

ТОЛМАЧОВ В'ячеслав Юрійович,

Національний університет оборони України, Київ, Україна,
<https://orcid.org/0000-0002-3927-2041>

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО ВИБОРУ МЕТОДУ СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ СУПРОВОДЖЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Метою статті є проведення порівняльного аналізу методів синтезу інформаційних систем й обґрунтування вибору методичного підходу до синтезу інформаційної системи супроводження випробувань озброєння та військової техніки на основі розробленої системи показників і критеріїв багатокритеріального оцінювання, адаптованої до специфіки функціонування спеціалізованої випробувальної організації.

Методи дослідження. Під час проведення дослідження застосовано системний підхід, загальну теорію систем, методологію класифікації та багатокритеріального оцінювання. Розроблено систему показників і критеріїв порівняння методів синтезу інформаційних систем із використанням психофізичної шкали Сааті, що дало змогу перевести якісні характеристики методів у кількісні показники, забезпечивши об'єктивність порівняльного аналізу.

Отримані результати дослідження. У статті систематизовано методи синтезу інформаційних систем і запропоновано класифікацію за чотирма групами: структурно-орієнтовані, оптимізаційно-орієнтовані, адаптивно-орієнтовані та евристичні. Побудовано розширену систему якісно-кількісного оцінювання характеристик методів за сімома основними показниками. Для формалізації процесу оцінювання проведено нормалізацію оцінок, експертне оцінювання вагових коефіцієнтів, а також визначено комплексний інтегральний показник ефективності методів синтезу інформаційної системи супроводження випробувань. Визначено, що найвищу інтегральну ефективність продемонстрував теоретико-ігровий метод синтезу, який забезпечує високий рівень формалізації, адаптивності та автоматизації процесів проектування інформаційної системи. Показано, що компонентно-ієрархічна технологія синтезу забезпечує гнучке поетапне розгортання багаторівневої архітектури інформаційної системи з поступовим розширенням її функціональних можливостей. Запропоновано комбінований підхід до синтезу інформаційної системи, що передбачає поєднання переваг зазначених двох методів.

Елементи наукової новизни. Розроблено систему показників, критеріїв, нормалізаційних процедур і вагових коефіцієнтів, що дало змогу провести порівняльний аналіз різних методичних підходів до синтезу інформаційних систем, які суттєво відрізняються за своєю структурною організацією, функціональним призначенням та сферою застосування. Запропоновано спосіб багатокритеріального якісно-кількісного оцінювання ефективності методів синтезу інформаційних систем, орієнтований на специфічні завдання створення інформаційної системи супроводження випробувань озброєння та військової техніки.

Теоретична й практична значущість викладеного у статті. Отримані результати можуть бути використані як методологічна основа для побудови автоматизованої інформаційної системи супроводження випробувань озброєння та військової техніки в умовах воєнного часу. Практична реалізація запропонованого комбінованого підходу сприятиме підвищенню ефективності випробувального процесу, оптимізації управлінських рішень, забезпеченні оперативної обробки результатів випробувань, розвитку інформаційно-аналітичної підтримки оборонного менеджменту та прискоренню процесу ухвалення рішень щодо прийняття на озброєння нових зразків для сил оборони.

Ключові слова: автоматизація, багатокритеріальне оцінювання, випробування, озброєння та військова техніка, синтез інформаційної системи, система випробувань, супроводження випробувань.

Вступ

Постановка проблеми. Широкомасштабна збройна агресія російської федерації проти України, що триває з 2014 року та інтенсифікувалася з 2022 року, підкреслює нагальну потребу в посиленні та розвитку спроможностей сил оборони України для

забезпечення їхньої готовності виконувати завдання за призначенням. Головним аспектом цього є оснащення Збройних Сил України та інших складових сил оборони новітніми зразками озброєння та військової (спеціальної) техніки (далі – ОВТ), що відповідають

сучасним і прогнозованим викликам й загрозам національній та колективній безпеці.

Для успішного розроблення і впровадження у виробництво нових перспективних зразків ОВТ необхідно не лише розвивати власні можливості оборонно-промислового комплексу, але й удосконалювати існуючу систему випробувань ОВТ, яка є невід'ємною частиною життєвого циклу оборонної продукції, що забезпечує її якість, надійність та ефективність. Переконливим є погляди авторів [1, 65], які стверджують, що достовірність результатів випробувань, а також повнота та оперативність їх отримання залежать від властивостей системи випробувань ОВТ, які визначають її власні спроможності функціонування за призначенням.

Одним із перспективних напрямів удосконалення такої системи є автоматизація операцій, пов'язаних із підготовкою, проведенням та аналізом результатів випробувань. На практиці це можна реалізувати шляхом впровадження спеціалізованих інформаційних систем (далі – ІС). Цю думку підтримує група дослідників [2; 3], які справедливо зазначають, що інформаційні операції, які супроводжують процеси випробування, є типовими. Ця типовість зумовлена уніфікованими методичними підходами до підготовки та проведення випробувань, що вже усталені у практиці спеціалізованої випробувальної організації. Така типовість створює підґрунтя для алгоритмізації та подальшої автоматизації відповідних процесів у межах спеціалізованої інформаційної системи супроводження випробувань.

Ці погляди цілком збігаються з позицією автора, оскільки впровадження такої інформаційної системи може відігравати головну роль у автоматизації управлінських процесів на етапах розроблення та випробувань ОВТ, що, своєю чергою, сприятиме забезпеченню ефективного оборонного менеджменту, реалізації цифрової трансформації та інтеграції сучасних інформаційних технологій у загальну систему планування та реалізації оборонних спроможностей. Крім того, важливо, щоб така система не лише виконувала функції зберігання і обробки даних, а й давала змогу оперативно аналізувати результати, прогнозувати ризики, виявляти критичні відхилення й формувати обґрунтовані управлінські рішення.

Водночас, спираючись на матеріали статті [3, 104] та власний досвід, слід зауважити, що на теперішній час у структурі спеціалізованої випробувальної організації відсутні як локальна обчислювальна мережа, так і будь-яка інформаційна система супроводження випробувань ОВТ. Відсутність такої інфраструктури істотно ускладнює реалізацію цифрових рішень, зокрема, забезпечення оперативного обміну даними між підрозділами, централізованого зберігання та обробки інформації, її верифікації і подальшого використання для формування управлінських рішень. Це, в свою чергу, знижує ефективність процесів супроводження випробувань, унеможливує інтеграцію даних у єдиний інформаційний простір, гальмує впровадження

сучасних рішень управління життєвим циклом ОВТ, а також ускладнює реалізацію функції підтримки прийняття рішень на всіх етапах випробувального процесу.

На цьому фоні особливої актуальності набуває завдання розроблення та впровадження спеціалізованої інформаційної системи супроводження випробувань ОВТ, яка б дала змогу реалізувати автоматизовану обробку, зберігання, аналіз та візуалізацію даних, отриманих у процесі підготовки й проведення випробувань. Йдеться не лише про технічну реалізацію, а й про обґрунтування методологічного підходу до синтезу цієї системи, узагальнюючи її структуру, функціонал та процеси, які вона має підтримувати.

Однак основною складністю на шляху до створення ефективної ІС є відсутність уніфікованого підходу до її синтезу. Сьогодні в науковій літературі описані численні методичні підходи до синтезу ІС, які відрізняються за структурою, принципами побудови, рівнем формалізації, можливостями масштабування та адаптації до змін середовища.

Відсутність систематизованого оцінювання переваг і обмежень таких методів у контексті конкретного практичного завдання, а саме супроводження випробувань ОВТ – знижує ефективність вибору проєктних рішень, призводить до суб'єктивізму у процесі визначення архітектури ІС та ускладнює формування технічних вимог до системи. Крім того, частина підходів не враховує сучасних реалій воєнного часу, зокрема, необхідності розподіленої обробки даних, інтеграції з існуючими цифровими платформами сил оборони та захисту від кіберзагроз.

