



УДК 330.3:519.23+005.591.6

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.15338633>

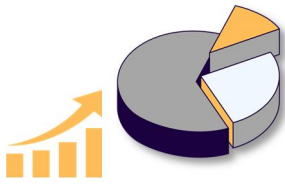
Системний підхід до моделювання сталого розвитку підприємств у контексті інноваційного розвитку металургійних підприємств в Україні

Пустовгар Світлана Анатоліївна

кандидат економічних наук, доцент кафедри управління та адміністрування ННІ «Каразінська школа бізнесу» Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, м. Харків, Україна, 61022, pustovhar@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4199-8044>, Scopus ID: 56835745300

Прийнято: 13.11.2024 | Опубліковано: 29.11.2024

***Анотація. Вступ.** У статті представлено системний підхід до оцінювання та моделювання впливу інноваційної активності на сталий розвиток металургійних підприємств України в умовах економічної нестабільності, пандемії COVID-19 та повномасштабної війни. **Метою дослідження** є моделювання взаємозв'язку між рівнем інноваційного розвитку та складовими сталого розвитку (економічною, екологічною та соціальною) із визначенням найефективнішого сценарію для металургійних підприємств. **Методологічну основу** дослідження становлять регресійний аналіз і сценарний підхід, що реалізовані на прикладі даних фінансової та управлінської звітності провідних українських металургійних підприємств за період 2018–2023 рр. У дослідженні побудовано три сценарії інноваційного розвитку: «Статус-кво» (низький рівень витрат на інновації), «Збалансований» (помірний рівень), та «Агресивне впровадження інновацій» (висока частка*



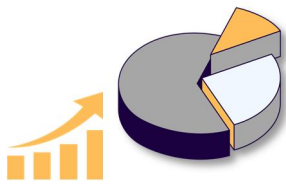
інвестицій у інновації). Застосовано стандартизовані змінні, що відповідають міжнародним стандартам звітності GRI та SASB, а також фіктивні змінні для врахування розміру підприємства і періоду функціонування. Результати регресійного аналізу показали, що інноваційна активність здійснює нелінійний вплив на економічну ефективність підприємств, позитивно впливає на соціальний розвиток і знижує інтенсивність викидів парникових газів на одиницю продукції. Встановлено, що агресивна інноваційна стратегія забезпечує максимізацію інтегрального показника сталого розвитку незалежно від розміру підприємства. Водночас надмірні інвестиції в інновації можуть тимчасово знижувати економічну ефективність через фінансове навантаження. **Результати.** Отримані висновки підтверджують, що інновації не лише стимулюють економічне зростання, а й слугують критичним чинником забезпечення екологічної відповідальності та соціальної стійкості. Запропоновані підходи можуть бути використані для формування стратегій сталого розвитку металургійних підприємств в умовах криз і післявоєнного відновлення.

Ключові слова: сталий розвиток підприємств, моделювання, інновації, металургія, сценарний підхід.

A Systemic Approach to Modeling the Sustainable Development of Enterprises in the Context of the Innovative Development of Metallurgical Enterprises in Ukraine

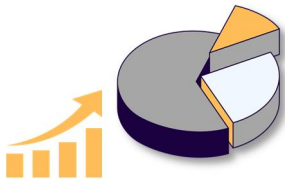
Svitlana Pustovhar

PhD in Economics, Associate Professor at the Department of Management and Administration, Educational and Scientific Institute «Karazin Business School», V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Square, Kharkiv, Ukraine, 61022, pustovhar@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4199-8044>, Scopus ID: 56835745300



