

Костянтин І. Удовіченко*

ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД РОЗВИТКУ СТРАТЕГІЧНИХ ГАЛУЗЕЙ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ: РОЛЬ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМ

У статті проаналізовано зарубіжний досвід розвитку стратегічних галузей промисловості в умовах технологічної трансформації з акцентом на роль безпілотних авіаційних систем. Розглянуто підходи провідних країн до інтеграції БПЛА у промислову політику, цифрову інфраструктуру та системи управління. Визначено ключові напрями використання безпілотних технологій у стратегічних секторах і чинники, що забезпечують їхню ефективну імплементацію. Обґрунтовано значення БПЛА як інструменту підвищення стійкості та конкурентоспроможності промислових галузей.

Ключові слова: стратегічні галузі промисловості; технологічна трансформація; безпілотні авіаційні системи; зарубіжний досвід; цифровізація.

Табл. 2. Літ. 11.

DOI: 10.32752/1993-6788-2026-1-295-85-91

Kostiantyn Udovichenko

FOREIGN EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT OF STRATEGIC INDUSTRIAL SECTORS IN THE CONDITIONS OF TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION: THE ROLE OF UNMANNED AVIATION SYSTEMS

The article analyzes foreign experience in the development of strategic industrial sectors under conditions of technological transformation, with a particular focus on the role of unmanned aerial systems. The approaches of leading countries to integrating UAVs into industrial policy, digital infrastructure, and management systems are examined. Key areas of UAV application in strategic sectors and the factors enabling their effective implementation are identified. The study highlights the importance of unmanned technologies as a tool for enhancing resilience and competitiveness of industrial sectors in the context of global technological change.

Keywords: strategic industries; technological transformation; unmanned aerial systems; foreign experience; digitalization.

Peer-reviewed, approved and placed: 08.01.2025.

Постановка проблеми. Глобальні процеси технологічної трансформації суттєво змінюють підходи до розвитку стратегічних галузей промисловості в провідних країнах світу. Під впливом цифровізації, автоматизації та впровадження інтелектуальних систем відбувається переосмислення ролі традиційних виробничих факторів і формування нових моделей промислової політики. У цих умовах стратегічні галузі, зокрема оборонно-промисловий комплекс, енергетика, транспортно-логістична інфраструктура, агропромисловий та гірничо-металургійний сектори, дедалі частіше розглядаються як платформи для впровадження високотехнологічних рішень, здатних забезпечити довгострокову конкурентоспроможність національних економік.

Одним із ключових елементів сучасної технологічної трансформації є безпілотні авіаційні системи, які у зарубіжній практиці виходять за межі

* National Academy of Management. Ukraine.

військового застосування та активно інтегруються у цивільні й промислові процеси. У країнах із розвинутою інноваційною інфраструктурою БПЛА використовуються як інструмент підвищення ефективності управління виробничими об'єктами, моніторингу критичної інфраструктури, забезпечення безпеки та оптимізації використання ресурсів [1]. Таким чином, безпілотні технології стають складовою ширших індустріальних екосистем, що поєднують фізичні активи з цифровими платформами збору та аналізу даних.

Проблематика дослідження полягає у необхідності системного осмислення зарубіжного досвіду розвитку стратегічних галузей промисловості в умовах технологічної трансформації з акцентом на роль безпілотних авіаційних систем. Незважаючи на зростання кількості прикладних досліджень, присвячених окремим аспектам використання БПЛА, у науковому дискурсі все ще відсутній цілісний підхід до аналізу того, яким чином ці технології інтегруються у промислову політику держав, впливають на структуру галузей та формують нові моделі управління виробничими процесами.

Особливої актуальності ця проблема набуває у контексті порівняльного аналізу, оскільки країни, що демонструють успішні практики впровадження БПЛА, поєднують технологічні інновації з інституційною підтримкою, регуляторною гнучкістю та розвитком людського капіталу. У таких умовах безпілотні авіаційні системи розглядаються не лише як окремий технологічний продукт, а як елемент стратегічного планування розвитку промисловості, що забезпечує синергію між державою, бізнесом і науково-дослідним сектором.

