

Тимчук Володимир Юрійович (кандидат технічних наук, старший науковий співробітник)

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ ОСНОВИ МІЛІТАРНИХ СИСТЕМ ІЗ СИСТЕМ НА ЕМЕРДЖЕТНИХ І ЕВОЛЮЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЯХ

Вирішення сукупності проблем щодо забезпечення надійного та безперервного функціонування й ефективного управління складними організаційними структурами, що володіють повнотою незалежності, потребує нових концептуальних і методологічних рішень. Особливо значущим це постає в секторі безпеки та оборони України в умовах здійснення Українською державою відсічі збройної агресії російської федерації, оскільки, апріорі, цей сектор передбачає і вимагає залучення усіх можливих ресурсів і можливостей, у тому числі й передових, без достатньої апробації та досвіду застосування, для своєчасного й ефективного виконання місії і завдань. У світі, теоретичною основою для взаємодії різних систем і організацій, незалежно від рівня, є науковий і методологічний апарат такої галузі як теорія систем із систем (system-of-systems (SoS)). Їх реалізації мають практичне застосування і, на сьогодні, та або інша система із систем призначена або для найвищого органу управління держави, або для міжнаціональної коаліційної діяльності, або для організації з питань безпеки, оборони, бойового застосування на всіх рівнях військового управління. Загалом, у цій особливій і складній структурі, якою є система із систем, або, з іншого погляду, системи у системі, нові можливості виникають завдяки взаємодії окремих незалежних повнофункціональних систем, якими можуть керувати різні команди операторів. В таких реаліях кожна система із систем буде унікальною, що визначається її особливою архітектурою, яка сприйнятлива до змін і еволюції. Методологічні основи теорії систем із систем є маловідомими серед вітчизняних науковців. Водночас практика національного спротиву проявляє конкретні сфери, у яких їх застосування є доречним, потрібним, своєчасним і ефективним. Тож, метою статті є розроблення інформаційно-аналітичних основ мілітарних систем із систем, їх класифікації на основі емерджентних, еволюційних й інших властивостей із онтологією узагальнених архітектур для впровадження у сектор безпеки і оборони та розвитку його спроможностей. Під час написання статті застосовано пошуковий метод, метод відбору, упорядкування та аналізу джерел, а також метод онтологічного інжинірингу щодо розробки онтології для архітектури конкретного різновиду системи із систем. У результаті, в статті наведено архітектури, складові, призначення та ключові особливості мілітарних систем із систем Сполучених Штатів Америки, Китайської Народної Республіки і коаліції держав НАТО. Було введено критерій класифікації – відношення системи із систем до її еволюції, що дозволило здійснити розподіл на п'ять класів систем із систем: спроектовані, перетворені, скомбіновані, зеволуційовані, пристосовані. Кожен клас описано своєю онтологією та проілюстровано прикладом. Розроблена класифікація дасть змогу порівняно легко відносити структурні взаємодії між незалежними системами та організаціями до одного з класів систем із систем, що в подальшому сприятиме застосуванню методології цієї теорії. Також у статті запропоновано низку термінів, що дасть змогу надалі обґрунтовано, з урахуванням регламентованих підходів до стандартизації, розробити необхідну термінологію для нової галузі, виокремленої із загальної теорії систем. Елементом наукової новизни є наведення складних систем в архітектурному рішенні та онтологічному апараті теорії систем із систем. Теоретичну значущість статті формують терміни і поняття, що доповнюють термінологічну область сфери системної інженерії у створенні передусім систем управління (військами, процесами, організаціями тощо). Практична значущість досліджень зводиться до, по-перше, опанування понятійного апарату держав-партнерів України в царині складних систем управління, в царині C4ISR, тим самим надаючи додаткове поле для взаємодії у питаннях безпеки та оборони, зокрема, щодо захисту України, і, по-друге, до можливості практичної реалізації конкретних систем із систем і систем у системі, цілеорієнтованих під певну військову місію або задачу чи діяльність.

Ключові слова: проєктування складних систем, system of systems, SoS, інформаційна технологія, концепція архітектури системи, командування та контролювання, ефективність системи управління військами, онтологія консолідації інформації.

Вступ

Постановка проблеми. Запровадження в секторі безпеки та оборони України (далі – СБОУ) нових архітектурних рішень на основі знань і досвіду базової архітектури НАТО має сприяти

розвитку спроможностей СБОУ, забезпеченню взаємосумісності між його складовими, насамперед між різними органами військового управління (далі – ОВУ) Збройних Сил України (далі – ЗС України) як структурами (англ.: *entity*), що

підвищують ефективність різних систем (організацій тощо) в умовах нових викликів, а також зниженню рівня критичних ризиків для спроможностей систем й інших інформаційних технологій (далі – ІТ) тощо.

Система із систем (далі – СізС) (від англ. *system-of-systems (SoS)*) військового призначення (далі – М-СмаС (мілітарна СмаС (від англ. *military SoS*)) є надскладною системою, яка формується з різних структур: видів і родів військ (сухопутних сил, військово-морських сил, повітряних сил, сил спеціальних операцій тощо), аерокосмічних сил, ядерної тріади, командувань різних рівнів (як-от систем С4ISR, кібервійськ, засобів спостереження (радіолокаційних систем (далі – РЛС), інших систем моніторингу) та радіоелектронної боротьби, сил забезпечення тощо. Саме тому існує чимало сфер, де мілітарну СізС (далі – М-СізС) здавна досліджують, і такий інтерес не знижується.

В Україні поняття «системи із систем» (також: «система систем»), на сьогодні, не є поширеним в наукових дослідженнях. Науковці та інженери вважають, що сфера подібних систем регулюється іншими теоріями, зокрема, теорією систем, теорією складних систем, теорією проектування систем, системною інженерією, теорією онтологічного інжинірингу тощо. В статті обґрунтовано, що це не так – існують стандарти [1; 2] з описом понять, архітектури та функціонування систем із систем.

Існує наступне визначення СізС – «набір систем або системних елементів, які взаємодіють, щоб забезпечити унікальну можливість, яку жодна зі складових систем не може реалізувати самостійно» [1]. Такі системи створює людина і їх налаштовують у сукупності компонентів, до яких відносять: апаратне забезпечення (технічні засоби, обладнання), програмне забезпечення (софт) або ІТ, персонал, процедури та спроможності.

Системи із систем призначені для широкого спектру організацій: найвищих органів управління держав або міжнародних об'єднань, коаліцій партнерів, мультинаціональних сил (далі – МНС), організацій національних систем у сфері оборони та/або безпеки, збройних сил – видів і родів військ як вищих структур ОВУ і найменших військових підрозділів із тактичної ланки управління. Перші дослідження майбутньої сфери СізС розпочалися у військово-морському середовищі, а деякі з них ще під час Другої світової війни. Приклади таких досліджень можна побачити в лінії Каммгубера та в коаліційних силах супроводу в Атлантиці, де чітко проявлялися згадані вище компоненти.

Парадигму майбутньої «системи систем» визначали у різний спосіб і в різних областях, передусім, американські інженери ще з 1950-х рр., зокрема, М. Келлі, І. Інґстром, К. Болдінґ та інші, що узагальнили Г. Гуд і Р. Махол [3]. Та все ж практичні результати отримані у космічних й інших оборонних програмах, передусім щодо захисту від балістичних ракет (далі – БР) – перше випробування керованої ракети провели в 1960 році і з того часу складна програма взаємозв'язків між різними системами була відомою під різними назвами в період дії Договору про стратегічну

протиракетну оборону (далі – СПРО) (1972–2002 рр.). ВМС не відстали у проєктуванні складних систем, прогнозуючи у 1990-х рр. свій майбутній обрис. Вже наприкінці ХХ ст., концентруючись на створенні систем озброєння (далі – СОз) (англ.: *weapon systems*), військові посадовці США формулювали «Дорожню карту технологій для NASA», «Дорожню карту для інтегрованих безоператорних систем», «План для уніфікованої військової мережі» тощо. Цей стан, опираючись на оборонне планування США, безсумнівно впливав на створення надскладних СОз із наступною об'єднаною назвою СізС – американські дослідження мали пріоритет у світі [4], хоча обставинах Холодної війни дослідження у подібних напрямках проводилися і в опонента США – СРСР, зокрема, в наукових школах, які пізніше склали основу формування багатьох наукових напрямів і шкіл в Україні, пов'язаних із розробкою складних (розподілених, ієрархічних, багатоструктурних, гетерогенних та ін.) систем.

