

УДК 623.41.419

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.3\(43\).41-56](https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.3(43).41-56)

А. Б. СКОРИК, кандидат технічних наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0002-4327-8796>

В. І. СУРГАЙ
<https://orcid.org/0009-0003-3251-9114>
(Харківський національний університет
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків)

К. Г. КОРНЄЄВ
<https://orcid.org/0000-0002-4427-0219>
(ДП «КБ “Південне”» ім. Янгеля, м. Дніпро)

О. О. ЗВЕРЄВ, кандидат технічних наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0003-2274-3115>

О. О. ГОЛОВІН, доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>

С. Й. СЛОБОДЕНЮК
<https://orcid.org/0009-0002-9341-3941>
(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

МЕТОД ПОЛІЕРГАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ. КЕРУВАННЯ ПРОЄКТОМ І ПРОЦЕСАМИ СИСТЕМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

В статті розглянуто питання розвитку теорії дата-центричних операцій на основі застосування нових підходів до керування життєвим циклом ракетних комплексів. Пропонується розглядати ракетні комплекси та системи забезпечення їх життєвого циклу в рамках єдиної соціокультурної екосистеми. Запропоновано метод і метамодель поліергатичної системи керування життєвим циклом дата-центричної екосистеми ракетного комплексу. Як складові метамоделі поліергатичної системи керування розглянуті модель керування проєктом (системи інтеграції і розвитку можливостей) зі створення екосистеми ракетного комплексу, модель керування процесами життєвого циклу екосистеми ракетного комплексу та модель рекурсивного представлення процесів системної інженерії проєкту.

Ключові слова: поліергатичні системи, екосистема, дата-центричні системи, ракетний комплекс, життєвий цикл, процеси системної інженерії.

ВСТУП

Міжнародна рада з системної інженерії (International Council on Systems Engineering, INCOSE) випустила публічний документ System Engineering Vision 2035 [1], в якому визначила, що: промисловість еволюціонувала від примітивної механізації до масового виробництва, потім до автоматизації на основі електроніки, а тепер до кіберфізичних систем, визначених як системи, які об'єднують обчислення, мережу та фізичні процеси. Разом з тим, промисловість зараз перебуває в процесі переосмислення, пристосовуючись до нових суспільних і технологічних викликів. На цей час існує проблема створення суспільства 5.0 (слідє за мисливським, сільськогосподарським, промисловим та інформаційним суспільством), яке орієнтоване на людину, врівноважує економічний розвиток із вирішенням соціальних проблем за допомогою соціокіберфізичних систем, які глибоко інтегрують кіберпростір і фізичний простір [1, 2].

Однією із сучасних наукових проблем є питання ефективного керування такими системами. Тому розроблення методу і метамоделі поліергатичного керування життєвим циклом ракетних комплексів є актуальним завданням.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Сучасні погляди на перспективи розвитку соціокіберфізичних систем систем (SoS) наводяться в [1, 2]. Особливий клас складають дата-центричні системи, описані в [3–6]. В [3] розглянуті підходи до побудови архітектури дата-центричної екосистеми, розроблено модель архітектури системи інтеграції і розвитку можливостей щодо створення екосистеми і обґрунтована загальна структура методу створення архітектури екосистеми. Особливе місце в формуванні поглядів на майбутній розвиток складних систем займають положення стандартів системної інженерії, приведені в [7–17]. Використання сучасних методів моделі-орієнтованої системної інженерії (model based systems engineering, MBSE) описано в [18]. Суттєвий вклад в розвиток дата-центричних систем вносять погляди на загальну теорію систем, викладені Аккофом в своїх роботах [19–21] і J. Gharajedaghi [22]. Найбільш суттєві питання життєвого циклу складних технічних систем розглянуті в [23–26].

Метою статті є розвиток теорії дата-центричних операцій на основі розробки методу і метамоделі поліергатичного керування життєвим циклом ракетних комплексів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Сучасні ракетні комплекси [27] можна розглядати як дата-центричні системи (DSoS) [5], що інтегрують навколо себе велику кількість систем забезпечення життєвого циклу (ЖЦ). Цей підхід дуже близький до підходу щодо створення соціокультурних (на відміну від біологічних) екосистем [28]. Екосистеми ракетних комплексів (РК), створювані на базі використання сучасних інформаційних технологій, дозволяють досягти більшого ступеня інтеграції систем підтримки ЖЦ [4].

На теперішній час у військових організаціях, конструкторських бюро, а також і у більшості корпорацій

склалася ієрархічна структура, визначувана біологічною моделлю організації (монорозумна система). Ця система з одним розумом (центром, що керує), в точності як людський організм, має свою власну мету (принцип цілеспрямованості). Монорозумна система має можливість вибору, але ось про її частини цього сказати не можна: вони функціонують на основі принципів кібернетики, як гомеостатична (що підтримує внутрішню динамічну рівновагу) система. Індустріально розвиненими країнами і ключовими учасниками міжнародного ринку в теперішній час формується нова культура створення і застосування систем систем, заснована на засадах соціокультурних моделей побудови організацій і мультирозумних систем [6].

Визначення DSoS, як мультирозумної системи передбачає формування концептуального середовища, в якому здійснюється формування наших знань про систему, і транзакційного середовища, яке в першу чергу визначає соціокультурну взаємодію заінтересованих осіб [5].

Система, одним з елементів якої є людина або група людей, називається ергатичною системою. У звичному сенсі ергатична система – це система «людина – машина», що містить якісно різні компоненти – людину і технічні засоби – машини та механізми. Сучасні датацентричні системи можливо розглядати як поліергатичні системи, структура концептуального середовища (рис. 1) яких організована так, що людина (суб'єкт) взаємодіє з об'єктом не як деякою механістичною сутністю, а опосередковано, через інформаційну модель, тобто замість відношення «людина – машина» виникає відношення «людина – технологія». Таким чином, поліергатичний характер системи визначається вже, в першу чергу, не фізіологічними можливостями людини, а її знаннями і компетенціями (які розглядаються як здатність робити щось успішно або ефективно).

Метод поліергатичного керування життєвим циклом РК передбачає керування життєвим циклом екосистеми ракетних комплексів у відповідності до міжнародних стандартів [7–17].

Життєвий цикл представляється як послідовність виконання стандартизованих процесів [7], які поділяються на дві групи: процеси ЖЦ і процеси архітектуризації. Перехід до процесів – це перехід до обговорення в пер-

шу чергу функціонального аспекту робіт і тільки потім до їх виконавців. Використання сучасних стандартів системної інженерії потребувало розробки нового механізму керування, наведеного на рис. 2, який є розвитком підходів, розглянутих у роботі [5].

Метод поліергатичного керування формується на основі метамоделі поліергатичної системи керування ЖЦ екосистеми РК (рис. 3), що реалізує запропонований механізм керування. Структура моделі адаптована до застосування системного проектування на основі моделей (Model-Driven Systems Engineering, MDSE), що забезпечено використанням при її побудові принципів model-driven engineering [18]:

- 1) принцип подання: будь-яка модель M являє об'єкт S ;
- 2) принцип множини груп описів: об'єкт S може бути представлений декількома моделями (мультимоделювання);
- 3) принцип відповідності: будь-яка модель відповідає мета-моделі MM (моделювання одного логічного рівня ведеться з використанням знань, певних на іншому логічному рівні);
- 4) багаторівнева організація: будь-яка метамодель MM відповідає загальній для них мета-метамоделі MMM ;
- 5) принцип трансформації: породження / генерування за моделями інженерних робочих продуктів;
- 6) принцип high-order transformation (HOT): трансформація (код, що описує перетворення моделі) – це теж модель;
- 7) принцип переплетення (weaving): відносини між декількома моделями можуть бути представлені теж як моделі;
- 8) метамодель: важлива модель, елементами якої є моделі. мета-моделі плюс відносини між ними. У мета-моделі може бути представлена інформація декількох логічних рівнів;
- 9) принцип уніфікації: всі згадані моделі характеризують загальну абстрактну модель – вищий рівень метамодельювання;
- 10) підхід технічного простору (technical space framework, TSF): будь-яка модель має зовнішнє технічне представлення (більше немає обмежень на вибір однієї мови моделювання для якогось виду моделей: нотації можуть бути різними, модель одна).

