

Міжнародний досвід проектування військово-промислових об'єктів та його адаптація до українських реалій

Віталій Назарук

Кафедра архітектури та будівництва, Заклад вищої освіти «Університет Короля Данила»,
м. Івано-Франківськ, Україна

ORCID 0009-0004-6923-1736

Анотація: У статті здійснено комплексний аналіз міжнародного досвіду проектування військово-промислових об'єктів (ВПО) у провідних країнах світу – США, Ізраїлі, Південній Кореї, Німеччині, Японії, Франції та Великобританії – з акцентом на принципи модульності, децентралізації, цифровізації, функціональної гнучкості й інтеграції у просторову структуру держави. Особливу увагу приділено концепціям «розумного заводу» (smart factory), «розумних оборонних зон» (Smart Defense Zones) та adaptive reuse – адаптивного повторного використання об'єктів оборонної інфраструктури. Підкреслено, що в умовах повномасштабної війни в Україні критичною є потреба в переосмисленні архітектурної моделі ВПО з урахуванням геополітичної ситуації, регіональних ресурсів, рівня ризику та нормативно-правових обмежень.

Проаналізовано сучасний стан оборонної промисловості України, виявлено ключові проблеми – технологічна застарілість, дефіцит фінансування, кадрова криза та відсутність єдиної стратегічної програми розвитку. Обґрунтовано доцільність розробки національної архітектурно-містобудівної концепції створення і модернізації ВПО, орієнтованої на мобільність, енергоефективність, маскування, логістичну інтеграцію та здатність до мирної трансформації. У статті також розглянуто перспективи залучення приватних інвестицій, впровадження цифрових технологій (BIM, автоматизовані системи безпеки, енергоменеджмент), інтеграції в міжнародні виробничі мережі та створення спеціалізованих освітніх програм для підготовки архітекторів оборонної інфраструктури.

Окрему увагу приділено особливостям децентралізованого розміщення об'єктів ВПК, необхідного для зниження вразливості до атак та підвищення гнучкості просторового планування. Розглянуто європейський досвід повторного використання військових об'єктів як стратегію сталого розвитку та ресурсозбереження. Наведено приклади успішної трансформації військових об'єктів у технопарки, освітні й культурні центри, що можуть слугувати зразком для післявоєнного відновлення в Україні.

Ключові слова: військово-промислові об'єкти, децентралізація, модульна архітектура, smart factory, Smart Defense Zone, adaptive reuse, оборонна інфраструктура, архітектурне проектування.

1. Вступ

У сучасних умовах воєнного протистояння та загроз національній безпеці України набуває особливої актуальності питання розвитку військово-промислової інфраструктури, що передбачає як стратегічне планування, так і якісне архітектурно-інженерне проектування відповідних об'єктів. Архітектура військово-промислового комплексу є складовою критичної інфраструктури держави, і її ефективне функціонування значною мірою залежить від оптимального поєднання оборонних потреб, технологічних вимог та принципів безпечного середовища. Історичний і сучасний досвід провідних країн світу демонструє наявність перевірених підходів до формування подібної інфраструктури, які можуть бути адаптовані до

українських реалій. Водночас, специфіка соціально-політичного, географічного та інженерно-будівельного контексту України зумовлює необхідність критичного осмислення і трансформації закордонних моделей.

Проблематика проєктування військово-промислових об'єктів в Україні досі не отримала належного висвітлення в архітектурно-містобудівній науці. Переважна більшість публікацій зосереджена на технічних або військово-стратегічних аспектах, залишаючи поза увагою архітектурно-просторову організацію, урбаністичну інтеграцію та екологічну безпеку таких об'єктів. В умовах воєнного стану та відновлення зруйнованої інфраструктури постає нагальна потреба в розробці цілісної концепції, що враховує міжнародні стандарти проєктування, принципи сталого розвитку та адаптивного функціонування. Особливе значення мають питання безпеки, багатофункціональності, автономності систем, а також інтеграція військово-промислових комплексів у структуру регіонального планування.

Наукова актуальність дослідження полягає в необхідності міждисциплінарного підходу до адаптації міжнародного досвіду в проєктуванні об'єктів оборонного призначення в умовах сучасної України. Увага до архітектурної складової дозволяє розглядати такі об'єкти не лише як технічні споруди, а як складову урбаністичної системи, здатної до трансформації в умовах загроз і викликів. Аналіз світових практик і проєктних рішень сприяє формуванню сучасної методології, що може бути застосована в національному контексті з урахуванням вимог оборони, економіки, екології та соціальної інтеграції. Таким чином, дана стаття має на меті дослідити й систематизувати міжнародний досвід проєктування військово-промислових об'єктів та окреслити напрями його адаптації в українському містобудівному середовищі.

2. Об'єкти предмет дослідження

Об'єкт дослідження: архітектурно-містобудівна система військово-промислових об'єктів у контексті національної безпеки та оборонної інфраструктури.

Предмет дослідження: принципи, підходи та методи адаптації міжнародного досвіду проєктування військово-промислових об'єктів до умов архітектурно-містобудівного планування в Україні.

3. Мета та задачі дослідження

Метою нашого дослідження є комплексний аналіз міжнародного досвіду проєктування військово-промислових об'єктів з метою обґрунтування можливостей його архітектурно-містобудівної адаптації до сучасних українських реалій в умовах безпекових викликів, відновлення критичної інфраструктури та інтеграції в систему сталого просторового розвитку.

