

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-297-11-96-105>

УДК 338.45:351.863

ОЦІНЮВАННЯ ГОТОВНОСТІ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ ДО ІНДУСТРІЇ 5.0 В КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТА ЗЕЛЕНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ¹

Хандій О.О.

ASSESSMENT OF THE READINESS OF UKRAINIAN INDUSTRY FOR INDUSTRY 5.0 IN THE CONTEXT OF ENSURING ECONOMIC SECURITY IN THE CONTEXT OF DIGITAL AND GREEN TRANSFORMATION

Khandii O.O.

У статті обґрунтовано методологічні засади оцінювання готовності промисловості України до переходу до Індустрії 5.0 в контексті забезпечення економічної безпеки в умовах цифрової та зеленої трансформації. Доведено, що сучасна парадигма Індустрії 5.0, орієнтована на людиноцентричність, стійкість і поєднання технологічного прогресу зі сталим розвитком, потребує розширення традиційних підходів до вимірювання готовності промислових систем. Запропоновано інтегровану аналітичну модель типу «security–ecology–technology nexus», що поєднує логіку risk–impact–readiness та дозволяє системно оцінити взаємозв'язок між ризиками цифрової і зеленої трансформації, їх економічними наслідками та здатністю промисловості до адаптації. У межах моделі структурна готовність визначається через агрегування трьох компонентів: безпекової та інституційної спроможності (Security readiness), екологічної та кліматичної стійкості (Ecological readiness), технологічної й людиноцентричної готовності (Technological & human readiness). На цій основі сформовано Індекс готовності до Індустрії 5.0 (I5RI), що інтегрує показники міжнародних рейтингів і офіційних статистичних джерел, забезпечуючи порівнюваність України з країнами ЄС. Обґрунтовано доцільність запровадження розширеної моделі I5RI_{ext} із коригувальною функцією, яка враховує рівень зовнішніх і внутрішніх ризиків та масштаб їх економічного впливу. Такий підхід

дозволяє розмежувати формальну структурну готовність та фактичну стійкість у реальних умовах функціонування, мінімізуючи ефект «ілюзорної готовності», коли високі технологічні показники не супроводжуються зниженням втрат або підвищенням резильєнтності економічної системи. Доведено, що інтеграція безпекового виміру в оцінювання готовності до Індустрії 5.0 забезпечує більш об'єктивну характеристику здатності промисловості протидіяти кіберзагрозам, ресурсній залежності, кліматичним екстремумам та інституційним дисбалансам. Практичне значення результатів полягає у можливості використання індексу I5RI та його розширеної версії як інструменту стратегічного планування, моніторингу економічної безпеки та формування комплексної промислової політики, спрямованої на поєднання цифрової модернізації, декарбонізації та зміцнення технологічного суверенітету України.

Ключові слова: економічна безпека; промисловість; Індустрія 5.0; цифрова трансформація; зелена трансформація; людиноцентричність; I5RI.

Вступ. Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується одночасним розгортанням цифрової та зеленої трансформації, що формують нову парадигму промислового розвитку — Індустрію 5.0. Її

¹ Дослідження виконано в межах «Комплексного наукового дослідження щодо актуалізації промислової політики України на принципах Індустрій 4.0 та 5.0» Інституту економіки промисловості НАН України за рахунок бюджетних коштів, спрямованих на забезпечення проведення державними науковими установами наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок за результатами державної атестації та бюджетної теми «Забезпечення повоєнної розбудови промисловості України робочою силою»(КПКВК6541030).

ключовими ознаками є людиноцентричність, стійкість і поєднання технологічного прогресу з екологічною відповідальністю. Водночас для України процес переходу до цієї моделі відбувається в умовах високої безпекової нестабільності, ресурсних обмежень та необхідності повоєнного відновлення, що істотно актуалізує проблему забезпечення економічної безпеки.

Традиційні підходи до оцінювання готовності до Індустрії 4.0 та 5.0 зосереджуються на рівні цифровізації, інноваційності та розвитку людського капіталу, проте недостатньо враховують вплив безпекових, кліматичних та екологічних загроз на функціонування промисловості. За таких умов формальна технологічна готовність може не трансформуватися у реальну економічну стійкість. Це зумовлює необхідність розроблення інтегрованого методичного підходу, який дозволив би поєднати оцінювання технологічної модернізації з аналізом системної уразливості та ризиків.

Актуальність дослідження визначається потребою формування аналітичного інструментарію, здатного забезпечити обґрунтованість стратегічних рішень у сфері промислової політики, узгодження цифрової та зеленої трансформації з пріоритетами економічної безпеки, а також сприяти процесу конвергенції України з європейською моделлю Індустрії 5.0.

