

УДК 004.738.5:005.591.6

DOI: 10.18372/2073-4751.85.21095

Литвиненко А.О.,  
orcid.org/0009-0001-2001-0148,  
litvinenko\_alina@outlook.com

## ІНФРАСТРУКТУРА ІНТЕГРАЦІЇ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ КОМПЛЕКСІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

### **Вступ**

Зростанням кількості джерел інформації, автоматизованих засобів управління та роботизованих платформ. У таких умовах ефективність застосування військ визначається не лише характеристиками окремих зразків озброєння, а й рівнем інтеграції програмно-апаратних комплексів (ПАК) у єдиний інформаційно-управлінський простір [1-8].

Інформаційні системи спеціального призначення функціонують у багаторівневій структурі управління та характеризуються гетерогенністю мереж, апаратних засобів, протоколів обміну, форматів даних і вимог до реального часу. Це зумовлює необхідність розроблення спеціалізованої інфраструктури інтеграції, здатної забезпечити сумісність, живучість і кіберстійкість систем в умовах бойового застосування.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Питання інтеграції військових інформаційно-комунікаційних систем розглядаються у працях, присвячених концепціям C4ISR, мережецентричних операцій та міжсистемної інтеоперабельності [9-17]. Значна увага приділяється стандартизації обміну даними, зокрема у межах стандартів NATO, а також використанню сервісно-орієнтованих і мікросервісних архітектур [18-20].

Разом з тим, у наукових публікаціях недостатньо систематизовано питання

інтеграції ПАК з урахуванням реального бойового застосування, деградації каналів зв'язку та автономної роботи тактичних елементів. Це зумовлює актуальність подальших досліджень у даному напрямі.

### **Мета статті**

Метою статті є аналіз та узагальнення сучасних архітектурних підходів до побудови інфраструктури інтеграції програмно-апаратних комплексів інформаційних систем спеціального призначення та формування референсної моделі інтеграції, яка включає модель інфраструктури інтеграції програмно-апаратних комплексів та метод оптимізації процесу забезпечення визначеними категоріями клієнтів ІТ-сервісів

### **Виклад основного матеріалу**

Військові ПАК відрізняються від цивільних інформаційних систем такими особливостями:

- функціонування в умовах обмежених або нестабільних ліній зв'язку;
- жорсткі вимоги до затримок обробки інформації;
- необхідність автономної роботи окремих компонентів;
- підвищені вимоги до інформаційної та криптографічної безпеки.

Ці фактори визначають специфіку архітектурних рішень інтеграції.

У сучасних військових інформаційних системах застосовуються різні архітектурні підходи:

1. Сервісно-орієнтована архітектура Service-Oriented Architecture (SOA) - забезпечує формалізацію інтерфейсів і зручну інтеграцію штабних та аналітичних систем, однак має обмеження щодо використання на тактичному рівні [21,22].

На початку та в середині 2000-х років Microsoft ініціював застосування принципів сервісно-орієнтованої архітектури до розробки корпоративного програмного забезпечення та додатків [23-27].

Було створено архітектурні компоненти для сервісно-орієнтованої архітектури, які зосереджені на ідентифікації, даних, сервісно-орієнтованому управлінні, робочих процесах та оркестрації, а також композиції сервісів, що призвело до композитних додатків [28-29].

Функції ПАК надаються як сервіси з чітко визначеними інтерфейсами, що дає відповідні переваги: повторне використання сервісів; логічна ізоляція компонентів; зручність інтеграції елементів системи.

Для цієї архітектури типовими технологіями є: SOAP/REST, ESB, XML/JSON.

2. Мікросервісна архітектура Microservices Architecture (MA) - дозволяє підвищити масштабованість і гнучкість оперативних систем управління, проте потребує складних механізмів оркестрації та захисту.

У програмній інженерії мікросервісна архітектура — це архітектурний шаблон, який організовує застосунок у набір слабо пов'язаних, дрібнозернистих сервісів, що взаємодіють через легкі протоколи. Цей шаблон характеризується можливістю розробляти та розгортати сервіси незалежно, покращуючи модульність, масштабованість та адаптивність. Однак він вносить додаткову складність, особливо в управління розподіленими системами та міжсервісною комунікацією, що робить початкову

реалізацію складнішою порівняно з монолітною архітектурою [30].

До переваг цієї архітектури слід віднести наступне: висока масштабованість; швидке оновлення окремих компонентів; стійкість до відмов. Недоліки: складність оркестрації; підвищені вимоги до кіберзахисту.

3. Архітектура, залежна від подій Event-Driven Architecture (EDA) здійснює обмін даними через події та повідомлення.

Архітектура, керована подіями, — це архітектура програмного забезпечення, що відповідає за створення та виявлення подій. Архітектури, керовані подіями, мають еволюційний характер і забезпечують високий ступінь відмовостійкості, продуктивності та масштабованості. Однак вони є складними та за своєю суттю важкими для тестування. EDA добре підходять для складних та динамічних робочих навантажень [31].

До переваг цієї архітектури слід віднести наступне: низька затримка; добре підходить для сенсорних і бойових систем; асинхронність. Недоліки: складність трасування; потреба у стандартизації подій.

Для цієї архітектури типовими технологіями є: DDS, MQTT, AMQP, Apache Kafka.

Служба розподілу даних (DDS) для систем реального часу — це стандарт міжмашинного зв'язку (іноді його називають проміжним програмним забезпеченням або платформою зв'язку) групи управління об'єктами (OMG), який має на меті забезпечити надійний, високопродуктивний, сумісний, масштабований обмін даними в реальному часі за допомогою шаблону публікації-підписки.