В науковому світі вважається, що термін «система із систем» запропонував Марк Майєр із одночасним уніфікованим визначенням СізС, виходячи із царини комп'ютерних наук [5]: у цій праці описано п'ять ключових ознак – операційна незалежність, керована незалежність, еволюційність, географічне охоплення, емерджентна властивість (набуття унікальних спроможностей), але по факту це поняття – все ж із закритого військового середовища (підвівши підсумки так званої Третьої революції у військовій сфері, заступник голови Об'єданого комітету штабів адмірал Вільям А. Овенс у 1996 р. оприлюднив тези з концептуальним баченням СізС, яка формується тріадою «розвідка – командування – високоточні сили» [6]). Отож виходить, що Майєр вивів М-СізС із «оборонної тіні» в наукову площину, що дозволило розробляти наукове обґрунтування для будь-яких СізС. І вже під операційною незалежністю розуміється те, що у СізС кожна з її окремих незалежних систем – кожна система у системі (далі – СуС) здатна до незалежної роботи, навіть якщо її ізолювати від інших СуС, а під керованою – те, що кожною з СуС можна керувати незалежно від інших СуС, що означає наявність кількох центрів ухвалення рішень [7]. Так, комп'ютерні науки «перехопили» термін СізС від військового, бо «сукупності окремих незалежних систем як частини більшої та складнішої системи з новими спроможностями» [8] стали повсюдними завдяки мережам, інформатизації (появі інформаційних систем (далі – ІС)) інтелекту на противагу класичній розвідці.

В результаті, концепція СізС охоплює чимало розподілених платформ, датчиків, СОз і комунікаційних мереж (далі – КМ), об'єднаних в операційно- та керовано-незалежну цілісність.

Отже, проблема розробки концептуальних понять нової для вітчизняної науки теорії проєктування систем із систем, а заодно і розробка (уточнення) термінів має велике значення та практичну значущість у світлі ефективного застосування систем управління військами (далі – СУВ), які було розгорнуто в державах-партнерах

України для військового застосування та в яких накопичено чималий досвід їх експлуатації. Введення необхідних міжнародних стандартів і розробка й дослідження концепцій проектування та побудови СізС дасть змогу підвищувати ефективність СУВ на багатьох рівнях СБОУ, починаючи зі стратегічного.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні складні системи розглядають через призму різних теорій наук. Військово-прикладні праці А. Вороніна, Б. Демідова, О. Ляшова, В. Савченка, В. Слюсара, П. Сніцаренка, М. Ракушева, С. Яроша та ін. мають деяку дотичність до розвитку «більших і складніших систем з новими спроможностями». Одну зі спроб систематизації окремих незалежних систем (концепцій, архітектур і технічних рішень) для організації вищого порядку (для ОВУ у СБОУ) зроблено щодо систем підтримки прийняття рішень [9]. В дослідженні дата-центричних систем-систем [10] на прикладі операційної, системної та технічної архітектури для С4ISR результатом є тільки ресурсно-поточкова модель дата-центричної операції У [11] висвітлено М-СмиС у світовому контексті та показано, що підходи є різними, наприклад, через розвиток ІТ (Т. Б'янчі, Н. Лю, Х. Янг), або через дослідження архітектури (Дж. Аксельссон, М. Гвессі, Дж. Кляйн, Г. Влет, Ц. Нільсен, М. Оліверо), або дослідження прикладних рішень (Й. Гао, Т. Лі, Н. Махдуї, Ц. Х'ю). Хоча кількість сягає тисячі публікацій, але досі домінує методологічна невпорядкованість, бо всі підходи є різними, із унікальними методами проектування, із високим рівнем незавершеності. Єдиним об'єднавчим моментом є те, що мислення у категоріях СізС і СуС є ефективним підходом до складних адаптивних систем з їх саморегуляцією, самокеруванням і самоорганізацією [12]. Наразі постала необхідність зменшити «невпорядкованість»

праць в цій царині в Україні, уточнивши, підібравши, та за потреби, розробивши відповідну термінологію.

І дійсно, наявність у ЗС України значної кількості складних СОз потребує нової методологічної основи для аналізу систем і зразків озброєння та військової техніки (далі – ОВТ), у яких проступають ключові характеристики СізС. Отож, зазначена наукова царина (теорія) є цілком новою для України, що вимагає дискусій про М-СізС та подальші напрями її розвитку.

Враховуючи зазначене, розвиток методології для аналізу систем і зразків ОВТ є актуальним науковим завданням. На першому етапі досліджень на основі аналізу документів здійснюють систематизацію ключових аспектів у сфері систем із систем, розробляють визначення для необхідних термінів і онтологію для класів СізС.

Метою статті є розроблення інформаційно-аналітичних основ мілітарних систем із систем, їх класифікації на основі емерджетних, еволюційних та інших властивостей із онтологією узагальнених архітектур для впровадження у сектор безпеки і оборони та розвитку його спроможностей.

Виклад основного матеріалу дослідження

М-СізС є призначеною СізС, у якій «складові системи підтримують здатність оперувати незалежно, але їх основний операційний режим є підпорядкованим центральній керуючій цілі» [1], через що СізС є «набором або упорядкуванням систем, що дає результат, за якого функціональні незалежні системи є поєднаними в більшій системі і цим досягаються унікальні спроможності». СізС з її ознаками (табл. 1) розглядають крізь призму трьох областей (доменів): *фізичного* (далі – ФД), *інформаційного* (далі – ІД) та *когнітивного* (далі – КД) [1, 2, 8].

Таблиця 1

Ознаки мілітарних систем із систем із поясненнями, прикладами і наслідками

| Ознака СмаС | Пояснення | Приклади | Наслідки |
|--------------------------------|--|--|--|
| соціотехнічні (у ФД) | існує певна спостережувана структура | СПРО, сили (ОВУ, військові частини), КМ, комп'ютерні ІС | персонал обумовлює нові спроможності, а технічні засоби доповнюють, полегшують або іншим чином сприяють їх розвитку |
| цілеорієнтована (місійна СізС) | усі СуС мають ціль, їх функціонування виходить із розуміння місії СізС і їх ролі у її досягненні | вигравати; перехопити балістичні ракети | СізС не статичні, а динамічні сутності, які повинні досягнути необхідного кінцевого стану в результаті спільної цілеорієнтованої діяльності СуС |
| зв'язаність | існує певний і цілеорієнтований зв'язок між усіма модулями СізС | C2S, моделі поширення інформації, моделі ІС (в ІД), моделі ухвалення рішень (в КД) | це організована серверна архітектура для СізС, яка дозволяє використовувати (або тестувати) кожну СуС у ФД та/або ІД окремо, без зв'язку з іншими модулями |

ФД включає персонал, обладнання, середовище (environment) тощо, є доменом, де ведуться бойові дії на землі, на морі, в повітрі та в космосі й утворюється із фізичних платформ, які поєднуються за допомогою КМ (наприклад, платформна СізС).

ІД є областю з існуванням інформації, тобто де її генерують, збирають, опрацьовують і розповсюджують. Інформація може відображати дійсність, але може бути і не пов'язаною з нею

(хибною, спотвореною тощо).

КД існує у свідомості людини, в якій мають місце тлумачення, усвідомлення, розуміння, переконання, оцінювання вартості, і є доменом розумової діяльності для вироблення рішень.

Отже, три риси є загальними для М-СізС – вони є системами, по-перше, *соціотехнічними*, по-друге, *цілеорієнтованими*, і, по-третє, *зв'язаними* («зліпленими») із СуС (або, по-іншому, модулів) або

перепроєктовані із деяких реалізацій із характерними властивостями).

Для подальших викладень використаємо скорочення (табл. 2 сформована автором), їх основою є

запозичені терміни з англійської мови (мови цитованих стандартів), для яких українські відповідники представлено шляхом калькування (транскрипції, акронімо-наслідування) ¹.