Отже, на сьогодні актуальним є не лише запровадження інформаційної системи супроводження випробувань ОВТ, але й здійснення системного аналізу наявних методичних підходів до синтезу ІС з метою вибору найбільш доцільного для зазначеного класу задач. Такий аналіз має враховувати як технічні, так і організаційні особливості випробувального процесу, а також сучасні вимоги до інформаційної інфраструктури оборонного сектору. Це і визначає наукову проблему цього дослідження стосовно необхідності формалізованого обґрунтування методології синтезу ІС супроводження випробувань ОВТ на основі порівняльного аналізу існуючих підходів.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Нормативно-правовою основою успішного проєктування будь-якої інформаційної системи є дотримання вимог положень національних, міждержавних та міжнародних стандартів щодо створення, впровадження та супроводження автоматизованих й інформаційних систем [5]. Ці вимоги формують основу для інтеграції сучасних цифрових рішень у військову інфраструктуру, а також визначають підходи до забезпечення їхньої надійності, безпеки та сумісності з іншими інформаційними компонентами оборонної системи.

Питання синтезу ІС, зокрема, в контексті автоматизації складних організаційно-технічних процесів, є предметом численних наукових досліджень, що демонструють значне методичне різноманіття: від класичних структурно-функціональних моделей до адаптивних алгоритмів багатокритеріальної оптимізації. Дослідники пропонують формалізовані та евристичні підходи, які по-різному враховують архітектуру, функціональність та зовнішні умови функціонування ІС.

Зокрема, у [6] викладено загальні положення щодо сутності синтезу складних систем військового призначення, де синтез розглядається як цілісний пізнавальний та оптимізаційний процес, що враховує часову динаміку розвитку об'єкта та визначає необхідність багатокритеріального підходу за умов невизначеності вихідної інформації. Автори наголошують, що синтез є завершальним етапом системного дослідження, у якому формуються конкретні управлінські рекомендації щодо побудови та оцінювання оптимальної структури складної системи.

Класичні підходи до побудови ІС проаналізовано у роботі [7], які ґрунтуються на використанні функціональних та об'єктно-орієнтованих методів моделювання складних систем. Зазначені підходи орієнтовані на ієрархічну декомпозицію системи на функціональні компоненти або розбиття предметної області дослідження на відповідні об'єкти та класи. Подібну методологію системного моделювання, орієнтовану на врахування людського чинника, запропоновано у статті [8], де акцентується увага на ергономічній взаємодії людини й технічних засобів в ІС організаційного управління.

Розширену адаптивність демонструють підходи у працях [9; 10], де авторами запропоновано структурно-параметричний і ситуаційний методи синтезу. Зокрема, структурно-параметричний метод базується на формалізації взаємозв'язків між структурними та функціональними компонентами системи з урахуванням багатокритеріальної оптимізації. Ситуаційний же метод розвиває структурно-параметричний, застосовуючи більш складні та гнучкі рішення, додаючи ентропійний аналіз, що допомагає оптимізувати вибір конфігурації системи на основі поточної ситуації.

На особливу увагу заслуговує інтегративна методологія, запропонована у науковій публікації [11], яка поєднує одразу кілька підходів до синтезу та дає змогу формувати інформаційну систему на основі єдиної абстрактної платформи. Такий підхід орієнтований на створення масштабованої та гнучкої системної архітектури, яка легко адаптується до нових викликів та інтегрується з іншими системами управління.

Змістовні дослідження викладено у роботі [12], де в якості теоретичної основи методології синтезу інформаційно-комунікаційної системи використано методи векторного синтезу, динамічного

програмування та багатокритеріальної оптимізації. Автори поєднують принципи побудови єдиної інформаційної платформи з адаптивним вибором сценаріїв переходу між станами системи. Методологія демонструє високий потенціал автоматизації, хоча вимагає ретельного налаштування вагових коефіцієнтів і точного визначення початкових умов.

Оригінальний підхід у розв'язанні задачі синтезу опису архітектури ІС розглянуто у фаховій статті [13]. Запропонований авторами метод синтезу базується на модифікованому алгоритмі кластеризації CLOPE, формалізації вимог у вигляді семантичних мереж і теоретико-ігровому пошуку рівноваги Неша. Особливістю цієї роботи є глибока формалізація функціональних вимог і використання теоретико-ігрової моделі для пошуку компромісу між замовником і розробником ІТ-послуг.

Евристичні підходи, що передбачають залучення експертної спільноти, наведені у праці [14], де адаптовано метод аналізу ієрархій Сааті для побудови організаційної структури ІС. Такий підхід дає змогу виконати експертне оцінювання варіантів синтезу ІС через декомпозиції складної проблеми на ієрархії критеріїв та альтернатив.

До формально-математичних методів належить робота [15], в якій дослідники поєднують теорію множин та цілочисельне програмування з булевими змінними, що дає змогу формалізувати процес розподілу інформаційних потоків та оптимізувати компонентну структуру ІС. Схожі підходи зафіксовано у науковій публікації [16], де автори зосередились на аналізі потоків даних в ІТ-мереж, сформувавши концептуальний підхід до синтезу структури ІТ-мережі, який базується на математичних моделях інформаційної та технічної структури.

Інший напрям формалізації задачі синтезу оптимальної структури ІС наведено у праці [17], де застосовується агрегатно-декомпозиційний підхід. Він містить два взаємопов'язані етапи: послідовну декомпозицію цілей, функцій та задач, що виконуються системою, та об'єднання на відповідному рівні деталізації елементів побудови системи в єдине ціле. Як наголошують автори, такий підхід є особливо цінним для забезпечення прийняття обґрунтованих технічних рішень на ранніх стадіях проектування ІС.

Окреме місце займає технологія багатокритеріального синтезу систем інформаційної безпеки [18]. Авторський колектив запропонував метод вкладених скалярних згорток, який дає змогу враховувати не лише множину вимог, але й їх походження.

Практично орієнтовану реалізацію синтезу архітектури інтегрованої автоматизованої системи управління підприємства запропоновано групою дослідників у науковій праці [19], де розглянуто чотирирівневу структуру системи та принципи її побудови. Автори обґрунтовували використання компонентно-ієрархічної технології синтезу, яка забезпечує розмежування програмного й апаратного рівнів і дає змогу створювати адаптивну та

масштабовану архітектуру для управління виробництвом.

Отже, сучасні дослідження охоплюють широкий спектр підходів до синтезу ІС. Кожен з них має власну зону ефективності, залежно від типу задачі, наявних ресурсів і вимог до масштабування. Проте в наявних методичних підходах недостатньо враховано специфіку проєктування ІС, що супроводжують процеси випробування ОВТ. Переважна більшість розглянутих методів фокусується на розв'язанні завдань управління, моніторингу, архітектурного структурування або ресурсної оптимізації, демонструючи гнучкість і багатоваріантність у підходах. Проте залишається поза увагою створення спеціалізованих підходів, здатних поєднати адаптивність сучасних рішень щодо синтезу ІС із вимогами до автоматизації випробувальних процедур. У зв'язку з цим актуальним науковим завданням є визначення найбільш доцільного методичного підходу, який би враховував типову структуру випробувального процесу, вимоги воєнного часу, потребу в автоматизації уніфікованих операцій та реалізації функцій підтримки прийняття рішень.

Мета статті є проведення порівняльного аналізу методів синтезу інформаційних систем та обґрунтування вибору методичного підходу до синтезу інформаційної системи супроводження випробувань озброєння та військової техніки на основі розробленої системи показників і критеріїв багатокритеріального оцінювання, адаптованої до специфіки функціонування спеціалізованої випробувальної організації.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для досягнення поставленої мети дослідження слід застосувати системний підхід, який є загальнонауковим методологічним напрямом теоретичного вивчення складних систем та вважається найближчим до людського мислення, гнучкого, неформального, різнопланового. Логіка дослідження передбачає виконання декількох взаємопов'язаних етапів, а саме:

на першому етапі здійснюється систематизація та класифікація існуючих методичних підходів до синтезу ІС за основними концептуальними архітектурними та технологічними ознаками;

на другому етапі – формування показників та критеріїв порівняльного аналізу методів синтезу ІС, що розглядаються, побудова математичного апарату для багатокритеріального оцінювання;

на третьому етапі – проведення порівняльного аналізу, що ґрунтується на якісно-кількісному оцінюванні характеристик методів за визначеним набором показників;

на четвертому етапі – формулювання рекомендацій щодо вибору найбільш прийнятного підходу до синтезу ІС супроводження випробувань ОВТ.