DDS задовольняє потреби обміну даними в реальному часі в таких сферах, як аерокосмічна галузь, оборона, управління повітряним рухом, автономні транспортні засоби, медичні пристрої,

робототехніка, виробництво електроенергії, моделювання та тестування, управління інтелектуальними мережами, транспортні системи та інші [32].

MQTT добре працює у енергозалежних або ресурсообмежених середовищах (сенсори, IoT), проте не підходить для задач з жорсткими вимогами до реального часу або складної маршрутизації.

AMQP забезпечує широкі можливості маршрутизації та гарантії доставки, але архітектурно важчий і з вищими затримками, ніж DDS, тому більш придатний для оперативних/стратегічних рівнів із великим обсягом даних.

Kafka призначений для обробки великих потоків подій/логів та аналітичних задач, що відрізняють його від класичних EDA протоколів, але не оптимальний для інтеграції з вимогами жорсткого real-time.

Є перевага використання MQTT у випадку, коли апріорно не визначено тип мережі на якій буде використовуватись передача інформації між автоматизованими робочими місцями (АРМ) [33-37].

### **Стандарти та моделі сумісності НАТО**

Основними військовими стандартами, які застосовуються для побудови ПАК спеціального призначення є: STANAG (НАТО); JC3IEDM / MIP; NFFI (обмін про свої війська); VMF (Variable Message Format).

Технічними стандартами є: DDS (OMG); Link-подібні тактичні формати (Link-16-подібні концепції); MIL-STD-1553 / 1760 (legacy).

Слід зазначити і моделі сумісності, які використовує НАТО: LISI (Levels of Information Systems Interoperability) та NATO Interoperability Framework (NIF).

І як підсумок військова інтеграційна інфраструктура забезпечує:

- формування єдиного інформаційно-бойового простору;
- інтеграцію C2/C4ISR/C5ISR систем;
- безперервний цикл Observe–Orient–Decide–Act (OODA);
- роботу в умовах радіоелектронної боротьби, деградації каналів та кіберзагроз.

### **Захист та кібербезпека інфраструктури**

Для систем спеціального призначення кібербезпека є інтегрованою частиною інфраструктури, а не додатковим елементом. Основними елементами кібербезпеки є:

- Zero Trust Architecture (ZTA): Принцип «нікому не довіряй». Кожен запит між апаратним модулем та сервером повинен проходити автентифікацію.

- Hardware Security Modules (HSM): Спеціалізовані чіпи для зберігання криптографічних ключів, які неможливо вилучити програмним шляхом.

- Air-gapping (Фізичне ізолювання): Рішення для повної ізоляції критичних сегментів мережі від публічного інтернету.

- VDI (Virtual Desktop Infrastructure): Для віддаленого доступу операторів до спецсистем без зберігання секретних даних на кінцевих терміналах.

Сучасна інфраструктура для інтеграції ПАК спеціального призначення рухається в бік модульності, контейнеризації та децентралізації. Використання відкритих стандартів у поєднанні із захищеним апаратним забезпеченням дозволяє створювати системи, що здатні до модернізації протягом усього життєвого циклу.

Сучасна інфраструктура для інтеграції ПАК спеціального призначення рухається в бік модульності, контейнеризації та децентралізації. Використання відкритих стандартів у поєднанні із захищеним апаратним забезпеченням дозволяє створювати системи, що здатні до модернізації протягом усього життєвого циклу.

### **Створення інфраструктури інтеграції програмно-апаратних комплексів**

Для створення інфраструктури інтеграції програмно-апаратних

комплексів (ШПАК) будемо визначати чотири компоненти:

*K* - програмно апаратні комплекси.

*S* – IT-сервіси.

*N* – сценарії реалізації гетерогенних мереж передачі інформації.

*B* – служби забезпечення інформаційно-комунікаційних систем.

#### **Програмно апаратні комплекси**

При створенні ПАК інформаційних систем спеціального призначення основну увагу слід приділяти проєктуванню архітектури програмного забезпечення, здатного до самоналаштування [39].

Тому інформаційна система спеціального призначення функціонально складається з типових ПАК, що забезпечує самоналаштування ПЗ. Залежно від специфіки застосування ПАК можуть бути різних видів, причому їхній інтерфейс принципово відрізняється один від одного. ПАК, призначений для роботи в штабі або на пункті управління, реалізовано з урахуванням стаціонарних умов експлуатації, що дозволяє використовувати повноцінні засоби взаємодії з інтерфейсом (зокрема комп'ютерну мишу) та виконувати складні, у тому числі наперед не формалізовані, управлінські процеси. ПАК, призначений для роботи в зоні бойових дій, використовує лише формалізовані управлінські процеси, а оператор має можливість швидко реагувати завдяки формалізованим повідомленням. ПАК, призначений для роботи на передовій, має специфічні особливості й передбачає захист від можливої втрати.

Функціональні можливості типових ПАК забезпечують формування різних АРМ військовослужбовців. Тому для забезпечення кількох сотень АРМ для військової частини ми достатньо використовувати 3 типових ПАК, що дозволяє в кожному сегменті мати АРМ, які самоналаштовуються під конкретну роль користувача:

Headquarter Management System (HMS) – система автоматизації діяльності пунктів управління і штабів (планування та управління підрозділами). HMS призначений для автоматизації деяких функцій управління підрозділами в частині підготовки та планування бойових дій, відображення оперативної інформації на полі бою, в тому числі розвідданих, обміну бойовими документами, передачі команд та повідомлень.

Battle Management System (BMS) – система керування боєм. BMS призначений для автоматизації деяких функцій управління а підрозділами, відображення оперативної інформації на полі бою.