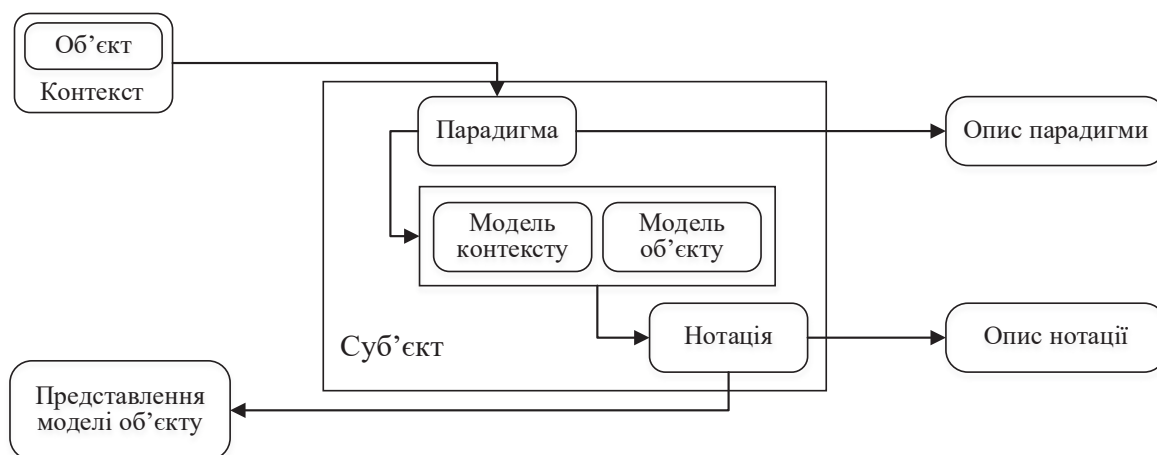
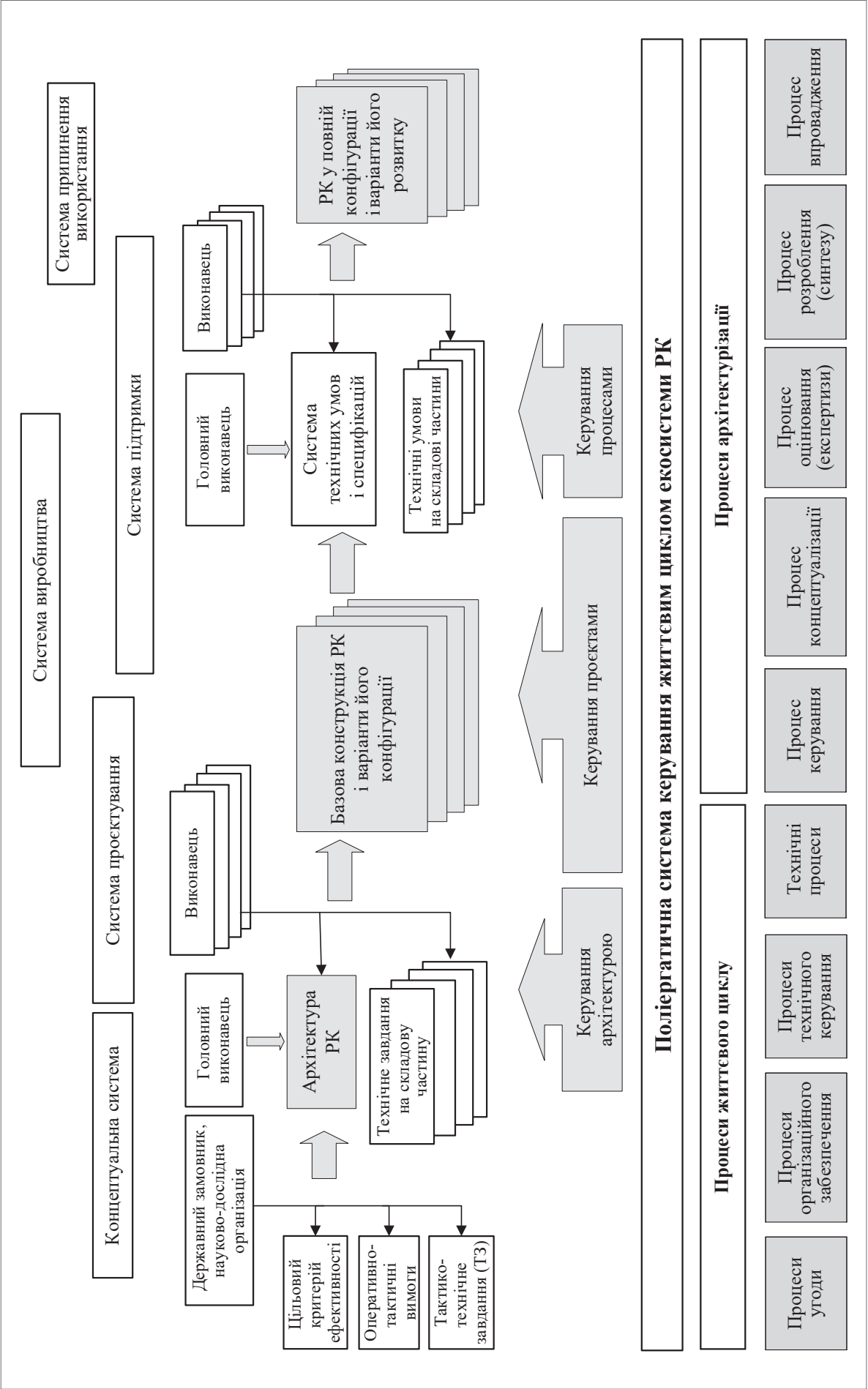


Рис. 1. Структура концептуального середовища DSoS



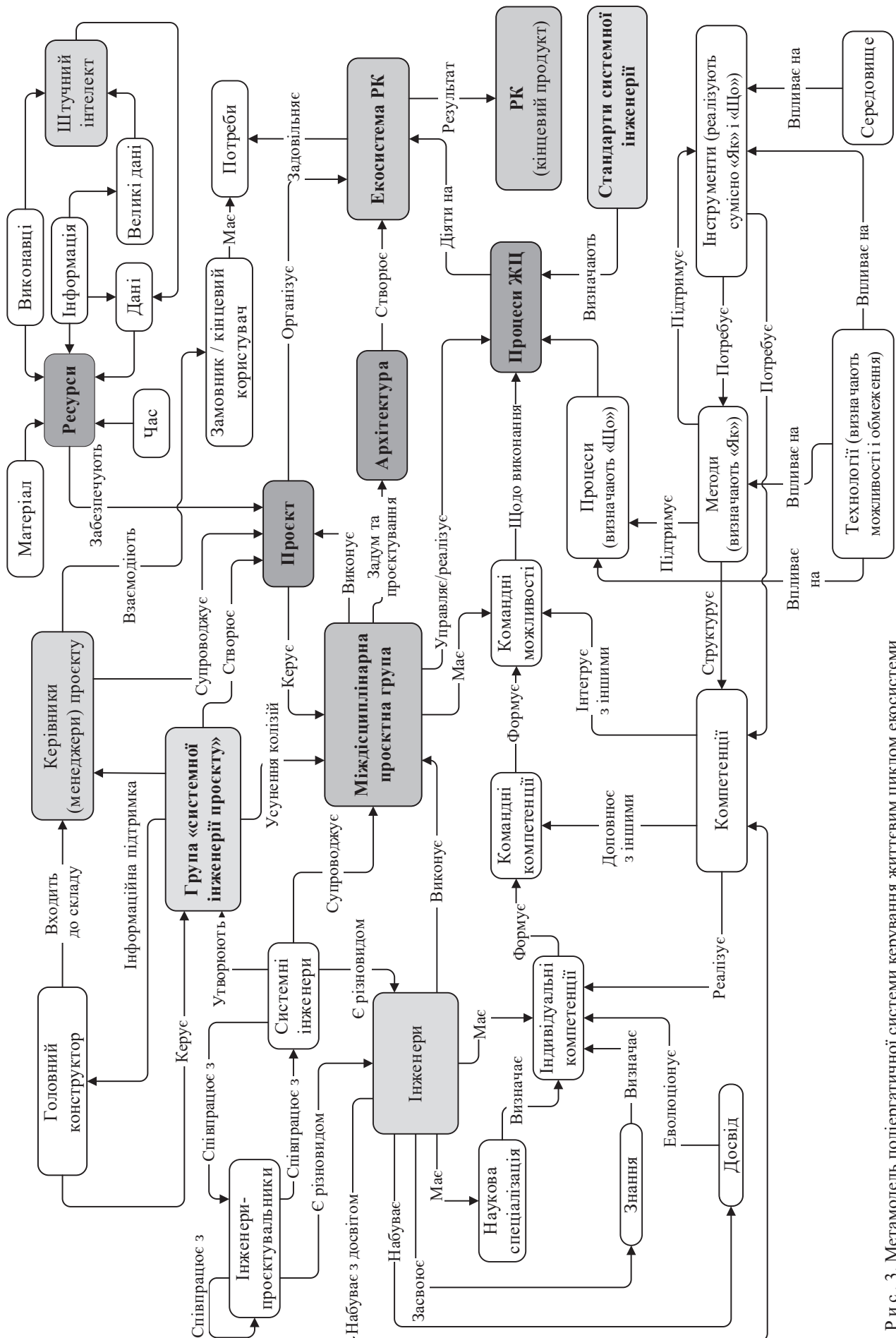


Рис. 3. Метамодель полієтагічної системи керування життєвим циклом екосистеми ракетного комплексу

Розгляд екосистеми РК як полієргатичної системи неминуче піднімає питання мультирозумності. Частина такої системи прагнуть до незалежної поведінки, в той час як ціле стає все більш залежним. Це породжує дилему: що ж все-таки важливіше – централізація (врахування інтересів цілого) або децентралізація (врахування інтересів частин)? Подібне протиставлення веде або до концентрації влади, або до хаосу. Будь-які компроміси на основі розмежування функцій між керівниками приносять лише розчарування і застій. Рішення проблеми полягає в представленні, що централізація і децентралізація – дві сторони однієї медалі. Вони повинні працювати одночасно [18]. На думку Акоффа [19–21], спільне застосування принципів централізації і децентралізації можливо у разі делегування повноважень (а не поділу влади) і єдиних критеріях прийняття рішень. Владу, як і знання, можна дублювати.

Для полієргатичних систем виконання цих рекомендацій призводить до дуже цікавих наслідків. Ієрархія вирішуваних завдань, відповідно до вимог MDSE, призводить до формування ієрархічного набору моделей їх вирішення. В умовах використання хмарних технологій існує можливість забезпечити загальний доступ до даних, а відповідно, і до моделей. А делегування повноважень може визначатися використанням загальних критеріїв прийняття рішень і наявністю відповідних компетенцій. Таким чином, ієрархія керування, яка раніше у значній мірі формувалася на основі ієрархічного доступу до інформації, в мережових системах трансформується в ієрархію компетенцій.

Метод полієргатичного керування використовує (рис. 3) наступну онтологічну модель. Процес – це логічна послідовність завдань, виконуваних для досягнення конкретної мети, тобто процес визначає «Що» слід виконувати, не вказуючи «Як» виконувати кожне завдання. Середовище включає в себе оточення, зовнішні об'єкти і умови або фактори, які можуть впливати на дії об'єкта. Метод виконання завдання визначає «Як» повинна виконуватися кожна задача для досягнення конкретної мети. Інструмент, за умови його правильного застосування, може підвищити ефективність виконання завдання. При цьому важливим стає фактор наявності у виконавця відповідних навичок використання інструментів і компетенцій застосування певних методів (володіння методологією).

