланс між суворим дотриманням стандартів і практичною гнучкістю.

Окремим етапом дослідження стало формування системи метрик ефективності впровадження методології. Було запропоновано показники, що дозволяють кількісно оцінити ступінь готовності до проходження “воріт рішень”, якість виконання робіт (відсоток дефектів, кількість переробок), дотримання графіка та бюджету (SPI, CPI), рівень управління ризиками, а також ступінь інтеграції цифрових інструментів (PLM, MBSE, цифрові двійники). Запровадження цих метрик забезпечує можливість системного моніторингу, своєчасної ідентифікації проблем та підвищення ефективності управління життєвим циклом.

Таким чином, методи дослідження включали взаємодоповнювані інструменти аналізу, моделювання, порівняння й синтезу, що забезпечили глибоке опрацювання проблематики та дозволили сформувати комплекс рекомендацій щодо гармонізованої методології управління ЖЦ наукоємної продукції.

5. Результати досліджень

5.1. Референтна архітектура методології

У результаті дослідження запропоновано дворівневу структуру методології управління ЖЦ наукоємної продукції, що інтегрує технічні та управлінські площини. Технічна площина відображає процеси системної інженерії, визначені у стандарті ISO/IEC/IEEE 15288, і забезпечує їхню практичну реалізацію через архітектурне проєктування, управління вимогами, інтеграцію та верифікацію. Управлінська площина базується на стандартах управління проєктами, програмами й портфелями (ISO 21500, ISO 21503, ISO 21504, ISO 21505, а також PMBOK), охоплюючи планування, моніторинг і контроль, управління ризиками, вартістю та якістю.

Обидві площини взаємодіють через єдиний корпоративний глосарій термінів, узгоджений із міжнародними документами, що дозволяє мінімізувати ризики термінологічних непорозумінь і підвищує прозорість

міждисциплінарних комунікацій. Додатково визначено механізм профілів застосування (L/M/H), які встановлюють рівень формалізації процесів залежно від критичності проєкту, його масштабу та ресурсної забезпеченості. Це забезпечує гнучкість у впровадженні: від спрощених сценаріїв для малих проєктів до повноцінної регламентованої моделі для програм високої критичності, наприклад у сфері авіабудування чи космічної техніки.

5.2. Модель ЖЦ із “воротами рішень”

Запропонована модель ЖЦ охоплює фази від Pre-Concept (G0) до Decommissioning/Disposal (G9). Для кожної контрольної точки (“воріт рішень”) визначено (табл. 2):

- перелік необхідних артефактів (наприклад, технічні завдання, архітектурні описи, плани випробувань, звіти сертифікаційних органів);
- критерії готовності (технічні, управлінські та регуляторні показники);
- склад оглядової комісії, яка включає внутрішніх і незалежних експертів;
- формат можливих рішень (go/hold/rework/stop).

Впровадження такої моделі забезпечує прозорість прийняття рішень, своєчасну ескалацію ризиків і синхронізацію процесів SE та PM. Наприклад, у практиці NASA ключові рішення забезпечують чітке розмежування фаз місії, тоді як у проєктах Airbus подібні “ворота” допомагають інтегрувати проєктні та сертифікаційні вимоги ще до початку серійного виробництва.

5.3. Наскрізні плани і артефакти

Запропоновано “обов’язковий пакет” планів, які супроводжують продукт протягом усього ЖЦ:

- Quality Plan – у відповідності до стандартів AS/EN 9100 та AQAP/STANAG [24];
- Risk & Opportunity Plan – формування реєстру ризиків, визначення порогів ескалації та резервів;
- Configuration Management Plan (CMP) – відповідно до ECSS-M-40 та SAE ARP, що регламентує управління базовими лініями;
- IVVQ Plan – матриці відповідності “вимога → перевірка → випробування → звіт”;
- Safety/Certification Plan – підготовка до сертифікаційних процедур EASA/FAA/FAR [25]–[26];
- ILS Plan – інтегрована логістична підтримка (обслуговування, запасні частини, документація, навчання персоналу) [27]–[28];
- Data Management & Cybersecurity Plan – політика управління даними, доступами та кіберзахистом;
- Environmental & Sustainability Plan – заходи з енергоефективності, екодизайну та утилізації.