Dismounted Soldier System (DSS) – система солдата, що діє у пішому порядку. Приклади DSS:

програмно-апаратний комплекс “Розвідник” призначений для автоматизації деяких функцій розвідника;

програмно-апаратний комплекс “Командир гармати”, який призначений для автоматизації функцій управління засобом вогневого ураження артилерійського підрозділу (самохідна артилерійська установка, гармата, міномет, тощо).

Усі клієнти чи ПАК *K* діляться на три основні групи HMS, BMS та DSS:

$$K = F(K_1, K_2, K_3), \text{ де}$$

$K_1$  - HMS.

$K_2$  - BMS.

$K_3$  - DSS.

#### **Служби забезпечення інформаційно-комунікаційних систем та IT-сервіси**

Основою моделі ШПАК інформаційних систем спеціального призначення є служби забезпечення інформаційних систем та зв'язку та IT-сервіси, які відповідають Таксономії С3 НАТО (Consultation, Command and Control) [38].

Таксономія є частиною загальної архітектури, що часто розглядається в

контексті систем C4ISR (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance).

Таксономія СЗ — це актуальна версія ієрархічної моделі НАТО, призначеної для класифікації та структурування всіх концепцій, сервісів та можливостей у сфері консультацій, командування та управління (Consultation, Command and Control).

Ключові аспекти Baseline 5.0:

- Дата затвердження: Прийнята Радою НАТО з СЗ (AC/322) 23 вересня 2021 року.

- Призначення: служить єдиною мовою для синхронізації життєвого циклу можливостей НАТО — від політичних цілей та оборонного планування (NDPP) до конкретних технічних стандартів зв'язку та інформаційних систем (CIS).

- Зв'язок зі стандартами: На базі таксономії будується документ NISP (NATO Interoperability Standards and Profiles), який розподіляє технічні стандарти за відповідними вузлами (сервісами) моделі.

Таксономія СЗ має два рівні (Level 0):

Таксономія поділяє ландшафт СЗ на три основні домени:

1. Operational Context (Операційний контекст): Описує середовище використання (місій, операцій, бізнес-процесів).

2. Communication and Information System (CIS) Capabilities (Можливості інформаційних систем та зв'язку).

Опис служб та ІТ-сервісів знаходиться на другому рівні в домені Technical Services (Технічні сервіси): Фундаментальна ІТ-інфраструктура (обробка даних, зберігання, мережі, безпека), що забезпечує роботу всієї системи, у розділі Служби забезпечення інформаційно-комунікаційних систем (ІКС).

Служби забезпечення ІКС забезпечують функціональність. Вони

схожі на служби підтримки бізнесу тим, що забезпечують структурні блоки для розробки послуг, специфічних для певної предметної області.

$V = F(B_1, B_2, B_3, B_4, B_5)$ , де

$B_1$  – ситуаційної обізнаності.

Служби з ситуаційної обізнаності надають засоби які формують інформацію про елементи бойового простору, необхідні військовому командувачу для планування операцій, здійснення командування та контролю, а також прийняття обґрунтованих рішень.

Основні компоненти ситуаційної обізнаності включають розуміння стану та розташування противника, дружніх сил та оперативного середовища.

$B_2$  - планування операцій.

Служби з планування операцій надають засоби для спільної розробки планів і наказів, в яких детально описуються засоби досягнення бажаного кінцевого стану за допомогою наявних ресурсів. Спільне планування вимагає розбиття плану на складові частини, які мають бути визначені та реалізовані підлеглими підрозділами. Після перетворення плану на наказ і його затвердження він розповсюджується серед підлеглих підрозділів для виконання.

$B_3$  - завдань та наказів.

Служби завдань та наказів надають засоби для розробки та управління завданнями та наказами.

$B_4$  - оперативної інформації.

Служби оперативної інформації надають засоби для виявлення, ідентифікації, доступу та поширення оперативно значущої інформації та даних. Ця інформація включає, але не обмежується, об'єктами бойового простору, подіями бойового простору та траєкторіями.

$B_5$  - просторово-часової.

Просторово-часові служби надають засоби для підтримки точної інформації в режимі реального часу про місцезнаходження, рух та час об'єкта в рамках стандартизованої системи

координат та часу. Ці служби поєднують просторові дані (такі як положення та траєкторія) з часовими даними (точний час та синхронізація) для підтримки широкого спектру застосувань, включаючи навігацію, картографування, геодезичні роботи, геопросторовий аналіз, зв'язок, управління транспортом та скоординовані операції як у

цивільному, так і у військовому контексті.

В загальній моделі формування інформації в інформаційних системах спеціального призначення (Рис. 1), визначаються, механізм обміну інформацією, який взаємодіє з наявними ІТ-сервісами та принципів функціонування ІКС.