Досягнення мети можливе за умови виконання декількох наукових завдань, зокрема:

- визначити основні світові тенденції та моделі проєктування військово-промислових об'єктів у країнах з розвиненою оборонною інфраструктурою;
- оцінити релевантність зарубіжного досвіду в контексті соціально-територіальних, нормативно-правових та інженерно-будівельних умов України;
- сформулювати принципи адаптації міжнародних практик до українського архітектурно-містобудівного середовища з урахуванням питань безпеки, функціональності та екологічної стійкості;
- запропонувати концептуальні підходи до проєктування військово-промислових об'єктів як елементів сучасної просторової політики держави.

4. Аналіз літератури

Представлена теоретична база дослідження охоплює широкий спектр джерел, що репрезентують як теоретичні, так і прикладні підходи до проєктування, модернізації та

адаптивного переосмислення військово-промислових об'єктів в умовах трансформаційної безпеки. Опрацьовані джерела варто структурувати за міждисциплінарним принципом, адже вони представляють роботи в галузях архітектури, оборонної інженерії, урбаністики, права, екології та цифрових технологій. Наукові праці Г. Андрощука [2], І. Коротуна [5], І. Ткача, В. Синявського [12], Р. Кудряшова [6] висвітлюють ключові проблеми оборонно-промислового комплексу України, наголошуючи на трансфері технологій, публічному управлінні закупівлями та моделюванні перспективної структури ВПО.

Робота В.Павлюка [8] фокусується на впровадженні BIM-технологій у будівництві, що є критично важливим для забезпечення точності, ефективності й адаптивності в архітектурному проєктуванні ВПО. Іноземні джерела, зокрема аналітичні огляди Lockheed Martin, Rheinmetall, Hanwha Aerospace, демонструють практичні приклади реалізації концепцій «розумного заводу» та мобільного виробництва. У дослідженнях IDOM та університету Техно Ейндговена розглянуто аспекти адаптивного повторного використання (adaptive reuse) промислової спадщини [4], що безпосередньо релевантно для поствоєнного відновлення України.

Окреме місце у джерелах займає Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» та новітні ДБН щодо захисних споруд цивільного захисту, які формують нормативну основу для проєктних рішень у сфері критичної інфраструктури. Широкий міжнародний контекст дослідження забезпечується також посиленням на концепцію «Zero Trust Architecture» від DISA/NSA та оглядом оборонної політики Швеції. Таким чином, залучені джерела охоплюють як науково-аналітичну, так і нормативно-прикладну площину, забезпечуючи надійну базу для вивчення й адаптації кращих світових практик до українських потреб.

5. Методи досліджень

У межах нашого дослідження застосовано комплекс сучасних методів архітектурного аналізу, що забезпечують міждисциплінарне осмислення об'єкта дослідження. Насамперед використано типологічний метод, що дозволяє класифікувати військово-промислові об'єкти за функціональними, технологічними та конструктивно-планувальними ознаками. Метод аналогій слугує інструментом для порівняльного вивчення зарубіжного досвіду, що дає змогу виявити адаптивні моделі для українських умов. Функціонально-просторовий аналіз дає можливість дослідити ефективність планувальних рішень та їхню відповідність вимогам безпеки, мобільності й інженерної автономності.

Також застосовано метод історико-критичного аналізу, що дає змогу простежити еволюцію архітектурних рішень у галузі військової інфраструктури. Метод сценарного проєктування допомагає розробити потенційні моделі розвитку військово-промислових комплексів залежно від рівня загроз і територіальної специфіки. Крім того, використано аналітичний метод оцінки ризиків і вразливості території, що забезпечує стратегічне планування розміщення об'єктів критичної інфраструктури. Сукупність цих методів дозволяє сформувати системне бачення архітектурно-містобудівної адаптації міжнародного досвіду до українських реалій.

6. Результати досліджень

Проєктування військово-промислових об'єктів (далі – ВПО) у наші дні вимагає врахування не лише дотримання технічних і виробничих параметрів, але й складних соціальних, екологічних та безпекових факторів. У країнах із розвинутою оборонною інфраструктурою (США, Ізраїль, Південна Корея, Німеччина) існують усталені стандарти щодо розміщення, зонування, захисту та функціональної гнучкості таких об'єктів. Водночас ці проєкти включають принципи сталого розвитку, цифровізації, багатофункціональності й адаптивної архітектури. З огляду на повномасштабну війну в Україні та потребу в розбудові нових об'єктів військово-промислового комплексу (далі – ВПК), вкрай актуальним є аналіз та

адаптація найкращих світових практик. Український контекст потребує урахування специфіки загроз, логістичних умов, наявних матеріалів, безпеки цивільного населення, а також інтеграції таких об'єктів у регіональну інфраструктуру.

Одним із ключових завдань нашого дослідження є визначення провідних світових тенденцій і моделей проектування військово-промислових об'єктів у країнах з розвинутою оборонною інфраструктурою. Аналіз міжнародного досвіду дозволяє окреслити типологічну й функціональну різноманітність підходів до архітектурно-містобудівного формування таких об'єктів, що безпосередньо впливають на обороноздатність, мобільність військових формувань, ефективність логістики та безпеку критичної інфраструктури.

У розвинених країнах, таких як США, Ізраїль, Франція, Німеччина, Південна Корея, Японія та Великобританія, військово-промислові об'єкти функціонують як інтегровані просторові системи, що поєднують виробничі, дослідницько-конструкторські, логістичні, адміністративні й навчальні блоки.