Кожен із планів прив’язується до відповідних “воріт рішень”. Наприклад, Safety Case розглядається перед G5 (сертифікація), а ILSP – перед G6–G7 (початок серійного виробництва й експлуатації).

Таблиця 2. Фази ЖЦ та ворота рішень (G0–G9): критерії й артефакти

Фаза / Ворота	Мета воріт	Ключові критерії готовності (приклади)	Артефакти для огляду	Склад оглядової комісії	Типові рішення	Вихідні артефакти/ базові лінії
G0 Pre-Concept	Дозвіл на ініціацію	Бізнес-обґрунтування; визначені стейкхолдери	Vision/Business Case, Stakeholder Map	PM, CSE, Sponsor	go/hold	Затверджений Business Case
G1 Concept	Вибір концепції	Узгоджені потреби; початкові вимоги	Stakeholder Needs, High-Level Req, SEMP (чернетка)	PM, CSE, QA	go/rework	Затверджений набір потреб/ вимог
G2 Requirements	Замороження вимог	Повнота/ узгодженість SRS; трасованість	SRS/SRD, Risk Reg., RMP	PM, CSE, Req Lead	go/rework/stop	Базова лінія вимог (SRR)
G3 Architecture	Вибір архітектурного рішення	Trade-off; інтерфейси; моделі SysML	Architecture Description, ICDs	PM, CSE, Chief Eng	go/rework	Базова лінія архітектури (AR)
G4 Detailed Design	Деталізація	DfX критерії; плани IVVQ	Design Package, IVVQ Plan	PM, CSE, QA, Mfg	go/rework	Базова лінія дизайну (DBL)
G5 Verification Readiness	Готовність до випробувань	Покриття вимог V&V; Safety Case (частина)	V&V Matrices, Test Plans, Safety Case	PM, CSE, Safety, QA	go/hold/rework	Frozen V&V Matrix, Test Plan BL
G6 Production Readiness	Серійність	Заморожені MBOM/BOP; ILSP; CM-базові лінії	MBOM, Routing, ILSP, CMP	PM, Mfg, QA, CM	go/hold	Production Baseline (MBOM/BOP)
G7 Operational Readiness	Введення в експлуатацію	Сертифікація; підготовка сервісу	Cert. Reports, O&M Manuals, Training	PM, Ops, ILS, Safety	go/hold	Сертифікат льотної придатності; O&M Baseline
G8 Sustainment	Підтримка	KPI експлуатації; PHM/обслуговування	Maintenance Plan, DTwin Models	Ops, ILS, Data Gov	go/rework	Maintenance BL, Digital Twin v.1
G9 Decommission/ Disposal	Виведення з експлуатації	План утилізації; еко-вимоги	Disposal Plan, LCA Summary	Ops, HSE, Legal	go	Disposal BL, LCA Report

5.4. Цифрова інфраструктура ЖЦ

Запропоновано багаторівневу цифрову архітектуру управління ЖЦ (табл. 3):

– PLM як “цифровий хребет” (Single Source of Truth), що охоплює весь ланцюг від вимог до виробництва та експлуатації;

– MBSE/SysML для управління архітектурою систем і простежуваності вимог;

– MBD/MBOM як базу для цифрового визначення виробу й підготовки виробництва;

– Digital Twins для експлуатації, прогностного обслуговування (PHM) і продовження ресурсу;

– OSLC/APIs/STEP AP242 як засіб сумісності та інтеграції з ALM, PMIS, ERP та MES.