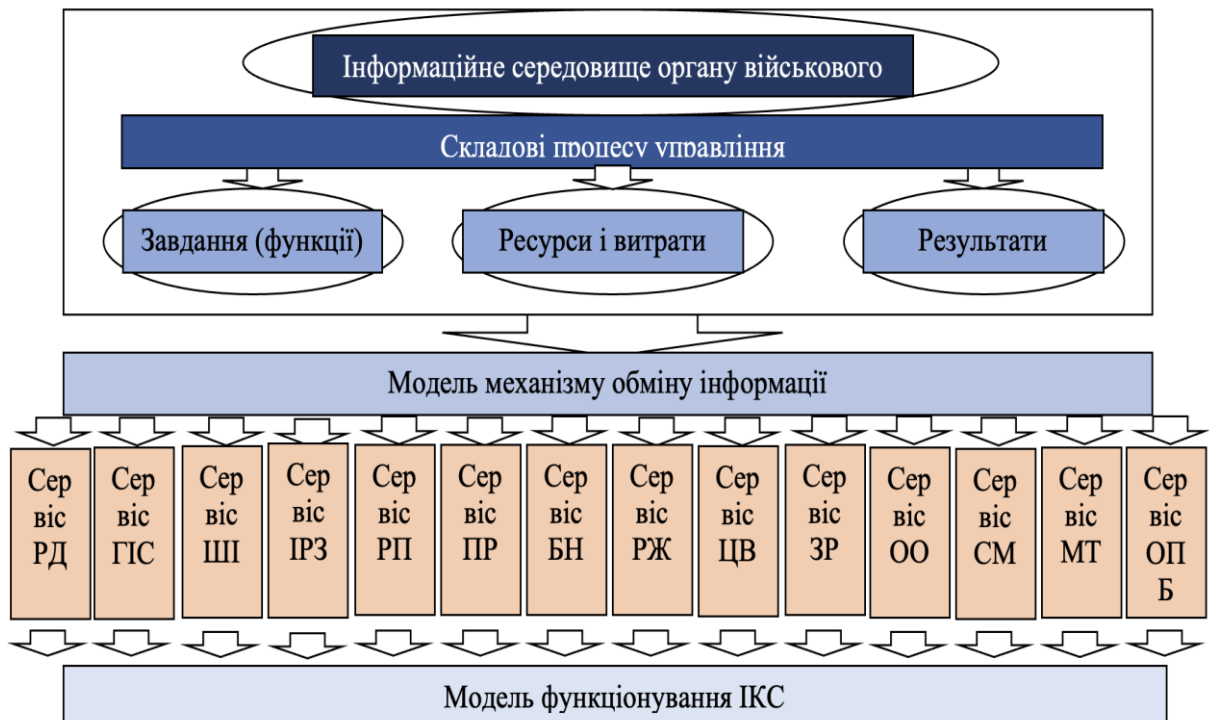


Рис. 1. Загальна модель формування інформації в ІКС

Служба забезпечення інформаційно-комунікаційних систем В1 – ситуаційної обізнаності складається з наступних ІТ-сервісів:

$V1 = F(Ss1, Ss2, Ss3)$ , де

Ss1 - розвідки (РД);

Ss2 - картини поля бою (ГІС);

Ss3 - штучного інтелекту (ІІІ).

Служба забезпечення інформаційно-комунікаційних систем В2 - планування операцій складається з наступних ІТ-сервісів:

$V2 = F(Ss4, Ss5, Ss6)$ , де

Ss4 - інформаційно-розрахункових задач (ІРЗ);

Ss5 - розгортання плану (РП);

Ss6 - пропозицій рішень (ПР).

Служба забезпечення інформаційно-комунікаційних систем В3 - завдання та наказів складається з наступних ІТ-сервісів:

$V3 = F(Ss7, Ss8)$ , де

Ss7 - бойових наказів (БН);

Ss8 - розпоряджень (РЖ).

Служба забезпечення інформаційно-комунікаційних систем В4 - оперативної інформації складається з наступних ІТ-сервісів:

$V4 = F(Ss9, Ss10, Ss11)$ , де

Ss9 - цілевказань (ЦВ);

Ss10 - запитів ресурсів (ЗР);

Ss11 - оцінки операцій (ОО).

Служба забезпечення інформаційно-комунікаційних систем В5 - просторово-

часова складається з наступних ІТ-сервісів:

$B5 = F(Ss12, Ss13, Ss14)$ , де

Ss12 - символіки (СМ);

Ss13 - маршрутів (МТ);

Ss14 - об'єктів на полі бою (ОПБ).

Поділ ІТ-сервісів між службами забезпечення інформаційно-комунікаційних систем умовний. Він визначає домінуючий вплив на службу певних ІТ-сервісів. Задачі, які виконуються службами забезпечення ІКС можуть використовувати будь-який ІТ-сервіс незалежно від їх відповідності до певної служби.

Сценарії реалізації гетерогенних мереж передачі інформації

Особливості побудови гетерогенних мереж передачі інформації це окрема тема, тому обмежимось тільки фіксацією сценаріїв реалізації гетерогенних мереж передачі інформації N:

$N = F(N1, N2, N3, N4, N5)$ , де

N1 – для рівня бригади.

N2 – для рівня батальйону.

N3 – для рівня роти.

N4 – для рівня взводу.

N5 - для рівня відділення.

Модель побудови ІПАК

Сформулюємо наступну модель побудови ІПАК (Рис. 2): служби забезпечення інформаційно-комунікаційних систем ( $B_i, i=1,2, \dots, 5$ ) ІПАК визначають набір ІТ-сервісів ( $Ss_j, j=1,2, \dots, 5$ ). ІТ-сервіси використовуються трьома групами програмно-апаратних комплексів ( $K_n, n=1,2,3$ ). ІТ-сервіси та програмно-апаратні комплекси взаємодіють через 5 мереж передачі інформації ( $N_m, m=1,2, \dots, 5$  Sc). Конфігурація ІТ-сервісів залежить від відповідної служби забезпечення інформаційно-комунікаційних систем  $B_i$ .