У якості основних об'єктів системи полієргатичного керування ЖЦ екосистеми РК (рис. 3) розглядаються моделі керування: проектами, процесами ЖЦ, архітектурою і ресурсами.

Модель керування проектом зі створення екосистеми РК приведена на рис. 4. Ця модель побудована з урахуванням підходів, прийнятих в об'єднаній системі інтеграції і розвитку можливостей (JCIDS), розробленій міністерством оборони США [23, 24]. Слід відзначити, що екосистема РК використовує ринкові механізми саморегуляції, тому найбільш придатним є непряме керування через формування впливів на транзакційне середовище. Вирішення такої глобальної задачі, як створення РК нового покоління, можливе лише за умови формування відповідних об'єктивних можливостей.

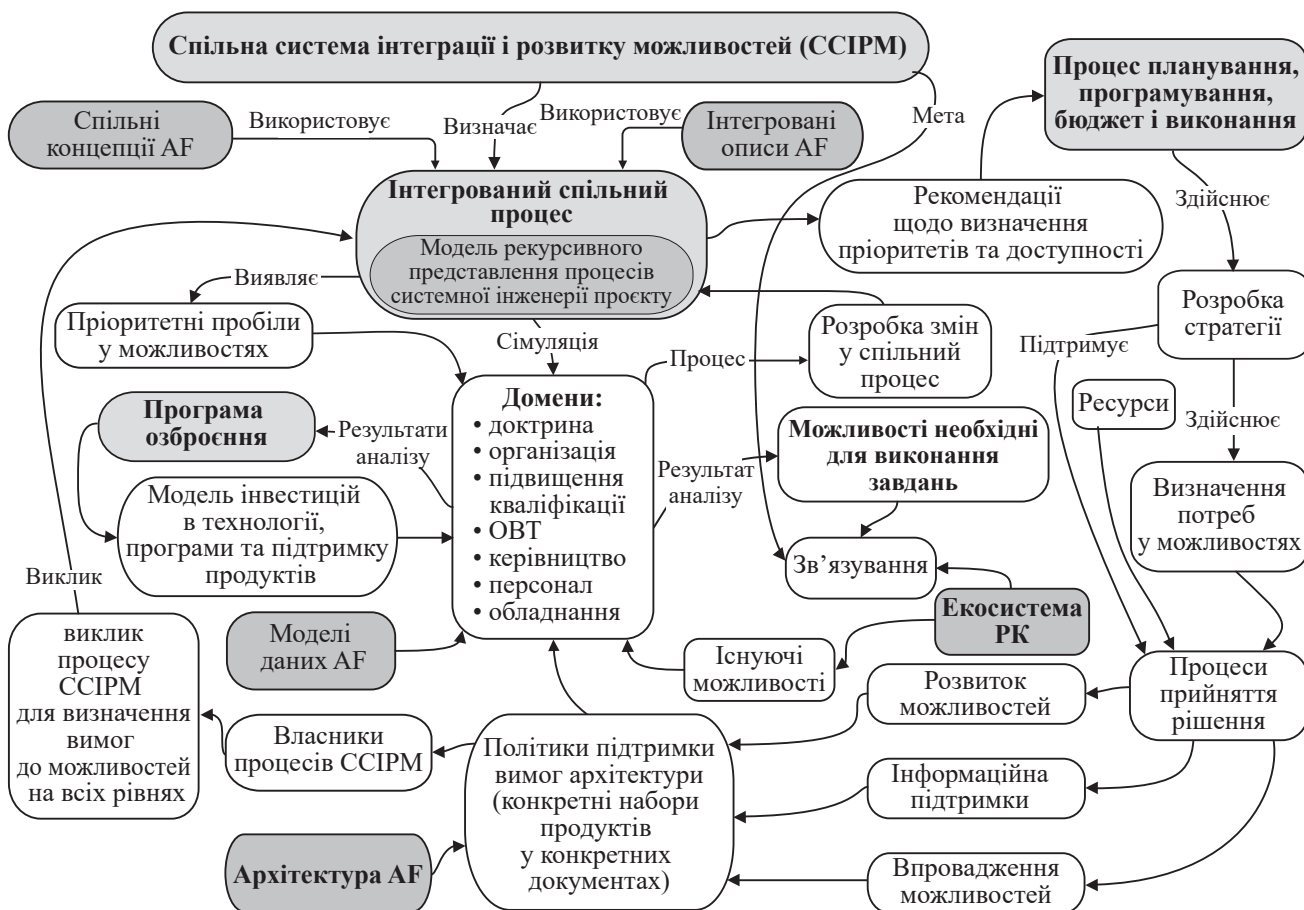
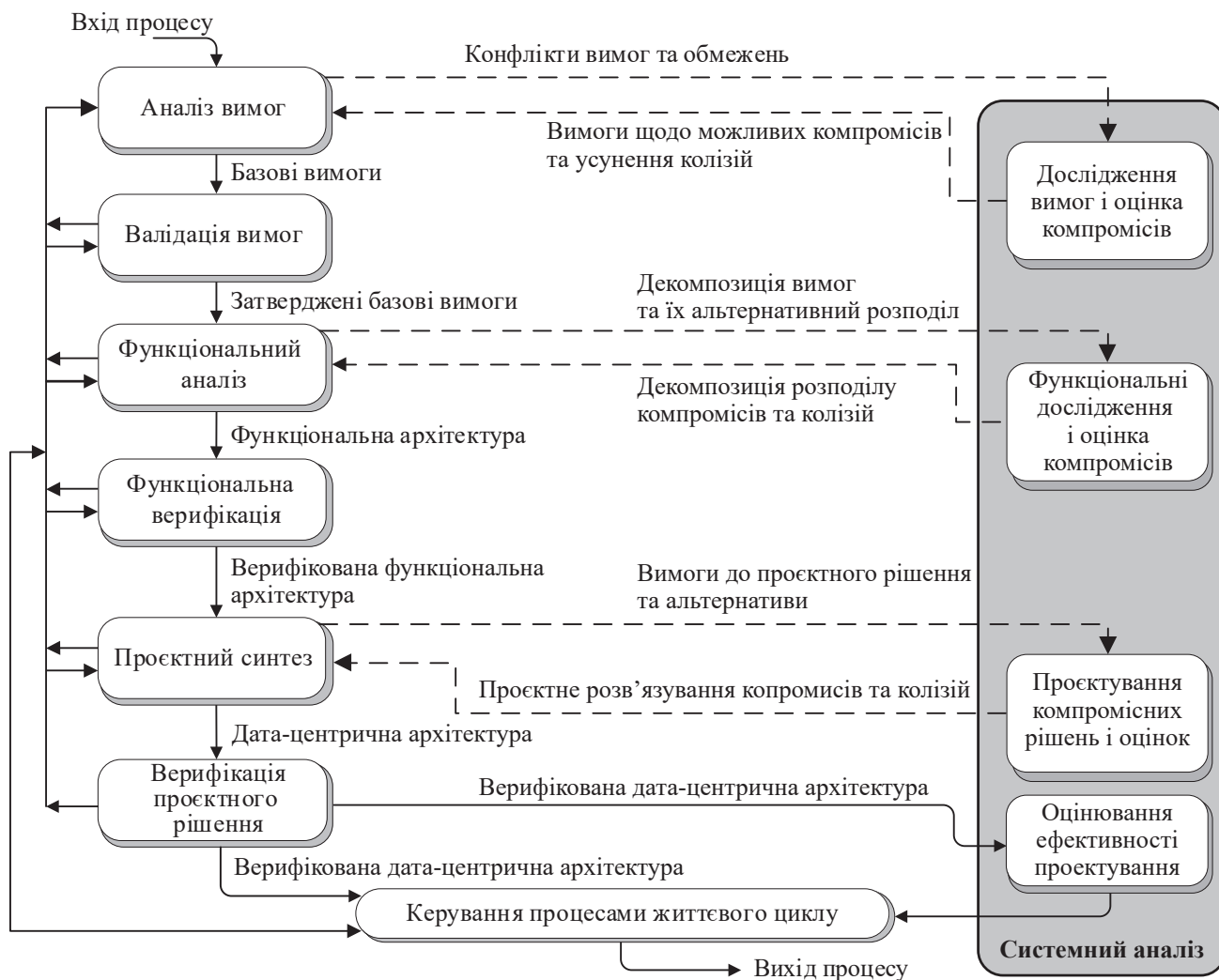


Рис. 4. Модель керування проектом зі створення екосистеми ракетного комплексу



Р и с . 5. Модель рекурсивного представлення процесів системної інженерії проекту

Формування такої системи потребує задіяння значних ресурсів, що можливе лише на обмеженому проміжку часу. У рамках ринкової економіки можна казати про створення вікна можливостей. Після деякого часу ці ресурси будуть або перепрофільовані, або деградувати. Таким чином, прив'язка процесів до ЖЦ РК повинна здійснюватися не абстрактно, а відповідно до реальної часової шкали, що відповідає наявним ресурсам і розвитку технологій. На відміну від програм розвитку озброєння [25, 26], загальний процес створення екосистеми РК розглядає значно більшу кількість факторів, що впливають на придбання необхідних можливостей, які відповідно до підходів, прийнятих в країнах блоку НАТО, групуються в відповідні домени (рис. 4).

При розробленні і виконанні проекту зі створення перспективної РК, одна з основних задач системи поліергатичного керування екосистемою РК (рис. 4) – це запобігання конфігураційних колізій [6]. На рис. 5 наведено модель рекурсивного представлення процесів системної інженерії проекту, побудовану відповідно вимогам стандарту IEEE 1220-2005 [13].