Таблиця 3. Цифрова “нитка” ЖЦ: об’єкти даних, інструменти та контрольні ворота

Об’єкт даних / артефакт	Система запису (SSOT)	Система розповсюдження / BI-вітрина	Пов’язаний стандарт/ формат	Хто відповідає	Ворота контролю	Метрика готовності (приклад)
Stakeholder Map & Needs	PLM/PMIS	PMIS Dashboard / BI	ISO 21500; ReqIF	PM, BA	G0–G1	100 % ідентифікованих стейкхолдерів
SRS/SRD (вимоги)	PLM/ALM	PMIS / Traceability Matrix	ISO 15288; ReqIF/OSLC	Req Lead	G2	≥ 95 % вимог з простежуваністю
Архітектурні моделі (SysML)	MBSE репозиторій	PLM Viewer / BI Reports	SysML v1/v2	CSE, Arch Lead	G3	100 % критичних інтерфейсів змодельовано
IVVQ матриці	PLM/QM	Test Management System / BI	DOORS-NG/ Excel-import; OSLC	QA/V&V Lead	G4–G6	100 % критичних вимог мають метод V&V
CAD/MBD, MBOM/ВOP	PLM/MES	CAD Viewer, MES Dashboard	STEP AP242, QIF	CAD/ME/PE	G4–G6	MBOM = EBOM узгоджені, $\Delta \leq 2\%$
Safety Case	PLM/Doc Control	Cert. Reports Portal	EASA/FAA шаблони	Safety Lead	G5–G7	Закрито всі Cat-A hazards
ILSP/ILS Data (ЗІП, карти TO)	PLM/ILS	ILS Portal (S1000D)	S3000L/S1000D	ILS Lead	G6–G8	≥ 95 % техкарт S1000D готові
Digital Twin / PHM	IoT/DT платформа	Ops Dashboard	ISO 23247; APIs	DT Owner	G8	Прогноз точності $\geq X\%$, MTBF↑
CM/CCB базові лінії	PLM/CM	Change Management Portal	ECSS-M-40; CMII	CM Manager	G4–G8	Всі зміни через CCB (100 %)
Data Governance (політики, класифікація)	DWH/PLM/PMIS	BI, Audit Reports	ISO/IEC 27001; NIST	Data Gov Lead	усі	100 % крит. об’єктів із власником і рівнем доступу

Додатково визначено політики управління даними: якість і валідація даних, правила класифікації та ретенції, аудит доступів, а також відповідність міжнародним кіберстандартам (наприклад, NIST, ISO/IEC 27000).

5.5. Гармонізація стандартів і шаблонів

Запропоновано побудову спеціальних таблиць відповідності (mapping tables), у яких здійснюється елементне зіставлення вимог та процесів, визначених у міжнародних стандартах (ISO/IEC/IEEE 15288, серія ISO 2150x, PMBOK, ECSS, AAP), з положеннями українських ДСТУ та галузевих нормативних документів (НД). Такі таблиці допомагають чітко показати, які національні чи галузеві документи покривають окремі процеси життєвого циклу, а де є прогалини, що потребують додаткового регламентування. Це створює під-

рунтя для впровадження корпоративних стандартів 2-го рівня (SOP, корпоративні процедури) та уніфікованих шаблонів документів: SRS/SRD, SEMP, RMP, QP, RMP, CMP, IVVQP, Safety Case. Використання таких шаблонів спрощує проходження аудитів і сертифікацій, а також забезпечує порівнянність проектів у масштабах підприємства.

5.6. Профілі застосування та організацій-ні інституції

Розроблено три рівні профілів застосування:

- L-Light – для малих проектів з низькою критичністю, де застосовуються спрощені плани й об’єднані огляди;
- M-Core – для середніх проектів, що потребують повного пакета РМ-документації, але спрощеної SE-процедури;

– H-Critical – для програм високої критичності (авіація, космос), що потребують повного пакета SE/PM/Governance, MBSE, PLM та незалежних технічних оглядів.

Можливим варіантом організаційного забезпечення є створення Центру компетенцій зі стандартизації та методології (Standards & Methods CoE), який би відповідав за розробку й оновлення процедур, навчання та аудит. Додатково функціонально закріплюється Офіс управління проектами (PMO) і Центр системної інженерії (SE CoE), що координують методичну підтримку менеджерів і системних інженерів. Важливу роль відіграє Конфігураційна комісія (CCB) як єдиний орган управління змінами. Для забезпечення якості робіт закріплюються ключові ролі – Chief Systems Engineer (CSE), Project Manager (PM), Chief Engineer, QA/CM/ILS/Safety Leads, Toolchain Owner.