Таблиця 2

Скорочення з відповідниками та поясненнями

| Оригінальне скорочення*, значення | Використане скорочення*, його розкриття | Довідка або альтернативне визначення |
|---|--|--|
| C2 <i>Command and Control</i> | C2 <i>командування та контролювання</i> | командування та управління (керування) (КУ, КК) |
| C2S <i>C2 System</i> | C2S <i>C2 система</i> | СУВ; система командування та управління (керування) (СКК) |
| C2BMS | C2BMS | «C2 + BMS» |
| BMS <i>Battle Management System</i> | BMS, БМС <i>боє-орієнтована менеджментова система</i> | БМС; система керування (управління) боєм (СКБ, СУБ) |
| C2SIM | C2SIM | «C2 + SIM» |
| C2ISR <i>C2 Intelligence, Surveillance, Reconnaissance</i> | C2ISR <i>C2 + інтеледженс (інформаційна робота), спостереження, розвідка</i> ² | командування, керування, розвідка, спостереження, рекогносцировка |
| C4ISR | C4ISR <i>C2+комунікації, комп'ютинг</i> | система ситуаційної обізнаності |
| CIS <i>computer IS;</i> GIS <i>geographic IS</i> | ~IC (деяка інформаційна система) | КІС – комп'ютерна ІС; ГІС – географічна ІС |
| CN <i>communication networks</i> | КМ <i>комунікаційні мережі</i> | АСУ – автоматизована система управління |
| JIE <i>joint information environment</i> | CIE <i>спільне інформаційне середовище</i> | об'єднане інформаційне середовище (єнвайронмент) |
| RESE <i>rapidly evolving security environment</i> | RESE (РЕСЕ) <i>різко-еволюційне середовище</i> | ДЗСБ – динамічно-змінюване середовище безпеки (ситуаційний єнвайронмент) |
| SIM <i>system for simulations (simulator)</i> | SIM <i>система для імітаційного моделювання</i> | система прогнозування розвитку ситуації |

* **Примітка:** подані в таблиці скорочення (так само як інші скорочення, що введені вище або нижче, у тому числі позначення для онтології архітектур і «одиниць вимірювання» у системах із систем) використані в інших таблицях, на рисунках і у тексті статті.

Також, з урахуванням цілеорієнтованості для місійної СізС, що передбачає гнучкість архітектури – сприйнятність СізС до змін, трансформацій, переходів із одного стану до іншого, – введемо позначення та скорочення для опису онтології архітектур для різних СізС.

\tilde{A} є символом для СізС, у якій є визначена архітектура (стан) і яка поєднує різні компоненти A_i (модулі, СуС) і сили підтримки (структури) для досягнення певної спроможності (цілі).

\tilde{B} , відповідно, є символом для СізС з відмінною від початкової архітектури \tilde{A} (тобто з іншим станом СізС).

Для розрізнення типів СізС використано такі «одиниці вимірювання» для компонентів СізС:

[м.] = модуль (або СуС) – компонент СізС, який створено у рамках окремої програми розробки;

[е.з.м.] = еволюційно-здатний модуль. Цим показується, що деяку чи кожен частину СізС, як її окремих модулів (окрему незалежну систему), можна оновити (видозмінити, модернізувати), також є можливими паралельні еволюції модулів;

[СОз] = системи як самостійні зразки озброєння;

[стр.] = структури = сили та засоби підтримки; стосується безмірних (якісних) компонентів СізС (наприклад, роди і види військ, ІТ тощо);

[ІБС] = інтегрована бойова система, яка складається із СОз, які можна модернізувати.

Побудова СізС є наступною віхою досліджень як у частині аналізу відомих СізС, так і в частині проектування нових (інших, перетворених) СізС.

На сьогодні існує велике розмаїття СізС з погляду на їх призначення, сфер застосування, складності, розміру, новизни, адаптивності, кількості, розташування, тривалості циклу та розвитку – як наслідок в статтях [10; 11; 13; 15; 16] обґрунтовано визначення для архітектур таких СізС:

М-СізС (мілітарна СізС) (англ.: *military SoS*);
З-СізС (збройна СізС (СізС системи озброєння)) (англ.: *weapon SoS*);

В-СізС (воєнна СмаС) (англ.: *warfare SoS*);
Б-СізС (боє-орієнтована СізС (СізС бою)) (англ.: *combat SoS*);

А-СізС, Р-СізС (автономна / роботизована СмаС) (англ.: *autonomous vehicle SoS*) та ін.

Тож множинність визначень, що породжує та посилює труднощі, зумовлена тими фактами, що, по-перше, як вже зазначалося, СізС призначені для широкого спектру організацій, а, по-друге, такі дослідження проводять у різних країнах (США, КНР, співпраця в межах НАТО і поза ним), і оскільки головною їх метою є впровадження результатів у військовій справі, то очевидним є захист таємниць і винаходів, які реалізуються у СОз. Для уникнення плутанини ми надалі просто використаємо загальне скорочення (за винятком місць опису тих систем із систем, які існують).

Отже, в основі побудови СізС лежить низка концептуальних особливостей, зокрема, вони:

реалізуються для роботи в мінливому, взаємопов'язаному світі та в РЕСЕ (тобто СізС має працювати в обставинах, на які її початково не орієнтували);

є чутливими до інформаційного середовища війни та мають певну нефіксовану архітектуру (або стан) \hat{A} , що дозволяє переходити до архітектури

(або стану) \hat{B} (\hat{C}, \hat{D}, \dots);

відповідають принципу еволюційності (здатності архітектури підтримувати можливі майбутні можливості) для невідкладного реагування на зміну потреб учасників бойових дій (рис. 1), водночас, використовуватимемо поняття *еволюційної події* (тобто чинника або можливості, яка своєю появою уможливило подальшу еволюцію в інших сферах (системах)) – це є *еволюційною властивістю* СізС або СуС;

забезпечують С2 та/або відповідають іншим принципам ведення війни;

формують цілісну систему із взаємодіючих СуС, що дозволяє кільком операторам незалежно один від одного здійснювати керування нею;

уможливають через ІТ моделювання, аналіз у бойовому застосуванні (аналіз дій (далі – АД) (англ. *course of action, COA*)); прогнозування за допомогою систем машинного навчання (далі – СМН) пошук найкращої структури для СізС.

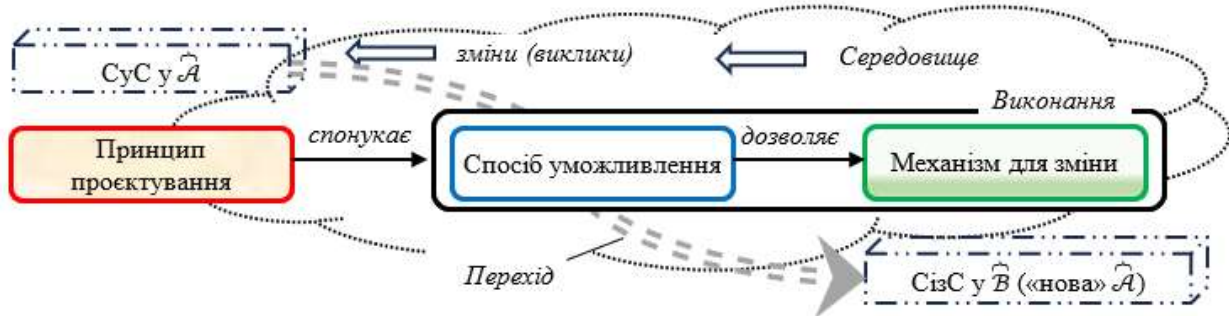


Рисунок 1 – Діаграма переходу від СуС \hat{A} до СуС \hat{B} у разі еволюційної події через один із відомих принципів проектування систем, коли способом уможливлення переходу є фізичний об'єкт, дія або рішення, а механізмом для зміни – деякий метод переходу СізС від \hat{A} до \hat{B}

Вочевидь, що новий стан \hat{B} (або \hat{C}, \hat{D}, \dots) стає основним станом, своєрідним «перетворенням» СізС в \hat{A} .

Класифікація СізС і досвіду їх переходів (еволюцій). Існує чимало спроектованих і реалізованих СізС. На підставі їх аналізу пропонується їх навести п'ятьма узагальненими класами:

спроектована (розроблена) СізС;

перетворена СізС (СізС, що існувала, але далі зазнала переходу);

скомбінована СізС (по суті, СуС);

зеволуційована (транзитна) СізС (СізС, що існувала, але еволюційна подія уможливила її суттєву зміну);

долучена (приспосована) СізС.

Для ілюстрації класів до табл. 3 зведені приклади СізС із прикметними характеристиками.