Загальною тенденцією в сучасному проектуванні військово-промислових об'єктів є децентралізація та модульність, що передбачає відмову від концентрації виробничих потужностей у єдиному кластері. Наприклад, у США стратегічні виробничі потужності компаній Lockheed Martin або Raytheon розміщуються у вигляді мережі регіональних заводів і наукових центрів, що розподілені на значні відстані, з метою підвищення стійкості до ракетно-бомбових ударів. Подібна схема використовується також у Південній Кореї, де об'єкти оборонної промисловості інтегруються в структуру агломерацій, проте мають індивідуальні системи захисту та енергозабезпечення.

Модульність проявляється у застосуванні збірних конструкцій, мобільних цехів і змінного просторового зонування, як це реалізовано у Франції на підприємствах компанії Nexter. Такі виробничі комплекси можуть адаптувати профіль діяльності – наприклад, з виготовлення бронетехніки на ремонтні або логістичні функції – шляхом переналаштування внутрішніх модулів. У Ізраїлі, де архітектура оборонних підприємств підпорядкована концепції постійної загрози, виробничі зони мають підземні резервні майданчики, які в разі обстрілів можуть брати на себе повний цикл виробництва. Водночас багатофункціональність означає не лише змінність функцій, але й можливість спільного використання об'єктів військовими, цивільними і науковими структурами, як це реалізовано в технопарку Tsukuba в Японії, де військові лабораторії інтегровані в загальний урбаністичний ландшафт.

Архітектурне вирішення таких об'єктів відзначається високим рівнем стандартизації та інтеграції з інженерною інфраструктурою. Пріоритет надається технологічній безпеці, ергономіці персоналу, ефективному використанню енергоресурсів та інтелектуальним системам контролю. Прикладом є концепція «розумного заводу» (smart factory), яка вже застосовується на об'єктах військового виробництва у ФРН, Кореї та США. Вона передбачає використання автоматизованих логістичних рішень, цифрового моделювання виробничих процесів та архітектури, що адаптується до різних сценаріїв навантаження.

Для прикладу, в Німеччині, Компанія Rheinmetall представила мобільний розумний завод (Mobile Smart Factory), який дозволяє здійснювати 3D-друк металевих компонентів безпосередньо в зоні бойових дій. Цей мобільний комплекс складається з двох 20-футових контейнерів: один використовується як офіс, інший – для виробництва [10]. Виробничий контейнер оснащений 6-осьовим гібридним верстатом Metrom P7000, який поєднує методи дротового дугового адитивного виробництва (WAAM) та фрезерування з ЧПУ. Це дозволяє виготовляти деталі діаметром до 700 мм і висотою до 450 мм. Система IRIS забезпечує безперервний моніторинг та управління виробничими процесами, відповідаючи стандартам безпеки НАТО [10].

Цікавим є також досвід Південної Кореї, який реалізується у рамках стратегії «Manufacturing Innovation 3.0» [3]. Південна Корея активно розвиває розумні фабрики у військовому секторі. Компанія Hanwha Aerospace, наприклад, інтегрує цифрові технології у виробництво артилерійських систем, таких як K9 Thunder. Це включає використання

автоматизованих логістичних рішень, цифрового моделювання виробничих процесів та гнучкої архітектури, що дозволяє адаптуватися до різних сценаріїв навантаження [3].

У Сполучених Штатах Америки проєктування об'єктів ВПК базується на принципах модульності, гнучкості та інтеграції з цифровими технологіями. Зокрема, Міністерство оборони США розробило референтну архітектуру нульової довіри (Zero Trust Architecture), яка передбачає вбудовані принципи безпеки для захисту даних та операційних процесів, запобігання, виявлення та реагування на зловмисні дії [14, р. 21]. Аналогічно і військовий гігант, компанія Lockheed Martin впроваджує концепцію інтелектуальної цифрової фабрики на виробництві винищувачів F-35 Lightning II у Форт-Ворт, Техас. Ця фабрика використовує цифрові технології для моделювання виробничих процесів, автоматизовані логістичні рішення та гнучку архітектуру, що дозволяє адаптуватися до різних сценаріїв навантаження [7].

Ці приклади демонструють, як концепція «розумного заводу» трансформує військово-промислове виробництво, забезпечуючи високу гнучкість, ефективність та адаптивність до сучасних викликів.

Також важливим світовим трендом є інтеграція оборонної інфраструктури у цивільний інноваційний простір – технопарки, освітні й дослідницькі центри. Наприклад, в Ізраїлі та Південній Кореї військові НДІ співпрацюють з університетами, архітектурними бюро та приватними технологічними компаніями, що створює синергетичний ефект у просторовій організації об'єктів оборонного призначення. Водночас у США та Японії активно розвиваються моделі державно-приватного партнерства в оборонному секторі, що відображається і в архітектурних підходах – зокрема, у впровадженні гнучких проєктних стандартів, цифрового дизайну та модульних конструктивних рішень.

Назагал, слід констатувати, що у світовій практиці проєктування та функціонування ВПО базується на кількох ключових принципах:

- інтеграція збройних сил та промисловості – у країнах з розвинутою оборонною промисловістю, таких як США, Великобританія, Франція та Німеччина, існує тісна співпраця між військовими структурами та промисловими підприємствами. Це забезпечує швидку адаптацію до змін у військових потребах та технологічних інноваціях [12, с. 182];
- державна підтримка та фінансування. Уряди згаданих вище країн активно інвестують у розвиток ВПО, що включає як пряме фінансування, так і створення сприятливих умов для приватних інвестицій. Це сприяє стабільності та прогнозованості розвитку оборонної промисловості;
- трансфер технологій та інновації. Розвинені країни активно впроваджують новітні технології у виробництво військової техніки, що забезпечує їхню конкурентоспроможність на світовому ринку озброєнь. Це включає як внутрішні розробки, так і міжнародний трансфер технологій [2, с. 65].
- диверсифікація виробництва та експортний потенціал. Багато країн прагнуть не лише задовольнити власні оборонні потреби, але й розвивати експорт військової продукції, що сприяє економічному зростанню та зміцненню міжнародних позицій.