Колізії – це протиріччя (невідповідності) одних частин проектованої РК іншим. Протиріччя неминує з'являються при колаборативній розробці перспективного РК. Різні учасники проекту РК діють в ситуації неповної інформації

як про РК – як цільову систему в її поточному (або прогнозованому далі по життєвому циклу) стані, так і про дії та цілі один одного. Крім того, впродовж «руху» РК по життєвому циклу неминує виникнуть додаткові колізії між РК і системами в її операційному оточенні. Чим пізніше по життєвому циклу буде виявлена колізія, тим дорожче її виправлення. Для боротьби з колізіями процеси проектування РК мають носити рекурсивний характер.

Моделі процесів системної інженерії (SE) (рис. 5) приведені на рис. 6–9.

На рис. 6 приведена модель процесів аналізу і валідації вимог. Вона передбачає необхідність реалізації рекурсивних процедур формування вимог і відповідно встановлення базових вимог, які впродовж проектування мають бути розширені. Такий підхід має на меті запропонувати рішення краще і дешевше, ніж просить клієнт. Цей принцип сформулював ще Генрі Форд: «Якби я запитав людей, чого вони хочуть, вони б попросили більш швидкого коня». З обліком цього, стандарт IEEE 29148 [16] пропонує розділяти: Business Requirements Specification (BRS), System Operational Concept (OpsCon), Stakeholder Requirements Specification (StRS), System Requirements Specification (SyRS).

Модель процесів аналізу і валідації вимог (рис. 6) виконана з обліком необхідності переходу від фор-

мування обрисів систем РК до розробки архітектури ракетного комплексу як дата-центричної SoS. Вона передбачає необхідність реалізації рекурсивних процедур формування вимог і відповідно встановлення базових вимог, які впродовж проєктування мають бути розширені. Визначення базових вимог передбачає формування точок зору на проєкт, архітектуру і процеси SE, які потім необхідно піддати процедурам валідації. Валідація (validation): підтвердження того, що вимоги, призначені для конкретного використання або застосування, виконані. Процес валідації дозволяє упевнитися в тому, що розробники правильно розуміють потреби замовника.

У процесі аналізу здійснюється виявлення конфліктів, вимог та обмежень, які необхідно піддати процедурам системного аналізу. На рис. 7 приведена модель процесу системного аналізу. Результатом системного аналізу при визначенні базових вимог є формування вимог щодо можливих компромісів та усунення колізій. Слід відзначити, що використання процедур системного аналізу впродовж кожної фази проєктування (рис. 5) носить ітеративний характер. Затверджені базові вимоги використовуються в процесах функціонального аналізу і верифікації, які забезпечують отримання узгодженої з замовниками моделі дата-центричної архітектури екосистеми РК. Відповідна модель наведена на рис. 8.

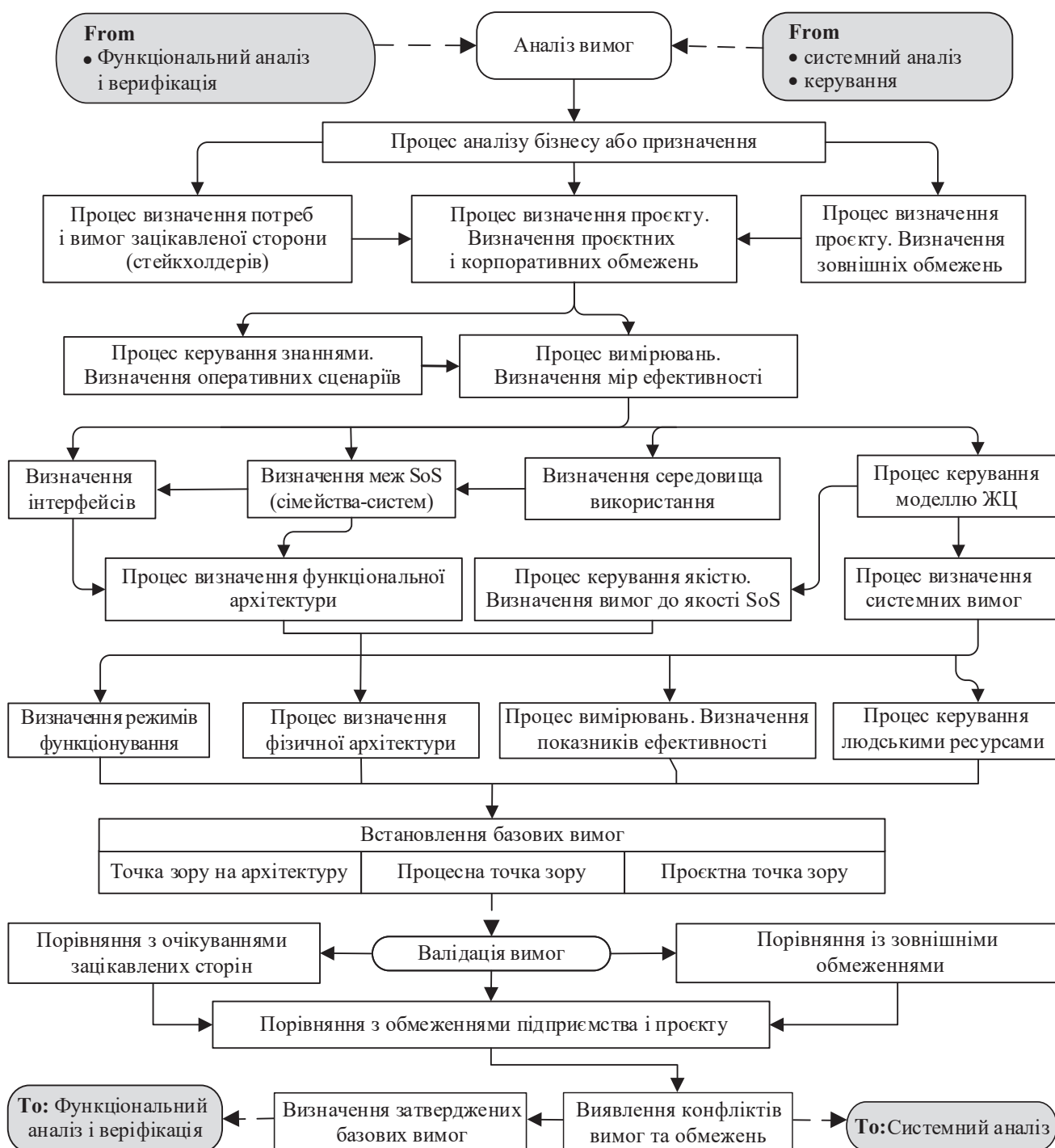


Рис. 6. Модель процесів аналізу і валідації вимог

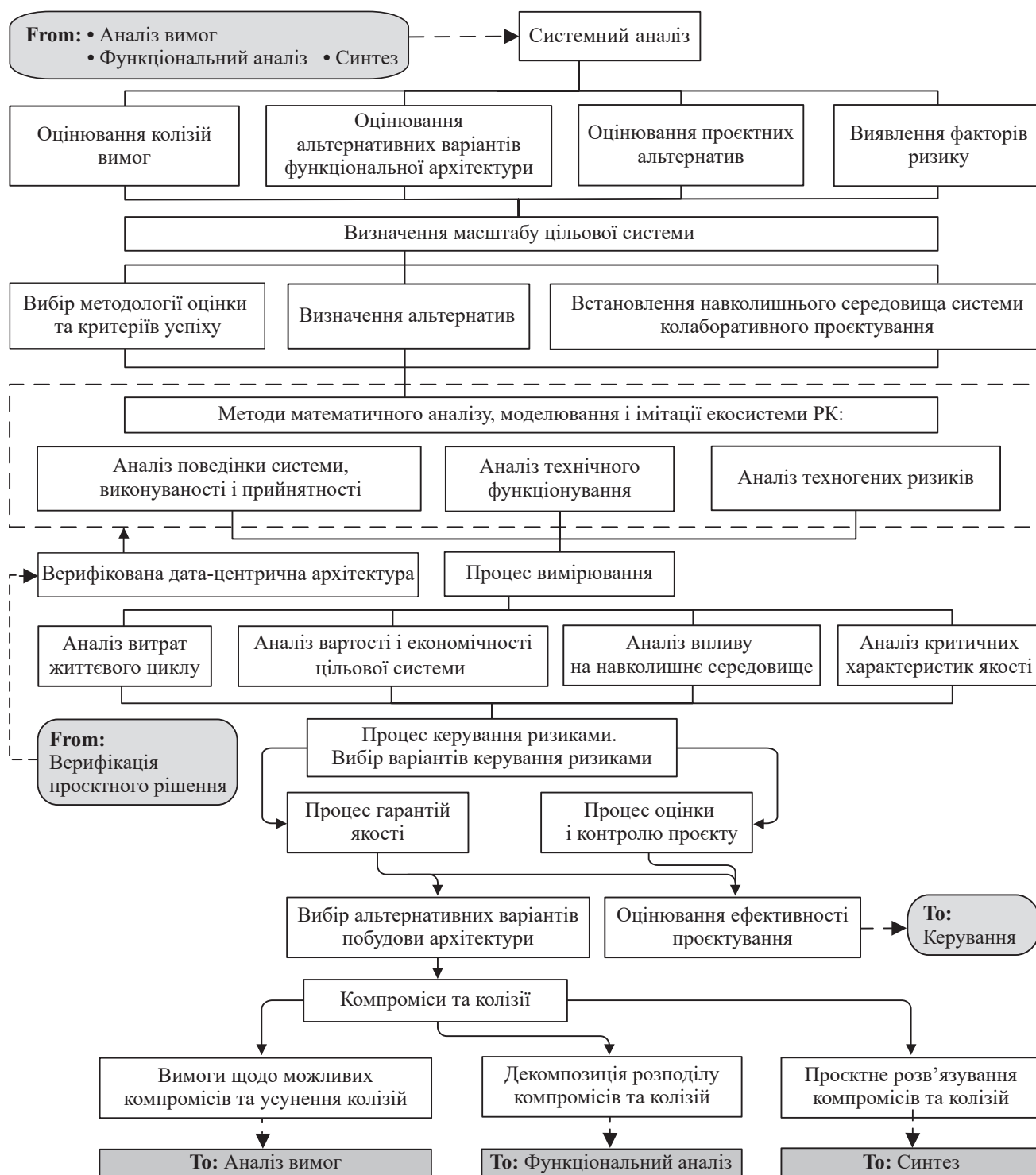


Рис. 7. Модель процесу системного аналізу

Функціональний аналіз забезпечує досягнення наступних двох взаємопов'язаних цілей: а) дозволяє більш детально описати проблему, визначену в результаті аналізу вимог; б) здійснити декомпозицію екосистеми РК на функції окремих систем, що входять до її складу.