Abstract. *The article presents a systemic approach to evaluating and modeling the impact of innovation activity on the sustainable development of metallurgical enterprises in Ukraine under conditions of economic instability, the COVID-19 pandemic, and full-scale war. The purpose of the study is to model the relationship between the level of innovative development and the components of sustainable development (economic, environmental, and social) in order to identify the most effective scenario for metallurgical enterprises. The methodological foundation of the research includes regression analysis and scenario-based modeling, implemented using data from the financial and managerial reports of leading Ukrainian metallurgical enterprises for the period 2018–2023. Three innovation development scenarios are constructed in the study: “Status Quo” (low innovation expenditure), “Balanced” (moderate level), and “Aggressive Innovation Implementation” (a high share of innovation investments). Standardized variables corresponding to international GRI and SASB reporting standards were applied, as well as dummy variables to account for enterprise size and operational period. The regression analysis results indicate that innovation activity exerts a nonlinear influence on the economic efficiency of enterprises, has a positive effect on social development, and reduces greenhouse gas emissions per unit of output. It is established that an aggressive innovation strategy maximizes the integrated indicator of sustainable development regardless of enterprise size. At the same time, excessive investment in innovation may temporarily reduce economic efficiency due to financial burden. The findings confirm that innovation not only drives economic growth but also serves as a critical factor in ensuring environmental responsibility and social resilience. The proposed approaches can be applied to develop sustainable development strategies for metallurgical enterprises during crises and post-war recovery.*

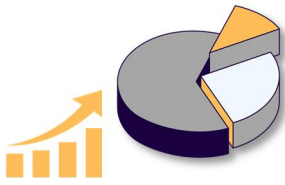
Keywords: *sustainable enterprise development, modeling, innovation, metallurgy, scenario approach.*



Постановка проблеми. У контексті постійних економічних та соціальних викликів, які ускладнюються війною в Україні, питання сталого розвитку підприємств набувають особливої актуальності. Здатність компаній забезпечувати економічну ефективність, екологічну безпеку та соціальну відповідальність водночас тісно пов'язана з інтенсивністю впровадження інновацій. Особливо це стосується металургійних підприємств, що характеризуються значними обсягами споживання ресурсів і викидами парникових газів та водночас залишаються ключовими роботодавцями й донорами економіки в багатьох регіонах України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній науковій літературі зростає увага до концепції сталого розвитку підприємств, яка передбачає одночасне досягнення економічної ефективності, екологічної безпеки та соціальної відповідальності. Особливо актуально це для галузей із високим впливом на довкілля, таких як металургія, що вимагає системного підходу до трансформації бізнес-моделей. Як зазначають Marrucci L., Daddi T., Iraldo F. [1], підприємства, що впроваджують принципи циркулярної економіки, демонструють вищу стійкість і довіру з боку інвесторів, що є критично важливим в умовах зростання екологічних вимог та соціального тиску.

Провідною рушійною силою сталого розвитку сучасні дослідники визнають інноваційну активність [2-5]. Sarfraz M., Ivascu L., Abdullah M.I., Ozturk I., Tariq J. [6] у своєму дослідженні аналізують, як інноваційні можливості підприємств впливають на їхню сталу ефективність. Результати показують, що інновації позитивно впливають на фінансові показники компаній, а також сприяють екологічній та соціальній стійкості. Ці висновки підтверджують також в дослідженні Srouji A. F., Hamdallah M. E., Al-Hamadeen R., Al-Okaily M., Elamer A. A. [7], у якому аналізується взаємозв'язок між «зеленими» інноваціями та фінансовими показниками компаній. Автори виявили, що впровадження екологічних інновацій сприяє покращенню

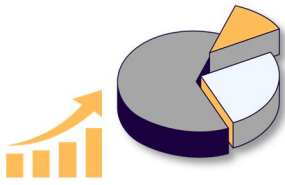


фінансових результатів підприємств, а також позитивно впливає на їх екологічну та соціальну стійкість.

Екологічний вимір стійкості металургійних підприємств активно досліджується в межах міжнародних стандартів звітності. Зокрема, стандарт GRI 305 (Emissions) рекомендує оцінювати та публікувати інтенсивність викидів парникових газів на одиницю продукції, що дозволяє оцінити прогрес підприємства у декарбонізації [8]. Аналогічні підходи застосовуються у CDP та Science Based Targets initiative (SBTi) [9]. У дослідженні Siddique M. A., Akhtaruzzaman M., Rashid A., Hammami H. [10] аналізується взаємозв'язок між розкриттям вуглецевих даних, вуглецевою ефективністю та фінансовими результатами компаній. Результати свідчать про те, що прозоре розкриття інформації про викиди вуглецю позитивно впливає на фінансову ефективність у довгостроковій перспективі. Це дозволяє інвесторам краще оцінювати ризики та потенціал компаній у контексті «зеленого» переходу, що, своєю чергою, сприяє підвищенню їхньої ринкової вартості.