Отже, світові тенденції у проєктуванні військово-промислових об'єктів акцентують на стійкості, гнучкості, багатофункціональності та екосистемній інтеграції. Вони задають високі стандарти для просторового планування, архітектурної організації та технологічної інфраструктури, які можуть бути адаптовані до українського контексту з урахуванням геополітичних реалій, оборонних потреб і національної специфіки містобудівного середовища.

Якщо говорити про аналогічний досвід України, то слід вказати, що проблемою є відсутність уніфікованої концепції проєктування об'єктів військового призначення в сучасних реаліях України. Більшість підприємств ВПК створювалися в радянську добу й не відповідають вимогам нової оборонної доктрини, кіберзахисту, технологічної модернізації та архітектурної інтеграції. Бракує типологічної систематизації нових об'єктів: виробничих, дослідницьких, логістичних, ремонтних центрів та полігонів. Важливо враховувати й фактор

децентралізації оборонної інфраструктури – з метою зменшення вразливості в разі атак. Як наслідок, актуальним стає і питання проєктування захищених об'єктів подвійного призначення, які можуть бути інтегровані в урбанізоване середовище. Такі об'єкти мають бути не лише ефективними, а й архітектурно-раціональними, з урахуванням норм енергоефективності, мобільності й стійкості. Постає завдання: як адаптувати європейський та світовий досвід до українських реалій без сліпого копіювання, з урахуванням унікальних безпекових і ресурсних обставин.

У контексті соціально-територіальних умов України особливе значення набуває стратегія децентралізації та модульного формування виробничих потужностей військово-промислового призначення. Розміщення об'єктів не в одному кластері, а в мережевій системі розподілених локалізацій знижує вразливість до масованих ударів і дозволяє забезпечити операційну стійкість навіть у випадку втрати окремих елементів. В умовах триваючої збройної агресії, децентралізація є не лише проєктним рішенням, а й обов'язковою умовою національної безпеки. Крім того, модульна структура дає змогу швидко адаптувати виробництво до змін потреб – як у випадку переорієнтації з цивільної на військову продукцію, так і при необхідності оперативної евакуації або реконфігурації об'єкта. Це рішення особливо доцільне для південно-східних областей України, де високий ризик авіаційних та ракетних ударів. Як приклад, у Південній Кореї військово-промислові об'єкти вписані в структуру агломерацій (як, наприклад, виробничі бази Hanwha Defense поблизу Тегу), проте забезпечені автономними системами енергозабезпечення, кіберзахисту та інженерної підтримки, що дозволяє функціонувати навіть у разі відключення від основної інфраструктури.

З нормативно-правової точки зору, запровадження зарубіжних рішень потребує узгодження з національною правовою базою, яка регулює як проєктування, так і функціонування об'єктів підвищеної небезпеки. Зокрема, проєкти мають відповідати державним будівельним нормам України (ДБН), у тому числі ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту», що визначають вимоги до об'єктів оборонної інфраструктури [13]. Також враховується екологічне законодавство, зокрема Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» (№ 2059-VIII), що вимагає оцінювання проєктів перед їх реалізацією [9]. Особливу увагу слід приділяти техногенній і протипожежній безпеці, яка часто має вищий пріоритет у країнах НАТО, і тому потребує оновлення національних стандартів відповідно до міжнародних. У цьому аспекті необхідна інтеграція з системою стандартів ISO/IEC, зокрема ISO 22301 (Business Continuity Management) для гарантування безперервності виробничих процесів.

Щодо інженерно-будівельних умов, то їх адаптація до міжнародного досвіду потребує врахування регіональної специфіки України, яка суттєво варіюється від Карпатського регіону до степових та прифронтових зон. Основними викликами є нерівномірність транспортної та логістичної інфраструктури, обмежена доступність будівельних матеріалів у деяких регіонах, а також потреба в посиленому захисті від кліматичних впливів – перепадів температур, вітрових навантажень, вологості. Наприклад, проєкти, адаптовані до умов Центральної Європи, можуть виявитися неефективними у південноукраїнських степових районах без змін у теплоізоляції, фундаментних системах та системах водопостачання. У цьому контексті особливо актуальними є дослідження з інженерії будівельної адаптивності, що пропонують використання легких модульних каркасів і швидкокомонтованих збірних конструкцій, як це застосовується в новітніх об'єктах НАТО.

У світлі викладеного стає очевидною потреба не лише в адаптації зарубіжного досвіду проєктування військово-промислових об'єктів до соціально-територіальних та нормативно-будівельних умов України, а й у врахуванні новітніх європейських практик, зокрема таких, як адаптивне повторне використання (adaptive reuse). У країнах Європейського Союзу ця концепція набула широкого застосування у зв'язку з трансформацією функцій армії та скороченням чисельності збройних сил. Військові об'єкти, збудовані за часів Холодної війни,

нині часто переоблаштовуються на інноваційні технопарки, креативні простори, логістичні хаби або центри громадської активності.