Водночас відсутність узагальненого аналізу зарубіжного досвіду ускладнює адаптацію ефективних моделей використання БПЛА до національних умов інших країн. Це зумовлює необхідність дослідження ключових напрямів, механізмів і результатів інтеграції безпілотних авіаційних систем у стратегічні галузі промисловості за кордоном з метою виявлення закономірностей технологічної трансформації та потенційних можливостей трансферу найкращих практик.

Враховуючи вищезазначене, актуальним є не лише узагальнення практик впровадження безпілотних авіаційних систем у стратегічні галузі промисловості провідних країн, а й систематичний аналіз наукових досліджень у цій сфері. Такий аналіз дозволить виокремити ключові технологічні парадигми, нормативно-інституційні підходи та механізми трансформації, що лягатимуть в основу подальшої порівняльної оцінки та синтезу зарубіжного досвіду.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У науковій літературі останніх років спостерігається суттєве зростання кількості досліджень, присвячених застосуванню безпілотних авіаційних систем (БПЛА) у різних галузях промисловості, зокрема у контексті технологічної трансформації стратегічних секторів. Важливим джерелом узагальнення сучасних тенденцій є тематичні спецвипуски міжнародного журналу «Drones», що фокусуються на критичних промислових застосуваннях БПЛА, включно з інспекцією, технічним

обслуговуванням, моніторингом безпеки та оцінюванням екологічного стану об'єктів з підвищеним ризиком для людей і обладнання (наприклад, атомні чи нафтові об'єкти) — цей напрям підкреслює важливість безпілотних технологій у забезпеченні безпеки й ефективності промислових систем у зарубіжній практиці.

Окремі оглядові праці зосереджуються на технічних аспектах впровадження БПЛА у промислові операції. Так, роботи, що аналізують архітектуру систем для реального часу інспекції поверхонь із використанням роїв безпілотників, демонструють, що координація кількох БПЛА із використанням Інтернету речей (IoT) та алгоритмів оптимізації дозволяє автоматизувати складні процеси контролю стану інфраструктури, що є важливим для масштабних промислових об'єктів від енергетичних мереж до будівельних споруд [4, с.2926-2927]. Цей підхід відповідає загальносвітовим тенденціям цифрового трансформування виробництва та індустрії 4.0, де автоматизовані системи й безпілотні платформи виступають як джерело оперативних даних для управлінських рішень. Інший напрям досліджень присвячений інспекції та моніторингу великих інфраструктурних об'єктів у промислових умовах. Комплексні огляди літератури показують, що безпілотні системи можуть значно зменшити часові та фінансові витрати на інспекцію, підвищити безпеку праці, а також покращити якість технічної діагностики порівняно з традиційними методами — такі висновки містяться в оглядах робіт, що досліджують безпілотні інспекції та неруйнівний контроль великих промислових об'єктів та споруд [7, с.15].

Значна увага приділяється інтеграції БПЛА із системами обробки даних, зокрема у поєднанні з електронними сенсорними системами й штучним інтелектом. Аналіз останніх досліджень з акцентом на автоматичну обробку даних й автономний контроль демонструє, що застосування алгоритмів передбачуваної навігації, глибокого навчання та складних контролерів може значно покращити ефективність і точність виконання промислових місій безпілотниками — це важливо для складних секторів, таких як енергетика та виробництво [2, с.401; 10].

Слід відзначити, що у ряді наукових праць розглядається моніторинг енергетичної інфраструктури — від фотоелектричних та вітрових електростанцій до теплових мереж і ліній електропередач. Авіаційні платформи із мультисенсорними наборами дозволяють проводити регулярні обстеження технічного стану елементів системи енергетики, що відповідає пріоритетам цифрового трансформування енергетичного сектора в країнах ЄС та США та сприяє підвищенню його надійності та стійкості до техногенних загроз [6]. Разом з тим, огляд зарубіжних досліджень також вказує на існування суттєвих технологічних і регуляторних бар'єрів. Так, питання автономності польотів у складних промислових умовах, локалізації всередині об'єктів, обробки великих масивів даних у реальному часі та інтеграції з існуючими системами управління виділяються як основні технічні виклики, що потребують подальших досліджень і стандартів для повсюдного впровадження БПЛА у промислових секторах.