Соціальний компонент сталого розвитку також посідає важливе місце в дослідженнях. Показник середньої кількості годин навчання на одного працівника, рекомендований GRI 404 і стандартом ISO 30414:2018, слугує індикатором інвестицій у людський капітал [8, 11]. Sult A., Wobst J., Lueg R. [12] аналізують вплив навчання персоналу на впровадження корпоративної сталості. Дослідження показує, що ефективно навчання сприяє розвитку інноваційної здатності підприємств, що, в свою чергу, забезпечує їхній сталий розвиток у довгостроковій перспективі.

Емпіричне обґрунтування зв'язку між інноваціями та сталим розвитком дедалі частіше базується на регресійних моделях і сценарному підході. У дослідженні Artyukhova N., Tiutiunuk I., Bogacki S., Wołowiec T., Dłuhopolskyi O., Kovalenko Y. [13] автори аналізують вплив різних сценаріїв економічного, екологічного та соціального розвитку на забезпечення сталого енергетичного



розвитку. Дослідження застосовує регресійні моделі та сценарний підхід для оцінки потенційних наслідків політик у сфері сталого розвитку.

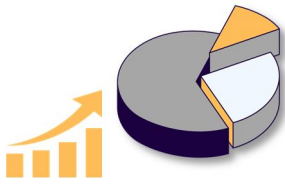
Власне, у цьому дослідженні застосовано аналогічну логіку: побудовано три сценарії - «Статус-кво» (низька інноваційна активність), «Збалансований» та «Агресивне впровадження інновацій», - і на основі економетричного аналізу оцінено їх вплив на ключові аспекти сталого розвитку. Стандартизовані змінні, що використовуються у моделюванні, включають рентабельність операційної діяльності (GRI 201), SASB (Iron & Steel Producers), інтенсивність викидів (GRI 305), і соціальні інвестиції (GRI 404) [8, 14], а ключовий незалежний фактор - частка витрат на інновації - обґрунтовано з позицій OECD [15] та SASB [14] як валідний індикатор інноваційної активності.

Таким чином, проаналізована література дозволяє сформулювати методологічну базу для моделювання сталого розвитку в контексті інновацій. Вона підтверджує релевантність обраних змінних, логіку сценарного підходу та доцільність оцінки інноваційної активності не лише як інструмента зростання, а як ключового механізму забезпечення стійкості підприємств у кризових умовах.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. В цьому дослідженні, на відміну від попередніх [1-7, 13], досліджено можливості сталого розвитку підприємств у контексті інноваційного розвитку, беручи до уваги кризові умови господарювання, зокрема воєнний період.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є моделювання впливу сценаріїв інноваційного розвитку на сталий розвиток металургійних підприємств в Україні та визначення найбільш ефективного сценарію.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження здійснено на основі даних фінансової та управлінської звітності металургійних підприємств в Україні, таких як ПАТ «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь», ТОВ «Металургійний завод «Дніпросталь», ПАТ «Арселорміттал Кривий Ріг»,



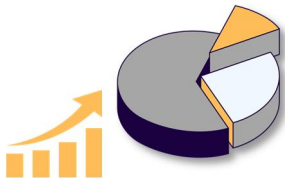
ПрАТ «Експериментально-механічний завод «Металіст», ПрАТ «Завод металокопункцій Укрсталь Дніпро», ПрАТ «Завод металокопункцій Укрсталь Запоріжжя», ПрАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» ім. А.М. Кузьміна», АТ «Інтерпайп Новомосковський трубний завод», ПАТ «Інтерпайп Нижньодніпровський трубопрокатний завод», АТ «Нікопольський завод феросплавів» за 2018-2023 рр. Методологія передбачала використання регресійного аналізу в програмі EViews 10 для дослідження впливу інтенсивності інноваційного розвитку на економічний, екологічний, соціальний розвиток підприємств. Для цього залежними змінними використано по одній змінній, що найбільш точно характеризує кожен з аспектів сталого розвитку: рентабельність операційної діяльності, інтенсивність викидів парникових газів на одиницю продукції, середня кількість годин навчання на одного працівника.