У цьому сенсі децентралізована й модульна структура, що рекомендована для нових оборонних об'єктів, є одночасно і передумовою, і наслідком потенційної багатоцільової трансформації у мирний час. Врахування такого підходу в українських реаліях дозволяє проєктувати військово-промислові об'єкти не як виключно стратегічну інфраструктуру, а як потенційно інтегровані елементи просторового розвитку, які в майбутньому можуть бути адаптовані до цивільного використання. Зокрема, подібні сценарії актуальні для відновлення інфраструктури у прифронтових регіонах, де збереження матеріальної бази і перехід до мирного функціонування мають вирішальне значення.

Наприклад, у Нідерландах багато історичних військових споруд були переобладнані під громадські та культурні заклади, що сприяє збереженню архітектурної спадщини та інтеграції об'єктів у міське середовище [1]. У Німеччині колишні казарми перетворюються на житлові комплекси, офіси чи освітні установи. В Іспанії архітектурне бюро IDOM успішно трансформувало будівлю військової промисловості початку XX століття у сучасний спортивний центр, зберігаючи при цьому історичний характер споруди та додаючи сучасні елементи [4]. Такий підхід дозволяє не лише зберегти історичні будівлі, але й адаптувати їх до сучасних потреб суспільства. Адаптивне повторне використання сприяє зменшенню витрат на нове будівництво та збереженню ресурсів. Це також підтримує екологічну стійкість, зменшуючи потребу в нових матеріалах та енергії. У результаті, адаптивне повторне використання військових об'єктів стає ефективним засобом інтеграції історичних споруд у сучасне міське середовище, зберігаючи їхню культурну цінність та функціональність [5, с. 98]. Цей підхід демонструє, як минуле може бути гармонійно поєднане з сучасністю, створюючи нові можливості для розвитку громад та збереження історичної спадщини.

На відміну від країн Європи, де значна частина об'єктів військово-промислового комплексу (ВПК) була успішно адаптована для цивільного використання через механізми *adaptive reuse*, в Україні ситуація кардинально інша: на порядку денному одночасно стоять дві складні проблеми – адаптація застарілої радянської інфраструктури та потреба у масштабному будівництві нових об'єктів ВПК, зумовлена загрозами повномасштабної війни. Це створює особливе навантаження на галузь і виявляє низку хронічних проблем, які потребують системного вирішення.

По-перше, однією з ключових загроз для ефективного функціонування ВПК України є застарілість технологій та обладнання. Більшість оборонних підприємств сформувалися ще у радянський період і не проходили комплексної модернізації впродовж останніх трьох десятиліть. Це призвело до морального і фізичного зношення виробничої бази, що, своєю чергою, значно ускладнює виготовлення сучасної високоточності зброї, безпілотних систем, засобів радіоелектронної боротьби. Підприємства часто працюють на межі можливостей, використовуючи обладнання, яке не відповідає вимогам новітніх оборонних технологій.

По-друге, через обмеженість державного бюджету, значна частина проєктів розвитку ВПК реалізується з відставанням або заморожується повністю. Водночас відсутність прозорих механізмів державно-приватного партнерства та гарантій для інвесторів стримує прихід приватного капіталу. Це зменшує можливості для впровадження інновацій, оновлення виробничих потужностей та розширення експорту української оборонної продукції.

По-третє, станом на початок 2025 р. Україна не мала консолідованої, довгострокової державної програми розвитку ВПК з чіткими цілями, етапами реалізації та бюджетним забезпеченням. Розпорошені ініціативи окремих міністерств, відсутність скоординованої міжгалузевої політики та брак інституційної спроможності призводять до хаотичних рішень. Це ускладнює прогнозування потреб Збройних сил і стримує технологічну модернізацію оборонної інфраструктури.

По-четверте, в оборонній галузі стають дедалі відчутнішими кадрові проблеми – відтік досвідчених інженерів, проєктантів і технічного персоналу, зумовлений як низькою оплатою

праці, так і відсутністю умов для наукового розвитку, ставить під загрозу реалізацію навіть тих проєктів, які фінансово забезпечені. Система підготовки нових фахівців у технічних вишах не відповідає сучасним вимогам ВПО, а співпраця між навчальними закладами та підприємствами є мінімальною.

Закономірно, що в умовах повномасштабного вторгнення основна проектна документація, статистичні відомості про ПВК України є прихованими, але на підставі публічної інформації, даних медіа, можна зробити висновки про негативні фактори, які наведено вище.

Для ефективної адаптації міжнародного досвіду проєктування ВПК до українських умов надзвичайно важливо розробити національну стратегію розвитку оборонної інфраструктури. Йдеться про створення комплексної державної програми, що чітко визначатиме цілі, пріоритети, просторові параметри і механізми розвитку ВПО, враховуючи безпекові виклики, геополітичне положення України та актуальні загрози. Архітектурно-планувальні принципи мають бути інтегровані в стратегічне бачення, зокрема щодо розміщення об'єктів, просторової і функціональної децентралізації, маскування в ландшафті та гнучкості забудови. Така стратегія також має включати розробку типових моделей архітектурної організації об'єктів ВПО, які забезпечують не лише виробничу ефективність, а й захист, мобільність і енергоефективність.

Наступним ключовим напрямом є модернізація та технічне переоснащення підприємств оборонно-промислового комплексу. Це потребує цільових інвестицій в оновлення технологічного парку, створення цифрової інфраструктури для автоматизованого проєктування (BIM-моделювання), а також у розбудову сучасних лабораторій та виробничих кластерів [8, с. 106]. Архітектурно це передбачає запровадження нових принципів організації виробничих корпусів: модульності, трансформованості, інтеграції з логістичною мережею та системами безпеки. Просторові рішення мають забезпечити адаптивність до функціональних змін, мінімізацію ризиків при надзвичайних ситуаціях і ефективне використання території.