Отже, аналіз нещодавніх досліджень показує, що зарубіжна наукова спільнота активно розвиває тематику використання безпілотних авіаційних

систем у стратегічних галузях промисловості. Однак більшість праць сфокусовані на окремих прикладних аспектах або технологічних рішеннях, тоді як системний міжгалузевий аналіз практик, що інтегрують БПЛА в стратегію розвитку промислових секторів, поки що залишається фрагментарним, що підкреслює необхідність подальших досліджень у цій галузі.

Мета дослідження. Метою дослідження є узагальнення зарубіжного досвіду розвитку стратегічних галузей промисловості в умовах технологічної трансформації, враховуючи роль БПЛА.

Основні результати дослідження. Зарубіжний досвід розвитку стратегічних галузей промисловості свідчить, що безпілотні авіаційні системи розглядаються як важливий елемент технологічної трансформації, спрямованої на підвищення ефективності, безпеки та стійкості виробничих систем. У провідних країнах світу БПЛА інтегруються у довгострокові стратегії промислового розвитку як складова цифрових інфраструктур, що поєднують фізичні активи з аналітичними та управлінськими платформами.

Так, у США розвиток безпілотних технологій у стратегічних галузях промисловості здійснюється в межах комплексної екосистеми, що об'єднує державні агентства, приватні корпорації та науково-дослідні установи. БПЛА активно застосовуються в енергетиці для інспекції ліній електропередач, нафтогазової інфраструктури та об'єктів відновлюваної енергетики [9, с.21-25]. Ключовою особливістю американського підходу є масштабна інтеграція безпілотних систем із хмарними платформами та системами штучного інтелекту, що забезпечує обробку великих обсягів даних і підтримку управлінських рішень у режимі реального часу.

В свою чергу, Європейський Союз демонструє інший акцент, зосереджуючись на регуляторній гармонізації та екологічному вимірі використання БПЛА. У стратегічних галузях промисловості країн ЄС безпілотні системи використовуються для екологічного моніторингу, контролю промислових викидів, технічного обслуговування транспортної інфраструктури та підтримки логістичних мереж. Важливим аспектом є узгодження застосування БПЛА з принципами сталого розвитку та Цілей сталого розвитку, що сприяє формуванню «зеленої» промислової політики [8].

Досвід Ізраїлю характеризується високим рівнем технологічної автономності безпілотних систем та їх інтеграцією у критичні інфраструктурні й промислові об'єкти [4, с.462]. БПЛА використовуються не лише для моніторингу, а й як елемент систем превентивної безпеки та оперативного реагування. Такий підхід формує модель, у якій безпілотні системи виступають інструментом управління ризиками в умовах підвищеної невизначеності.

Країни Азії, зокрема Південна Корея та Японія, розглядають БПЛА як складову концепції смарт-індустрії. У стратегічних галузях промисловості безпілотні системи інтегруються з робототехнікою, інтернетом речей та цифровими двійниками виробничих процесів [10, с. 48574]. Це дозволяє створювати гнучкі виробничі моделі, орієнтовані на автоматизацію, точне планування та мінімізацію людського фактора у небезпечних умовах.

Коротке узагальнення підходів до використання БПЛА у стратегічних галузях промисловості наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльні підходи до використання БПЛА у стратегічних галузях промисловості, узагальнено автором на основі [4; 8; 9; 10]

Регіон/країна	Ключовий акцент	Основні галузі
США	Цифрові платформи, штучний інтелект	Енергетика, ОПК
ЄС	Регулювання, екологія	Транспорт, енергетика
Ізраїль	Безпека, автономність	ОПК, інфраструктура
Південна Корея	Смарт-індустрія	Логістика
Японія	Смарт-індустрія	Виробництво

В свою чергу, в таблиці 2 наведемо функціональну роль БПЛА у технологічній трансформації промисловості.

Таблиця 2. Функціональна роль БПЛА у технологічній трансформації промисловості, складено автором

Функція	Опис
Моніторинг	Збір просторових і технічних даних
Інспекція	Контроль стану інфраструктури
Аналітика	Підтримка управлінських рішень
Безпека	Зменшення ризиків для персоналу
Планування	Формування цифрових моделей

Порівняльний аналіз зарубіжного досвіду свідчить, що ефективність використання БПЛА у стратегічних галузях промисловості визначається не стільки рівнем технологічної складності самих систем, скільки ступенем їх інституційної інтеграції. Країни, які розглядають безпілотні авіаційні системи як елемент промислової політики, досягають більш стійких результатів у модернізації галузей, ніж ті, де БПЛА використовуються виключно як локальне технічне рішення.