Метою статті є розроблення методологічних засад оцінювання готовності промисловості України до переходу до Індустрії 5.0 в контексті забезпечення економічної безпеки в умовах цифрової та зеленої трансформації з урахуванням впливу безпекових, екологічних і кліматичних загроз.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Для кількісного оцінювання спроможності національної промисловості до переходу від технологічно орієнтованої моделі Індустрії 4.0 до людиноцентричної, стійкої та резильєнтної парадигми Індустрії 5.0 в різних дослідженнях пропонується індекс готовності до Індустрії 5.0 (Industry 5.0 Readiness Index, I5RI). Автори роботи [1] вимірюють I5RI за допомогою 27 показників за чотирма ключовими вимірами: цифрова трансформація, орієнтація на людину, сталий розвиток та інновації/стійкість системи. Методика оцінки Індексу Індустрії 5.0, створена Форумом Олівера Ваймана та Каліфорнійським університетом у Берклі (The Industry 5.0 Index (Oliver Wyman Forum у співпраці з University of

California, Berkeley)), вимірює готовність країн реалізувати потенціал ери Індустрії 5.0 за 30 показниками за трьома напрямками: талант, сталий розвиток та стійкість. За цією методикою - Україна знаходиться на 77 місці з 92 країн, за якими було здійснено їх порівняння [2]. В дослідженні вітчизняних вчених, які визначали індекс за трьома напрямками: високотехнологічність, людиноцентричність та екологічна стійкість, Україна отримала оцінку 0,422, яка вказує на "необхідність проведення масштабних реформ та інвестицій" [3]. Існуючі методики оцінювання готовності до Індустрії 5.0 не враховують фактичну стійкість в реальних умовах функціонування, зокрема інтенсивність загроз та економічні і виробничі втрати, що обумовило вибір напрямку дослідження.

Виклад основного матеріалу. Для подолання фрагментарності аналізу безпекових та екологічних викликів і забезпечення їх системного осмислення пропонується до застосування інтегрована аналітична модель типу «безпека–екологія–технології» (security–ecology–technology nexus), що поєднує логіку «ризик–вплив–готовність» (risk–impact–readiness) та дозволяє ідентифікувати, структурувати й інтерпретувати комплексні ризики розвитку національної промисловості в умовах переходу до Індустрій 4.0 та 5.0 (модель інтеграції risk → impact → readiness базується на стандартах ISO 31000/31010 щодо класифікації та оцінювання ризиків, практиках управління ризиками у проєктних та цифрових системах (ймовірність × вплив), а також на парадигмі Industry 5.0 Європейської Комісії, що акцентує увагу на людиноцентричності та орієнтації на сталий розвиток). У межах цього підходу безпекові та екологічні виклики розглядаються не як ізольовані загрози, а як взаємопов'язані елементи єдиної системи, де технологічні рішення, екологічні обмеження та інституційна спроможність формують спільний простір ризиків і можливостей. Такий підхід відповідає сучасній європейській науковій та політичній парадигмі, у межах якої безпека, сталий розвиток і технологічна трансформація розглядаються як взаємозалежні компоненти економічної стійкості [4, 5].

Компонент risk у цій моделі охоплює сукупність безпекових та екологічних загроз, що виникають у процесі цифровізації та індустріальної модернізації. Йдеться про технологічні ризики (кіберуразливість, залежність від зовнішніх цифрових платформ, вразливість CPS та IoT), екологічні ризики

(зростання енергоспоживання, вуглецевий та водний слід цифрової інфраструктури, електронні відходи), а також кліматичні ризики, які дедалі більше впливають на фізичну та цифрову промислову інфраструктуру. У межах Індустрії 4.0 ці ризики мають переважно технологічно орієнтований характер, тоді як у парадигмі Індустрії 5.0 вони доповнюються ціннісно орієнтованими вимірами, пов'язаними з людиноцентричністю, соціальною відповідальністю та стійкістю.

Компонент *impact* дозволяє оцінити, яким чином зазначені ризики трансформуються у конкретні наслідки для промислових підприємств, галузей і національної економіки загалом. Йдеться про вплив на безперервність виробничих процесів, надійність ланцюгів створення вартості, інвестиційну привабливість, конкурентоспроможність та здатність підприємств інтегруватися у європейські виробничі та технологічні екосистеми. У цьому вимірі екологічні виклики безпосередньо перетинаються з безпековими: зростання енергетичних витрат або дефіцит водних ресурсів під впливом кліматичних змін не лише погіршують екологічні показники, але й створюють ризики зупинки виробництв, зниження продуктивності та втрати ринків. Для цифрових виробництв додатковим наслідком стає підвищення вразливості до інфраструктурних збоїв та зростання операційних витрат, що особливо критично в умовах високої автоматизації.