На основі проведеного огляду фахових публікацій виокремлено низку наукових статей, що стали

джерелом для теоретичної розвідки основних методичних підходів до синтезу ІС та які можна класифікувати за чотирма основними групами. Перша група – структурно-орієнтовані методи, до якої належать структурно-функціональний, системно-ергономічний методи синтезу, матрично-орієнтований алгоритм та компонентно-ієрархічна технологія синтезу [7; 8; 16; 19]. Ці методи зосереджуються на архітектурній організації системи, визначенні взаємозв'язків між компонентами та ієрархічний декомпозиції функціональності. Основною перевагою таких підходів є відносна простота реалізації та добра зрозумілість для розробників, що робить їх привабливими для практичного застосування в умовах обмежених ресурсів.

Друга група – оптимізаційно-орієнтовані методи, що містить структурно-параметричний, векторний, граф-орієнтований та багатокритеріальний методи синтезу [9; 12; 15; 18]. Характерною особливістю цих підходів є використання математичного апарату для пошуку оптимальних рішень за заданими критеріями. Вони демонструють високу ефективність у випадках, коли необхідно врахувати множину параметрів та обмежень, що є типовим для складних технічних систем військового призначення.

Третя група – адаптивно-орієнтовані методи, до якої можна віднести ситуаційний, інтегративний, теоретико-ігровий та агрегатно-декомпозиційний метод синтезу [10; 11; 13; 17]. Ці методи характеризуються здатністю адаптуватися до змін зовнішнього середовища та динамічно коригувати архітектуру системи відповідно до поточних потреб.

Окремо слід розглянути евристичні підходи, зокрема, багатокритеріальний синтез із використанням методу аналізу ієрархій Сааті, який базується на експертному оцінюванні та може ефективно доповнювати формальні математичні методи у випадках, коли кількісна оцінка деяких параметрів є проблематичною [14]. Систематизація та класифікація методів синтезу ІС ґрунтується на принципах загальної теорії систем, яка розглядає інформаційні системи як цілісні об'єкти з властивими їм емерджентними властивостями. На цьому етапі головними є визначення показників класифікації, які відображають такі сутнісні характеристики методів, як: методична основа методу, об'єкт синтезу, ступеня формалізації та адаптивності методу до змін середовища, рівня абстракції та оптимальності, масштабованості та сфери застосування.

Важливим аспектом систематизації є розмежування методів за об'єктом синтезу, що дає змогу виокремити підходи, на яких фокусується конкретний метод, зокрема, на функціональну, технічну, інформаційну або організаційну складові системи. Методична основа визначає базову теорію, підхід, модель або математичну чи логічну концепцію, на якій побудовано розглянуті методи. Класифікація також враховує ступінь формалізації, який вказує, чи

покладається метод на формальні математичні моделі або метод має якісно-описову основу.

Далі розглядається ступінь адаптивності до змін середовища, що характеризує здатність методу змінювати свою архітектуру, параметри чи логіку функціонування у відповідь на зміну вимог, зовнішніх умов або структури вхідних даних. Іншим словами, це показник характеризує здатність методу враховувати динаміку зовнішнього середовища та внутрішніх перетворень системи. За цією ознакою методи можуть бути статичними (без змін), динамічними (обмежені зміни) або адаптивними (повна адаптація до змін вимог або умов). Рівень абстракції показує, на якому ієрархічному рівні розглядається система: макросистемному (загальний контур), мікросистемному (окремі елементи), системному (функціональні блоки) або модульному (незалежні програмні компоненти, модулі). Високий рівень абстракції характерний для стратегічних методів синтезу, тоді як низький – для тактичних рішень щодо конкретних підсистем.

Важливим показником є оптимальність: однокритеріальні методи мають на меті досягнення однієї цільової функції, багатокритеріальні – враховують декілька взаємопов'язаних або суперечливих цілей, орієнтуючись на пошук компромісів у суперечливих умовах. Масштабованість вказує на спроможність методу зберігати ефективність у випадку збільшення обсягу даних або ускладнення структури системи. І нарешті, сфера застосування, яка фіксує конкретну область або тип системи, в якій метод розглянуто або застосовано на практиці.

У таблиці 1 наведено класифікацію кожного з методів за ключовими системними ознаками, що дає змогу узагальнити їх властивості та в подальшому обґрунтувати можливість їх застосування в межах задачі синтезу ІС супроводження випробувань ОВТ (табл. 1). Другий етап дослідження зосереджено на формуванні інструментарію для якісно-кількісного оцінювання методів синтезу ІС, що передбачає розроблення методики багатокритеріального порівняльного аналізу з використанням нормалізованих оцінок за ключовими показниками. Такий підхід дає змогу сформувати об'єктивну, верифіковану та структуровану картину переваг і недоліків кожного з методів, даючи змогу науково обґрунтувати вибір найбільш доцільного підходу для реалізації ІС супроводження випробувань ОВТ.

Для цього етапу обрано сім показників, які найбільш повно характеризують функціональні, технічні та організаційні властивості методів. До них віднесено: ступінь формалізації, складність реалізації, масштабованість, трудомісткість, рівень абстракції, автоматизованість операцій та адаптивність до використання в системі випробувань ОВТ.

Ступінь формалізації характеризує використання математичних або логічних моделей у методі. Високий рівень формалізації забезпечує точність і відтворюваність результатів, що є критичним для

складних систем. Водночас низька формалізація може спростувати використання методу в менш структурованих задачах. Складність реалізації оцінює зусилля, необхідні для практичного впровадження методу, включно з кваліфікацією розробників і доступністю інструментів. Цей показник важливий для визначення доступності методу в реальних проєктах.

Масштабованість відображає здатність методу зберігати ефективність за зростання обсягу даних чи складності системи, що критично для великих проєктів. Трудомісткість оцінює обсяг ресурсів та зусиль, необхідних для реалізації методу, що впливає на його економічну доцільність. Рівень абстракції визначає, на якому рівні метод розглядає систему. Високий рівень абстракції підходить для деталізованого синтезу, тоді як низький – для стратегічного планування. Автоматизованість операцій оцінює ступінь автоматизації процесів синтезу, що дозволяє зменшити людський фактор і підвищити ефективність. Особливої уваги заслуговує показник адаптивності до використання в системі випробувань ОВТ, який відображає здатність методу синтезу до ефективного застосовування в системі випробувань ОВТ. Цей показник оцінює наскільки метод може забезпечити створення ІС супроводження випробувальних процесів.

Для кількісної оцінки методів за цими показниками застосовуємо психофізичну шкалу Сааті від 1 до 9 з відповідним кроком оцінок, де 1 відповідає найнижчому рівню, а 9 – найвищому. Такий підхід дасть змогу експертно та структуровано перевести якісні характеристики методів у кількісні значення, придатні для математичної обробки. Таблиця показників та критеріїв оцінювання (табл. 2), створена на основі цієї шкали, містить детальні мовні правила для кожного показника, що гарантує однозначність інтерпретації оцінок.

Після формування системи показників та критеріїв для порівняння методів (табл. 2), необхідно перейти до побудови математичного апарату, який дасть змогу виконати багатокритеріальне кількісне оцінювання. Для цього розроблено процедуру нормалізації оцінок, визначення вагових коефіцієнтів та формування комплексного інтегрального показника. Оскільки частина показників має оптимальне значення під час зростання, а інша частина – зменшення, застосовуються дві різні формули нормалізації.