Таблиця 3

Варіації мілітарних систем із систем з деякими аспектами їхнього створення або еволюції

| Рік, держава, розробник | Назва, клас СізС | Визначена місія | Сутність переходу СізС до нової архітектури |
|---|--|--|---|
| 2004–2018, США, Міністерство оборони (МО) | місійна система протиракетної оборони (СПРО) [13] (перетворена СізС), В-СізС | забезпечити надійну, ешелоновану СПРО на всіх фазах польоту балістичних ракет (БР) | підходи С2ВМС дозволили у 2008 р. включити до системи СПРО батарею перехоплювачів «Тед» (ТНААД) |
| | | | РЛС морського базування розширили можливості перехоплення БР |
| | | | розгортання РЛС на передових районах |

| Рік, держава, розробник | Назва, клас СізС | Визначена місія | Сутність переходу СізС до нової архітектури |
|---|--|--|--|
| 2009, США, МО | МТГБ* [14] (скомбінована СізС), М-СізС | реагувати невідкладно на виклики у РЕСЕ | завдяки модульності платформної ВСТ знижено вимоги до взаємозалежності, чим спрощується еволюція |
| 2011, КНР, Військова академія зв'язку (Commanding Communications Academy), Ухань | система імітаційного бою [15], (спроєктована СізС), Б-СізС | подавити, зламати, зруйнувати СізС противника чи встановити контроль над нею | архітектура у реалізації комунікаційних мереж існувала як [складна] система до еволюції і стала СмаС після трансформації |
| 2014, коаліція МНС: ЗС США і ЗС СК*; DARPA; НАТО: NCI Agency; Saab; Thales; GMV; Systematic | C2SIM [16] (спроєктована СізС і зеволуційована СізС), Б-СізС | тренування, АД і розбір місії, вхід через національні C2S до SIM | базою щодо інтеперабельності є мова взаємодії*; за цих умов ІТ (софт для ІІЕ) зазнає еволюції, як-от софт JTIC2S замість софта JADOCs |
| 2014, США, МО | ІТ АІСО* [17], із «ємністю» $\tilde{A} \ni 1,5 \cdot 10^3$ [користувачів] (зеволуційована СізС), М-СізС | надавати ІТ та комунікаційні спроможності структурам | ІІЕ (софт <i>ІІЕ Mobile Solutions</i>), централізований обмін інформацією, його розроблено для об'єднання усіх мереж на єдиній архітектурі (реалізовано впродовж 2016–2020 рр.), $(\tilde{B} \rightarrow \tilde{A}) \ni 10^5$ [користувачів] |
| 2020, Повітряні сили України | в [12] ППО як сімейство систем (family of systems, FoS), по суті, місійна СізС для ППО, у разі еволюції – (перетворена СізС), В-СізС | в дійсності, система ППО емерджентної властивості не мала (модулі (або СуС) не «домовлялися» між собою до 2022 р.) | починаючи з 2022 р., має місце постійна інтеграція-засвоєння в системі ППО нових окремих незалежних систем, отриманих від держав Рамштайнської коаліції, як-от <i>MIM-104 Patriot</i> , <i>NASAMS</i> , <i>IRIS-T SLM</i> , <i>F-16</i> та ін. систем і засобів із C4ISR, різних ІТ, а також СОЗ для ураження та придушення літальних апаратів |
| 2023, Повітряні сили України; Франція, СК* | Су-24М (приспосована СізС), З-СізС | озброювати Су-24М ракетами <i>Storm Shadow / SCALP-EG</i> | Су-24М набув спроможності застосовувати ракети з циклу СмаС у РЕСЕ (з використанням C2S, ГІС та інших ІС) |

* **Скорочення:** СК – Сполучене Королівство Великої Британії та Північної Ірландії; мовою взаємодії є *BML (Battle Management Language)*; МТГБ – програма модернізації тактичних груп бригадного рівня (англ. *BCT – Brigade Combat Team Modernization Program*); АІСО – Агенція з інформаційних систем для оборони, США (англ. *DISA – Defence Information Systems Agency*)

Покажемо архітектуру та онтології для відомих і передбачуваних М-СізС.

1. СізС / СуС для СІМ бою (англ. *SoS combat SIM*) є поєднанням бойових об'єктів, КІС і КМ для створення СІМ на мереже-центричній архітектурі [15]. Онтологія для цього класу спроєктованих СізС буде такою (з «одинацями вимірювання»):

$$\tilde{A} \ni \bar{A} \wedge \mathcal{A}_i [м.] \cup [е.з.м.], \quad (1)$$

де \bar{A} показує, що система не була СізС, тому включення до неї \mathcal{A}_i і зробило СізС \tilde{A} .

2. СізС типу C2SIM для МНС є ІТ зі створення середовища для інтеперабельності між різними національними C2SIM (тобто для обміну інформацією) та моделювання операцій кожною окремою державою у своїх СІМ з необхідною точністю відповідності [16]. Цю СізС також вважатимемо створеною (і такою, що легко стає зеволуційованою СізС внаслідок зміни її модулів), тому онтологія є такою:

$$\tilde{A} \ni \bigwedge_{i=1}^N \mathcal{A}_i = \tilde{A} \ni \{ \mathcal{A}_1 \wedge \mathcal{A}_2 \wedge \dots \wedge \mathcal{A}_i \wedge \dots \wedge \mathcal{A}_N \} [м.] \cup [е.з.м.] \cup [срп.]. \quad (2)$$

СізС типу C2SIM, що її розробляли і тестували у 2014 р. згідно стандарту *MSG-085* для сумісності (англ.: *C2-Simulation Interoperation*), стала процесом створення технічної готовності (англ.: *Technical Readiness Level, TRL*) і операційної основи (коаліційної *BML*) для застосування у МНС стандартизованої C2SIM.

На рис. 2 показано архітектуру цієї СізС, що включала [16]: набір *BMS (SICF* від *Thales Communications*, Франція; *SITAWARE* від *Systematic*, Данія; *C2LG* від *Fraunhofer Institute for Communication, Information Processing and Ergonomics*, Німеччина; *9LandBMS* від *Saab*, Швеція) та C2S (*TALOS* від *GMV*, Іспанія), набір C2SIM (*APLET*, Франція; *OneSAF*, США), *SWORD*, Франція; *JSAF*, США), набір ІТ (*JChat*, *ICC* від *NCI Agency*, НАТО; *JADOCs* від *DARPA*, США; *C2SIM Exchange Service*), структури: *BDE HQ*, *BN HQs* – ОБУ оперативного-тактичного рівня (*бр*, *бам*); *ARTY LO* – артилерійський офіцер зв'язку; *MOC* – центр імітації дій противника; *AOC (Air Operations Center)* – центр повітряних операцій).

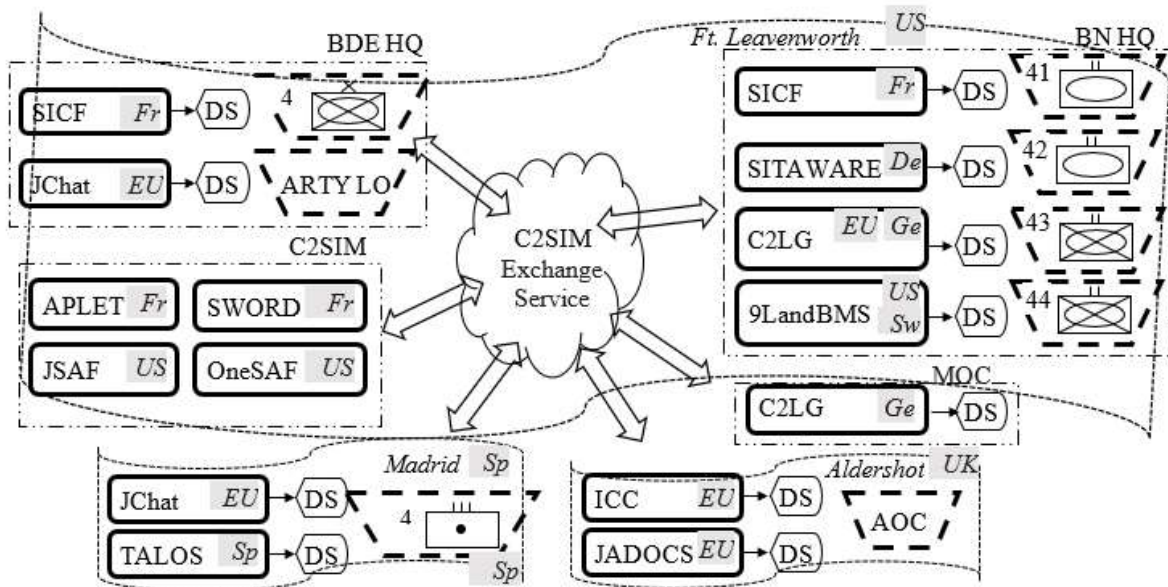


Рисунок 2 – Архітектура системи із систем згідно стандарту MSG-085:

- а) — (потовщеною лінією) показано СуС, які є компонентами СізС;
- б) — (звичайною лінією) – системи з визначеною діяльністю, як-от системи відображення (наказів, звітів, ситуаційної обізнаності тощо) (тут через символ *DS* – *display systems*);
- в) (пунктиром вигнуто-ламаною лінією) – СуС з невизначеною діяльністю (у когнітивному домені), які об'єднують платформні окремі незалежні системи (або СуС), структури (штаби, військові формування, малі підрозділи до окремого військовослужбовця включно), ІТ тощо, де персоналу відведено ключову роль), тут просторову розосередженість структур СуС показують географічні назви локацій: Ft. Leavenworth (США), Madrid (Іспанія), Aldershot (СК);
- г) - - - - (крапко-пунктиром лінії прямокутника) – модулі СізС (можуть складатися з однієї ОНС або з сукупності СуС), які мають чіткий функціонал в одному або одночасно в кількох з доменів, тут такими модулями є ОБУ – штаби бригад *BDE HQ*, батальйонів *BN HQ*, відмінністю між якими стали різні ІТ (софт) для СуС, якими виступають *BMS*, *C2S*, *C2SIM*;
- д) скорочення структур (держав і міжнаціональних утворень) відповідає міжнародному двосимвольному позначенню, наприклад *EU* – Європейський Союз (від European Union), *Sp* – Іспанія (від Spain) і т.д.