В рамках функціонального контекстного аналізу розглядається функціональна поведінка SoS в різних умовах і оцінюється цілісність архітектури. Аналіз повинен включати в себе моделювання або симуляцію функціональних моделей з використанням операційних сценаріїв, які дозволяють аналізувати поведінку системи

в різних ситуаціях, що відображають передбачуване використання і умови застосування.

Функціональна декомпозиція дозволяє розглядати альтернативні варіанти конфігурації процесів ЖЦ РК і відповідно різні варіанти функціональної архітектури екосистеми РК. В рамках декомпозиції здійснюються ітеративні процедури системного аналізу по декомпозиції і розподілу компромісів та колізій (рис. 7).

Процеси проєктного синтезу (рис. 5) здійснюються з метою визначення проєкту створення ракетного комплексу і дата-центричної архітектури екосистеми РК.

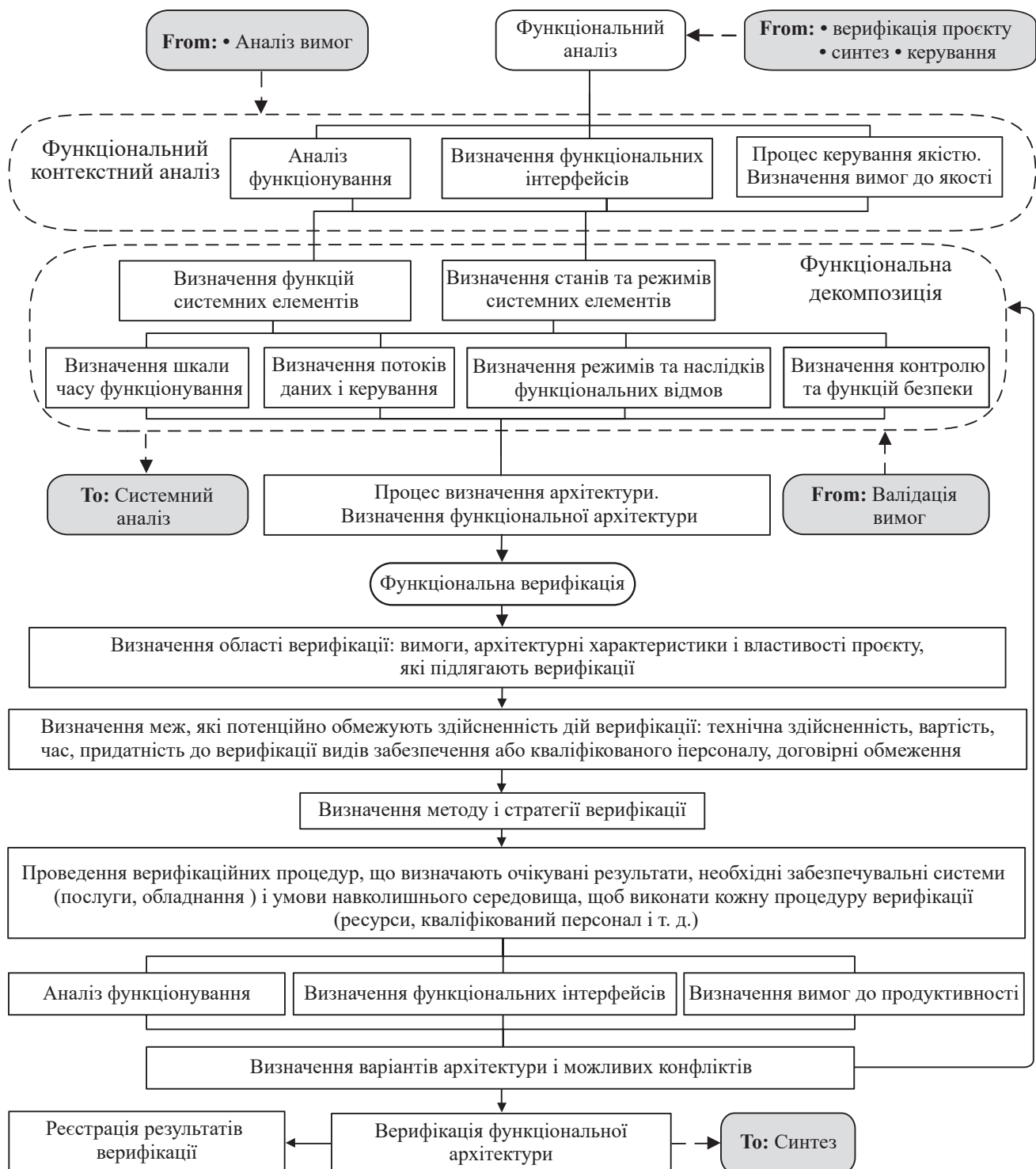


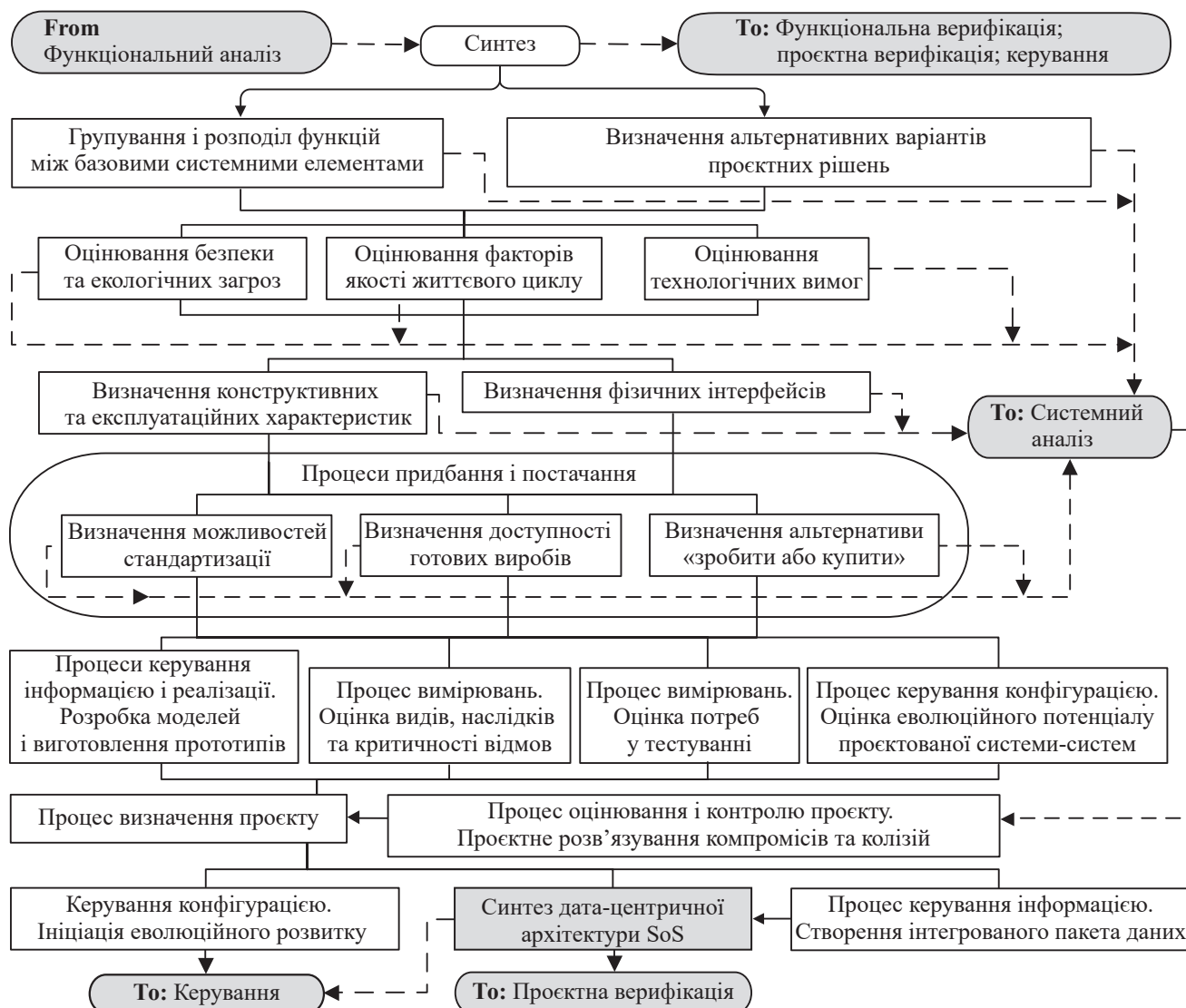
Рис. 8. Модель процесів функціонального аналізу і верифікації функціональної архітектури

Відповідна модель приведена на рис. 9. Особливістю цієї моделі проєктного синтезу є те, що процеси визначення проєкту і архітектури носять рекурсивний характер, і залежно від фази синтезу можуть розглядатися на рівні створення РК як «цільової системи» або фази синтезу екосистеми РК. Результати проєктного синтезу повинні пройти процедуру верифікації, модель якої представлена на рис. 10.