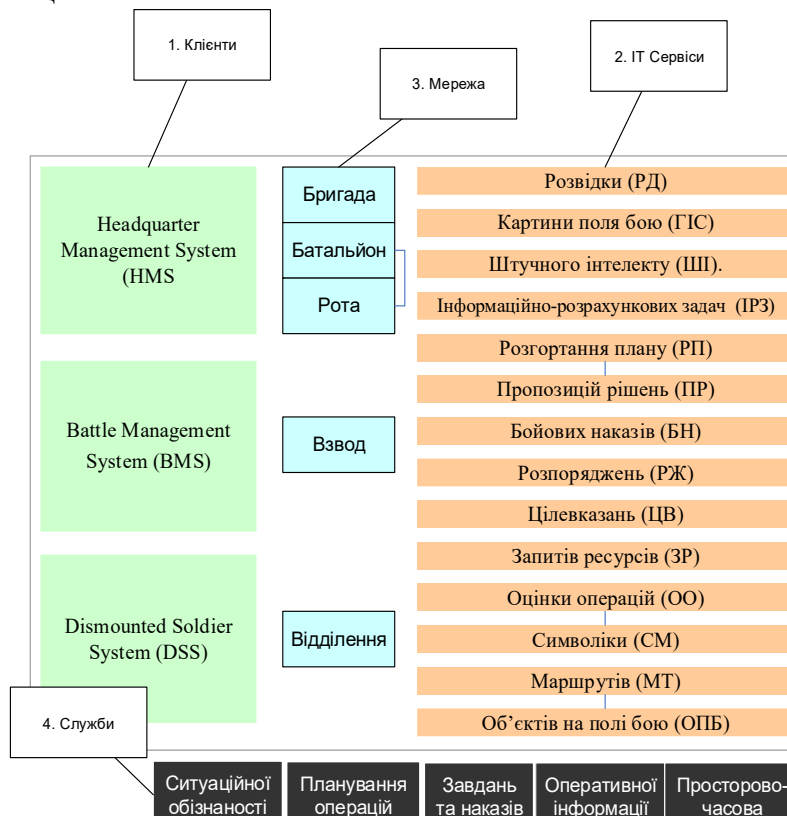


Рис. 2 Модель побудови ІПАК

**Метод оптимізації процесу забезпечення визначеними категоріями клієнтів ІТ-сервісів**

Вирішувати задачу оптимізації параметрів моделі побудови ІПАК будемо за допомогою теорії графів. Модель побудови ІПАК (рис. 3)

описується графом  $A$ , який складається з 4 рівнів:

Перший стовпчик, який відповідає за клієнтів, які використовують певний програмно-апаратний комплекс, це вершини  $v_{11}, \dots, v_{1n_1}$ , загальною кількістю  $n_1$ , де ( $n_1=3$ ). В цьому випадку орієнтовані ребра з початком у вершинах стовпчика  $v_{1i}$  ( $i=1, \dots, n_1$ ) і з кінцем в деяких вершинах другого стовпчика  $v_{2j}$  ( $j=1, \dots, n_2$ ), причому загальна кількість ребер має бути не більше, ніж  $n_1 * n_2$ .

Другий стовпчик, який характеризує сценарії реалізації гетерогенних мереж передачі інформації, це вершини  $v_{21}, \dots, v_{2n_2}$ , загальною кількістю  $n_2$ , де ( $n_2=5$ ). В цьому випадку орієнтовані ребра з початком в одній з вершин стовпчика  $v_{2j}$  ( $j=1, \dots, n_2$ ) і з кінцем в деяких вершинах третього стовпчика  $v_{3k}$  ( $k=1, \dots, n_3$ ). Такі ребра побудовані для кожної з вершин стовпчика  $v_{2j}$ , тобто кількість орієнтованих ребер для цього рівня =  $n_2 * n_3$ .

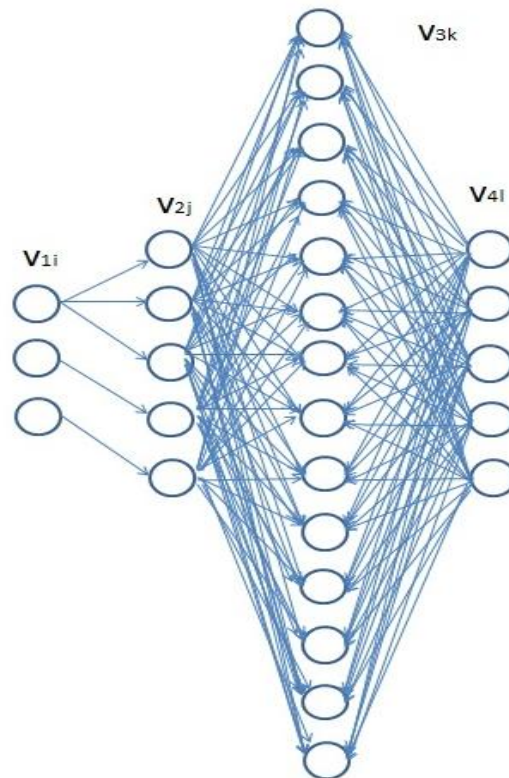


Рис. 3 Граф оптимізації параметрів моделі побудови ІПАК

Третій стовпчик, який характеризує ІТ-сервіси, це вершини  $v_{31}, \dots, v_{3n_3}$ , загальною кількістю  $n_3$ , де ( $n_3=14$ ).

Четвертий стовпчик, який характеризує служби забезпечення інформаційно-комунікаційних систем, це вершини  $v_{41}, \dots, v_{4n_4}$ , загальною кількістю  $n_4$ , де ( $n_4=5$ ). В цьому випадку орієнтовані ребра з початком в одній з

вершин стовпчика  $v_{4l}$  ( $l=1, \dots, n_4$ ), кінцем – в кожній з вершин стовпчика  $v_{3k}$  ( $k=1, \dots, n_3$ ). Ребра побудовані для кожної з вершин рівня  $n_4$ , тобто кількість орієнтованих ребер для цього рівня =  $n_4 * n_3$ .