5.7. Дорожня карта впровадження (12–24 місяці)

Запропоновано чотири фази реалізації методології:

– Фаза 0 (0–3 міс.): оцінка поточного стану (AS-IS), створення CoE, складання попереднього глосарію, вибір пілотних проектів.

– Фаза 1 (3–9 міс.): мапування стандартів, розробка профілів L/M/H, запуск базових SOP, пілотне впровадження PLM/PMIS, навчання ключових ролей.

– Фаза 2 (9–18 міс.): розробка повного пакета планів, формування Gate Review Board, запуск CCB, розгортання PLM/MBSE у пілотних проектах, перші незалежні огляди.

– Фаза 3 (18–24 міс.): масштабування на портфель проектів, інтеграція з ERP/MES/PLM, проведення аудитів відповідності, корекція SOP, створення механізму постійного оновлення.

5.8. Метрики ефективності

Для оцінки ефективності впровадження методології визначено такі показники:

– готовність до “воріт рішень” (% підготовлених артефактів, частка “go” без умов);

– якість робіт (кількість дефектів, відсоток переробок, частка змін поза CCB);

– дотримання термінів і бюджету (SPI, CPI, відхилення від базових ліній);

– ризики (частка ризиків із планами реагування, середній час ескалації);

– цифрова інтеграція (% трасованих вимог, покриття MBSE, зміни через PLM);

– навчання й розвиток персоналу (середня кількість годин навчання на особу, відсоток сертифікованих спеціалістів).

5.9. Ризики впровадження та запобіжні заходи

Визначено ключові ризики впровадження:

– опір змінам (консервативність персоналу, інерція організаційних структур);

– дефіцит інструментів і компетенцій (обмеженість у використанні PLM/MBSE, недостатній рівень знань);

– регуляторні бар’єри (потреба узгодження з сертифікаційними органами, експортним контролем).

Запобіжні заходи включають: застосування профілів L/M/H для адаптації рівня формалізації; комунікаційні плани й реалізацію “швидких перемог” (єдиний реєстр ризиків, запуск CCB, уніфіковані IVVQ-матриці); поетапне розгортання PLM/MBSE; системне навчання та наставництво; ранню взаємодію з регуляторами (EASA/FAA, органи експортного контролю).

6. Висновки

Проведений порівняльний аналіз національних і міжнародних стандартів ЖЦ систем і управління проектами/програмами/портфелями показав, що українська нормативна база має достатньо чітко регламентовані етапи розроблення й постановки продукції на виробництво. Проте її охоплення є неповним щодо пізніх фаз ЖЦ – експлуатації, модернізації, підтримки та утилізації. Також виявлено розрив між підходами системної інженерії та управління проектами, відсутність уніфікованої термінології та недостатнє застосування цифрових інструментів, що обмежує інтеграцію з міжнародною практикою.

У рамках дослідження було сформовано референтну модель життєвого циклу, що включає послідовність фаз від пре-концепції до виведення системи з експлуатації та утилізації. Ключовим елементом моделі виступає система “воріт рішень” (Decision Gates), що передбачає формалізовані критерії готовності, визначені артефакти, склад оглядових комісій і набір допустимих рішень (go/hold/rework/stop). Запровадження такої моделі забезпечує прозорість контролю, узгодженість між технічними та управлінськими процесами й своєчасне виявлення та ескалацію ризиків.

Визначено й структуровано “обов’язковий пакет” наскрізних планів і артефактів, що забезпечують безперервність управління на всіх етапах ЖЦ. До нього віднесено: Quality Plan (план якості відповідно до AS/EN 9100, AQAP), Risk & Opportunity Plan (управління ризиками та можливостями), Configuration Management Plan (управління конфігурацією за ECSS-M-40/SAE ARP), IVVQ Plan (інтеграція, верифікація, валідація та кваліфікація), Safety/Certification Plan (відповідно до EASA/FAA/FAR), ILS Plan (інтегрована логістична підтримка), Data Management & Cybersecurity Plan (управління даними та кібербезпека), Environmental & Sustainability Plan (екологічність і стійкість). Кожен із цих планів прив’язано до відповідних “воріт рішень” як вхідних чи вихідних умов.