Для показників (стимуляторів), які бажано підвищити (ступінь формалізації P_1 , масштабованість P_3 , рівень абстракції P_5 , автоматизованість операцій P_6 та адаптивність до використання в системі випробувань ОВТ P_7) використовується лінійна нормалізація:

$$x_{ij}^{норм} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (1)$$

Таблиця 1

Таблиця класифікації методів синтезу інформаційних систем *

Автори статті джерело	Назва методу	Методична основа	Основний об'єкт синтезу	Ступінь формалізації	Адаптивність до змін середовища	Рівень абстракції	Кількість критеріїв оптимальності	Масштабованість	Сфера застосування
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Структурно-орієнтовані методи									
Литовченко О., Недора Т. [7]	Об'єктний та функціональний (структурний) методи	Ієрархічна декомпозиція (об'єктна або функціональна)	Функціональна структура	Якісно-описова (текст, структурні схеми)	Статична, динамічна	Макро-системний	Однокритеріальний (одноцільовий)	Висока	ІС будь-якої предметної області
Лепак Л. [8]	Системно-ергономічний метод	Системний підхід, ергономіка, структурний, функціональний та інформаційний аналіз та синтез, евристичні методи	Функціональна та організаційна структури	Якісно-описова (текст, структурні схеми), частково формалізовані	Динамічна	Макро-системний	Одноцільовий	Середня	Ергатичні системи та автоматизовані інформаційні системи організаційного управління
Рубан І., Кучук Г., Давікова О. [16]	Матрично-орієнтований алгоритм синтезу	Концептуальний підхід, заснований на дослідженні взаємодії системних прикладень та прикладних завдань, декомпозиція	Інформаційна структура, технічна архітектура	Формально-математичний	Динамічна	Макро-системний	Одноцільовий	Висока	Інформаційно-телекомунікаційна мережа
Цмоць І., Скорохода О., Кісь Я. [19]	Компонентно-ієрархічна технологія синтезу	Інтегрований підхід, компонентно-ієрархічна технологія	Функціональна та організаційна структури, технічна архітектура	Якісно-описова (текст, структурні схеми), частково формалізовані	Динамічна	Макро-системний	Одноцільовий	Середня	Інтегрована автоматизована система управління технологічними та організаційно-економічними процесами на підприємстві
Оптимізаційно-орієнтовані методи									
Писарчук О., Соколов К., Гудима О. [9]	Структурно-параметричний синтез	Математична модель, дискретна згортка	Організаційна структура, технічна архітектура	Формально-математичний	Адаптивна	Під-системний	Багатокритеріальний	Середня	Система забезпечення інформаційної безпеки
Беркман Л., Котійка О. [12]	Векторний синтез	Динамічне програмування та багатокритеріальна оптимізація	Технічна архітектура	Формально-математичний	Динамічна	Системний	Багатокритеріальний	Висока	Інформаційно-комунікаційна система на базі єдиної інформаційної платформи

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коваленко А., Кучук Г. [15]	Граф-орієнтований метод	Теорії множин та цілочисельне програмування з булевыми змінними; формалізації виног 1 оптимізації розподілу функцій та компонентів	Інформаційна структура, технічна архітектура	Формально- математичний	Статична	Системний	Багатокри- теріальний	Середня	Інформаційна система управління об'єктом критичного застосування
Гришук Р., Пількевич І., Хорошко В., Котков В. [18]	Багатокри- теріальний синтез	Метод вкладених скалярних згорток, оптимізації	Організаційна структура	Формально- математичний	Динамічна	Системний	Багатокри- теріальний	Середня	Система інформаційної безпеки
Адаптивно-орієнтовані методи									
Писарчук О., Гуменюк М., Тячук С. [10]	Ситуаційний синтез	Структурно- параметричний синтез з використанням ентропійного підходу	Технічна архітектура	Формально- математичний	Адаптивна	Модульний	Багатокри- теріальний	Висока	Автоматизована система збирання та оброблення інформації від технічних засобів моніторингу
Копійка О. [11]	Інтеграційний синтез	Багатокритеріальна оптимізація послідових процесів, декомпозиція	Функціональна та організаційна структури	Якісно-описова (текст, структурні схеми)	Статична	Макро- системний	Одноцільовий	Висока	Єдина інформаційна платформа національного виміру
Євланов М., Васильцова Н., Панфорова І. [13]	Теоретико-ігровий метод синтезу	Модифікований алгоритм SLOPE, використання біматричної гри та пошуку рівноваги Неша	Функціональна архітектура, технічна архітектура	Формально- математичний	Адаптивна	Системний	Багатокри- теріальний	Середня	Корпоративні інформаційні системи ІТ- компаній
Науменко Е., Самохвалов Ю. [17]	Агрегатно- декомпозиційний метод	Декомпозиція, агрегація, цілочисельне лінійне програмування, теорія графів	Функціональна структура, технічна архітектура	Якісно-описова (текст, структурні схеми), частково формалізовані	Статична	Мікро- системний	Одноцільовий	Висока	Розподілені інформаційні системи
Евристичні методи									
Калачова В., Ткачук С., Меренгі Є., Третьяк Д. [14]	Багатокритеріальний синтез	Метод аналізу ієрархій (Т Саати), декомпозиція	Організаційно- технічна структура	Формально- математичний	Статична	Системний	Багатокри- теріальний	Середня	Білінгова система фірми- постачальника товарів або послуг

* Джерело: розроблено автором.

Таблиця 2

Таблиця показників та критеріїв порівняння методів синтезу інформаційних систем *

№ з/п	Показник	Критерій
1.	Ступінь формалізації P_1	1 – Повністю неформалізований (якісно-описовий) 3 – Часткова формалізація, поєднання якісних оцінок 5 – Базова математична модель або алгоритму 7 – Високий рівень математичної строгості 9 – Абсолютно формалізований, з можливістю верифікації
2.	Складність реалізації P_2	1 – Мінімальна складність, легка реалізація без спеціальних знань 3 – Проста реалізація з використанням типових рішень, базові знання та інструменти 5 – Середня складність із стандартними підходами 7 – Висока складність, складна реалізація з множинними залежностями 9 – Надзвичайно складний, потребує унікальних експертів рішень
3.	Масштабованість P_3	1 – Не масштабується, жорстко зафіксована архітектура 3 – Обмежена масштабованість з істотними обмеженнями 5 – Середня масштабованість за основними параметрами з можливістю горизонтального розширення 7 – Висока масштабованість за множинними параметрами з можливістю вертикального та горизонтального розширення 9 – Повна масштабованість без обмежень
4.	Трудомісткість P_4	1 – Мінімальна трудомісткість, автоматизований процес 3 – Помірні трудовитрати із швидкою реалізацією, базовий рівень зусиль 5 – Середня трудомісткість, потребує залучення команди 7 – Висока трудомісткість із множинними ітераціями, залученням експертів та використанням значних обчислювальних ресурсів 9 – Максимально трудомісткий, потребує великої команди експертів
5.	Рівень абстракції P_5	1 – Максимальний рівень абстракції, концептуальне бачення 3 – Частково системний, окремі блоки 5 – Системний, функціональні підсистеми 7 – Модульний, деталізація компонентів 9 – Глибоко мікросистемний, деталізація до окремих компонентів
6.	Автоматизованість операцій P_6	1 – Повністю ручні операції без автоматизації 3 – Часткова автоматизація з переважанням ручних операцій 5 – Середній рівень автоматизації з балансом ручних та автоматичних операцій 7 – Висока автоматизація більшості процесів, мінімальне втручання 9 – Повна автоматизація всіх операцій
7.	Адаптивність до використання в системі випробувань ОВТ P_7	1 – Повна невідповідність специфіці випробувань 3 – Низька адаптивність з значними обмеженнями застосування 5 – Середня адаптивність з можливістю налаштування під завдання 7 – Висока адаптивність до специфіки випробувальної діяльності 9 – Повна адаптивність, спеціально розроблений для системи випробувань ОВТ
Проміжні значення між сусідніми значеннями шкали критерію: 2, 4, 6, 8 – застосовуються в компромісному випадку		

* Джерело: розроблено автором.

Для показників зі спрямованістю на зменшення (дестимулятори) використовується зворотна лінійна формула, яка дає змогу зберегти логіку переваги меншого значення (трудомісткість P_4 , складність реалізації P_2):

$$x_{ij}^{норм} = \frac{x_j^{max} - x_{ij}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (2)$$

де: x_{ij} – оцінка i -го методу за j -м показником;

x_j^{max} та x_j^{min} – відповідно максимальне та мінімальне значення серед усіх методів за j -м показником;

$x_{ij}^{норм}$ – нормалізоване значення показника i -го методу за j -м показником, що лежить в інтервалі $[0; 1]$.

Важливим елементом методики є система вагових коефіцієнтів w_j , які визначають відносну важливість

кожного показника у формуванні інтегральної оцінки (табл. 3).