3. Архітектура місійної СізС щодо СПРО США містить: системи виявлення та супроводу цілей (космічного, наземного та морського базування); ракети-перехоплювачі наземного та морського базування для ураження БР прямим влученням («hit-to-kill») або фугасним зарядом; *C2BMS* і *KM*, що зв'язує системи виявлення та системи ураження під командування ОБУ [13] у, по суті, *C4ISR*.

Ешелонована архітектура \tilde{A} 2004 р. містила наземні ракети-перехоплювачі (англ. *Ground-based Midcourse Defense, GMD*) (у Форт-Гриллі, Аляска), корабельні зенітні керовані ракети класу «Стандарт» (англ. *SM-3*), що наводяться за допомогою РЛС «Іджіс» (англ. *Aegis*), зенітно-ракетні комплекси «Петріот» (*MIM-104 Patriot*).

В архітектурі \tilde{B} 2008 р. частину перехоплювачів *GMD* замінили перехоплювачі «Тед» (*THAAD – Terminal High Altitude Area Defense*) в цілях розширити можливості СПРО щодо перехоплення БР в атмосфері і поза нею. Цю заміну уможливив механізм зміни, завдяки якому СізС перейшла від архітектури \tilde{A} до \tilde{B} . Інструментом для реалізації механізму зміни був *C2BMS*, який забезпечив

під'єднання «Тед» у поточні вузли *C2* існуючої СізС і, зрозуміло, подальший обмін інформацією.

Онтологія є подібною до (2) за винятком «одиниць вимірювання», адже у деяких наявних модулях СізС відбувся, по суті, еволюційний приріст, тобто була «внутрішня» модернізація.

Тому спочатку (до 2004 р.) існувала така архітектура СізС / СуС:

$$\tilde{A} \ni \bigwedge_{i=1}^N \mathcal{A}_i = \tilde{A} \ni \{\mathcal{A}_1 \wedge \mathcal{A}_2 \wedge \dots \wedge \mathcal{A}_i \wedge \dots \wedge \mathcal{A}_N\} [м.], \quad (4)$$

а еволюційна подія уможливила перехід СізС до нової архітектури:

$$(\tilde{B} \rightarrow \tilde{A}) \ni \{(\bigwedge_{i=1}^N \mathcal{A}_i \setminus \mathcal{A}_j) \wedge \mathcal{B}_j\} [м.], \quad (5)$$

де $\mathcal{A}_j \notin \tilde{A} = (\mathcal{A} \setminus \mathcal{A}_j)$.

Як видно, завдяки еволюційним подіям можна об'єднати кілька існуючих СізС / СуС у нову СізС.

Тому, в архітектурі \tilde{C} 2009 р. американського проекту щодо СПРО в Європі (англ. *Phase Adaptive Approach*) перебувають чергові ракетні крейсери

США у Середземному морі, оснащені системою «Іджіс», і РЛС раннього попередження в Туреччині AN/TPY-2 (т. зв. *Kürecik Radar Station*).

Онтологія матиме такий вигляд:

$$\left(\vec{B} \rightarrow \vec{A} \right) \ni \bigwedge_{i=1}^N \vec{A}_i = \left(\vec{B} \rightarrow \vec{A} \right) \ni \left\{ \vec{A}_1 \wedge \dots \wedge \vec{A}_i \wedge \dots \wedge \vec{A}_N \right\} [CyC] \text{ або } [CizC]. \quad (6)$$

4. МТГБ Штабу армії США [14] оголошено в 2009 р. для заміни програми розробки систем бою майбутнього (англ. *Future Combat System, FCS*)

$$\left(\vec{B} \rightarrow \vec{A} \right) \ni \left\{ (\mathcal{A}_1 \vee \mathcal{B}_1) \wedge (\mathcal{A}_2 \vee \mathcal{B}_2) \wedge \dots \wedge (\mathcal{A}_i \vee \mathcal{B}_i) \wedge \dots \wedge (\mathcal{A}_N \vee \mathcal{B}_N) \right\} [e.z.m.]. \quad (8)$$

5. До архітектури СізС ІТ АІОС [17] входить КМ, ЛЕ (зокрема, система керування мобільними пристроями (англ. *Mobile Device Management system*), сховище мобільних додатків (англ. *Mobile Application Store*) та інший софт щодо ІТ), користувацька інфраструктура (мобільні пристрої, застосунки, електронна пошта, безпроводні мережі тощо) для безпечної роботи і швидкої адаптації до змінних технологій і росту кількості користувачів (тобто, щоб дозволити долучати до СізС нові пристрої – розширювати СуС).

Щоб реалізувати еволюційну можливість (див. табл. 3), в архітектурі ІТ АІОС необхідно змінювати деякі специфікації, тому онтологія виглядатиме так:

$$B_i \begin{bmatrix} \dots \\ \vdots \\ \ddots \\ \vdots \\ \dots \end{bmatrix} = A_i \begin{bmatrix} \dots \\ \vdots \\ \ddots \\ \vdots \\ \dots \end{bmatrix} \times K_i \begin{bmatrix} \dots \\ \vdots \\ \ddots \\ \vdots \\ \dots \end{bmatrix} [e.z.m.], \quad (9)$$

де $K_i[]$ представляє деякі «коефіцієнти» для покращення еволюційно-здатного модуля (його модернізації), реагуючи на еволюційну подію (у цьому конкретному випадку операційною спроможністю стало покращення специфікації самої СізС, див. табл. 3).

Другим кроком щодо переходу СізС для таких прикладів є, вочевидь, (8).

6. Долучена СізС означає, що до деякої існуючої інтегрованої системи бою приєднуються СуС, які керуються цією системою «вищого рівня», але які внаслідок такого приєднання не стають самостійною СізС. По суті, відбувається використання інновацій в усталених процесах і системах з ціллю підвищити їх ефективність, але без трансформації самої системи через її неспроєктованість до такого переходу.

Саме такі приклади мають місце в реаліях України, починаючи з 2022 року для ЗС України. Ознаками цього є спостереження таких фактів:

1. Описані ключові принципи проектування СізС є справедливими для реалій України;

2. Інтерактивна взаємодія може проявлятися і у вигляді звичайного озброєння [18];

2003 р., яку скасували через її затратність і невідповідність часу реалізації реаліям.

Подібно до (4), первісну архітектуру СізС для МТГБ можна показати як:

$$\vec{A} \ni \{ \mathcal{A}_1 \wedge \mathcal{A}_2 \wedge \dots \wedge \mathcal{A}_i \wedge \dots \wedge \mathcal{A}_N \} [e.z.m.]. \quad (7)$$

Після уточнень урядових програм розвитку онтологія для такої СізС з урахуванням еволюційних подій (рис. 3) має наступний вигляд:

3. Кожна автономна рухома система є незалежною і виконує окрему місію, але у разі поєднання кількох таких систем, або у спільних діях із існуючими силами та засобами, автономні системи утворюють А-СізС з потенціалом для непередбаченої поведінки [19].

Одним із прикладів появи СізС можна вважати пристосування крилатої ракети *SCALP-EG* до запуску з бомбардувальника Су-24М Повітряних сил України, що власне є прикладом долученої СізС. Адже завдяки своїм функціональним можливостям (реалізації систем *TERCOM*, *GPS* та наявності інших сенсорів і пристроїв) ця крилата ракета є частиною деяких оборонних СізС у країнах НАТО.

Онтологію у цьому випадку представимо як:

$$\left(\vec{C} \rightarrow \vec{A} \right) \ni \vec{A} \wedge \vec{B} [IBC], \quad (10)$$

де $\vec{A} \ni \{ \mathcal{A}_1 \wedge \mathcal{A}_2 \wedge \dots \wedge \mathcal{A}_i \wedge \dots \wedge \mathcal{A}_N \} [IBC]$, хоча \vec{B} відповідає (2).