Для вирішення задачі оптимізації параметрів моделі побудови ІПАК використаємо матрицю суміжності орієнтованого графу  $A$  (табл. 1 а):

Таблиця 1 а. Матриця суміжності орієнтованого графу А

	$v_{11}$	...	$v_{1n_1}$	$v_{21}$	...	$v_{2n_2}$	$v_{31}$	...	$v_{3n_3}$	$v_{41}$	...	$v_{4n_4}$
$v_{11}$	0	0	0	1	...	1	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	...	...	...	0	0	0	0	0	0
$v_{1n_1}$	0	0	0	1	...	1	0	0	0	0	0	0
$v_{21}$	0	...	0	0	...	0	1	1	1	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	1	1	1	...	...	...
$v_{2n_2}$	0	...	0	0	...	0	1	1	1	0	...	0
$v_{31}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$v_{3n_3}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$v_{41}$	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
$v_{4n_4}$	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0

Із таблиці 1а видно, що матриця суміжності для графу А складається з наступних блоків (табл.1 б):

Таблиця 1 б. Блоки матриці суміжності для графу А

$$\begin{pmatrix} 0 & G12 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G23 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & G43 & 0 \end{pmatrix}.$$

де  $G12$  – бінарна матриця розмірності  $n_1*n_2$ ,  $G23$  - та  $G43$  – матриці всі елементи яких =1. Розмірність матриці  $G23 – n_2*n_3$ , матриці  $G43 – n_4*n_3$ .

Для цього випадку побудуємо матрицю інцидентності орієнтованого графу А (табл. 1 в):

Таблиця 1 в. Матриця інцидентності орієнтованого графу А

	$e_{11}$	...	$e_{1n_1 \times n_2}$	$e_{21}$	...	$e_{2n_2 \times n_3}$	$e_{41}$	...	$e_{4n_4 \times n_3}$
$v_{11}$	1	0	0	0	...	0	0	0	0
...	0	0	0	...	...	...	0	0	0
$v_{1n_1}$	0	0	1	0	...	0	0	0	0
$v_{21}$	-1	...	0	1	1	1	0	0	0
...	...	...	...	1	1	1	...	...	...
$v_{2n_2}$	0	...	-1	1	1	1	0	...	0
$v_{31}$	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
...	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
$v_{3n_3}$	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
$v_{41}$	0	0	0	0	0	0	1	1	1
...	0	0	0	0	0	0	1	1	1
$v_{4n_4}$	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Із таблиці 1 в видно, що кількість рядків матриці інцидентності  $= n_1 + n_2 + n_3 + n_4$ , а кількість стовпців – не більша, ніж  $n_1 * n_2 + n_2 * n_3 + n_4 * n_3$ .

Таблиця 1 з. Матриця інцидентності орієнтованого графу А

$$\begin{pmatrix} B11 & 0 & 0 \\ B21 & B22 & 0 \\ 0 & B32 & B33 \\ 0 & 0 & B43 \end{pmatrix}.$$

Де  $B11$  – бінарна матриця максимальної розмірності  $n_1 * (n_1 \times n_2)$ ,  $B21$  – матриця максимальної розмірності  $n_2 * (n_1 \times n_2)$ , елементи якої або -1, або 0 (елементи матриць  $B11$  та  $B21$  залежать від існування дуг у першому блоці),  $B22$  та  $B43$  – матриці всі елементи яких =1 розмірності  $n_2 * (n_2 \times n_3)$  та  $n_4 * (n_4 \times n_4)$  відповідно, матриці  $B32$  та  $B33$  – матриці розмірностей  $n_3 * (n_2 \times n_3)$  та  $n_4 * (n_3 \times n_4)$ , відповідно, всі елементи яких = -1.

Метод оптимізації процесу забезпечення визначеним категоріям клієнтів ІТ-сервісів надає можливість побудувати матрицю завантаженості мережі на полі бою та дозволяє мінімізувати час оброблення запиту клієнтів, оптимізувати її продуктивність за визначеними навантаженнями для обраного сценарію реалізації гетерогенних мереж передачі інформації.

### Висновки

1. Інтеграція програмно-апаратних комплексів є ключовим фактором ефективності військових інформаційних систем.
2. Сервісно-орієнтована архітектура є важливою для тактичного рівня.
3. Сумісність і стандартизація визначають можливість міжвидової та коаліційної взаємодії.
4. Інтеграційна інфраструктура має проектуватися з урахуванням бойової живучості та кіберстійкості.
5. Запропонована референсна модель інтеграції може бути використана як

Таким чином, можна зробити висновок, що матриця інцидентності для графу А складається з таких блоків (табл. 1 г):

основа для розроблення технічних вимог інформаційних систем та наукових досліджень.

6. Розроблена модель інфраструктури інтеграції програмно-апаратних комплексів інформаційних систем спеціального призначення.

7. В моделі інфраструктури інтеграції різні компоненти взаємодіють за наступними принципами:

- Служби забезпечення інформаційних систем та зв'язку визначають набір ІТ-сервісів.
- ІТ-сервіси надаються трьом групам спеціалізованим клієнтам, які використовують специфічні програмно-апаратні комплекси.
- ІТ-сервіси та програмно-апаратні комплекси пов'язані 5 сценаріями реалізації гетерогенних мереж передачі інформації.
- Інтеграцію ІТ-сервісів визначають 5 служб забезпечення інформаційно-комунікаційних систем.

Розроблено метод оптимізації процесу надання визначеним категоріям клієнтів ІТ-сервісів інфраструктури інтеграції. Метод дозволяє забезпечити передачу інформації в умовах деградації ліній зв'язку та мінімізувати час оброблення запитів клієнтів до служб забезпечення інформаційно-комунікаційних систем та оптимізувати продуктивність інфраструктури інтеграції.