Таблиця 3

Таблиця вагових коефіцієнтів важливості показників *

Показник	Позначення	Вага, w_j
Ступінь формалізації, P_1	w_1	0,2
Складність реалізації, P_2	w_2	0,1
Масштабованість, P_3	w_3	0,15
Трудомісткість, P_4	w_4	0,1
Рівень абстракції, P_5	w_5	0,1
Автоматизованість операцій, P_6	w_6	0,15
Адаптивність до використання в системі випробувань ОВТ, P_7	w_7	0,2

* Джерело: розроблено автором.

Їх було визначено на основі експертного зважування, системної важливості кожного показника

та специфіки завдань ІС супроводження випробувань ОВТ [2, 54]. Найвищу вагу присвоєно ступеню формалізації та адаптивності до використання у випробуваннях ОВТ, оскільки саме ці параметри визначають фундаментальну придатність методичних підходів до практичного впровадження. Формалізованість методу є запорукою алгоритмізації, забезпечення однозначності у трактуванні процедур, а також можливості інтеграції з іншими цифровими компонентами військової інфраструктури. Адаптивність, у свою чергу, забезпечує гнучкість та відповідність обраних методів особливостям випробувального середовища.

$$\sum_{j=1}^7 w_j = 1 \quad (3)$$

Решта показників, зокрема, рівень абстракції, трудомісткість та складність реалізації, отримали найменшу вагу. Це пояснюється тим, що вони є важливими, але не критичними. Адже трудомісткість та складність реалізації можуть бути частково нівельовані завдяки достатньому кадровому, ресурсному чи технічному забезпеченню проекту або компенсовані термінами реалізації, а рівень абстракції – адаптований у межах обраної концепції архітектури ІС. Загалом застосування такого підходу дає змогу не лише верифікувати рішення, а й порівняти методи між собою на єдиній основі, забезпечуючи прозорість і логічність вибору для подальших етапів дослідження. Після нормалізації оцінок і застосування вагових коефіцієнтів розраховується комплексний інтегральний показник ефективності методу:

$$K_i = \sum_{j=1}^7 w_j \cdot x_{ij}^{норм} \quad (4)$$

де: $x_{ij}^{норм}$ – нормалізоване значення показника i -го методу за j -м показником;

w_j – вага j -го показника (табл. 3).

Отже, кожен метод отримує числовий показник, що допомагає об'єктивно ранжувати його відповідно до цільової задачі. Такий підхід дає змогу врахувати не лише значення кожного показника, але й його вплив на загальну ефективність методу. Отриманий показник комплексної оцінки K_j є критерієм ранжування методів синтезу й визначає ступінь їхньої відповідності для побудови сучасної ІС супроводження випробувань ОВТ.

Для забезпечення структурованої інтерпретації та полегшення порівняння методів, автором у дослідженні запроваджено класифікацію методів за рівнем ефективності, яка базується на вербально-числовій шкалі Харінгтона, та має градацію, наведену в табл. 4. Застосування цього підходу до інтерпретації результатів дасть змогу визначити не лише рейтинг методів, а й сформулювати обґрунтовані рекомендації щодо їх подальшого використання.

Таблиця 4

Класифікація методів за рівнем ефективності для задач синтезу інформаційних систем супроводження випробувань ОВТ *

Інтервал значень K_j	Ефективність (якісна оцінка)	Інтерпретація застосування методу
$K_j \geq 0,8$	Оптимальна	Метод є ефективним, рекомендований як основний
$0,63 \leq K_j < 0,8$	Висока	Метод рекомендований до застосування, може потребувати незначного налаштування
$0,37 \leq K_j < 0,63$	Задовільна	Метод є придатним для типових задач, проте вимагає адаптації та оптимізації до конкретних умов завдання
$0,2 \leq K_j < 0,37$	Обмежена	Метод малопридатний для даного класу завдань, рекомендований лише для допоміжного застосування
$K_j < 0,2$	Недостатня	Метод не відповідає вимогам даного класу завдань, його використання є недоцільним

* Джерело: розроблено автором.

Перейдемо до третього етапу дослідження, в межах якого проведено порівняльний аналіз обраних методів синтезу ІС шляхом експертного якісно-кількісного оцінювання їх характеристик. Результати аналізу, наведені в таблиці 5, демонструють суттєву варіативність ефективності різних методів. Найвищий рейтинг отримав теоретико-ігровий метод синтезу [13], що свідчить про його високу ефективність у багатьох аспектах. Цей метод відноситься до адаптивно-орієнтованих методи та виділяється високими показниками за критеріями формалізації, адаптивності та масштабованості, що робить його універсальним рішенням для складних систем.

Основними перевагами цього методу синтезу ІС є:

формалізація вимог (метод базується на використанні чітких формальних моделей для опису вимог до ІС, що дає змогу уникнути неоднозначностей і забезпечує точність у процесі визначення архітектури системи);

оптимізація групування (завдяки застосуванню алгоритму кластеризації вимоги до ІС автоматично групуються в оптимальні ІТ-послуги, що зменшує дублювання функцій і підвищує загальну ефективність архітектури);

автоматизація (використання формалізованої моделі забезпечує чіткий алгоритм та можливість до автоматизації процесу синтезу системи);

врахування інтересів обох сторін (використання теоретико-ігрової моделі дає змогу знайти баланс між потребами сторін, які надають та отримують ІТ-послуги, що сприяє досягненню компромісу, вигідного для всіх сторін);

гнучкість (метод дає можливість генерувати кілька варіантів архітектури системи, що допомагає вибрати

найбільш оптимальний варіант, враховуючи проєктні обмеження, такі як вартість, час виконання).

Таблиця 5

Таблиця порівняльного аналізу методів синтезу інформаційних систем

Автори статті джерело	Назва методу	Оцінка показників							Нормалізовані значення показників							K _j	Рейтинг
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	x ₁₁ ^{норм}	x ₁₂ ^{норм}	x ₁₃ ^{норм}	x ₁₄ ^{норм}	x ₁₅ ^{норм}	x ₁₆ ^{норм}	x ₁₇ ^{норм}		
Структурно-орієнтовані методи																	
Литовченко О., Недора Т. [7]	Об'єктний та функціональний (структурний) методи	2	3	7	5	5	3	5	0,13	0,75	0,75	0,50	0,50	0,25	0,50	0,451	11
Лепак Л. [8]	Системно-ергономічний метод	3	7	7	8	5	3	3	0,25	0,25	0,75	0,13	0,50	0,25	0,25	0,338	12
Рубан І., Кучук Г., Давікоза О. [16]	Матрично-орієнтований алгоритм синтезу	8	7	7	7	7	7	3	0,88	0,25	0,75	0,25	0,75	0,75	0,25	0,576	6
Цмоць І., Скорохода О., Кісь Я. [19]	Компонентно-ієрархічна технологія синтезу	3	4	8	7	7	3	6	0,25	0,63	0,88	0,25	0,75	0,25	0,63	0,509	9
Оптимізаційно-орієнтовані методи																	
Писарчук О., Соколов К., Гудима О. [9]	Структурно-параметричний синтез	7	5	6	7	6	6	5	0,75	0,50	0,63	0,25	0,63	0,63	0,50	0,577	5
Беркман Л., Копійка О. [12]	Векторний синтез	7	6	7	6	5	6	5	0,75	0,38	0,75	0,38	0,50	0,63	0,50	0,583	4
Коваленко А., Кучук Г. [15]	Граф-орієнтований метод	7	7	7	6	5	6	4	0,75	0,25	0,75	0,38	0,50	0,63	0,38	0,546	8
Гришук Р., Пількевич І., Хорошко В., Котков В. [18]	Багато-критеріальний синтез	7	6	8	5	6	5	5	0,75	0,38	0,88	0,50	0,63	0,50	0,50	0,608	2
Адаптивно-орієнтовані методи																	
Писарчук О., Гуменюк М., Тимчук С. [10]	Ситуаційний синтез	7	6	7	6	7	6	4	0,75	0,38	0,75	0,38	0,75	0,63	0,38	0,584	3
Копійка О. [11]	Інтегративний синтез	1	5	8	5	2	2	3	0,00	0,50	0,88	0,50	0,13	0,13	0,25	0,315	8
Євланов М., Васильцова Н., Панфьорова І. [13]	Теоретико-ігровий метод синтезу	8	6	8	6	8	7	7	0,88	0,38	0,88	0,38	0,88	0,75	0,75	0,735	1
Науменко Е., Самохвалов Ю. [17]	Агрегатно-декомпозиційний метод	5	5	6	5	5	4	5	0,50	0,50	0,63	0,50	0,50	0,38	0,50	0,502	5
Евристичні методи																	
Калачова В., Ткачук С., Меренті Є., Третьак Д. [14]	Багато-критеріальний синтез	6	5	7	5	5	5	5	0,63	0,50	0,75	0,50	0,50	0,50	0,50	0,564	7

* Джерело: розроблено автором.