Іншим прикладом, у якому не складно зауважити ключові ознаки СізС (див. табл. 1), є сили щодо бойового застосування безекіпажних комплексів – авіаційних (далі – БеАК) та морських, як-от *MAGURA V5, Sea Baby*. Власне ці сили таки істотно вплинули на бойові дії, використовуючи потенціал певних еволюційних подій («Старлінк», ходові (польотні) можливості «безекіпажок»).

Для такої СізС в ЗС України є правочинною наступна онтологія, для якої реалізовано поєднання усіх спроможностей для виконання бойової місії (операції, ведення бойових дій):

$$\left(\mathcal{A} \rightarrow \vec{A} \right) \ni \vec{A} \wedge \vec{A} [m.] \cup [e.z.m.] \cup [cmp.] \cup [IBC] \cup [COz]. \quad (11)$$

Ефект такого поєднання доцільно навести через порівняння карт (рис. 3): на перших двох – результати фіксації порушення режиму припинення вогню на українському сході у 2021 р., а на третій – ефект появи уразливих районів на території російської федерації для БеАК через два роки.

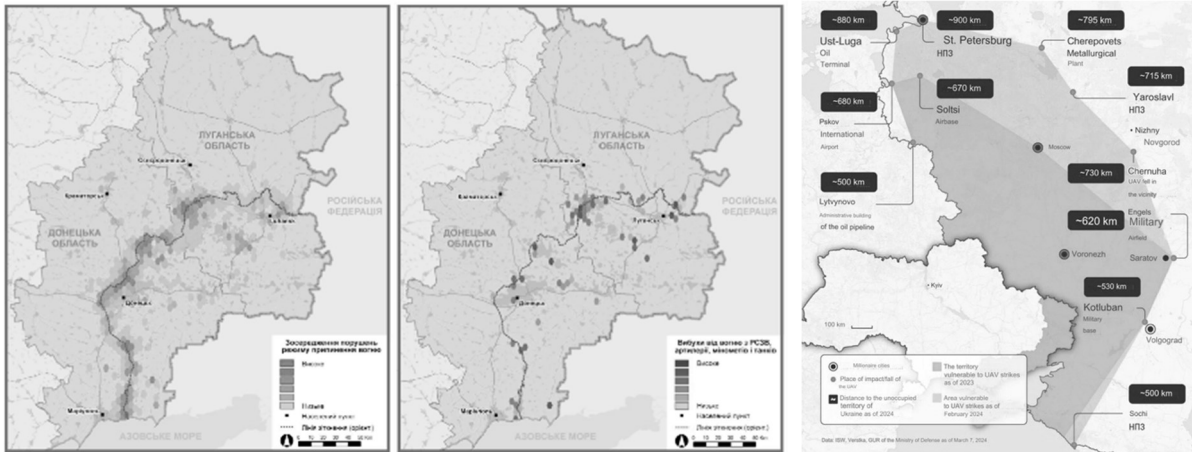


Рисунок 3 – Ілюстрація узагальнених фактів щодо порушення режиму припинення вогню (зліва) та застосування далекобійної зброї (посередині) у 2021 р. на тимчасово окупованій російською федерацією території України за даними ОБСЄ; зона досяжності для ураження безпілотних авіаційних комплексів (справа) станом на квітень 2024 р.

Ще одним прикладом СізС / СуС є потенційна С4ISR для Ракетних військ і артилерії Сухопутних військ ЗС України. На сьогодні ОБУ на кшталт пункту управління артилерійською розвідкою можуть додатково обробляти сигнали, інформацію та дані від сукупності різних сенсорів (РЛС, звукометричний комплекс, сейсмоакустичні датчики, оптичні та оптико-електронні системи, ГІС, датасети від інших КІС для обробки в т.ч. за допомогою ІТ та СМН тощо [20]. Структуру СізС щодо С4ISR показано на рис. 4, та чи інша КІС є опційною складовою частиною для СізС у разі її здатності вирішити чергову місію (завдання) в ЛЕ, тим самим підтримується така функція СізС як її цілеспрямованість.

В архітектурі такої потенційної СізС, з огляду на бойовий досвід ЗС України щодо відбиття повномасштабного вторгнення російської

федерації, є такі модулі (СуС): BMS («Дельта» або «Термінал» як системи ситуаційної обізнаності) і К2S («Кропива»), різноманітні СОЗ (основні бойові танки), САУ «Краб» із системою керування артилерійським вогнем «Топаз», САУ «AS-90» із КІС керування «Туррет», САУ «Цезарь»/CAESAR з її автономними системами тощо, зразки ОБТ щодо ISR (системи та сенсори, зокрема РЛС (1J220YK «Зоопарк-3», AN/TPQ-37, AN/TPQ-36, ARTHUR), АЗК «HALO», БеАК «RQ-35 Heidrun», ...), структури (ОБУ різних ланок управління (на рис.: *бр*, *бат* (*двзн*)), елементи об'єднаної вогневої підтримки (на рис. 4 – ОБП), наприклад згаданий пункт управління артилерійською розвідкою) тощо (через графічний елемент позначено деяку систему відображення обстановки, СВО).

Онтологія для такої СмаС буде аналогічною (2).

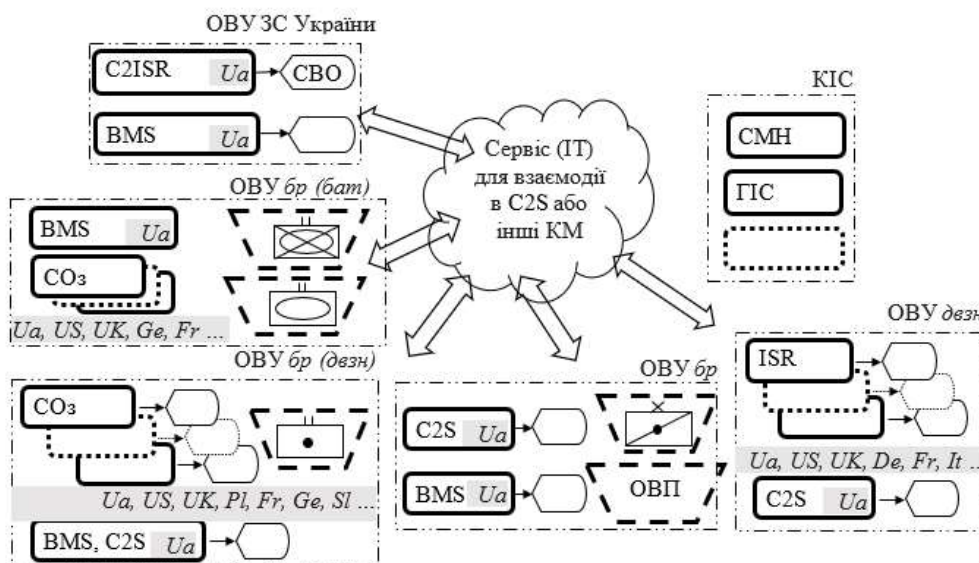


Рисунок 4 – Ймовірна система із систем типу С4ISR у Сухопутних військах ЗС України бригадного рівня скорочення структур подано аналогічно до рис. 2, наприклад тут *Ua* – Україна, *Pl* – Польща і т.д.

Отже, порівнюючи архітектуру СУВ, що її реалізують ОБУ під час виконання завдань із відбиття збройної агресії російської федерації, із архітектурою описаних і реалізованих систем із систем (військового призначення, воєнного призначення, зразків озброєння, бойових, або військових, автономно-рухомих, роботизованих) у світі, можна стверджувати, що організаційно-технічні втілення з високими частками інтеграції окремих незалежних систем в цілях досягнення необхідної місії (завдань) цілком відповідають головним ознакам до систем із систем, що регулюються стандартами [1; 2], адже їх архітектура містить окремі незалежні системи, що поєднуються через ІТ, комунікації, інтерфейсні рішення тощо для обміну інформацією між собою, а спроможність до постійних змін або інших трансформацій є головною рисою і задачею.

Як наслідок, застосування апробованого методологічного апарату та розробка на його основі необхідних методик відповідно до реалій України дасть змогу розвивати альтернативні підходи щодо проектування ОБУ та інших систем на основі концептуальних рішень і принципів із теорії систем із систем. Загалом, концептуальні основи СізС можуть бути потрібними та корисними у проектуванні озброєння всіх рівнів у СБОУ, тому систематичний огляд методів, процесів та інструментів проектування СізС є важливим напрямом для подальшого розроблення цієї теми.