Оскільки показники сталого розвитку й особливості інноваційного розвитку можуть змінюватися залежно від розміру підприємств та аналізованого періоду, відповідні фактори включено до регресійної моделі у вигляді контрольних фіктивних змінних. Досліджувана вибірка охоплює три різні етапи: період стабільного функціонування (до 2020 р.), період пандемії COVID-19 (2020–2021 рр.) та період війни в Україні (2022–2023 рр.), кожен із яких істотно вплинув на розвиток підприємств. Для періоду використано такі коди: «1» – 2018–2019 рр., «2» – 2020–2021 рр., «3» – 2022–2023 рр. Для розміру підприємств фіктивна змінна набувала значень: «1» – малі підприємства, «2» – середні підприємства, «3» – великі підприємства.

З огляду на різну розмірність залежних та незалежних змінних, використано їх стандартизовані значення.

В ході дослідження було сформовано три альтернативних сценарії залежно від рівня інноваційного розвитку і оцінено їх вплив на сталий розвиток підприємств. Це такі сценарії:

Сценарій А: «Статус-кво» — низький рівень інвестицій в інновації (відношення витрат на інновації до чистих доходів підприємства менше 1%).



Такий рівень витрат на інновації вважається низьким або мінімальним для підприємств, що працюють у важких і капіталомістких галузях [16].

Сценарій В: «Агресивне впровадження інновацій» — висока частка витрат на R&D і трансформація виробництва (відношення витрат на інновації до чистих доходів підприємства вище 5%). Понад 5% витрат на інновації вважаються високим рівнем інноваційної активності, що може призвести до суттєвого зниження екологічних ризиків та стрімкого зростання технологічного рівня підприємства [6].

Сценарій С: «Збалансований» — помірний темп інноваційних витрат, (відношення витрат на інновації до чистих доходів підприємства на рівні 1-5%). Рівень 1–5% часто трактується як «збалансована» інноваційна інтенсивність, при якій є можливість оптимізувати співвідношення між витратами на розробку нових технологій і підтримкою поточної операційної діяльності [12].

Побудовані регресійні моделі впливу інтенсивності інноваційного розвитку на сталий розвиток металургійних підприємств представлені в табл. 1.

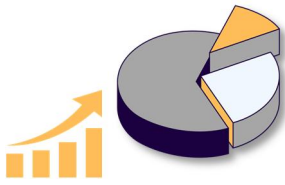
Таблиця 1

Регресійні моделі впливу інтенсивності інноваційного розвитку на сталий розвиток металургійних підприємств

Характеристика моделі	Моделі
Моделі впливу на економічний розвиток	$Y_1 = -0,08 * X^2 + 0,11 * X + 0,15 * K_1 - 0,24 * K_2 + 0,57$
Моделі впливу на екологічний розвиток	$Y_2 = -0,18 * X - 0,04 * K_1 - 0,01 * K_2 + 0,33$
Моделі впливу на соціальний розвиток	$Y_3 = 0,15 * X + 0,19 * K_1 - 0,13 * K_2 + 0,2$
<i>Примітка: X – стандартизоване значення показника відношення витрат на інновації до чистих доходів підприємства; Y₁ – рентабельність операційної діяльності; Y₂ – інтенсивність викидів парникових газів на одиницю продукції; Y₃ – середня кількість годин навчання на одного працівника; K₁ – контрольна змінна, що відповідає розміру підприємства; K₂ – контрольна змінна, що періоду дослідження</i>	

Джерело: власна розробка автора

Про адекватність побудованих регресійних моделей свідчать статистично значимий критерій Фішера для всіх побудованих моделей, відсутність автокореляції, мультиколінеарності, гомоскедастичність залишків.