Запропонована концепція цифрової інфраструктури ЖЦ, що спирається на використання PLM як “цифрового хребта” управління продуктом, методів MBSE для архітектурного моделювання та трасованості вимог, MBD і MBOM для визначення виробу та його

виробництва, а також Digital Twin для підтримки експлуатації й технічного обслуговування. Для інтеграції різних корпоративних систем (ALM, PMIS, ERP, MES) запропоновано застосування відкритих форматів і стандартів (OSLC, STEP AP242, API). Додатково визначено політики якості даних, їх класифікації та ретенції, контроль доступів і дотримання вимог кібербезпеки, що формує підґрунтя цифрової трасованості й довіри до даних.

Для забезпечення масштабованості та відтворюваності практик запропоновано застосування профілів L-Light, M-Core та H-Critical, що відрізняються рівнем формалізації процесів і цифрової підтримки залежно від критичності та масштабу проекту. Окрім цього, обґрунтовано доцільність створення спеціалізованих інституційних структур: офісу управління проектами (PMO), центру компетенцій із системної інженерії (SE CoE), а також ради з управління конфігурацією (CCB). Запропоновано впровадження уніфікованих шаблонів документів (SRS, SEMP, PMP, QP, RMP, CMP, IVVQP), які полегшують аудит, сертифікацію та підтримують єдність методологічного підходу.

Розроблено дорожню карту впровадження методології на період 12–24 місяці, що включає фази від аналізу поточного стану (AS-IS) і запуску пілотних проектів до масштабування на портфель і інтеграції корпоративних систем ERP/MES/PLM.

Запропоновано систему метрик ефективності (готовність до воріт, показники SPI/CPI, якість і кількість переробок, ступінь цифрової трасованості, час ескалції ризиків, обсяг навчання та сертифікації персоналу), а також передбачено заходи з мінімізації ризиків. Особливий акцент зроблено на “швидких перемогах” як механізмі підвищення довіри до змін і прискорення готовності до сертифікації відповідно до міжнародних вимог.

Перелік скорочень та позначень

AAP – Публікації з адміністративних процедур НАТО;
 ALM – управління життєвим циклом застосунків/вимог (Application Lifecycle Management);
 API – програмний інтерфейс застосунків (Application Programming Interface);
 AR – базова лінія архітектури (Architecture Release);
 AS/EN 9100 – авіакосмічні стандарти систем управління якістю;
 BA – бізнес-аналітик (Business Analyst);
 BI – бізнес-аналітика (Business Intelligence);
 BOP – маршрут (план) операцій виготовлення (Bill of Process);
 CAD – автоматизоване проектування (Computer-Aided Design);
 CAD/ME/PE – конструктор CAD / виробничий інженер / інженер процесів (CAD Designer / Manufacturing Engineer / Process Engineer);
 Cat-A hazards – небезпеки категорії А (найкритичніші);
 CCB – рада з управління змінами (Configuration Control Board);
 CDR – критичний проектний огляд (Critical Design Review);
 CM – управління конфігурацією (Configuration Management);
 CM Manager – менеджер з управління конфігурацією (Configuration Management Manager);