Сукупністю кроків у проектуванні М-СізС є такі пріоритетні для цього часу аспекти: призначення, специфікація та завдання кожної конкретної системи у системі, оперативно-тактичні вимоги до неї, методологія оцінки її ефективності та потенціалу еволюційних подій щодо її відповідності неминучим змінам, а також оцінювання економічного ефекту як у загальному, так і у часткових зрізах.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Огляд різних систем із систем і виокремлення спільних ознак дозволили здійснити їх класифікацію у залежності від емерджентних та еволюційних властивостей таких систем на п'ять класів: спроектовані (розроблені), перетворені, скомбіновані, зеволуційовані (транзитні), долучені (приспосовані). Такий розподіл стане корисним у проблемі проектування або дослідження систем із систем або систем у системах, зокрема щодо аналізу ключових аспектів їх оптимальної побудови в умовах потреби їх забезпечення до дій в ситуаційному середовищі під час війни, а також щодо оцінки необхідних ресурсів і часу для проектування, побудови та оцінки ефективності.

Твердження про те, що в секторі безпеки та оборони фіксується таке ключове та поворотне явище у сукупності збройної компоненти та оперативного мистецтва і тактики, як поява і застосування перших форм систем із систем, дозволить розробляти нові підходи до

імплементации досягнень науки і технологій у задачах бойового застосування систем у системі щодо відбиття військової агресії російської федерації та звільнення окупованих територій.

Ця праця, спільно з іншими, започатковує теоретичний опис систем із систем для України. Перспективою подальших досліджень є опис таксономії для таких систем, зокрема, уточнення понять командування, контролювання (керування), менеджменту (управління), розвідки та інших, які є ключовими для цієї сфери, із наступною розробкою необхідної термінології (в т.ч. через переклад стандартів держав-партнерів Рамштайнської коаліції), аналіз вимог до спроможностей таких систем і до ефективності зразків озброєння, розробка сукупності методик для оцінювання взаємозв'язків структур у системах систем, для оцінювання різноманітних операційних спроможностей для спроектованих, перетворених або долучених систем у систему в задачах оборони України, дослідження принципів проектування систем систем із еволюційною якістю, що в цілому дасть поштовх для розробки їхніх концептуальних основ в інтересах організацій сектору безпеки та оборони, наукової та інженерної спільнот України.

Виклики війни завжди посилюють потребу змінювати архітектури будь-яких систем, якщо це призводить до ефективності зброї та заходів силового впливу. Поза сумнівом є те, що збереження життя військовослужбовців, перемоги у конкретних бойових епізодах та перемога у війні загалом є першим завданням органів військового управління, а також усіх військ і сил у їх взаємодії.

Примітки

¹ Розроблення термінології є особливою діяльністю в лінгвістичній царині, тож потребує окремих наукових досліджень і обґрунтувань саме в термінознавчому аспекті. Іншими словами, пропоновані й використані терміни та їхні скорочення не належать до унормованих (за наявності таких), адже мають на меті зберегти початкову відповідність термінів і їхніх для українського сприймання та подальшої розробки концептуальних основ в царині систем із систем).

² Переклад є авторським. Автор зустрічав такі невдалі спроби тлумачення (альтернативні до усталених в ЗС України підходів перекладу понять через пошук відповідників в національних керівних документах): ISR (intelligence, surveillance, and reconnaissance) – розвідані, результати спостереження, та Recon-дані; Recon (reconnaissance) – рекогносцирування; reconnaissance [operation] in force – операція рекогносцирування силою (в бою). Навіть без обґрунтування, просто через наявність різночитань, робить такі визначення не цікавими для вживання в ЗС України. Вочевидь, нормативні документи потребують стандартизації в Україні встановленим порядком. На нашу думку, це дослідження спонукатиме до належного перекладу та імплементации необхідних стандартів.

Подяка. Підготовка статті стала можливою завдяки бібліографічним ресурсам Наукової бібліотеки Львівського національного університету ім. Івана Франка, за що автор висловлює вдячність її колективу.

Список бібліографічних посилань

1. Office of the Deputy Under Secretary of Defense for Acquisition and Technology, Systems and Software Engineering. Systems Engineering Guide for Systems of Systems, Version 1.0. Washington, DC: ODUSD(A&T)SSE, 2008. 2. ISO/IEC/IEEE 21839:2019. Systems and software engineering—System of systems (SoS) considerations in life cycle stages of a system. ISO/IEC JTC 1/SC 7, IEEE. 2019. URL: <https://www.iso.org/standard/71955.html> (accessed: 18 July 2024). 3. Goode H., Machol R. Systems Engineering: An Introduction to the Design of Large-Scale Systems. New York, 1957. 4. Axelsson J. A systematic mapping of the research literature on system-of-systems engineering. *10th System of Systems Eng Conf (SoSE)*, 2015. P. 18–23. 5. Maier M. W. Architecting principles for system-of-systems. *Syst. Eng.*, 1998. Vol. 1. N 4. P. 267–284. 6. Owens W. The emergency U. S. System-of-Systems. *Strategic Forum*. Nat Def Univ. 1996 (Febr.). N 63. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA394313.pdf> (accessed: 18 July 2024). 7. Maier M. Research challenges for systems-of-systems context: collaborative systems. *Aerospace Corporation*. 2005. P. 1–6: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1571630&isnumber=33257> (accessed: 18 July 2024). 8. Boardman J., Sausser B. System of Systems - the meaning of. *2006 IEEE/SMC Int Conf on System of Systems Eng*, Los Angeles. 2006. P. 118–123. <https://doi.org/10.1109/SYSOSE.2006.1652284> (accessed: 18 July 2024). 9. Morozov A., Yashchenko V. Decision-making technologies in military systems. Challenges and prospects. *Математичні машини і системи*. 2023. N 4. P. 3–10. 10. Скорик А. Б., Ярош С. П., Меленті Д. О. Вплив руйнівних технологій на розвиток архітектури C4ISR систем. Концептуальні основи побудови архітектури дата-центричної системи-систем. *Системи озброєння і військова техніка*. 2020, № 4 (64), 107–119, DOI: 10.30748/soivt.2020.64.14 (accessed: 15 October 2024). 11. Tymchuk V., Trysnyuk V. The systematic review of variety of military, weapon, combat and warfare system-of-systems with their new classification and ontology depiction for further concept and design development for ZSU. *Military Science*. 2024, 2(1). URL: <https://themilitaryscience.com/index.php/journal/issue/view/2/3>. 12. Barachini F., Stary C. From digital twins to digital selves and beyond, 2022, https://doi.org/10.1007/978-3-030-96412-2_9. 13. Ricci N., Rhodes D. H., Ross A. M. Evolvability-Related Options in Military Systems of Systems, In *Procedia Computer Science*. 2014. No. 28. P. 314–321, from Conference on Systems Engineering Research (CSER 2014), CA, March 21–22, 2014, DOI: 10.1016/j.procs.2014.03.039. 14. Headquarters, Department of the Army. FM 3-96. Brigade Combat Team, 2021. 460 p. 15. Hua Tian, Zh. Gan. A Network-Centric Architecture for Combat System-of-Systems Model. *L. Qi (Ed.): Information and Automation: International Symposium, ISIA 2010*, Guangzhou, China, Nov. 10–11, 2010, CCIS 86. P. 411–417, 2011 [from Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011]. 16. Pullen J. M., Enabling Military Coalition Command and Control with Interoperating Simulations as a System of Systems. *Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications: International Conference, SIMULTECH 2015* Colmar, France, July 21–23, 2015, In *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 442, M.S. Obaidat et al. (eds.), Springer International Publishing, Switzerland. 2016. P. 157–174. DOI: 10.1007/978-3-319-31295-8_10. 17. DISA, Enabling The Joint Information Environment (JIE), 5 May 2014, https://disa.mil/-/media/Files/DISA/About/JIE101_000.pdf. (Accessed: 18 July 2024). 18. Di Pietro R., Raponi S., Caprolu M., Cresci S. New Dimensions of Information Warfare, pp. 1–4. Springer International Publishing, Cham (2021). https://doi.org/10.1007/978-3-030-60618-3_1 (accessed: 18 July 2024). 19. Klingensmith K., Madni A. Resilience Concepts for Architecting an Autonomous Military Vehicle System-of-Systems. In *A.M. Madni et al. (eds.), Disciplinary Convergence in Systems Engineering Research*, Springer International Publishing AG, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62217-0_6 (accessed: 03 October 2024). 20. Тимчук В. Ю. Структурно-параметричний синтез органу військового управління з урахуванням специфіки функціонування в умовах асиметричного розділу сил і засобів. *Труди університету*. 2024. № 1 (183). С. 122–133.