Критично важливим чинником модернізації ВПК є розвиток науково-дослідної й інноваційної бази. Для цього, потрібно створити архітектурно-інженерні інноваційні центри, здатні реалізовувати дослідницькі програми з розробки нових матеріалів, енергоефективних будівельних систем, засобів маскування і захищених об'єктів. Така інфраструктура повинна включати експериментальні полігони, цифрові лабораторії та симуляційні середовища з акцентом на міждисциплінарність. Архітектурне середовище таких об'єктів має бути спроектоване з урахуванням потреб тестування, масштабованості, а також дотримання суворих стандартів безпеки.

Важливим кроком є залучення приватних інвестицій через механізми державно-приватного партнерства, що дозволить зменшити фінансове навантаження на державу та пришвидшити реалізацію проєктів. Зокрема, архітектурні бюро, девелоперські компанії та інженерні консорціуми можуть виступати як співінвестори у створенні індустріальних парків оборонного спрямування. Це забезпечить застосування передових рішень у плануванні промислових зон, утворення інтегрованих виробничо-логістичних хабів та посилення інноваційного потенціалу галузі. Для стимулювання інвесторів доцільним є розроблення прозорих архітектурно-планувальних регламентів, зниження адміністративних бар'єрів та податкових пільг.

Розширення міжнародного співробітництва та інтеграція в глобальні виробничі мережі відкривають перспективи не лише для експорту продукції, а й для технологічного обміну та архітектурно-інженерної кооперації. Українські ВПО можуть стати частиною спільних європейських проєктів, що дозволить підвищити стандарти безпеки, цифровізації, просторової організації виробництва. Зокрема, можливе впровадження моделей оборонної логістики типу «smart defense zones», які включають модульні виробничі платформи, системи автономного живлення та кіберзахисту. Співпраця з архітектурними компаніями НАТО та ЄС може дати поштовх до створення нової типології об'єктів ВПО, стійких до воєнних загроз.

Нарешті, особливу увагу необхідно приділити підготовці й перепідготовці кадрів, орієнтованих на сучасні підходи до планування, архітектури й управління просторовими системами. Необхідно створити міждисциплінарні освітні програми на базі університетів і дослідницьких центрів, які б поєднували архітектуру, урбаністику, інженерію, кіберзахист і військову логістику. Важливо забезпечити практичну підготовку в умовах функціональних тренувальних полігонів, симуляторів та центрів тестування архітектурно-просторових рішень. Підвищення кваліфікації спеціалістів сприятиме появі нової генерації архітекторів оборонної інфраструктури, здатних вирішувати комплексні виклики ХХІ ст.

Наведені нами пропозиції опираються саме на реальний міжнародний досвід. Так, у Швеції, на початку 1970-х рр. ВПО на 90% задовольняв потреби збройних сил завдяки стратегії децентралізованого виробництва та гнучкого планування об'єктів оборонної інфраструктури [11]. У Швеції велика увага приділяється не лише технологічним аспектам, а й архітектурно-планувальним рішенням: проектування виробничих та дослідницьких об'єктів передбачає поєднання високої енергоефективності, маскувальних якостей у ландшафті, захищеності й адаптивності до змін функціонального навантаження. Цей досвід є особливо цінним для України, яка в умовах постійної воєнної загрози потребує гнучкої, стійкої та добре інтегрованої у регіональний контекст оборонної інфраструктури.

Чи не найбільш важливим для України, є досвід Ізраїлю, країни, яка тривалий час перебуває в умовах конфліктів, демонструє приклад максимально ефективної інтеграції науки, технологій та архітектури у проектуванні військово-промислових об'єктів. Більшість ізраїльських ВПО спроектовані з урахуванням багаторівневої системи безпеки, прихованого розміщення, а також включення в структуру житлових і цивільних зон, що дозволяє забезпечити мобільність та оперативність реагування [6]. Україна може використати ці підходи при проектуванні об'єктів подвійного призначення, що водночас слугують виробничими, логістичними й укріпленими точками цивільного захисту.

Ще однією країною, яка демонструє приклад системного і масштабного переосмислення військової інфраструктури в умовах постійної загрози, є Південна Корея. Ця держава, що перебуває у стані фактичного воєнного протистояння, зуміла сформувати унікальну модель оборонного просторового розвитку, яка поєднує передові технології, стратегічне планування та адаптивну архітектуру. Одним із ключових елементів корейського підходу є цифровізація управлінських процесів – від логістики та управління ресурсами до цифрового моделювання інженерної інфраструктури на етапі проектування. Це дозволяє швидко реагувати на загрози, оптимізувати функціонування об'єктів та інтегрувати їх у єдину систему управління оборонною інфраструктурою.

Значну увагу в Кореї також приділено модульному будівництву, яке забезпечує гнучкість і мобільність об'єктів військово-промислового призначення. Багато з них створюються за принципом тимчасової або частково автономної архітектури, що дозволяє у разі потреби переміщати окремі функціональні блоки або оперативно реконфігурувати структуру об'єкта відповідно до змін у тактичній обстановці. Окремим досягненням корейської моделі є створення «Smart Defense Zones» – багатофункціональних оборонних кластерів, де поєднано військову, промислову та цивільну інфраструктуру з високим рівнем технічної автономності, кібербезпеки та логістичної взаємодії.