CMII – модель/стандарт керування конфігурацією CMII;
 CoE – центр компетенцій (Center of Excellence);
 CPI – індекс виконання за вартістю (Cost Performance Index);
 CSE – головний системний інженер (Chief Systems Engineer);
 Data Gov – управління даними (Data Governance);
 Data Gov Lead – керівник з управління даними (Data Governance Lead);
 DBL – базова лінія конструкторського проекту (Design Baseline);
 DT – цифровий двійник (Digital Twin);
 DT Owner – власник цифрового двійника (Digital Twin Owner);
 DWH – сховище даних (Data Warehouse);
 EASA – Європейське агентство авіаційної безпеки (European Union Aviation Safety Agency);
 EBOM – інженерна специфікація виробу (Engineering Bill of Materials);
 ECSS – Європейська кооперація зі стандартизації у космічній сфері (European Cooperation for Space Standardization);
 ERP – система планування ресурсів підприємства (Enterprise Resource Planning);
 FAA – Федеральне авіаційне управління США (Federal Aviation Administration);
 FAR – Федеральні авіаційні правила (Federal Aviation Regulations);
 G0–G9 – ворота прийняття рішень (Decision Gates);
 ГОСТ – Державний стандарт (радянський/міждержавний);
 HSE – охорона праці, безпека та довкілля (Health, Safety & Environment);
 ICD – специфікація інтерфейсів (Interface Control Document);
 IEC – Міжнародна електротехнічна комісія (International Electrotechnical Commission);
 IEEE – Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers);
 ILS – інтегрована логістична підтримка (Integrated Logistics Support);
 ILSP – план інтегрованої логістичної підтримки (Integrated Logistics Support Plan);
 INCOSE – Міжнародна рада зі системної інженерії (International Council on Systems Engineering);
 ISO – Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization);
 IVVQ – інтеграція, верифікація, валідація, кваліфікація (Integration, Verification, Validation, Qualification);
 IVVQP – план IVVQ (Integration, Verification, Validation, Qualification Plan);
 KPI – ключові показники ефективності (Key Performance Indicators);
 LCA – оцінка життєвого циклу (Life Cycle Assessment);
 MBD – модельно-орієнтоване визначення виробу (Model-Based Definition);
 MBOM – виробничі специфікації виробу (Manufacturing Bill of Materials);
 MBSE – модельно-орієнтована системна інженерія (Model-Based Systems Engineering);
 MES – система управління виробництвом (Manufacturing Execution System);
 MTBF – середній час між відмовами (Mean Time Between Failures);
 NATO – Організація Північноатлантичного договору (North Atlantic Treaty Organization);

NIST – Національний інститут стандартів і технологій (National Institute of Standards and Technology);
 НД – нормативні документи (галузеві/відомчі);
 O&M – експлуатація та обслуговування (Operations & Maintenance);
 Ops Dashboard – операційна панель моніторингу (Operations Dashboard);
 OSLC – зв'язки з відкритими послугами для співпраці (Open Services for Lifecycle Collaboration);
 PDR – попередній проєктний огляд (Preliminary Design Review);
 PHM – прогноз і керування технічним станом (Prognostics & Health Management);
 PLM – управління життєвим циклом виробу (Product Lifecycle Management);
 PM – керівник проєкту (Project Manager);
 PMBOK – Звід знань з управління проєктами (Project Management Body of Knowledge);
 PMIS – інформаційна система управління проєктами (Project Management Information System);
 PMI – Інститут управління проєктами (Project Management Institute);
 PMP – план управління проєктом (Project Management Plan);
 PMO – офіс управління проєктами (Project Management Office);
 PPPM – управління проєктами, програмами та портфелями (Projects, Programs & Portfolio Management);
 QP – план якості (Quality Plan);
 QA – забезпечення якості (Quality Assurance);
 QIF – формат інспекцій/вимірювань якості (Quality Information Framework);
 Req Lead – провідний інженер з вимог (Requirements Lead);
 ReqIF – формат обміну вимогами (Requirements Interchange Format);
 RMP – план управління ризиками (Risk Management Plan);
 SE – системна інженерія (Systems Engineering);
 SE CoE – центр компетенцій із системної інженерії (Systems Engineering Center of Excellence);

SEMP – план інженерії систем (Systems Engineering Management Plan);
 SMP – (не використовується – пропуск);
 SPI – індекс виконання за строками (Schedule Performance Index);
 SRD – документ вимог до системи (System Requirements Document);
 SRR – огляд вимог до системи (System Requirements Review);
 SRS – специфікація вимог до програмного/системного продукту (Software/System Requirements Specification);
 SSOT – єдине джерело достовірної інформації (Single Source of Truth);
 STANAG – Стандарти угоди НАТО (Standardization Agreement);
 STEP AP242 – стандарт обміну 3D-даними виробу (Standard for the Exchange of Product Data, AP242);
 SysML – мова моделювання систем (Systems Modeling Language);
 V&V – верифікація та валідація (Verification & Validation);
 V&V Lead – провідний інженер з верифікації та валідації (Verification & Validation Lead);
 ЖЦ – життєвий цикл;
 ДСТУ – Державний стандарт України;
 СНД – Співдружність Незалежних Держав.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що вони не мають жодного конфлікту інтересів щодо цього дослідження, включаючи фінансові, особисті, авторські або будь-якого іншого характеру, які могли б вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що не використовували технології штучного інтелекту при створенні даної роботи.