У цьому контексті зарубіжний досвід демонструє, що БПЛА формують основу нових моделей управління стратегічними галузями промисловості, у яких поєднуються цифровізація, автоматизація та системне управління ризиками. Саме така конфігурація забезпечує технологічну трансформацію промисловості в умовах глобальних викликів і зростаючої конкуренції.

Додатковим аспектом зарубіжного досвіду є формування національних та наднаціональних екосистем розвитку безпілотних авіаційних систем, у межах яких стратегічні галузі промисловості виступають основними споживачами інновацій [3, с.24]. У країнах із розвинутою промисловою політикою БПЛА інтегруються в програми цифрової трансформації не ізольовано, а як складова комплексних рішень, що поєднують апаратне забезпечення, програмні платформи та аналітичні інструменти. Такий підхід дозволяє використовувати безпілотні системи не лише для оперативного контролю, але й для довгострокового планування модернізації промислових об'єктів, управління

ризиками та оптимізації ресурсних потоків. У результаті БПЛА стають інструментом стратегічного управління, що забезпечує адаптацію промислових галузей до умов технологічної невизначеності та глобальної конкуренції.

Висновки. Зарубіжний досвід розвитку стратегічних галузей промисловості в умовах технологічної трансформації свідчить про зростаючу роль безпілотних авіаційних систем як інструменту підвищення ефективності, безпеки та адаптивності виробничих і інфраструктурних процесів. У провідних країнах світу БПЛА розглядаються не як допоміжна технологія, а як структурний елемент цифрової індустріальної екосистеми, що поєднує фізичні активи з аналітичними та управлінськими платформами.

Аналіз зарубіжних практик показує, що найбільш результативними є ті моделі, у яких використання безпілотних систем інтегрується в довгострокові стратегії розвитку стратегічних галузей, зокрема енергетики, транспортної інфраструктури, оборонно-промислового комплексу та високотехнологічного виробництва. У таких моделях БПЛА виконують багатофункціональну роль — від інструмента оперативного моніторингу та інспекції до джерела даних для стратегічного планування та управління ризиками.

Порівняльний аналіз підходів США, Європейського Союзу, Ізраїлю, Південної Кореї та Японії демонструє, що ключовими чинниками успішного впровадження БПЛА є інституційна підтримка, гнучке регуляторне середовище, розвиток цифрової інфраструктури та інтеграція безпілотних систем із технологіями штучного інтелекту, інтернету речей і цифрових двійників. Водночас фрагментарне або виключно технічне використання БПЛА обмежує їхній потенціал і не забезпечує системного ефекту для розвитку промислових галузей.

Отримані результати свідчать, що безпілотні авіаційні системи формують основу нових управлінських і виробничих моделей у стратегічних галузях промисловості, сприяючи підвищенню стійкості до зовнішніх викликів, зменшенню виробничих ризиків і оптимізації ресурсного забезпечення. Узагальнення зарубіжного досвіду створює аналітичне підґрунтя для подальших досліджень, спрямованих на адаптацію ефективних моделей використання БПЛА до національних умов країн, що перебувають у фазі глибокої структурної трансформації економіки.

1. Капочкіна М.Б., Сарай В.В. Світовий досвід та перспективи використання безпілотних літальних апаратів. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/2824f25e-d9e4-46ca-a821-89b8b894c6be/content>

2. Похиленко І. С. Роль і значення безпілотних літальних апаратів у авіаційній діяльності. Альманах права. Правові засади нормотворчої діяльності: національний і зарубіжний досвід: до 75-річчя Інституту держави і права імені В. М. Корецького НАН України, 1949–2024. Київ: Інститут держави і права імені В. М. Корецького НАН України. 2024. Вип. 15. С. 399-404.

3. Сметанін К.В. Особливості використання безпілотних літальних апаратів в екологічному моніторингу. Системи управління, навігації та зв'язку. 2018. №3 (49). С.22-25.