Ці концепції можуть бути адаптовані до українських реалій з урахуванням регіональної специфіки та викликів, пов'язаних з триваючим воєнним конфліктом. Особливо актуальними вони є для створення децентралізованих, мобільних і взаємопов'язаних структур військово-промислових об'єктів у межах окремих регіонів, зокрема у прифронтових зонах та на територіях з обмеженим доступом до централізованих ресурсів. Україна має потенціал для формування власних «зон розумної оборони», які б інтегрували інженерно-будівельні рішення з цифровими технологіями та адаптивними архітектурними формами, орієнтованими на оперативну ефективність, захищеність та можливість трансформації у післявоєнний період.

Назагал, можна констатувати, що адаптація міжнародного досвіду передбачає також переосмислення архітектурної парадигми ВПО. У контексті України йдеться про створення захищених, енергоефективних і багатофункціональних архітектурних форм, які мають враховувати не лише виробничі потреби, але й просторову організацію регіонів, вплив на довкілля та соціальну взаємодію з громадою. Цікаво, що архітектор в цих процесах відіграє ключову роль, адже є аналітиком простору, стратегом, що інтегрує інженерні, логістичні та гуманітарні вимоги в єдину систему. Важливим стає проєктування не лише об'єктів, але й інфраструктурних кластерів ВПО з урахуванням сучасної логістики, цифрових технологій, автономного енергозабезпечення, буферних зон та сценаріїв евакуації.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Перспективи подальшого розвитку досліджень у сфері адаптації міжнародного досвіду проєктування військово-промислових об'єктів в Україні охоплюють формування деталізованої типології архітектурно-містобудівних рішень із прив'язкою до геополітичної специфіки регіонів, рівня інфраструктурного забезпечення та характеру загроз. Зокрема, доцільним є створення адаптивних моделей для прифронтових територій, де переважає високий рівень ризику, та для глибинних регіонів, що можуть виступати в ролі резервних виробничих кластерів. Стратегічним напрямом виступає розробка національної концепції «розумної оборонної зони» (Smart Defense Zone), яка б інтегрувала цифрові платформи управління, енергоавтономні рішення, модульну інженерію та потенціал до мирної трансформації відповідно до принципів adaptive reuse.

Подальші дослідження повинні зосередитися також на виявленні й усуненні регуляторних обмежень, що гальмують впровадження інноваційних архітектурно-будівельних практик у сфері оборонної інфраструктури. Особливу цінність матимуть порівняльні дослідження правових систем країн НАТО у сфері будівництва військових об'єктів як основа для гармонізації українського нормативного поля. Міждисциплінарна інтеграція соціологічних, економічних та екологічних параметрів сприятиме створенню більш стійких, життєздатних і суспільно прийнятних архітектурних рішень. У післявоєнній перспективі актуальним є прогнозування сценаріїв реінтеграції об'єктів ВПК у мирну урбаністичну тканину – з перетворенням їх на логістичні центри, науково-дослідні хаби чи інфраструктурні об'єкти цивільного призначення згідно з європейськими підходами до сталого розвитку.

8. Висновки

Комплексне дослідження міжнародного досвіду проєктування військово-промислових об'єктів і можливостей його адаптації до українських реалій засвідчує наявність багатьох успішних моделей, що поєднують інноваційні архітектурно-інженерні рішення з високими вимогами до безпеки, гнучкості та функціональності. У розвинених країнах, таких як США, Ізраїль, Південна Корея, Німеччина, створення ВПО базується на принципах модульності, децентралізації, цифрового управління та інтеграції з цивільною інфраструктурою. Ці підходи забезпечують не лише оперативну ефективність, а й довготривалу адаптивність до викликів сучасної безпеки.

Аналіз сучасного стану ВПК України вказує на глибоку структурну кризу, що вимагає системної трансформації. Застарілість виробничої бази, нормативна фрагментарність, дефіцит кваліфікованих кадрів і брак консолідованої державної стратегії створюють значні бар'єри для ефективного оновлення оборонної інфраструктури. Водночас, саме війна стала каталізатором усвідомлення потреби в новій архітектурній парадигмі – адаптивній, енергоефективній, багаторівневій, здатній реагувати на динаміку загроз.

З урахуванням соціально-територіальної специфіки України особливо актуальною є розробка моделі децентралізованого розміщення ВПО з використанням принципів «розумних

оборонних зон» (Smart Defense Zones), що дозволяє створити мобільні, захищені й гнучкі виробничі кластери. Перспективною є також інтеграція концепцій adaptive reuse – повторного використання застарілих військових об'єктів для цивільних цілей, що сприятиме відновленню інфраструктури та економії ресурсів у післявоєнний період.

Таким чином, для України надзвичайно важливо розробити національну архітектурно-містобудівну концепцію розвитку об'єктів ВПК, яка б поєднувала міжнародні стандарти з власними безпековими, географічними та ресурсними реаліями. Це потребує міждисциплінарного підходу, державно-приватного партнерства, нормативного оновлення та освітньо-кадрової реформи. Створення сучасної архітектури ВПО має стати не лише інструментом оборони, а й важливим елементом просторової трансформації країни в умовах післявоєнного відновлення.