References

- [1] ISO/IEC/IEEE, Systems and Software Engineering—System Life Cycle Processes, ISO/IEC/IEEE Standard 15288, 5th ed., Geneva, Switzerland: ISO/IEC/IEEE, 2023, 98 p. doi: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2023.10123367>.
- [2] ISO, Project, Programme and Portfolio Management—Context and Concepts, ISO Standard 21500, Geneva, Switzerland: ISO, 2021, 24 p. <https://pmdoc.ua/iso/iso21500>.
- [3] ISO, Project, Programme and Portfolio Management—Guidance on Programme Management, ISO Standard 21503, Geneva, Switzerland: ISO, 2022, 40 p. <https://pmdoc.ua/iso/iso21503>.
- [4] ISO, Project, Programme and Portfolio Management—Guidance on Portfolio Management, ISO Standard 21504, Geneva, Switzerland: ISO, 2022, 42 p. <https://pmdoc.ua/iso/iso21504>.
- [5] ISO, Project, Programme and Portfolio Management—Guidance on Governance, ISO Standard 21505, Geneva, Switzerland: ISO, 2017, 38 p. <https://pmdoc.ua/iso/iso21505>.
- [6] ECSS, Space Engineering—System Engineering General Requirements, ECSS-E-ST-10C Rev.1, Noordwijk, The Netherlands: ESA/ECSS, 2017, 132 p. <https://ecss.nl/standard/ecss-e-st-10c-rev-1-system-engineering-general-requirements-15-february-2017>.
- [7] ECSS, Space Project Management—Project Planning and Implementation, ECSS-M-ST-10C Rev.1, Noordwijk, The Netherlands: ESA/ECSS, 2009, 160 p. <https://ecss.nl/standard/ecss-m-st-10c-rev-1-project-planning-and-implementation>.
- [8] ECSS, Space Project Management—Configuration and Information Management, ECSS-M-ST-40C Rev.1, Noordwijk, The Netherlands: ESA/ECSS, 2009, 138 p. <https://ecss.nl/standard/ecss-m-st-40c-rev-1-configuration-and-information-management>.
- [9] NATO Standardization Office, NATO Programme Management Framework (NATO Life Cycle Model), AAP-20, Ed. C, Ver. 1, Brussels, Belgium: NSO, 2015, 78 p.
- [10] NATO Standardization Office, NATO System Life Cycle Processes, AAP-48, Ed. B, Ver. 1, Brussels, Belgium: NSO, 2013, 68 p.