Компонент *readiness* відображає рівень готовності промисловості, інституцій та державної політики до управління цими ризиками та пом'якшення їх негативних наслідків. Він включає технологічну готовність (здатність впроваджувати енергоефективні, безпечні та екологічно орієнтовані технології), інституційну готовність (наявність чітких регуляторних рамок, стандартів безпеки, екологічних норм) та організаційну готовність підприємств до адаптації виробничих і управлінських процесів. У парадигмі Індустрії 5.0 *readiness* також охоплює соціальну складову — готовність людського капіталу до роботи у людино-машинних системах, сприйняття змін та участь у формуванні стійких виробничих практик.

Розглянута модель *security–ecology–technology nexus* дозволяє подолати обмеження суто описового підходу та сформуванню аналітичної рамки, в межах якої безпекові та екологічні виклики можуть бути ієрархізовані,

співвіднесені між собою та інтегровані у стратегічне бачення промислового розвитку. Вона створює підґрунтя для переходу від фіксації проблем до розробки політик і управлінських рішень, спрямованих на підвищення стійкості промисловості в умовах цифрової та зеленої трансформації.

Отже, застосування моделі *risk–impact–readiness* у поєднанні з підходом *security–ecology–technology nexus* забезпечує методологічну цілісність дослідження та відповідає сучасним вимогам аналізу складних соціально-технічних систем, характерних для Індустрій 4.0 та 5.0 [6-8 та ін.]. Вона дозволяє розглядати промислову трансформацію не лише як технологічний процес, а як багатовимірний перехід, що потребує узгодження безпекових, екологічних і технологічних пріоритетів у довгостроковій перспективі.

У межах компонента *risk* кількісна оцінка здійснюється через показники, що відображають інтенсивність екологічних і безпекових загроз. До них слід включати, зокрема, енергоємність промислового виробництва, вуглецеву інтенсивність ВВП, частку імпортованих критичних ресурсів, а також індекси кібербезпеки та цифрової залежності.

Компонент *impact* моделі конкретизується через показники, що відображають наслідки зазначених ризиків для економічної динаміки та конкурентоспроможності промисловості. До них мають бути віднесені втрати виробництва внаслідок кліматичних екстремумів, зміни обсягів промислового експорту, інвестиційна активність у високотехнологічних секторах, а також частка доданої вартості, створеної в галузях з високою цифровою інтенсивністю.

Компонент *readiness* кількісно оцінюється за допомогою індексів готовності та спроможності до трансформації, зокрема *Digital Economy and Society Index (DESI)*, *Eco-Innovation Index*, *Global Innovation Index*, а також показників інвестицій у дослідження та розробки, енергоефективні та цифрові технології. Порівняльний аналіз України та країн ЄС за цими індикаторами дозволяє виявити структурні розриви у готовності до впровадження Індустрії 4.0 і, особливо, Індустрії 5.0, яка потребує не лише технологічної, але й соціально-екологічної зрілості.

Використання індексного підходу у поєднанні з логікою *risk–impact–readiness* дозволяє не лише порівнювати країни чи регіони, але й проводити сценарний аналіз. Зокрема, моделювання сценаріїв «інерційного розвитку» та «прискореної трансформації» дає змогу

оцінити, як зміна ключових параметрів — енергоефективності, частки відновлюваної енергії, рівня цифровізації виробництва — впливатиме на зниження екологічних і безпекових ризиків у середньо- та довгостроковій перспективі. Такий підхід узгоджується з практиками стратегічного прогнозування ЄС, де кількісні сценарії використовуються для обґрунтування політик сталого та цифрового переходу [5].

У цьому дослідженні як базову порівняльну основу використано методику The Industry 5.0 Index, водночас запропоновано її адаптацію до умов України. Вона ґрунтується на концепції security–ecology–technology nexus і передбачає інтеграцію безпекових та екологічних ризиків через логіку risk–impact–readiness та коригувальну функцію. Зокрема, структурна готовність промисловості до переходу до Індустрії 5.0 оцінюється агрегованим індексом I5RI як функція трьох компонентів: S (Security readiness), E (Ecological readiness) та T (Technological & human readiness), тоді як фактична стійкість такої готовності в реальних умовах функціонування уточнюється за допомогою коригуючої функції $f(R,I)$, що враховує рівень ризиків (R) та масштаб їхнього економіко-соціального впливу (I). Це дає змогу відокремити формальну оцінку готовності від її реальних наслідків, коли високі значення індексу не супроводжуються ані скороченням втрат, ані зростанням резильєнтності економічної системи:

$$I5RI = \alpha S + \beta E + \gamma T, \quad (1)$$

де S (Security readiness) — рівень безпекової та інституційної спроможності;