Список літератури:

- 1) Adaptive reuse of industrial heritage Empirical building and location factors. URL: https://research.tue.nl/files/218776436/Isenia_0434034_ABP_Arentze.pdf?utm_source=chatgpt.com
- 2) Androshchuk, H. (2018). Transfer tekhnolohii v oboronno-promyslovomu kompleksi Ukrainy: problemni pytannia (I chastyna) [Technology Transfer in the Defense Industry of Ukraine: Problematic Issues (Part I)]. Nauka, tekhnolohii, innovatsii [Science, technology, innovation]. № 1. S. 62-71. URL: https://nti.ukrintei.ua/wp-content/uploads/2019/01/2018-1-%D0%90%D0%BD%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%89%D1%83%D0%BA.pdf?utm_source=chatgpt.com
- 3) Hanwha Aerospace. URL: <https://www.hanwha.com/companies/hanwha-aerospace.do>
- 4) IDOM revamps an old military industry building into a vibrant and playful sports centre. URL: https://archello.com/de/news/idom-revamps-an-old-military-industry-building-into-a-vibrant-and-playful-sports-centre?utm_source=chatgpt.com
- 5) Korotun, I., Balaniuk, Y. (2021). Reuse of immovable cultural heritage sites with adaptive elements as a way of preservation and promotion. Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya [Modern problems of architecture and urban planning]. Vypusk 61. C. 94-106.
- 6) Kudriashov, R. Yaka model rozvytku viiskovo-promyslovoho kompleksu korysna dlia Ukrainy? [What model of military-industrial complex development is useful for Ukraine?]. URL: <https://www.pravda.com.ua/columns/2024/05/20/7456693/>
- 7) Manufacturing Gets a Systemic Upgrade with the Digital Factory. URL: https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2021/manufacturing-gets-systemic-upgrade-intelligent-digital-factory.html?utm_source=chatgpt.com
- 8) Pavliuchyuk, V.A. (2020). BIM-tekhnolohii v proektuvanni i budivnytstvi [BIM-technologies in design and construction]. Materialy IX Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv «Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii» [Materials of the IX International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students «Actual Problems of Modern Technologies»]. Ternopil. S. 105-107. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/34579/2/APMT_2020v1_Pavliuchyuk_V_A-BIM_technologies_in_design_103.pdf
- 9) Pro otsinku vplyvu na dovkillia [About the environmental impact assessment]: Zakon Ukrainy [Law of Ukraine]. Vidomosti Verkhovnoi Rady (VVR), 2017, № 29, st. 315. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>
- 10) Rheinmetall Introduces a New Smart Factory on Wheels for the Military. URL: https://manufactur3dmag.com/rheinmetall-introduces-smart-factory-on-wheels/?utm_source=chatgpt.com
- 11) The Role of Industry in Sweden's Total Defence: Past, Present, and Future. URL: <https://nationalpreparednesscommission.uk/publications/the-role-of-industry-in-swedens-total-defence-past-present-and-future-2/>

12) Tkach, I., Syniavskiy, V., Yakovchuk, Ye., Rudyi, M., Korchytskyi, V., Serhienko, R. (2021). Analiz mizhnarodnoho dosvidu z orhanizatsii systemy derzhavnykh zakupivel ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki [Analysis of international experience in organizing the system of state procurement of weapons and military equipment]. Journal of Scientific Papers «Social Development and Security». Vol. 11, №. 2. S. 178-197.

13) Zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu [Protective structures of civil defense]: DBN V.2.2-5:2023. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3225773063500990463?doc_type=2

14) Zero Trust Reference Architecture. Prepared by the Defense Information Systems Agency (DISA) and National Security Agency (NSA) Zero Trust Engineering. July 2022. 104 p. URL: https://dodcio.defense.gov/Portals/0/Documents/Library/%28U%29ZT_RA_v2.0%28U%29_Sep22.pdf?utm_source=chatgpt.com.

International experience in designing military-industrial facilities and its adaptation to Ukrainian realities

Vitaliy Nazaruk

Department of Architecture and Civil Engineering, King Danylo University of Ivano-Frankivsk, Ukraine

ORCID 0009-0004-6923-1736

Abstract: The article provides a comprehensive analysis of the international experience of designing military-industrial facilities (MIFs) in the leading countries of the world – the United States, Israel, South Korea, Germany, Japan, France, and the United Kingdom – with a focus on the principles of modularity, decentralization, digitalization, functional flexibility, and integration into the spatial structure of the state. Particular attention is paid to the concepts of “smart factory”, “smart defense zones”, and adaptive reuse – adaptive reuse of defense infrastructure. It is emphasized that in the context of a full-scale war in Ukraine, it is critical to rethink the IDP's architectural model, considering the geopolitical situation, regional resources, risk level, and regulatory restrictions.

The current state of the defense industry of Ukraine is analyzed, and key problems are identified: technological obsolescence, lack of funding, personnel crisis, and the absence of a single strategic development program. The author substantiates the expediency of developing a national architectural and urban planning concept for the creation and modernization of IDPs focused on mobility, energy efficiency, camouflage, logistics integration, and the ability to promote peaceful transformation. The article also discusses the prospects for attracting private investment, introducing digital technologies (BIM, automated security systems, energy management), integrating into international production networks, and creating specialized educational programs for training defense infrastructure architects.

Particular attention is paid to the peculiarities of decentralized location of military-industrial complex facilities, which is necessary to reduce vulnerability to attacks and increase the flexibility of spatial planning. The European experience of reusing military facilities as a strategy for sustainable development and resource conservation is considered. Examples of the successful transformation of military facilities into technology parks and educational and cultural centers that can serve as a model for post-war reconstruction in Ukraine are given.

Keywords: military-industrial facilities, decentralization, modular architecture, smart factory, Smart Defense Zone, adaptive reuse, defense infrastructure, architectural design.