### Література:

1. Довгий С. О., Копійка О. В., Калінін В. М., Козлов О. С. Інтеграція інформаційно-комунікаційних систем з використанням

- інтелектуальної платформи. Київ : НЦ «МАН України», 2025. 323 с.
2. Довгий С. О., Копійка О. В. IT-інфраструктура як базова складова цифрової трансформації. Київ : Юстон, 2023. 458 с.
  3. Dovgiy, S., Kopyika, O. Standard Model of System Architecture of Enterprise IT Infrastructure// Lecture Notes in Networks and Systems, Volume 548, Progress in Advanced Information and Communication Technology and Systems. 2023. P. 181–201 DOI: 10.1007/978-3-031-16368-5\_9
  4. Копійка О., Skladannyi P. Use of service-oriented information technology to solve problems of sustainable environmental management // Information Technology and Mathematical Modeling for Environmental Safety. 2021. Vol. 3021. P. 66–75.
  5. Довгий С. Стан та проблеми розвитку телекомунікаційної мережі України. Київ: Наука та наукознавство, 2000. 178 с.
  6. Kopyika O., Tarasenko I., Kisselevskiy A., Karichenskiy A., Valiulin T. Softline applies TMF standards as a guide when building Resource Inventory solution for nation-wide carrier Ukraine Telecom // TM Forum Case Study Handbook, Volume 3, May 2007. P. 27.
  7. Довгий С.О., Копейка О.В., Поленок С.П., Стрижак А.Є. Новые технологии в телекоммуникации: выбор технологической архитектуры. Современные тенденции развития. Книга 2. Київ: Укртелеком, 2001. 281 с. ISBN 5-88500-083-2.
  8. Копейка О.В. Сетевые службы и службы сетевых устройств в дата-центрах// Системи управління, навігації та зв'язку: наукове періодичне видання. 2013. №4(28). С. 98-104.
  9. C4ISR Architecture Framework Version 2.0. Washington : Department of Defense, 1997. 210 p.
  10. NATO Architecture Framework (NAF), Version 4 [Electronic resource]. – Brussels : NATO, 2018. – Access mode: official NATO documentation. URL: <https://www.nato.int/en/about-us/organization/nato-structure/digital-policy-committee-dpc/nato-architecture-framework-version-4>
  11. Alberts D. S., Hayes R. E. Understanding Command and Control. Washington : CCRP Publication Series. 2006. 268 p.
  12. Tolk A. Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation. Hoboken : Wiley, 2012. 352 p.
  13. Bass L., Clements P., Kazman R. Software Architecture in Practice. 3rd ed. Boston : Addison-Wesley, 2013. 624 p.
  14. Richards M. Software Architecture Patterns. Sebastopol : O'Reilly Media, 2015. 162 p.
  15. Endsley M. R. Situation Awareness in Dynamic Human–Machine Systems // Human Factors. 1995. Vol. 37, No. 1. P. 32–64.
  16. Кучук Г. А., Можаяев О. О., Лаврут О. О. Мережецентричні системи управління військами. Харків : ХНУПС, 2016. 256 с.
  17. Лисенко О. І. Інформаційні системи спеціального призначення: принципи побудови та інтеграції // Системи управління, навігації та зв'язку. 2020. № 4(60). С. 15–21.
  18. OMG. Data Distribution Service (DDS) Specification. Version 1.4. Object Management Group, 2015. URL: <https://www.omg.org>.
  19. Department of Defense. DoD Net-Centric Data Strategy [Electronic resource]. Washington : DoD, 2003. – Access mode: official DoD publications. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA482100.pdf>
  20. Schmitt J. F. The Military Application of the OODA Loop. Washington : Marine Corps Gazette, 1988. 15 p.
  21. SOA Source Book - What Is SOA?. Retrieved March.30, 2021. URL: <https://collaboration.opengroup.org/projects/soa-book/pages.php?action=show&ggid=1314>
  22. Fundamentals of Software Architecture: An Engineering Approach. O'Reilly Media. 2020. ISBN 978-1492043454. URL: <http://fundamentalsofsoftwarearchitecture.com>
  23. VSLive! San Francisco 2006: Conference Speakers (John deVadoss bio). Fawcette Technical Publications. 2006. URL: <https://ftponline.com/conferences/vslive/2006/sf/speakers.aspx>
  24. Jackson J. At your service". Route Fifty. URL: <https://www.route-fifty.com/infrastructure/2006/04/at-your-service/301115/>
  25. Montalbano E. Microsoft Offers ESB Guidelines for SOAs. CIO. IDG News Service (via CIO/Foundry). 2006. URL: <https://www.cio.com/article/263289/service-oriented-architecture-microsoft-offers-esb-guidelines-for-soas.html>