Водночас, запропонований метод не позбавлений недоліків, зокрема:

обчислювальна складність (в системах із великою кількістю вимог процес кластеризації та пошук рівноваги може потребувати значних обчислювальних ресурсів, що може ускладнити його використання у масштабних проєктах);

обмеженість застосування (метод найкраще підходить для систем із чітко формалізованими вимогами. У випадках, коли вимоги є нечіткими динамічними або складними для формалізації, його ефективність знижується).

Другий за ефективністю виявився багатокритеріальний синтез [18], який показав чудові результати у сфері обробки складних, багатоаспектних

задач, однак потребує детального налаштування моделей при практичній реалізації. Крім того, серед переваг цього методу виокремлюється:

комплексний підхід до оцінювання ефективності складної системи завдяки врахуванню її кількісних та якісних характеристик;

гнучкість до різномірних вимог, що робить його універсальним для систем із динамічними потребами;

системність ієрархічної структуризації, яка передбачає поділ критеріїв на рівні ієрархії (1-й, 2-й, 3-й), що спрощує аналіз складних систем, даючи змогу поетапно оцінювати ефективність від базових показників до загального результату.

Серед негативних аспектів цього методу слід відзначити:

відсутність конкретних методів нормування та визначення ваг у згортці критеріїв ускладнює відтворення методу без додаткових припущень та може призвести до суб'єктивності та значних розбіжностей у результатах залежно від оцінок експертів;

обчислювальна складність за масштабування (зі збільшенням кількості рівнів ієрархії та критеріїв зростає обсяг обчислень, що може зробити метод громіздким для великих систем із десятками чи сотнями критеріїв).

Поміж структурно-орієнтованих методів найкращий результат продемонстрував матрично-орієнтований алгоритм [16], що підтверджує ефективність формальних математичних підходів у синтезі складних систем. Аналіз адаптивно-орієнтованих методів виявив задовільну ефективність ситуаційного синтезу [10], що особливо актуально для динамічних середовищ. Цей метод показав гарний баланс між формалізацією та практичною придатністю, що робить його перспективним для сучасних ІС.

Особливу увагу заслуговує компонентно-ієрархічна технологія синтезу [19]. Попри середній рівень інтегральної оцінки, метод демонструє високий потенціал з погляду структурної гнучкості, розмежування рівнів та можливостей поетапного розгортання системи з поступовим розширенням її функціональних можливостей. Саме ієрархічно-компонентний підхід є надзвичайно перспективним для адаптації до архітектури інформаційної системи супроводження випробувань ОВТ, який дає змогу реалізувати адаптивну модульну структуру ІС, де базовий рівень забезпечує збір і первинну обробку отриманих даних випробувань, а вищі рівні формують аналітичні звіти та забезпечують підтримку прийняття рішень.

Загальним аспектом аналізу є те, що методи з високою формалізацією зазвичай демонструють кращі результати у довгостроковій перспективі, особливо для складних систем. Однак вони вимагають значних обчислювальних ресурсів та залучення кваліфікованого персоналу. Водночас, менш формалізовані підходи можуть бути практичнішими для швидкого впровадження в умовах обмежених ресурсів.

Загалом, матеріали проведеного аналізу дають змогу констатувати, що немає універсального методу, який би оптимально підходив для розв'язання всіх завдань, пов'язаних із проектуванням та практичною реалізацією ІС супроводження випробувань процесів. Вибір конкретного підходу має ґрунтуватися на специфіці завдання, доступних ресурсах та вимогах до системи.

Заразом, отримані результати створюють міцну основу для переходу до четвертого етапу дослідження – формування практичних рекомендацій щодо вибору найбільш оптимального підходу до синтезу ІС в контексті діяльності спеціалізованої випробувальної організації.

Проведений у попередніх етапах комплексний якісно-кількісний аналіз методичних підходів до синтезу ІС допоміг отримати системну картину їх придатності для застосування в умовах створення ІС супроводження випробувань ОВТ. Отримані результати інтегрального оцінювання свідчать, що найбільшу ефективність продемонстрував теоретико-ігровий метод синтезу, розглянутий у науковій роботі [13]. Саме цей метод рекомендовано використати в якості основного методичного ядра, оскільки продемонстрував високу комплексну ефективність за усіма визначеними критеріями. Особливо високі показники метод демонструє у таких головних аспектах, що є визначальними для створення ІС супроводження випробувань ОВТ:

забезпечення формального опису вимог, що гарантує чіткість побудови архітектури;

гнучкість адаптації до різних варіантів архітектурних конфігурацій;

підтримка прийняття компромісних рішень у процесі зіткнення суперечливих інтересів сторін, що надають та отримують ІТ-послуги.

Зазначене повністю узгоджується із висновками авторів [13], які обґрунтовують переваги своєї моделі завдяки застосуванню змішаних стратегій теоретико-ігрової моделі, що дає змогу сформулювати оптимально підібраний набір ІТ-послуг і функціональних модулів ІС, які:

максимально відповідають поставленим вимогам замовника;

забезпечують цілісні ланцюжки збору, обробки та зберігання інформації у межах єдиної цілісної ІС;

виключають дублювання функцій і наявність надлишкових сервісів, які не відповідають поставленим вимогам.

Особливо вагомою перевагою даного підходу є можливість формування декілька близьких до оптимального варіантів архітектури, що дає змогу розширити можливості компромісного вибору залежно від ресурсних, часових та організаційних обмежень.

Під час аналізу встановлено, що незважаючи на високу інтегральну ефективність, теоретико-ігровий метод демонструє певні обмеження, зокрема, пов'язані з обчислювальною складністю реалізації за використання у масштабних проектах та потреби у висококваліфікованих спеціалістах для коректної

постановки завдання. Однак, в умовах розроблення системи супроводження випробувань ОВТ, де коло типових функцій є добре структурованим, ці недоліки є мінімальними порівняно із вирашем в універсальності та точності моделювання.

Водночас, проведений у межах дослідження системний аналіз дає змогу зробити висновок про доцільність інтеграції результатів іншого підходу, який описано у компонентно-ієрархічній технології синтезу [19]. Зазначена технологія сприяє створенню багаторівневої архітектури ІС, яка відповідає складній організаційно-функціональній структурі спеціалізованої випробувальної організації. Поєднання можливостей теоретико-ігрової моделі (як методологічної основи для формалізації і побудови опису вимог та функціоналу ІС) та компонентно-ієрархічної технології (як архітектурної основи для структурної побудови системи) забезпечує створення адаптивної, масштабованої, високофункціональної інформаційної системи супроводження випробувань, яка дасть змогу:

значно підвищити якість, достовірність і своєчасність результатів випробувань;

знижити ризики людських помилок завдяки автоматизації операцій, які супроводжують процеси випробувань ОВТ;

забезпечити інтеграцію ІС у загальну цифрову інфраструктуру випробувальної установи.

Такий підхід є найбільш обґрунтованим з позицій системного підходу, управління життєвим циклом оборонної продукції та сучасних потреб цифрової трансформації сектору безпеки та оборони держави

Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті проведено системний та порівняльний аналіз існуючих методичних підходів до синтезу інформаційних систем у різних сферах застосування, кожен з яких має власні переваги та обмеження щодо їх практичного застосування в умовах функціонування спеціалізованої випробувальної організації. В межах дослідження сформовано класифікацію методів синтезу інформаційних систем за низкою ключових концептуальних, архітектурних і технологічних ознак, а також здійснено комплексне багатокритеріальне оцінювання з використанням якісно-кількісної експертної шкали.