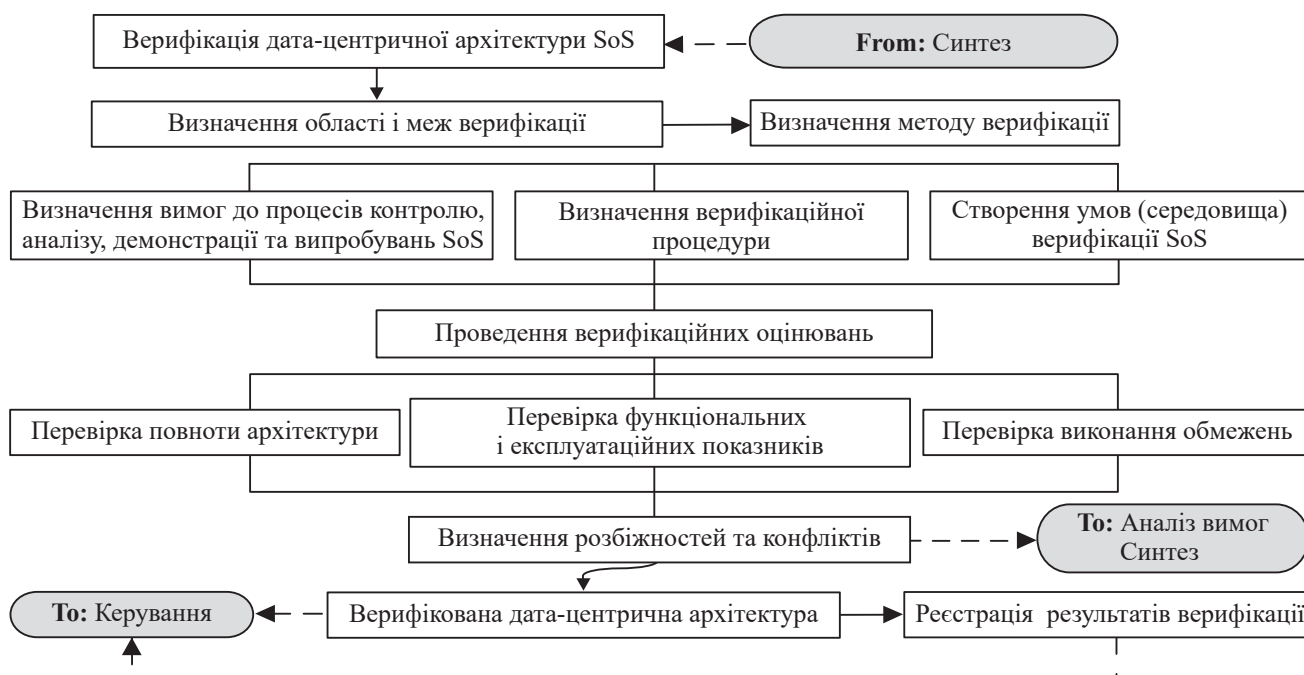
Рекурсивний характер процесів системної інженерії проєкту передбачає і рекурсивне формування вимог (Software Requirements Specification, SRS), яке здійс-

нюється згідно зі стандартом IEEE 29148. Розглянуті процеси системної інженерії проєкту слід розглядати як складову частину процесів життєвого циклу екосистеми РК. Модель керування процесами ЖЦ екосистеми РК наведена на рис. 11.

Мета керування процесами зосереджується на змістовному об'єднанні робіт різних стадій ЖЦ, тобто охоплює всю множину проєктів. Акцент тут саме полягає на змістовному аспекті (change of mental frameworks) – зміні переважно системно-інженерного мислення в ході зміни стадій життєвого циклу екосистеми РК. Ця модель



Р и с . 9. Модель процесів проєктного синтезу екосистеми



Р и с . 10. Модель процесу верифікації проєктного рішення

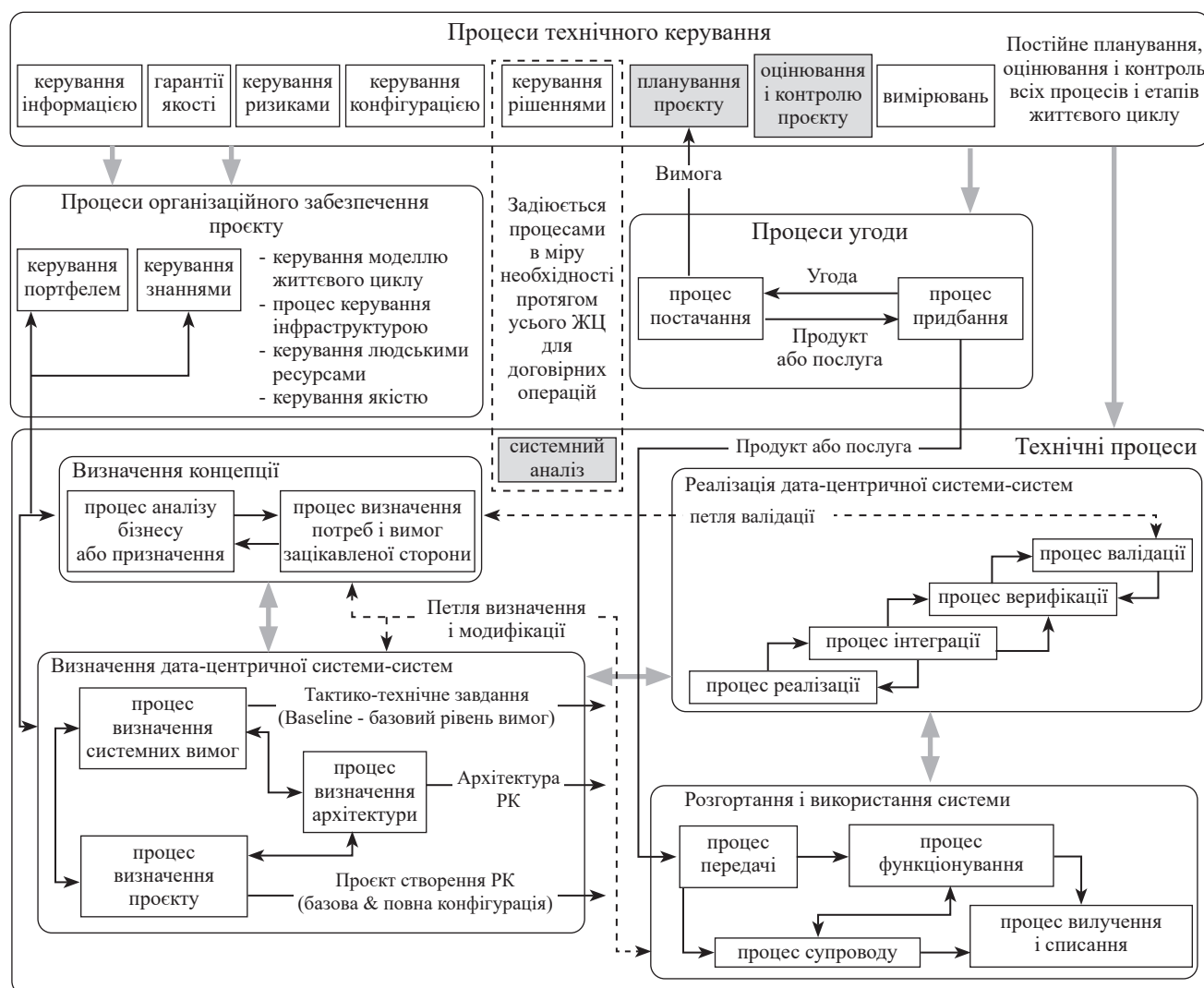


Рис. 11. Модель керування процесами життєвого циклу екосистеми ракетного комплексу

побудована за матеріалами стандартів [7, 11, 12]. Дії, які можуть бути виконані протягом життєвого циклу системи, групуються в чотири групи процесів. Кожен процес в межах цих груп описано в термінах його мети і бажаних результатів. Перелічуються дії та завдання, які повинні бути виконані для досягнення цих результатів.

Визначення процесів життєвого циклу засновано на трьох принципах:

- для кожного процесу ЖЦ вводяться строгі відносини між його результатами, діями і завданнями;
- залежності між процесами прагнуть зменшити до максимально можливого ступеня (модульність);
- будь-який з процесів повинен мати можливість бути виконаним деякою окремою організацією в конкретному життєвому циклі. Організація, що здійснює процес, несе відповідальність за весь процес, хоча виконання окремих завдань можуть здійснювати різні користувачі (принцип відповідальності).

Демо коротку характеристику групам розглянутих процесів.

Процеси угоди включають в себе:

- а) процес придбання, який використовується організаціями для купівлі продуктів або послуг;

- б) процес поставки, який використовується організаціями для поставок продуктів або послуги.

Процеси угоди вкрай важливі, оскільки вони встановлюють способи керування в колаборативному підприємстві, що поєднує організації, відповідальні за створення цільової SoS. Системи забезпечення життєвого циклу РК можуть створюватися і керуватися різними організаціями, часто мають власну мету, яка, можливо, не може бути підпорядкована меті створення РК.

Процеси організаційного забезпечення проекту дають можливість організації придбати і поставляти продукти або послуги через ініціювання, підтримку і контроль проектів. Вони забезпечують ресурси та інфраструктуру, необхідні для підтримки проекту і задоволення організаційним цілям і встановленим угодам.

Процеси технічного керування використовуються для встановлення і розгортання планів, їх виконання, оцінки фактичного досягнення і просування відповідно до планів і керування виконанням. Процеси технічного керування застосовуються з рівнем строгості і формальності, який залежить від ризиків і складності проекту. Областю застосування процесів є технічне керування проектом або його продуктами для включення в систему. Вони також дозволяють продуктам і послугам відпові-

дати очікуванням або узаконеним вимогам суспільства, включаючи аспекти здоров'я, безпеки, захищеності та екології.

В схемі, наведеній на рис. 11, процес аналізу бізнесу або призначення і процес визначення потреб і вимог зацікавлених сторін винесені в окрему групу «визначення концепції». В моделі рекурсивного представлення процесів SE (рис. 5) відповідно введені алгоритми аналізу і валідації вимог.