- [11] DP “UkrNDNTs”, Inzheneriia system i prohramnoho zabezpechennia. Protsey zhyttievoho tsykladu system (IDT ISO/IEC/IEEE 15288:2015), DSTU ISO/IEC/IEEE 15288:2016, Kyiv, Ukraine: DP “UkrNDNTs”, 2016 (zastarila; onovleno ISO/IEC/IEEE 15288:2023).
- [12] DP “UkrNDNTs”, Systema rozroblennia i postavlennia na vyrobnytstvo ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky, DSTU V-P 15.004:2019 (onovl. 2023), Kyiv, Ukraine: DP “UkrNDNTs”, 2019, 120 s.
- [13] Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), 6th ed., Newtown Square, PA, USA: PMI, 2017, 976 p. (superseded by 7th ed.). <https://lccn.loc.gov/2017032505>.
- [14] Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), 7th ed., ANSI/PMI 99-001-2021, Newtown Square, PA, USA: PMI, 2021, 250 p. <https://lccn.loc.gov/2021011107>.
- [15] A. Gray, K. Richardson, K. Rooke, and T. Thornburn, Guide to Life Cycles and Life Cycle Models, Issue 1.1, Farnborough, UK: INCOSE UK; APM, 2016, 41 p.
- [16] INCOSE, Systems Engineering Handbook, 5th ed., Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2023, 472 p.
- [17] NASA, NASA Systems Engineering Handbook, NASA/SP-2016-6105 Rev 2, Washington, DC, USA: NASA, 2016, 402 p.
- [18] B. S. Blanchard and W. J. Fabrycky, Systems Engineering and Analysis, 5th ed., Boston, MA, USA: Pearson, 2011, 640 p.
- [19] A. P. Sage and W. B. Rouse, Eds., Handbook of Systems Engineering and Management, 2nd ed., Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2009, 1470 p.
- [20] C. Haskins, K. Forsberg, M. Krueger, D. Walden, and R. Hamelin, INCOSE Systems Engineering Handbook, Version 3.2.2, San Diego, CA, USA: INCOSE, 2011, 352 p. (obsolete; superseded by 5th ed. 2023).
- [21] P. W. G. Morris, J. K. Pinto, and J. Söderlund, Eds., The Oxford Handbook of Project Management, Oxford, UK: Oxford University Press, 2011, 576 p. doi: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199563142.001.0001>.
- [22] H. Kerzner, Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling, 12th ed., Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2022, 816 p.
- [23] J. R. Turner, The Handbook of Project-Based Management: Leading Strategic Change in Organizations, 4th ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2016, 640 p.
- [24] EASA, Part 21 – Airworthiness and Environmental Certification, Cologne, Germany: European Union Aviation Safety Agency, current ed. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-materials/group/part-21--airworthiness-and-environmental-certification>.
- [25] EASA, Certification Specifications for Large Aeroplanes CS-25, Amendment 28, Cologne, Germany: European Union Aviation Safety Agency, 2023. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/certification-specifications/reg/initial-airworthiness-and-environmental-protection#cs-25-large-aeroplanes>.
- [26] IAQG, AS9100D / EN 9100:2018 – Quality Management Systems – Requirements for Aviation, Space and Defense Organizations, Warrendale, PA, USA: SAE International, 2016.
- [27] ASD/AIA/ATA, S1000D – International Specification for Technical Publications Using a Common Source Database, Brussels, Belgium: ASD/AIA/ATA, current ed.
- [28] ASD/AIA, S3000L – International Specification for Logistic Support Analysis (LSA), Issue 2.1, Brussels, Belgium: ASD/AIA, 2023.

Normative and Methodological Support for the Life Cycle of Science-Intensive Products: Integrating Systems Engineering and Project Management

Svitlana Kryvova¹ • Serhii Trubachev¹

¹ National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

Abstract. Ukrainian high-tech manufacturing enterprises face a persistent gap between the national regulatory–methodological framework for life-cycle (LC) management and the requirements of global markets and certification. The problem stems from limited coverage of late LC phases, terminological inconsistency, and fragmented adoption of digital tools (PLM, MBSE, Digital Twins), which complicates alignment with international frameworks (ISO/IEC/IEEE 15288, ISO 2150x series, ECSS, AAP) and PMI/INCOSE practices. The aim is to develop an implementation-ready model, harmonized with international standards, that integrates Systems Engineering (SE) with Project/Programme/Portfolio Management (PPPM) while enabling a robust digital thread and transparent decision-making. The methodology comprises a comparative analysis of international and national normative documents, process modelling of the LC with Decision Gates, construction of mapping tables, and synthesis of a cross-project plan set. The results deliver a reference architecture for SE–PPPM integration; three application profiles (L/M/H); organizational roles and institutions; a digital infrastructure; a 12–24-month implementation roadmap; and a metrics system. The conclusions indicate that the proposed model bridges methodological gaps, increases LC governance and traceability, shortens time-to-market, and facilitates compliance with EASA/FAA/EN 9100/AQAP. The practical contribution is a set of typical recommendations and harmonization tools for enterprises in Ukraine’s aerospace and defense manufacturing sectors.

Keywords: life cycle, systems engineering, project management, high-technology products, decision gates, configuration management, certification, digital twin.