Отримані результати свідчать про переважання теоретико-ігрового підходу до синтезу опису архітектури інформаційних систем, що забезпечує високий рівень формалізації, адаптивності та автоматизації процесів проєктування. Особливістю цього методу є застосування змішаних стратегій, що дає змогу формувати нетипові функціональні модулі та адаптувати їх до актуальних вимог замовника.

Важливою перевагою такого підходу є можливість побудови безперервних технологічних ланцюгів збору,

зберігання та обробки даних у межах єдиної цілісної інформаційної системи. Окрім того, запропонований механізм формування декількох компромісних варіантів архітектури розширює можливості оптимального проєктування системи в умовах різних ресурсних обмежень.

Разом із цим, високу гнучкість структурної побудови інформаційних систем демонструє компонентно-ієрархічна технологія синтезу, що дає змогу реалізувати модульну архітектуру з можливістю поступового нарощування функціоналу. Такий підхід є надзвичайно важливим для специфіки випробувальної організації, де обробка даних потребує поступової деталізації, накопичення та аналізу результатів з різних етапів випробувань.

Результати дослідження підтверджують доцільність інтеграції зазначених підходів, що дає змогу забезпечити як високу гнучкість проєктних рішень, так і необхідний рівень формалізації для реалізації складних функцій підтримки прийняття рішень в інформаційних системах супроводження випробувань озброєння та військової техніки. Запропонована комбінація теоретико-ігрового методу та компонентно-ієрархічної технології синтезу створює надійне підґрунтя для побудови адаптивної інформаційної системи супроводження випробувань озброєння та військової техніки, спроможної ефективно функціонувати в умовах динамічних змін завдань випробувального процесу, обробки великих обсягів даних, інтеграції із сучасними цифровими платформами оборонного сектору, а також забезпечення високої якості управлінських рішень в умовах обмеженого часу та ресурсів.

Узагальнюючи результати проведеного аналізу, можна зробити висновок, що поєднання теоретико-ігрового та компонентно-ієрархічного підходів до синтезу інформаційних систем супроводження випробувань озброєння та військової техніки є найобґрунтованішим рішенням, оскільки сприяє поєднанню переваг формальної оптимізації архітектурних рішень із гнучкістю побудови модульної структури системи, що відповідає специфічним вимогам випробувального процесу.

Отримані результати створюють наукове підґрунтя для подальшого розвитку методології синтезу інформаційних систем супроводження випробувань озброєння та військової техніки у специфічних умовах функціонування спеціалізованої випробувальної організації. На наступному етапі доцільно зосередити зусилля на розробленні методики та моделі синтезу інформаційних систем для підтримки прийняття рішень в системі супроводження випробувань озброєння та військової техніки, що дасть змогу забезпечити формалізовану інтеграцію структурованих даних випробувань, оптимальну побудову підсистем і функціональних модулів системи та реалізацію адаптивних механізмів управління процесами аналізу, зберігання й використання результатів випробувальної діяльності.

Список бібліографічних посилань

1. Павленко А. Г., Ларін В. В., Гапоненко Г. М. Методичний підхід до визначення пріоритетності напрямів розвитку системи випробувань озброєння та військової техніки у контексті оборонного планування. *Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ*. 2023. Вип. 2(16). С. 66. DOI: 10.37701/dndivsovt.16.2023.09.
2. Корнієнко І. В., Корнієнко С. П., Камак Д. О., Казначей С. М., Жирна О. В. Щодо можливих функціональних компонент інформаційної системи супроводження випробувань Збройних Сил України. *Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ*. 2020. Вип. № 4(6). С. 52–62. DOI: 10.37701/dndivsovt.6.2020.06.
3. Скиба О. В., Доманов І. О., Рибачок Д. В., Скиба А. О. Підходи щодо підвищення ефективності підготовки і проведення випробувань шляхом створення єдиної інформаційно-довідкової системи та автоматизації діяльності науковців інституту. *Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ*. 2023. Вип. 4(18). С. 104–111. DOI: 10.37701/dndivsovt.18.2023.15.
4. Корнієнко С. П., Корнієнко І. В., Шевага В. В., Казначей С. М., Кравченко В. С. Обґрунтування інформаційних компонентів нормативно-довідкової бази даних автоматизованої інформаційної системи супроводження випробувань озброєння та військової техніки. *Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ*. 2021. Вип. № 7(1). С. 29–39. DOI: 10.37701/dndivsovt.7.2021.04.
5. Перелік Національних стандартів України для створення, впровадження та супроводження автоматизованих і інформаційних систем. URL: <http://nbuv.gov.ua/node/1469> (дата звернення 08.06.2025).
6. Мацько О. Й., Микусь С. А., Солонніков В. Г. та ін. Застосування сучасних інформаційних технологій у науковій діяльності: підручник. Київ: НУОУ ім. І. Черняховського, 2021. 340 с.
7. Литовченко О., Недора Т. Аналіз методів синтезу інформаційних моделей при розробці багаторівневих комп'ютерних систем. *Комп'ютерні технології друкарства*. 2010. № 24. С. 58–62.
8. Лепак Л. А. Методологічні засади аналізу і синтезу автоматизованих інформаційних систем організаційного управління. *Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць*. 2006. № 16.3. С. 198–203.
9. Писарчук О. О., Соколов К. О., Гудима О. П. Розроблення багатокритеріальної методики ситуаційного управління структурою і параметрами системи забезпечення інформаційної безпеки. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ ім. Івана Черняховського*. 2016. № 3(58). С. 24–32. DOI: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2016-3-58/24-32>.
10. Писарчук О. О., Гуменюк М. О., Тимчук С. В. Математична модель ситуаційного синтезу автоматизованої системи збирання і оброблення інформації від технічних засобів моніторингу. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2017. № 2. С. 19–28. DOI: 10.20535/SRIT.2308-8893.2017.2.02
11. Копійка О. В. Основні принципи методології синтезу інформаційно-комунікаційних систем для побудови єдиної інформаційної платформи. *Зв'язок*. 2015. № 2(114). С. 36–40.
12. Беркман Л. Н., Копійка О. В. Теоретичні основи методології синтезу інформаційно-комунікаційних систем. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2014. № 4. С. 12–19.
13. Євланов М. В., Васильцова Н. В., Панфьорова І. Ю. Моделі та методи синтезу опису раціональної архітектури інформаційної системи. *Вісник наукового університету «Львівська політехніка». Серія «Інформаційні системи та мережі»*. 2015. № 829. С. 135–152.
14. Калачова В. В., Ткачук С. С., Меренті Є. О., Третяк Д. В. Багатокритеріальний синтез організаційної структури білінгової інформаційної системи методом аналізу ієрархій. *Системи обробки інформації*. 2020. № 2(161). С. 22–28. DOI: 10.30748/soi.2020.161.03.
15. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2. № 1. С. 22–27. DOI: 10.20998/2522-9052.2018.1.04.
16. Рубан І. В., Кучук Г. А., Давікоза О. П. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі. *Системи обробки інформації*. 2013. № 7(114). С. 106–112.
17. Науменко Є. М., Самохвалов Ю. Я. Синтез структури розподілених інформаційних систем. *Науково-технічний журнал «Захист інформації»*. 2004. № 4. С. 42–47.
18. Гришук Р. В., Пількевич І. А., Хорошко В. О., Котков В. І. Багатокритеріальний синтез систем інформаційної безпеки. *Восточно-Европейський журнал передових технологій*. 2012. № 5/9(59). С. 40–44.
19. Цмоць І. Г., Скорохода О. В., Кісь Я. П. Синтез інтегрованих автоматизованих систем управління підприємством. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Інформаційні системи та мережі*. 2015. № 829. С. 246–254.

METHODICAL APPROACH TO SELECTING A SYNTHESIS METHOD FOR AN INFORMATION SYSTEM FOR ARMAMENT AND MILITARY EQUIPMENT TESTING SUPPORT

TOLMACHOV Vyacheslav, National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
<https://orcid.org/0000-0002-3927-2041>

Formulation of the problem in general. The article aims to perform a comparative analysis of methods for the synthesis of information systems and to justify the selection of a methodological approach for the synthesis of an information system for supporting armament and military equipment testing, based on a developed system of indicators and multi-criteria evaluation criteria, adapted to the specifics of the functioning of a specialised testing organisation.