Одним з важливих питань керування проєктом стає ресурсне забезпечення. До ресурсів відносяться:

- виконавці – будь яка сутність яка виконує/дає можливість виконати дію;
- інформація – стан чогось, що представляє інтерес і матеріалізується в будь-якій формі і може бути прийнято або передано;
- дані – подання інформації в формалізованому вигляді, зручному для спілкування, інтерпретації або обробки;
- матеріал – обладнання, апаратура або матеріали, що представляють інтерес, незалежно від їх застосування в технічних або адміністративних цілях.

З обліком функціонування екосистеми РК у 4D просторі до ресурсів також відноситься час.

В системах полієргатичного керування особливе місце займає штучний інтелект (відноситься до виконавців), який перетворює «великі дані» (big data) в ресурси, тобто реалізується новий принцип зв'язку кібернетичного і фізичного просторів, притаманний сучасним кіберфізичним системам.

ВИСНОВКИ

1. Екосистеми РК, створювані на базі використання сучасних інформаційних технологій, дозволять досягти більшого ступеня інтеграції систем підтримки ЖЦ, однак не зажадають великих витрат на інфраструктуру і соціальну сферу.

2. Однією із сучасних наукових проблем є питання ефективного керування такими екосистемами.

3. В статті в рамках розробки методу полієргатичного керування ЖЦ РК проведено обґрунтування понятійного апарату дата-центричних екосистем.

4. В дата-центричних системах, основаних на моделі, класичне ергатичне керування (людина – машина) змінюється на полієргатичне керування (людина – технологія). В результаті виникає поняття полієргатичного керування. В якості основної ідеї, що покладено в основу полієргатичної системи керування, розглядається припущення, що ієрархія керування, яка раніше у значній мірі формувалася на основі ієрархічного доступу до інформації, в дата-центричних системах трансформується в ієрархію компетенцій.

5. Запропоновано метод і метамодель полієргатичного керування життєвим циклом систем РК, які передбачають керування життєвим циклом екосистеми РК у відповідності до міжнародних стандартів системної інженерії. Життєвий цикл представляється як послідовність виконання стандартизованих процесів, які поділяються на дві групи: процеси ЖЦ і процеси архітектуризації.

Адекватність запропонованих методу й метамоделі забезпечується концептуалізуванням комплексних досліджень полієргатичної системи керування життєвим циклом дата-центричної екосистеми ракетного комплексу завдяки її онтологічному представленню.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Systems Engineering Vision 2035. Engineering solutions for a better world: Intern. Council on Systems Engineering. 2023. Available at: https://www.incose.org/docs/default-source/se-vision/incose-se-vision-2035.pdf?sfvrsn=e32063c7_10.
2. Book of abstracts. 33^d Annual INCOSSE Intern. symposium «hybrid event». Honolulu, HI, USA July 15 – 20, 2023. Available at: https://www.incose.org/docs/default-source/events-documents/is2023/program/is2023bookabstract.pdf?sfvrsn=79f67fc7_10.
3. Скорик А.Б. Методологічні основи створення архітектури дата-центричної екосистеми ЗРС. Харків: Зб. наук. пр. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2021. № 1(67). С. 119–133. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.67.16>.
4. Метод проєктування системи управління життєвим циклом перспективної зенітної ракетної системи / А.Б. Скорик, М.А. Павленко, К.Г. Корнєєв, С.В. Осієвський. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2019. № 3(36). С. 86–92. <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.36.10>.
5. Скорик А.Б., Зверев О.О. Метод моделі-орієнтованого синтезу архітектури дата-центричних систем. Озброєння та військова техніка. 2024. № 1(41). С. 61–74. [https://doi.org/10.30748/2414-0651.2024.1\(41\).61-74](https://doi.org/10.30748/2414-0651.2024.1(41).61-74).
6. Скорик А.Б., Ярош С.П. Еволюційний розвиток концепції мережецентричних війн, системно-концептуальні основи теорії дата-центричних операцій. Харків: Зб. наук. праць Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2020. № 4(66). С. 26–34. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.66.03>.
7. ISO/IEC/IEEE 15288:2023 Systems engineering – System life cycle processes. Technical Committee: ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2023.
8. ISO/IEC/IEEE 12207:2017 Systems and software engineering – Software life cycle processes. Technical Committee: ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2017.
9. ISO/IEC/IEEE 24748-2:2018 Systems and software engineering – Life cycle management. P. 2: Guidelines for the application of ISO/IEC/IEEE 15288 (System life cycle processes). Technical Committee: ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2018.
10. ISO/IEC/IEEE 24748-4:2016 Systems and software engineering – Life cycle management. P. 4: Systems

- engineering planning. Committee C/S2ESC – Software & Systems Engineering Standards Committee. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2016.
11. IEEE 15288.1:2014 Standard for Application of Systems Engineering on Defense Programs. Software & Systems Engineering Standards Committee. IEEE Computer Society. 3 Park Avenue New York, NY 10016-5997 USA. 2014.
 12. IEEE 15288.2:2014 IEEE Standard for Technical Reviews and Audits on Defense Programs. Software & Systems Engineering Standards Committee. IEEE Computer Society. 3 Park Avenue New York, NY 10016-5997 USA. 2014.
 13. IEEE 1220-2005 IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process. Committee C/S2ESC - Software & Systems Engineering Standards Committee. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 - 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2005.
 14. ISO/IEC/IEEE 42020:2019 Software, systems and enterprise — Architecture processes. Technical Committee: ISO/IEC/JTC1/SC7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2019.
 15. ISO/IEC/IEEE 42030:2019 Software, systems and enterprise – Architecture evaluation framework. Technical Committee: ISO/IEC/JTC1/SC7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2019.
 16. ISO/IEC/IEEE 29148 Systems and software engineering – Software life cycle processes. Development of requirements. Технічний комітет: ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2017.
 17. ISO/IEC/IEEE 42010:2017 Systems and software engineering — Architecture description. Technical Committee: ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2017.
 18. Eichmann, C., Melzer, S. & God, R. (2019). Model-based Development of a System of Systems Using Unified Architecture Framework (UAF): A Case Study. 2019 IEEE Intern. Systems Conference (SysCon). Orlando, FL, USA, 8-11 april.
 19. Ackoff, R., Magidson, J. & Addison, H. (2006). Idealized design: How to Dissolve Tomorrow's Crisis ... Today; Creating an Organization's Future. Wharton School Publishing: New York. P. 285.
 20. Ackoff, R. (1974). Redesigning the Future: A Systems Approach to Societal Problems. John Wiley & Sons: New York. P. 260.
 21. Ackoff, R. (1979). The Future of Operational Research is Past. The J. of the Operational Research Society. Feb. Vol. 30. No. 2. Pp. 93–104. <https://doi.org/10.2307/3009290>.
 22. Gharajedaghi, J. Systems Thinking: Managing Chaos and Complexity: A Platform for Designing Business Architecture. USA: Elsevier. 2011. 376 p.
 23. The official site of Defense Acquisition Univ. Interim DoD Instruction 5000.02 Operation of the Defense Acquisition System. Available at: <https://www.dau.mil/guidebooks/Shared%20Documents%20HTML/DoDI%205000.02.aspx>.
 24. The official site of Defense Acquisition Univ. The Interactive Defense Acquisition Life Cycle Chart. Available at: <https://www.dau.mil/tools/t/ILC>.
 25. Демидов Б.А., Науменко М.В. Системная методология формирования концептуальных проектных моделей перспективных сложных образцов вооружения и военной техники. Харків: 36. наук. праць Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2010. № 1(23). С. 116–123.
 26. Демидов Б.А. Системная методология планирования развития, предпроектных исследований и внешнего проектирования вооружения и военной техники. Киев: ИД «Стилос». 2011. 464 с.
 27. Edberg, D., Costa, G. & Costa, W. (2022). Design of Rockets and Space Launch Vehicles, USA: American Inst. of Aeronautics & Ast. 977 p.
 28. Curry, E. & Sheth, A. Next-Generation Smart Environments: From System of Systems to Data Ecosystems. IEEE Computer Society. May/June 2018. Pp. 69–76.

REFERENCES

1. Systems Engineering Vision 2035. Engineering solutions for a better world: Intern. Council on Systems Engineering. 2023. Available at: https://www.incose.org/docs/default-source/se-vision/incose-se-vision-2035.pdf?sfvrsn=e32063c7_10.
2. Book of abstracts. 33d Annual INCOSE Intern. symposium «hybrid event». Honolulu, HI, USA July 15 – 20, 2023. Available at: https://www.incose.org/docs/default-source/events-documents/is2023/program/is2023bookabstract.pdf?sfvrsn=79f67fc7_10.
3. Skoryk, A. (2021), “Metodolohichni osnovy stvorennia arkhitektury data-tsentrychnoi ekosystemy ZRS” [Methodological fundamentals of creating the ADS data-centric ecosystem architecture], Scientific Works of Ivan Kozhedub Kharkiv Nat. Air Force Univ. No. 1(67). Pp. 119–133. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.67.16>.
4. Skoryk, A.B., Pavlenko, M.A., Kornieiev, K.H. & Osiyevs'kyi, S.V. (2019), “Metod proektuvannia systemy upravlinnia zhyttievym tsyklom perspektyvnoi zenitnoi raketnoi systemy” [Method of designing a life cycle management system for an advanced anti-aircraft missile system], Science and Technology of the Air Force of Ukraine. No. 3(36), Pp. 86–92. <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.36.10>.
5. Skoryk, A.B. & Zvieriev, O.O. (2024), “Metod modele-orientovanoho syntezu arkhitektury data-tsentrychnykh systemy” [Method of model-oriented synthesis of data centre systems architecture], Armament and military equipment. No. 1(41), Pp. 61–74. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2024.1\(41\).61-74](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2024.1(41).61-74).
6. Skoryk, A.B. & Yarosh, S.P. (2020), “Evolutsiyni rozvytok kontseptsii merezhevo-tsentrychnykh viin, systemno-