E (Ecological readiness) — екологічна та кліматична стійкість виробництва;

T (Technological & human readiness) — технологічна та людиноцентрична готовність;

$\alpha + \beta + \gamma = 1$, де у базовій моделі $\alpha = 0,33$, $\beta = 0,33$, $\gamma = 0,34$ (використано рівновагові ваги як нейтральне припущення).

Компонент S (Security readiness) пропонується оцінювати за показниками: кіберстійкості промислових систем; регуляторної визначеності; захисту промислової

інтелектуальної власності; безпеки ланцюгів створення вартості.

Компонент E (Ecological readiness) в запропонованій моделі включає вуглецеву та енергоємність виробництва; залежність від водних ресурсів; частку ВДЕ; наявність circular manufacturing практик; управління електронними відходами (e-waste) та критичними матеріалами.

Компонент T (Technological & human readiness) формується на основі цифрової інтенсивності виробництва; рівня впровадження AI, CPS, Digital Twins; якості людського капіталу; людиноцентричності. Важливими в процесі оцінки є також показники людино-машинної взаємодії (Human-Machine Interaction, HMI) та відповідності принципам людиноцентричного підходу (human-centric design (HCD)), проте єдиного публічного глобального рейтингу для них немає, існує лише потужна система стандартів, аналітики та регуляторних вимог, яка формує об'єктивні критерії для вимірювання якості HMI та HCD на всіх рівнях, зокрема ISO 9241-210, директиви 89/391/ЄЕС.

Індекс I5RI дозволяє порівнювати країни та регіони, оцінювати прогрес переходу від Індустрії 4.0 до 5.0, виявляти структурні «вузькі місця» промислової політики, обґрунтовувати інвестиційні та регуляторні рішення. Перелік показників кожної складової може варіюватися залежно від цілей дослідження та доступу до об'єктивної інформації з урахуванням принципу достатності та принципу доцільності їх застосування в конкретних інституційних і технологічних умовах. В запропонованому варіанті перелік показників обрано як мінімально достатній і методологічно обґрунтований набір для визначення кожного компонента.

Деталізація показників моделі подано в табл. 1. Запропонований індекс I5RI не дублює існуючі міжнародні індекси, а формує інтегровану аналітичну рамку на основі офіційно вимірюваних показників Eurostat, OECD, World Bank, ENISA та інших інституцій. Таким чином, кожен компонент індексу базується на статистичних даних, а їх агрегування відповідає підходам до побудови композитних індикаторів, рекомендованих OECD та Європейською Комісією.

Таблиця 1

**Показники для оцінки готовності промисловості до впровадження Індустрій 4.0 та 5.0
(основа для розрахунку I5RI)**

Напрямок оцінки	Показник	Одиниця виміру	Основне джерело даних	Доступність для України	Релевантність
1	2	3	4	5	6
Компонент S — Security readiness (безпекова та інституційна спроможність)					
Кіберстійкість	Global Cybersecurity Index	індекс (0–100)	International Telecommunication Union (ITU)	Так	14.0 / 15.0
Кібербезпека промисловості	Industrial cybersecurity maturity	бали / рейтинг	European Union Agency for Cybersecurity, NIS2 reports	Частково	14.0
Регуляторна визначеність	Regulatory Quality Index	індекс	World Bank (Worldwide Governance Indicators (WGI))	Так	14.0 / 15.0
Захист інтелектуальної власності	International IP Index	індекс	World Intellectual Property Organization (WIPO), U.S. Chamber of Commerce, Global Innovation Policy Center (U.S. Chamber)	Так	14.0
Інституційна довіра	Rule of Law Index	індекс	World Justice Project	Так	15.0
Безпека ланцюгів вартості	Supply Chain Resilience Indicators	індекс	Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)	Частково	15.0
Технологічний суверенітет	Частка імпорту критичних технологій	%	Statistical Office of the European Union (Eurostat), United Nations International Trade Statistics Database (UN Comtrade)	Так	15.0
Компонент E — Ecological readiness (екологічна та кліматична стійкість)					
Вуглецева інтенсивність	CO ₂ / ВВП	т / млн євро	Eurostat, World Bank	Так	14.0 / 15.0
Енергоємність	Energy intensity of industry	toe / €	International Energy Agency (IEA), Eurostat	Так	14.0
Частка ВДЕ	Renewable energy share in industry	%	Eurostat, IEA	Так	15.0
Водна залежність	Water stress index	індекс	Food and Agriculture Organization's AQUASTAT (FAO AQUASTAT)	Так	15.0
Циркулярність	Circular material use rate	%	Eurostat	Частково	15.0
E-waste	E-waste generated per capita	кг/особу	The Global E-waste Statistics Partnership (GESP) & its report "The Global E-waste Monitor"	Так	14.0 / 15.0
Критичні матеріали	Import dependency (CRM)	%	European Commission Critical Raw Materials (EC CRM) reports	Частково	15.0
Компонент T — Technological & human readiness (технологічна та людиноцентрична готовність)					
Цифрова інтенсивність	Digital Intensity Index	індекс	Eurostat	Частково	14.0
AI та Big Data	Enterprises using AI / Big Data	%	Eurostat, OECD	Частково	14.0
CPS та IoT	Smart manufacturing adoption	%	OECD, McKinsey Global Institute (McKinsey)	Обмежено	14.0
Digital Twins	Use of digital twins in industry	%	European Commission's Joint Research Centre (EC JRC)	Обмежено	14.0 / 15.0