Research methods. The study applies a systems approach, general systems theory, classification methodology, and multi-criteria evaluation. A system of indicators and criteria for comparing information system synthesis methods was developed using the Saaty psychophysical scale. It made it possible to convert qualitative characteristics of methods into quantitative indicators, ensuring objectivity in the comparative analysis.

Literature review. Modern research covers a wide range of approaches to information system synthesis. Each approach demonstrates its area of effectiveness depending on the type of task, available resources, and scalability requirements. Most analysed methods focus on solving management, monitoring, architectural structuring, or resource optimisation tasks, demonstrating flexibility and diversity in their approaches. However, the development of specialised techniques that would combine the adaptability of modern information system synthesis solutions with the requirements for automation of testing procedures remains insufficiently addressed.

Research results. The article systematises information system synthesis methods and proposes their classification into four groups: structure-oriented, optimisation-oriented, adaptation-oriented, and heuristic. An expanded system of qualitative and quantitative evaluation of method characteristics was developed based on seven key indicators. The evaluation process was formalised through score normalisation, expert weighting, and the calculation of a comprehensive

integral efficiency index of the synthesis methods for the information system supporting testing. The game-theoretic synthesis method demonstrated the highest integral efficiency, offering formalisation, adaptability, and process automation. The component-hierarchical synthesis technology enables flexible, step-by-step deployment of a multi-level system architecture with progressive expansion of its functional capabilities. A combined approach to information system synthesis is proposed, integrating the advantages of both methods.

Research novelty. A system of indicators, criteria, normalisation procedures, and weighting coefficients was developed, allowing for a comparative analysis of diverse methodological approaches to information system synthesis that differ significantly in their structural organisation, functional purpose, and application domain. A method of multi-criteria qualitative and quantitative evaluation of synthesis method efficiency is proposed, tailored to the specific tasks of developing an information system for supporting armament and military equipment testing.

Theoretical and practical significance. The results can serve as a methodological basis for building an automated information system for supporting armament and military equipment testing under wartime conditions. Practical implementation of the proposed combined approach will improve the efficiency of the testing process, optimise decision-making, ensure prompt processing of test results, support the development of information-analytical defence management, and accelerate the adoption of new armament models into the arsenal of defence forces.

Conclusions and future work. The obtained results provide a scientific basis for further developing the methodology for synthesising information systems for supporting armament and military equipment testing under the specific conditions of specialised testing organisations. At the next stage, it is advisable to focus efforts on developing a methodology and model for synthesising an information system to support decision-making within the testing support system for armament and military equipment, which will enable the formalized integration of structured test data, optimal construction of subsystems and functional modules, and the implementation of adaptive mechanisms for managing the processes of analysis, storage, and utilization of testing results.

Keywords: automation, multi-criteria evaluation, testing, Armament and Military Equipment, information system synthesis, testing system, testing support.

References

1. Pavlenko, A. H., Larin, V. V., Haponenko, H. M., (2023). A methodological approach to determining the priority of directions for developing a system of weapons and military technology tests in the context of defence planning. *Zbirnyk naukovykh prats DNDI VS OVT*. 2(16), 65-69. DOI: 10.37701/dndivsovt.16.2023.09.
2. Korniienko, I. V., Korniienko, S. P., Kamak, D. O., Kaznachei, S. M., Zhyrna, O. V., (2020). On possible functional components of the information system of arms and military equipment testing of the armed forces of Ukraine. *Zbirnyk naukovykh prats DNDI VS OVT*. 4(6), 52-62. DOI: 10.37701/dndivsovt.6.2020.06.
3. Skyba, O. V., Domanov, I. O., Rybachok, D. V., Skyba, A. O., (2023). Approaches to increase the efficiency of training and testing by creating a uniform information and reference system and automating the activities of the institute's scientists. *Zbirnyk naukovykh prats DNDI VS OVT*. 4(18), 104-111. DOI: 10.37701/dndivsovt.18.2023.15.
4. Korniienko, S. P., Korniienko, I. V., Shevaha, V. V., Kaznachei, S. M., Kravchenko, V. S., (2021). Substantiation of information components of the regulatory reference database of the automated information system of armament and military equipment test support. *Zbirnyk naukovykh prats DNDI VS OVT*. 7(1), 29-39. DOI: 10.37701/dndivsovt.7.2021.04.
5. National Standards of Ukraine for the Creation, Implementation and Maintenance of Automated and Information Systems. Available [online]. (2025). Available at: <http://nbuv.gov.ua/node/1469> [Accessed: 08 June 2025].
6. Matsko, O. Y., Mykus, S. A., Solonnikov, V. H. et al., (2021). *Application of Modern Information Technologies in Scientific Activity*. Kyiv: NUOU im. I. Cherniakhovskoho. 340.
7. Lytovchenko, O., Nedora, T., (2010). Analyse methods for synthesising information models in developing multi-level computer systems, *Kompiuterni tekhnologii druzarstva*. 24, 58-62.
8. Lepak, L. A., (2006). Methodological principles of analysis and synthesis of the automated management information's organisational *Naukovyi visnyk: Zbirnyk nauko-tekhnichnykh prats*. 16.3, 198-203.
9. Pysarchuk, O. O., Sokolov, K. O., Hudyma, O. P. (2016). Development of a multi-criteria methodology for situational management of the structure and parameters of an information security system. *Zbirnyk naukovykh prats Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen NUOU im. Ivana Cherniakhovskoho*. 3(58), 24-32. DOI: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2016-3-58/24-32>.
10. Pysarchuk, O. O., Humeniuk, M. O., Tymchuk, S. V., (2017). Mathematical model of situational synthesis of an automated system for collecting and processing information from technical monitoring means, *Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnologii*. 2, 19-28. DOI: 10.20535/SRIT.2308-8893.2017.2.02.
11. Kopiiika, O. V., (2015). The basic principles of synthesis methodology for information and communication systems for building a unified information platform. *Zviazok*, 2(114), 36-40.
12. Berkman, L. N., Kopiiika, O. V., (2014). Theoretical foundations of the methodology for the synthesis of information and communication systems. *Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnologii*. 4, 12-19.
13. Yevlanov, M. V., Vasylytseva, N. V., Panfiorova, I. Yu., (2015). Models and methods for synthesising the description of the rational architecture of an information system. *Visnyk naukovoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. Seriya "Informatsiini systemy ta merezhi". 829, 135-152.
14. Kalachova, V. V., Tkachuk, S. S., Merenti, Ye. O., Tretiak, D. V., (2020). Multi-criterion synthesis of the organisational structure of the billing information system by the method of analysis of hierarchies. *Systemy obrobky informatsii*. 2(161), 22-28. DOI: 10.30748/soi.2020.161.03.
15. Kovalenko, A. A., Kuchuk, H. A., (2018). Methods for synthesising informational and technical structures of the critical application object's control system. *Suchasni informatsiini systemy*, 2, 1, 22-27. DOI: 10.20998/2522-9052.2018.1.04.
16. Ruban, I. V., Kuchuk, H. A., Davikoza, O. P., (2013). Conceptual approach to the structure design of a telecommunication network. *Systemy obrobky informatsii*. 7(114), 106-112.
17. Naumenko, Ye. M., Samokhvalov, Yu. Ia., (2004). Synthesis of the structure of distributed information systems, *Naukovo-tekhnichniy zhurnal «Zakhyst informatsii»*. 4, 42-47.
18. Hryshchuk, R. V., Pilkevych, I. A., Khoroshko, V. O., Kotkov, V. I., (2012). Multi-criteria synthesis of information security systems. *Vostochno-Evropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*. 5/9(59), 40-44.
19. Tsmots, I. H., Skorokhoda, O. V., Kis, Ya. P., (2015). Synthesis of integrated enterprise automated management systems, *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*. Seriya: Informatsiini systemy ta merezhi. 829, 246-254.

Рукопис надійшов до редакції 24.06.2025

Рукопис прийнято до друку після рецензування 08.08.2025

Дата публікації 29.08.2025