26. Havenstein H. Small SOA Projects Can Show Immediate ROI. *Computerworld*. IDG (Foundry). 2006. URL: <https://www.computerworld.com/article/1709283/small-soa-projects-can-show-immediate-roi.html>
27. Microsoft Highlights "Real-World" Approach to SOA at SOA & Business Process Conference. Microsoft News Center. Microsoft. October 4, 2006. URL: <https://news.microsoft.com/source/2006/10/04/microsoft-highlights-real-world-approach-to-soa-at-soa-business-process-conference/>
28. Mackie, Kurt (May 24, 2007). Software Plus Services Means Greater Choice, Microsoft Exec Says. *Microsoft Certified Professional Magazine (MCPmag)*. 2007. URL: <https://mcpmag.com/articles/2007/05/24/softw-are-plus-services-means-greater-choice-microsoft-exec--says.aspx>
29. Erl T., Chou D. SOA with .NET and Windows Azure: Realizing Service-Oriented with the Microsoft Platform. Prentice Hall PTR. 2010. ISBN 978-0131582316. Langue, Anglais ; Longueur d'impression, 600 p.
30. Mendonca N. C., Jamshidi P., Garlan D., Pahl C. Developing self-adaptive microservice systems: Challenges and directions // *IEEE Software*. 2021. Vol. 38, No. 2. P. 70–79. URL: <https://spawn-queue.acm.org/doi/pdf/10.1145/3317287.3321612>
31. URL: <https://spawn-queue.acm.org/doi/pdf/10.1145/3317287.3321612>
32. URL: <https://www.omg.org/spec/DDS/1.4>
33. OASIS. MQTT Version 5.0. 2019. URL: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html>
34. Jump up to: OASIS Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) Technical Committee Charter". OASIS. URL: <https://www.oasis-open.org/committees/mqtt/charter.php>
35. MQTT SN Subcommittee. OASIS. URL: [https://www.oasis-open.org/committees/tc\\_home.php?wg\\_abbrev=mqtt-sn](https://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=mqtt-sn)
36. Kopyika O., Kalinin V., Lytvynenko A. Use of heterogeneous special purpose telecommunication networks for provision of convergent services // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2025. Vol. 1338. P. 34–47. DOI: 10.1007/978-3-031-89296-7\_3.
37. Dovgiy S., Kopyika O., Kozlov O., Lytvynenko A. Features of message transport service in automated special-purpose systems // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. Vol. 809. P. 119–132. DOI: 10.1007/978-3-031-46880-3\_8.
38. C3 Taxonomy Baseline 5.0 (2021), URL: [https://www.nato.int/nato\\_static\\_fl2014/assets/pdf/2021/10/pdf/210830-C3-taxonomy-baseline.pdf](https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2021/10/pdf/210830-C3-taxonomy-baseline.pdf)
39. Копійка О.В. Інноваційний кластер як дієвий формат інтеграції академічної науки і виробництва// Виступ на сесії Загальних зборів НАН України 30 квітня 2025 р. Вісник Національної академії наук України. С. 81-84. DOI: [10.15407/vism2025.06.081](https://doi.org/10.15407/vism2025.06.081)

**Литвиненко А.О.**

## **ІНФРАСТРУКТУРА ІНТЕГРАЦІЇ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ КОМПЛЕКСІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

*У статті розглянуто сучасні підходи до побудови інфраструктури інтеграції програмно-апаратних комплексів інформаційних систем спеціального призначення. Проаналізовано архітектурні моделі інтеграції. Запропоновано референсну архітектурну модель інтеграції, орієнтовану на умови сучасних бойових дій та деградації ліній зв'язку. Запропоновано модель інфраструктури інтеграції, яка включає набір служб забезпечення інформаційно-комунікаційних систем: ситуаційної обізнаності, планування операцій, завдань та наказів, оперативної інформації, просторово-часової. Служби забезпечення інформаційно-комунікаційних систем визначають принципи побудови IT-сервісів і їх взаємозв'язок. Також, на базі кожної служби забезпечення формуються вимоги до створення IT-сервісів. Пропонується наступна модель інфраструктури інтеграції програмно-апаратних комплексів інформаційних систем спеціального призначення: служби забезпечення інформаційних систем та зв'язку визначають набір IT-сервісів; IT-сервіси надаються трьом групам спеціалізованим клієнтам, які використовують*

специфічні програмно-апаратні комплекси; IT-сервіси та програмно-апаратні комплекси пов'язані 5 сценаріями реалізації гетерогенних мереж передачі інформації; інтеграцію IT-сервісів визначають 5 служб забезпечення інформаційно-комунікаційних систем. Розроблено метод оптимізації процесу надання визначеним категоріям клієнтів IT-сервісів інфраструктури інтеграції, які надаються трьома групами спеціалізованим клієнтам, які використовують специфічні програмно-апаратні комплекси. Метод відрізняється від інших чітко визначеним алгоритмом використання п'яти сценаріїв реалізації гетерогенних мереж передачі інформації, що дозволяє забезпечити передачу інформації в умовах деградації ліній зв'язку та мінімізувати час оброблення запитів клієнтів до служб забезпечення інформаційно-комунікаційних систем та оптимізувати продуктивність інфраструктури інтеграції за визначеним навантаженням для обраної системної конфігурації.

**Ключові слова:** інформаційні системи спеціального призначення, IT-сервіси, інфраструктура інтеграції, програмно-апаратні комплекси, C4ISR

Lytvynenko A.O.

## INFRASTRUCTURE FOR INTEGRATION OF SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEXES OF SPECIAL-PURPOSE INFORMATION SYSTEMS

*This article examines modern approaches to building an integration infrastructure for hardware-software complexes of special-purpose information systems. Architectural models of integration are analyzed. A reference architectural model of integration is proposed, tailored to the conditions of modern combat operations and the degradation of communication lines. An integration infrastructure model is proposed that includes a set of support services for information and communication systems: situational awareness, operations planning, tasks and orders, operational information, and spatiotemporal information. The support services for information and communication systems define the principles for building IT services and their interrelationships. Additionally, requirements for the creation of IT services are derived from each support service. The following model of integration infrastructure for hardware-software complexes of special-purpose information systems is proposed: information systems and communications support services define a set of IT services; IT services are provided to three groups of specialized clients who use specific software-hardware complexes; IT services and software-hardware complexes are linked by 5 implementation scenarios for heterogeneous information transmission networks; the integration of IT services is determined by 5 information and communication systems support services. A method has been developed to optimize the process of providing integration infrastructure IT services to specific categories of clients, which are offered to three groups of specialized clients using specific hardware and software systems. The method differs from others in its clearly defined algorithm for using five implementation scenarios for heterogeneous data transmission networks, which ensures data transmission under degraded communication line conditions and minimizes the processing time of client requests to information and optimize the performance of the integration infrastructure under a specified load for the selected system configuration.*

**Keywords:** specialized information systems, IT services, integration infrastructure, hardware-software systems, C4ISR

Стаття подана до редакції: 25/03/2026

Стаття прийнята до опублікування: 30/03/2026

Стаття опублікована: 27/04/2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0