Прожовження табл. 1

1	2	3	4	5	6
Людський капітал	Human Capital Index	індекс	World Bank	Так	15.0
Цифрові навички	Digital skills of workforce	%	Eurostat, Digital Economy and Society Index (DESI) - щорічний звіт Європейської Комісії	Частково	14.0 / 15.0
Lifelong learning	Adult learning participation	%	Eurostat	Так	15.0
Людиноцентричність	Job quality index	індекс	OECD	Так	15.0

Складено автором

Таблиця 2

Інтегральні показники для моделі security–ecology–technology nexus, що поєднує логіку risk–impact–readiness

Компонент	Показник	Основне джерело даних	Доступність для України
1	2	3	4
Risk	Частка імпорту критичних ресурсів	Європейська Комісія (в звітах про критичні матеріали), Світовий банк, Міжнародне енергетичне агентство (IEA) для енергоносіїв	Так, але переважно на рівні аналітичних досліджень
Impact	Втрати виробництва від кліматичних екстремумів	Світовий банк (звіти про кліматичний ризик та ризик катастроф), UN Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) у Global Assessment Report, Munich Re (страхова компанія, публікує щорічну статистику)	Так, але дані фрагментарні
Impact	Частка високотехнологічного експорту	Всесвітній банк (ключове джерело), OECD	Так
Readiness	Eco-Innovation Index	Європейська Комісія (DG ENV) разом з Європейським інститутом інновацій і технологій (EIT)	Ні, але окремі компоненти індексу можна оцінити за даними Держстату (енергоєфективність, витрати на охорону довкілля)
Readiness	Global Innovation Index	Всесвітня організація інтелектуальної власності (WIPO) спільно з партнерами (INSEAD, Cornell University)	Так
Readiness	DESI	Європейська Комісія (DG CONNECT) на основі даних Євростату та інших джерел	Так

Складено автором

Компоненти S (Security readiness), E (Ecological readiness) та T (Technological & human readiness) у моделі I5RI відображають структурну готовність системи, тобто здатність промисловості реагувати на виклики.

Показники логіки risk–impact–readiness виконують аналітичну функцію:

risk — інтенсивність та ймовірність зовнішніх і внутрішніх загроз;

impact — фактичні або потенційні економічні наслідки реалізації цих загроз;

readiness — здатність системи протидіяти або адаптуватися.

Зазначені вище переліки показників компонентів risk, impact та readiness

відображають концептуально можливе поле оцінювання. Водночас для побудови агрегованого індексу I5RI в межах цього дослідження використано обмежений набір інтеграційних показників, які виконують репрезентативну функцію та забезпечують порівнюваність України з країнами ЄС на основі доступних і верифікованих статистичних джерел. Відбір інтеграційних показників (табл. 2) здійснювався за принципами достатності, доцільності та відсутності мультиколінеарності, що відповідає практикам побудови композитних індексів у дослідженнях ЄС та Організації економічного співробітництва та розвитку

(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD).

Інтегральні показники використовуються для контекстуалізації значень S , E , T , для сценарного аналізу та калібрування індексу, для перевірки узгодженості рівня готовності з рівнем ризиків та впливів. *Readiness* є структурною, внутрішньою характеристикою системи, тоді як *risk* та *impact* — зовнішні, контекстні шоки, що змінюють реалізацію цієї готовності, але не саму її наявність.