- kontseptual'ni osnovy teorii data-tsentrychnykh operatsii" [Evolutionary development of the concept of network-centric wars, system-conceptual bases of the theory of data-centric operations], Scientific Works of Kharkiv Nat. Air Force Univ. No. 4(66), Pp. 26–34. doi: 10.30748/zhups.2020.66.03.
7. ISO/IEC/IEEE 15288:2023 Systems engineering – System life cycle processes. Technical Committee: ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2023.
 8. ISO/IEC/IEEE 12207:2017 Systems and software engineering – Software life cycle processes. Technical Committee: ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2017.
 9. ISO/IEC/IEEE 24748-2:2018 Systems and software engineering – Life cycle management. P. 2: Guidelines for the application of ISO/IEC/IEEE 15288 (System life cycle processes). Technical Committee: ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2018.
 10. ISO/IEC/IEEE 24748-4:2016 Systems and software engineering – Life cycle management. P. 4: Systems engineering planning. Committee C/S2ESC – Software & Systems Engineering Standards Committee. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2016.
 11. IEEE 15288.1:2014 Standard for Application of Systems Engineering on Defense Programs. Software & Systems Engineering Standards Committee. IEEE Computer Society. 3 Park Avenue New York, NY 10016-5997 USA. 2014.
 12. IEEE 15288.2:2014 IEEE Standard for Technical Reviews and Audits on Defense Programs. Software & Systems Engineering Standards Committee. IEEE Computer Society. 3 Park Avenue New York, NY 10016-5997 USA. 2014.
 13. IEEE 1220-2005 IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process. Committee C/S2ESC - Software & Systems Engineering Standards Committee. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 - 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2005.
 14. ISO/IEC/IEEE 42020:2019 Software, systems and enterprise — Architecture processes. Technical Committee: ISO/IEC/JTC1/SC7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2019.
 15. ISO/IEC/IEEE 42030:2019 Software, systems and enterprise – Architecture evaluation framework. Technical Committee: ISO/IEC/JTC1/SC7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2019.
 16. ISO/IEC/IEEE 29148 Systems and software engineering – Software life cycle processes. Development of requirements. Технічний комітет: ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2017.
 17. ISO/IEC/IEEE 42010:2017 Systems and software engineering — Architecture description. Technical Committee: ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering. Intern. Organization for Standardization ISO Central Secretariat Chemin de Blandonnet 8 CP 401 – 1214 Vernier, Geneva, Switzerland. 2017.
 18. Eichmann, C., Melzer, S. & God, R. (2019). Model-based Development of a System of Systems Using Unified Architecture Framework (UAF): A Case Study. 2019 IEEE Intern. Systems Conference (SysCon). Orlando, FL. USA, 8-11 april.
 19. Ackoff, R., Magidson, J. & Addison, H. (2006). Idealized design: How to Dissolve Tomorrow's Crisis ... Today; Creating an Organization's Future. Wharton School Publishing: New York. P. 285.
 20. Ackoff, R. (1974). Redesigning the Future: A Systems Approach to Societal Problems. John Wiley & Sons: New York. P. 260.
 21. Ackoff, R. (1979). The Future of Operational Research is Past. The J. of the Operational Research Society. Feb. Vol. 30. No. 2. Pp. 93–104. <https://doi.org/10.2307/3009290>.
 22. Gharajedaghi, J. Systems Thinking: Managing Chaos and Complexity: A Platform for Designing Business Architecture. USA: Elsevier. 2011. 376 p.
 23. The official site of Defense Acquisition Univ. Interim DoD Instruction 5000.02 Operation of the Defense Acquisition System. Available at: <https://www.dau.mil/guidebooks/Shared%20Documents%20HTML/DoDI%205000.02.aspx>.
 24. The official site of Defense Acquisition Univ. The Interactive Defense Acquisition Life Cycle Chart. Available at: <https://www.dau.mil/tools/t/ILC>.
 25. Demidov, B.A. & Naumenko, M.V. (2010), "Sistemnaia metodologiya formuvannia kontseptualnykh proiektnykh modelei perspektyvnykh skladnykh zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki" [System methodology of formation of conceptual design models of prospective complex armament and military equipment samples], Scientific Works of Kharkiv Nat. Air Force Univ. No. 1(23). Pp. 116–123.
 26. Demidov, B.A. (2011), "Sistemnaia metodologiya planirovaniia razvitiia, predproiektnykh issledovaniia i vneshnego proiektirovaniia vooruzheniia i voiennoi tekhniki" [System methodology for development planning, pre-design studies and external design of weapons and military equipment.], ID «Stilos». 464 p.
 27. Edberg, D., Costa, G. & Costa, W. (2022). Design of Rockets and Space Launch Vehicles, USA: American Inst. of Aeronautics & Ast. 977 p.
 28. Curry, E. & Sheth, A. Next-Generation Smart Environments: From System of Systems to Data Ecosystems. IEEE Computer Society. May/June 2018. Pp. 69–76.

**Skoryk A.B., Surhai V.I., Kornieiev K.H.,
Zvieriev O.O., Holovin O.O., Slobodeniuk S.Y.**

**METHOD OF POLYERGETIC LIFE CYCLE
MANAGEMENT OF MISSILE SYSTEMS. PROJECT
MANAGEMENT AND SYSTEMS ENGINEERING
PROCESSES**

The article raises the issue of developing a theory of data-centric operations based on the application of new approaches to the life cycle management of missile systems. It is proposed to consider missile systems and their life cycle support systems within a single socio-cultural ecosystem. The issue of managing such ecosystems is formulated as a scientific problem. The author proposes a metamodel of a polyergetic life cycle management system for the data-centric ecosystem of a missile system. As components of the polyergetic management system metamodel, we consider a project management model (integration and capability development system) for the creation of a missile system ecosystem, a model for managing the life cycle processes of the missile system ecosystem, and a model for recursive representation of project system engineering processes. As part of the development of a method for polyergetic life cycle management of a missile system, the conceptual framework of data-centric ecosystems was substantiated. The method and metamodel of polyergetic life cycle management of missile systems, which provides for the management of the life cycle of the missile system ecosystem in accordance with international standards of systems engineering, are proposed. The life cycle is presented as a sequence of standardised processes, which are divided into two groups: life cycle processes and architectural processes.

Keywords: polyergetic systems, ecosystem, data-centric systems, missile system, life cycle, systems engineering processes.

Відомості про авторів:

Скорик Анатолій Борисович

кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри Харківського національного
університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4327-8796>
e-mail: anatolii.skoryk.65@gmail.com

Сургай Володимир Іванович

молодший науковий співробітник науково-дослідного
відділу (розвитку ОВТ та технічного забезпечення
авіації Повітряних Сил) науково-дослідного
управління (розвитку, застосування та забезпечення
авіації Повітряних Сил) наукового центру Повітряних
Сил Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0009-0003-3251-9114>
e-mail: surgay1502@ukr.net

Корнєєв Костянтин Георгійович

начальник відділення по розробці автоматизованих
систем ракетних і космічних ракетних комплексів
ДП «КБ “Південне”» ім. Янгеля

м. Дніпро, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4427-0219>
e-mail: constantine.korneyev@gmail.com

Зверєв Олексій Олексійович

кандидат технічних наук, доцент
провідний науковий співробітник науково-дослідного
відділу розвитку радіотехнічних засобів
науково-дослідного управління розвитку озброєння
та військової техніки Повітряних Сил Центрального
науково-дослідного інституту озброєння та військової
техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2274-3115>
e-mail: gans7995@gmail.com

Головін Олексій Олександрович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
заступник начальника Центрального
науково-дослідного інституту озброєння та військової
техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>
e-mail: a_a_golovin@ukr.net

Слободенюк Сергій Йосипович

старший науковий співробітник відділу розвитку
зенітних ракетних систем та комплексів
науково-дослідного управління розвитку озброєння
та військової техніки Повітряних Сил Центрального
науково-дослідного інституту озброєння та військової
техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0009-0002-9341-3941>

Information about the authors:

Skoryk Anatolii

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Associate Professor of the Department of Kharkiv
National Air Force University named after Ivan Kozhedub
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4327-8796>
e-mail: anatolii.skoryk.65@gmail.com

Surhai Volodymyr

Junior Researcher of the Research Department
(Development of Armament and Military Equipment
and Technical Support of the Air Forces) of the Research
Directorate (Development, Application and Support of the
Air Forces) of the Air Force Scientific Centre of Kharkiv
National Air Force University named after Ivan Kozhedub
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0003-3251-9114>
e-mail: surgay1502@ukr.net

Kornieiev Konstantin

Head of the Department for the Development of
Automated Missile Systems and Space Rocket Complexes
of Pivdenne Design Office named after M. K. Yangel
Dnipro, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4427-0219>
e-mail: constantine.korneyev@gmail.com

Zvieriev Oleksii

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Lead Researcher of Scientific Research Department of
Development of Radio Equipment of Scientific Research
Management of Central Scientific Research Institute of
Armament and Military Equipment of Armed Forces of
Ukraine

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2274-3115>

e-mail: gans7995@gmail.com

Holovin Oleksii

Doctor of Technical Sciences, Senior Research
Deputy Chief of Central Scientific Research Institute of
Armament and Military Equipment of Armed Forces of
Ukraine

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>

e-mail: a_a_golovin@ukr.net

Slobodeniuk Serhii

Senior Research Associate of Scientific Research
Department of Development of Surface-to-Air Missile
Systems and Complexes of Scientific Research
Management of Armament and Military Equipment of
the Air Force of Central Scientific Research Institute of
Armament and Military Equipment of Armed Forces of
Ukraine

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0002-9341-3941>

Стаття надійшла до редколегії 23.07.2024.