4. Floreano D, Wood R.J. Science, technology and the future of small autonomous drones. Nature. 2015 №28;521(7553). Pp. 460-466. <https://doi.org/10.1038/nature14542>.

5. Hoang V.T., Phung M.D., Dinh T.H., Ha Q.P. System Architecture for Real-Time Surface Inspection Using Multiple UAVs. IEEE Systems Journal. 2020. №14(2). Pp. 2925-2936. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2019.2922290>.

6. Jakubiak M., Sroka K., Maciuk K., Abazeed A., Kovalova A., Santos L. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in the Energy and Heating Sectors: Current Practices and Future Directions. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/19/1/5>
7. Nooralishahi P., Ibarra-Castanedo C., Deane S., Lopez F., Pant S., Genest M., Avdelidis N. P., Maldague X.P.V. Drone-Based Non-Destructive Inspection of Industrial Sites: A Review and Case Studies. *Drones*. 2021. № 5(106). Pp. 1-29. <https://doi.org/10.3390/drones5040106>
8. OECD. OECD Economic Outlook: a long unwinding road. OECD Publishing. Paris. 2023. <https://doi.org/10.1787/ce188438-en>.
9. PwC Drone Powered Solutions. Report. 2024. 44 p.
10. Shakhathreh S., Sawalmeh A.H., Al-Fuqaha A., Dou Z., Almaita E., Khalil I. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges. *IEEE Access*. 2019. №7. Pp. 48572-48634, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909530>
11. Tse K.-W., Pi R., Sun Y., Wen C.-Y., Feng Y. A Novel Real-Time Autonomous Crack Inspection System Based on Unmanned Aerial Vehicles. *Sensors*. 2023. №23(7). URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/7/3418>

1. Kapochkina M.B., Sarai V.V. Svitovyi dosvid ta perspektyvy vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/2824f25e-d9e4-46ca-a821-89b8b894c6be/content>
2. Pokhylko I. S. Rol i znachennia bezpilotnykh litalnykh aparativ u aviatsiini diialnosti. Almanakh prava. Pravovi zasady normotvorchoi diialnost: natsionalnyi i zarubizhnyi dosvid: do 75-riichchia Instytutu derzhavy i prava imeni V. M. Koretskoho NAN Ukrainy, 1949–2024. Kyiv: Instytut derzhavy i prava imeni V. M. Koretskoho NAN Ukrainy. 2024. Vyp. 15. S. 399-404.
3. Smetanin K.V. Osoblyvosti vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ v ekolohichnomu monitorynhu. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*. 2018. №3 (49). S.22-25.
4. Floreano D, Wood R.J. Science, technology and the future of small autonomous drones. *Nature*. 2015 №28;521(7553). Rr. 460-466. <https://doi.org/10.1038/nature14542>.
5. Hoang V.T., Phung M.D., Dinh T.H., Ha Q.P. System Architecture for Real-Time Surface Inspection Using Multiple UAVs. *IEEE Systems Journal*. 2020. №14(2). Rp. 2925-2936. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2019.2922290>.
6. Jakubiak M., Sroka K., Maciuk K., Abazeed A., Kovalova A., Santos L. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in the Energy and Heating Sectors: Current Practices and Future Directions. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/19/1/5>
7. Nooralishahi P., Ibarra-Castanedo C., Deane S., Lopez F., Pant S., Genest M., Avdelidis N. P., Maldague X.P.V. Drone-Based Non-Destructive Inspection of Industrial Sites: A Review and Case Studies. *Drones*. 2021. № 5(106). Rr. 1-29. <https://doi.org/10.3390/drones5040106>
8. OECD. OECD Economic Outlook: a long unwinding road. OECD Publishing. Paris. 2023. <https://doi.org/10.1787/ce188438-en>.
9. PwC Drone Powered Solutions. Report. 2024. 44 p.
10. Shakhathreh S., Sawalmeh A.H., Al-Fuqaha A., Dou Z., Almaita E., Khalil I. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges. *IEEE Access*. 2019. №7. Rp. 48572-48634, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909530>
11. Tse K.-W., Pi R., Sun Y., Wen C.-Y., Feng Y. A Novel Real-Time Autonomous Crack Inspection System Based on Unmanned Aerial Vehicles. *Sensors*. 2023. №23(7). URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/7/3418>