Модель I5RI має два аналітичні рівні:

Рівень 1 — Структурна готовність (*core index*):

$$I5RI_{core} = \alpha S + \beta E + \gamma T, \quad (2)$$

де S , E , T — нормалізовані агрегати з Таблиці 1;
 α , β , γ — ваги.

Рівень 2 — Контекстно-адаптивна корекція, яка використовується для оцінки реальної стійкості трансформації:

$$I5RI_{ck} = I5RI_{core} \times f(R, I), \quad (3)$$

де $I5RI_{ck}$ - скорегований I5RI;

$I5RI_{core}$ - оцінка структурної готовності;

R (*risk*) — агрегат показників інтенсивності загроз;

I (*impact*) — агрегат економічних та виробничих втрат;

$f(R, I)$ — коригувальна функція ($0 < f \leq 1$).

Показники *risk* відображають тиск на систему і використовуються для оцінки уразливості при однаковій готовності. Дві країни можуть мати однакову характеристику компоненту S (кіберстійкість), але різний рівень залежності від імпорту критичних матеріалів та різний кліматичний ризик. Без блоку *risk* ці відмінності губляться.

Показники *impact* виконують роль валідації, вони дозволяють перевірити чи трансформується готовність у економічну результативність, чи знижує зростання I5RI реальні втрати.

Типова перевірка: зростання S → зменшення втрат від кібератак; зростання E → зменшення втрат від кліматичних екстремумів.

Усі *risk* та *impact* показники нормалізуються за методом *min-max* або *z-score*, але інвертовано (чим більший ризик — тим нижче значення). Наприклад:

$$Rn = 1 - (x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}), \quad (4)$$

де x — фактичне значення показника ризику для країни (наприклад, енергоємність промисловості України);

x_{min} — мінімальне значення цього показника у вибірці (наприклад, серед країн ЄС);

x_{max} — максимальне значення показника у вибірці;

Rn — нормалізований індикатор ризику.

Коригувальна функція:

$$f(R, I) = \delta R + (1 - \delta)(1 - I), \quad (5)$$

де δ — коефіцієнт ваги ризику (наприклад, 0,6 для воєнних умов України).

Високе значення показника I5RI без урахування показників *risk-impact* є ілюзорною готовністю. Інтегральні показники, що реалізують логіку *risk-impact-readiness*, не включаються безпосередньо до компонентів S , E , T , оскільки виконують функцію контекстної корекції індексу готовності. Вони дозволяють адаптувати значення I5RI до реальних умов функціонування промисловості, зокрема рівня безпекових, екологічних та кліматичних загроз, а також фактичних економічних втрат від їх реалізації. Такий підхід відповідає практикам ЄС щодо оцінки резильєнтності та забезпечує аналітичне розмежування між структурною готовністю та системною уразливістю.

Отже, розширена модель ($I5RI_{ext}$), що враховує вплив зовнішніх шоків через коригуючу функцію ($f(R, I)$), буде виглядати наступним чином:

$$I5RI_{ext} = (\alpha S + \beta E + \gamma T) \times f(R, I) \quad (6)$$

Досягнення Індустрії 5.0 в Україні є не технологічним, а інституційно-політичним викликом. За відсутності системної політики I5RI зростатиме повільно, тоді як конвергенція з ЄС та використання відновлення як «вікна можливостей» дозволяє до 2035 року досягти рівня готовності, співставного з провідними промисловими економіками Європи.

Висновки. Запропонована інтегрована аналітична модель «безпека–екологія–технології» (*security–ecology–technology nexus*), що поєднує логіку *risk-impact-readiness*, дозволяє подолати фрагментарність аналізу безпекових та екологічних викликів і сформувати системну рамку оцінювання економічної безпеки промислової трансформації. У межах цієї моделі безпекові,

екологічні та технологічні чинники розглядаються як взаємопов'язані елементи єдиної соціально-технічної системи, де ризики цифровізації, кліматичні обмеження та інституційна спроможність формують спільний простір загроз і можливостей. Такий підхід забезпечує перехід від описового аналізу до структурованого визначення причинно-наслідкових зв'язків між ризиками, їх економічними наслідками та здатністю системи до адаптації, що відповідає сучасній європейській парадигмі поєднання безпеки, сталого розвитку та технологічної модернізації.