THE INFORMATION AND THEORETICAL BASIS OF MILITARY SYSTEMS OF SYSTEMS WITH EMERGED AND EVOLVED FACTORS OF THEIR DEVELOPMENT

Tymchuk Volodymyr (Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher)

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine

Formulation of the problem in general. The complicated problem of secure and constant command and control in the sphere of combined and separate entities, organisations and systems is expected to be solved by means of new conceptual and methodical approaches. This is a key mission for Ukraine to resist efficiently in warfare domain to the whole spectrum of arms and hostile activities during the large-scale invasion of Russian Federation into Ukraine because all possibilities and resources, even new and untested, are demanded to execute an efficient defence.

Analysis of recent researches and publications. In Ukraine a systems-of-systems theory is not well-known, today there are only some researches dedicated to it. The reason of such little interest has the explanation: Ukrainian scholars have considered that such systems are investigated by means of other theories – general system theory, complicated and hierarchic system theory, system design, system engineering, ontology engineering theory. But the real fact is different – many researchers have designed and tested systems-of-systems – T. Bianchi, N. Liu, H. Yang etc. developed IT as a basis of such systems, J. Axelsson, M. Guessi, J. Klein, C. B. Nielsen, M. A. Olivero etc. proposed different architecture and concept frames for the systems, Y. Gao, T. Li, N. Mahdoui, C. Hu etc. investigated some applied realizations of systems-of-systems. All specialists have a common opinion – thousands of the scientific works in this sphere are different but with some unique approaches for system design and with a great part of incompleteness. In these uncertain conditions there is a discussion about generals of systems-of-systems concept and their designing.

Presenting the main material. The estimated architecture of Command and Control and other entities of Armed Forces of Ukraine was analysed and compared with the known architecture for existed military, warfare, combat and autonomous vehicle systems-of-systems. The following methods were used for the paper preparation as search method, systematic literature

review and engineering method for architecture design of some types of the system. It was shown the main principles of independent systems integration and collaboration are the same and corresponds to existed standards. The both approaches concerning to architecture has the general features of the systems including also IT, communications, interfaces etc. to ensure the information exchange and transmitting as a result of evolved factors. The aim of the paper is to establish the basics of systems-of-systems for Ukrainian scientific society, to develop their information and theoretical basis with emerged and evolved factors and depict the architectures of realised systems-of-systems and their classification. The criteria for the classification is the system ratio for an evolution challenge. The five classes were depicted – designed, transmitted, combined, evolved and detached. The new terms are proposed as a basis for the next terminology process.

Elements of scientific novelty. The hierarchic and other compound systems are presented using the concept and architecture design from the systems-of-systems theory. Some examples of the design system in Armed Forces of Ukraine have the features of systems-of-systems. The proposed terms are aimed to develop the terminology for system engineering in decision-making processes and organizations.

Theoretical and practical significance of the article. The usage of credible system theory for the development of methodology necessary for compound systems which are used for combat and military mission in Ukraine allows us to make the best or optimal warfare and military system design. All decisions should improve the efficiency of weapon and defence. The systematic review of methods for information exchange between separate systems will support different IT development. It is possible to expect more better compatibility between Armed Forces of Ukraine and Allied Forces on different echelons and levels, especially in Command and Control and C4ISR spheres. Using the concept and design approach it is possible to create a system-of-system for concrete mission even a new one.

Conclusion and the perspectives of future researches. The confirmation that Armed Forces of Ukraine can use and realize such variable systems-of-systems allows to react effectively to new challenges or transmit such systems for the purpose of efficient defence against Russian aggression. The further researches will determine the terms from C4ISR as a main part of systems-of-systems and as a basis for compatibility between NATO and Ukraine.

Keywords: design of complex systems, system of systems, SoS, information technology, system architecture concept, command and control, effectiveness of the command and control system, ontology of information consolidation.

References

- 1. Office of the Deputy Under Secretary of Defense for Acquisition and Technology, Systems and Software Engineering.** Systems Engineering Guide for Systems of Systems, Version 1.0. Washington, DC: ODUSD(A&T)SSE, 2008.
- 2. ISO/IEC/IEEE 21839:2019.** Systems and software engineering—System of systems (SoS) considerations in life cycle stages of a system [online]. ISO/IEC JTC 1/SC 7, IEEE, 2019. Available at: <https://www.iso.org/standard/71955.html> [Accessed: 15 October 2024].
- 3. Goode, H., Machol, R.,** (1957). Systems Engineering: An Introduction to the Design of Large-Scale Systems. New York.
- 4. Axelsson, J.,** (2015). A systematic mapping of the research literature on system-of-systems engineering. *10th System of Systems Eng Conf (SoSE)*. 18–23.
- 5. Maier, M. W.,** (1998). Architecting principles for system-of-systems. *Syst. Eng.* 1, 4, 267–284.
- 6. Owens, W.,** (1996 (Febr.)). The emergency U. S. System-of-Systems [online]. *Strategic Forum*. Nat Def Univ. 63. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA394313.pdf> [Accessed: 15 October 2024].
- 7. Maier, M.,** (2005). Research challenges for systems-of-systems context: collaborative systems [online]. *Aerospace Corporation*. 1–6. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1571630&isnumber=33257> [Accessed: 15 October 2024].
- 8. Boardman, J., Sauser, B.,** (2006). System of Systems - the meaning of. *2006 IEEE/SMC Int Conf on System of Systems Eng*, Los Angeles, 118–123. DOI: <https://doi.org/10.1109/SYSOSE.2006.1652284>.
- 9. Morozov, A., Yashchenko, V.,** (2023). Decision-making technologies in military systems. Challenges and prospects. *Matematychni mashyny i systemy*. 4, 3–10.
- 10. Skoryk, A., Yarosh, S., Melenti, D.** Impact of disruptive technologies on the development of C4ISR systems. Conceptual framework of data-centric system of systems architecture. *Systems of Arms and Military Equipment*. 2020, 4 (64), 107–119 [Accessed: 15 October 2024].
- 11. Tymchuk, V., Trysnyuk, V.,** (2024). The systematic review of variety of military, weapon, combat and warfare system-of-systems with their new classification and ontology depiction for further concept and design development for ZSU [online]. *Military Science*. 2024, 2(1). URL: <https://themilitaryscience.com/index.php/journal/issue/view/>
- 12. Barachini, F., Stary, C.,** (2022). From digital twins to digital selves and beyond. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-96412-2_9.
- 13. Ricci, N., Rhodes, D., Ross, A.,** (2014). Evolvability-Related Options in Military Systems of Systems, *Procedia Computer Science*, 2014, 28, 314–321, from *Conf. on Systems Engineering Research* (CSER 2014), CA, March 21–22, 2014, DOI: 10.1016/j.procs.2014.03.039.
- 14. Headquarters, Department of the Army.** FM 3-96. Brigade Combat Team, 2021. 460.
- 15. Hua Tian, Gan Zh.,** (2010). A Network-Centric Architecture for Combat System-of-Systems Model. *L. Qi (Ed.): Information and Automation: International Symposium, ISIA 2010*, Guangzhou, China, Nov. 10–11, 2010, CCIS 86, 411–417, 2011 [from Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011].
- 16. Pullen, J. M.,** (2015). Enabling Military Coalition Command and Control with Interoperating Simulations as a System of Systems. *Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications: International Conference, SIMULTECH 2015* Colmar, France, July 21–23. In *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 442, M.S. Obaidat et al. (eds.), Springer International Publishing, Switzerland, 2016, 157–174, DOI: 10.1007/978-3-319-31295-8_10.
- 17. DISA,** Enabling The Joint Information Environment (JIE), (5 May 2014) [online]. Available at: https://disa.mil/-/media/Files/DISA/About/JIE101_000.pdf [Accessed: 18 July 2024].
- 18. Di Pietro, R., Raponi, S., Caprolu, M., Cresci, S.,** (2021). New Dimensions of Information Warfare, pp. 1–4. Springer International Publishing, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-030-60618-3_1 [Accessed: 18 July 2024].
- 19. Klingensmith, K., Madni, A.,** (2018). Resilience Concepts for Architecting an Autonomous Military Vehicle System-of-Systems. In *A.M. Madni et al. (eds.), Disciplinary Convergence in Systems Engineering Research*, Springer International Publishing AG. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62217-0_6 [Accessed: 03 October 2024].
- 20. Tymchuk, V. Yu.,** (2024). The structural and parametric synthesis of combat control system (on the example of the artillery reconnaissance control point) in the conditions of asymmetrical forces distribution. *Trudy universitetu*. 1(183), 122–133.