Формалізація Індексу готовності до Індустрії 5.0 (I5RI) як агрегованої функції компонентів S (Security readiness), E (Ecological readiness) та T (Technological & human readiness) створює методологічно обґрунтований інструмент кількісної оцінки структурної готовності промисловості до цифрової та зеленої трансформації. Запропонована система показників дозволяє інтегрувати дані міжнародних індексів, статистичних джерел і галузевих індикаторів у єдину композитну модель, що забезпечує порівнюваність країн і регіонів, виявлення структурних дисбалансів та визначення «вузьких місць» промислової політики. Водночас результати оцінювання свідчать, що для України ключовими обмеженнями залишаються недостатня безпекова та інституційна спроможність, екологічна вразливість виробництва та обмежена технологічна й людиноцентрична готовність, що потребує масштабних інвестицій і реформ.

Включення до моделі коригувального механізму, який враховує вплив зовнішніх шоків через показники risk та impact, дозволяє розмежувати структурну готовність системи та її фактичну стійкість у реальних умовах функціонування. Такий підхід усуває проблему «ілюзорної готовності», коли високі значення індексу не відображають реальної уразливості до безпекових, кліматичних або ресурсних загроз, і забезпечує можливість сценарного аналізу трансформації промисловості. У результаті модель I5RI_{ext} формує аналітичну основу для обґрунтування довгострокової промислової політики, орієнтованої на узгодження безпекових, екологічних і технологічних пріоритетів та поступову конвергенцію України з європейською моделлю Індустрії 5.0.

Пропонується запровадити Індекс готовності до Індустрії 5.0 (I5RI та I5RI_{ext}) як

елемент системи державного стратегічного планування у межах оновлення Стратегії промислового розвитку України, Плану відновлення України та програм реалізації Угоди про асоціацію з ЄС. Інтеграція компонентів S (Security readiness), E (Ecological readiness) та T (Technological & human readiness) у систему індикативного управління дозволить забезпечити кількісну оцінку прогресу цифрової, екологічної та безпекової трансформації промисловості, а також узгодити національні цілі з європейськими орієнтирами кліматичної нейтральності, цифрової зрілості та технологічної автономії. Застосування коригувальної функції risk-impact сприятиме підвищенню достовірності оцінок у воєнних та повоєнних умовах. Аналітична модель «безпека-екологія-технології» (security-ecology-technology nexus) може бути інтегрована в систему моніторингу економічної безпеки держави.

Запропоновані рекомендації спрямовані на формування комплексної промислової політики, що поєднує повоєнне відновлення, цифрову модернізацію, декарбонізацію та підвищення економічної безпеки. Їх реалізація створює передумови для поетапної конвергенції України з європейською моделлю Індустрії 5.0 та забезпечує перехід від фрагментарних ініціатив до системної трансформації промисловості на засадах довгострокової економічної та соціально-екологічної резильєнтності.

Література

1. Brodny J., Tutak M. Towards Industry 5.0: An integrated readiness assessment of EU-27 Member States. *Journal of Cleaner Production*. 2026. Vol. 540. Art. 147486. DOI: 10.1016/j.jclepro.2026.147486.
2. Handjiski B., Martinovic R., Crittenden C. The Industry 5.0 Index. Oliver Wyman Forum. URL: <https://www.oliverwymanforum.com/performance-reimagined/industry-5-0-index-human-centric-era-of-global-growth.html> (дата звернення: 15.01.2026)
3. Войтко С., Троцько В. Розроблення індексу готовності до індустрії 5.0 для країн. *Via Economica*. 2024. № 6. С. 19–24. DOI: 10.32782/2786-8559/2024-6-3.
4. Харазішвілі Ю. М. Системна безпека сталого розвитку: інструментарій оцінки, резерви та стратегічні сценарії реалізації : монографія. Київ : НАН України, Ін-т економіки пром-сті, 2019. 304 с.
5. European Commission. Strategic Foresight Report, 2023. URL: <https://commission.europa.eu/system/>

- files/2023-07/SFR-23-beautified-version_en_0.pdf. (дата звернення: 15.01.2026)
6. Kharazishvili Y., Kwilinski A., Ivaniuta S., Sukhodolia O., Czart P. System of indicators for the environmental component of sustainable development in the security dimension. *Sustainable Development*. 2025. Vol. 33, Iss. S1. P. 146–160. DOI: 10.1002/sd.70000.
 7. Kharazishvili Y., Lyashenko V., Bugayko D., Ustinova I., Shevchenko O., Kalinin O. Justification of the Identification of Threats and Problematic Components of Sustainable Regional Development in the Security Dimension. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 408. Art. 01028. DOI: 10.1051/e3sconf/202340801028.
 8. Kharazishvili Y., Bilan Y., Sukhodolia O., Grishnova O., Mishchuk H. Scientific and strategic foresighting: The trajectory of sustainable development (on the example of Ukraine's energy security). *Sustainable Futures*. 2025. Vol. 9. Art. 100580. DOI: 10.1016/j.sfr.2025.100580.

References

1. Brodny J., Tutak M. Towards Industry 5.0: An integrated readiness assessment of EU-27 Member States. *Journal of Cleaner Production*. 2026. Vol. 540. Art. 147486. DOI: 10.1016/j.jclepro.2026.147486.
2. Handjiski B., Martinovic R., Crittenden C. The Industry 5.0 Index. Oliver Wyman Forum. URL: <https://www.oliverwymanforum.com/performance-reimagined/industry-5-0-index-human-centric-era-of-global-growth.html> (data zvernennia: 15.01.2026)
3. Voitko S., Trotsko V. Rozroblennia indeksu hotovnosti do industrii 5.0 dlia krain. *Via Economica*. 2024. № 6. S. 19–24. DOI: 10.32782/2786-8559/2024-6-3.
4. Kharazishvili Yu. M. Systemna bezpeka staloho rozvytku: instrumentarii otsinky, rezervy ta stratehichni stsenarii realizatsii : monohrafiia. Kyiv : NAN Ukrainy, In-t ekonomiky prom-sti, 2019. 304 s.
5. European Commission. Strategic Foresight Report, 2023. URL: https://commission.europa.eu/system/files/2023-07/SFR-23-beautified-version_en_0.pdf. (data zvernennia: 15.01.2026)
6. Kharazishvili Y., Kwilinski A., Ivaniuta S., Sukhodolia O., Czart P. System of indicators for the environmental component of sustainable development in the security dimension. *Sustainable Development*. 2025. Vol. 33, Iss. S1. P. 146–160. DOI: 10.1002/sd.70000.
7. Kharazishvili Y., Lyashenko V., Bugayko D., Ustinova I., Shevchenko O., Kalinin O. Justification of the Identification of Threats and Problematic Components of Sustainable Regional Development in the Security Dimension. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 408. Art. 01028. DOI: 10.1051/e3sconf/202340801028.

8. Kharazishvili Y., Bilan Y., Sukhodolia O., Grishnova O., Mishchuk H. Scientific and strategic foresighting: The trajectory of sustainable development (on the example of Ukraine's energy security). *Sustainable Futures*. 2025. Vol. 9. Art. 100580. DOI: 10.1016/j.sfr.2025.100580.

Khandii O.O. Assessment of the readiness of Ukrainian industry for Industry 5.0 in the context of ensuring economic security in the context of digital and green transformation

The article substantiates the methodological principles of assessing the readiness of Ukrainian industry for the transition to Industry 5.0 in the context of ensuring economic security in the context of digital and green transformation. It is proven that the modern paradigm of Industry 5.0, focused on human-centricity, sustainability and combining technological progress with sustainable development, requires the expansion of traditional approaches to measuring the readiness of industrial systems.

An integrated analytical model of the “security–ecology–technology nexus” type is proposed, which combines the logic of risk–impact–readiness and allows for a systematic assessment of the relationship between the risks of digital and green transformation, their economic consequences and the ability of industry to adapt. Within the framework of the model, structural readiness is determined by aggregating three components: security and institutional capacity (Security readiness), ecological and climate resilience (Ecological readiness), technological and human-centric readiness (Technological & human readiness). On this basis, the Industry 5.0 Readiness Index (I5RI) was formed, which integrates indicators of international ratings and official statistical sources, ensuring the comparability of Ukraine with EU countries.

The feasibility of introducing an extended I5RI text model with a corrective function that takes into account the level of external and internal risks and the scale of their economic impact is substantiated. This approach allows us to distinguish between formal structural readiness and actual resilience in real operating conditions, minimizing the effect of “illusory readiness”, when high technological indicators are not accompanied by a reduction in losses or an increase in the resilience of the economic system. It is proven that the integration of the security dimension into the assessment of readiness for Industry 5.0 provides a more objective characterization of the industry's ability to counteract cyber threats, resource dependence, climate extremes, and institutional imbalances.

The practical significance of the results lies in the possibility of using the I5RI index and its extended version as a tool for strategic planning, monitoring economic security, and forming a comprehensive industrial policy aimed at combining digital modernization, decarbonization, and strengthening the technological sovereignty of Ukraine.

Key words: *economic security; industry; Industry 5.0; digital transformation; green transformation; human-centricity; ISRI.*

Хандій Олена Олексіївна – д.е.н., професор, завідувач кафедри публічного управління, менеджменту та маркетингу Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м. Київ; провідний науковий співробітник, Інститут економіки промисловості НАН України, м. Київ.

Стаття подана 10.11.2025.