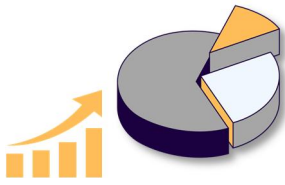
Побудовані регресійні моделі свідчать про те, що фіктивна змінна, яка характеризує період дослідження, здійснює обернений вплив на всі показники сталого розвитку. Повномасштабна війна в Україні знижує економічну ефективність, знижує фінансові можливості для навчання персоналу. На інтенсивність викидів парникових газів на одиницю продукції ця змінна не здійснює статистично значимого впливу.

Розмір підприємств здійснює статистично значимий позитивний вплив на рентабельність операційної діяльності, середню кількість годин навчання на одного працівника та статистично значимий негативний на інтенсивність викидів парникових газів на одиницю продукції. Великі підприємств мають більше фінансових можливостей для реалізації заходів із сталого розвитку.

Вплив показника відношення витрат на інновації до чистих доходів підприємства на рентабельність операційної діяльності описується параболою: ріст витрат на інновації до певного моменту сприяє економічному розвитку, після чого вплив змінюється на дестабілізуючий. Збільшення витрат на інновації позитивно впливає на рентабельність операційної діяльності, оскільки підприємство отримує переваги від модернізації виробництва, оптимізації процесів і підвищення конкурентоспроможності. Однак висока частка витрат на інновації потребує значних фінансових ресурсів. Це може знижувати ліквідність та вільний грошовий потік, необхідний для покриття поточних операційних витрат або обслуговування боргу. Масштабні інноваційні ініціативи потребують координації багатьох підрозділів, часто розширення штатної структури, залучення зовнішніх партнерів і суттєвої перебудови бізнес-процесів.

Вплив інновацій на інші складові сталого розвитку має лінійний характер та сприяє екологічному та соціальному розвитку металургійних підприємств.

Показники ефективності сценаріїв інноваційного розвитку підприємств в сучасних умовах (умовах війни) наведені в табл. 2. Ці показники розраховані шляхом підстановки в регресійні моделі (табл. 1) відповідних значень



контрольних змінних та стандартизованого середнього значення показника відношення витрат на інновації до чистих доходів підприємства, що відповідає кожному із сценаріїв інноваційного розвитку підприємств.

Таблиця 2

Показники ефективності сценаріїв інноваційного розвитку металургійних підприємств в Україні в умовах війни

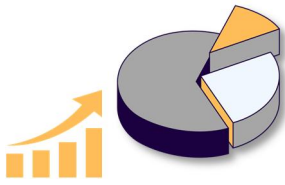
Показник	Розмір підприємств	Сценарій інноваційного розвитку		
		«Статус-кво»	«Агресивне впровадження інновацій»	«Збалансований»
Стандартизоване значення показника рентабельності операційної діяльності	Малі	0,035	0,03	0,033
	Середні	0,185	0,18	0,183
	Великі	0,335	0,33	0,333
Стандартизоване значення показника інтенсивності викидів парникових газів на одиницю продукції	Малі	0,17	0,08	0,125
	Середні	0,13	0,04	0,085
	Великі	0,09	0	0,045
Стандартизоване значення показника середньої кількості годин навчання на одного працівника	Малі	0,075	0,15	0,113
	Середні	0,265	0,34	0,303
	Великі	0,455	0,53	0,493

Джерело: власна розробка автора

З позиції забезпечення максимальної рентабельності найбільш прийнятний сценарій «Статус-кво», оскільки він забезпечує більш ефективне використання ресурсів підприємств за рахунок використання інновацій при цьому не вимагаючи скільки інвестицій в інновації, як при сценарії «Агресивного впровадження інновацій», що особливо актуально в період війни.

Інтенсивність викидів парникових газів на одиницю продукції мінімізується при сценарії «Агресивного впровадження інновацій». Цей сценарій є найбільш ефективним також з позиції соціального розвитку.

Враховуючи, що для різних складових сталого розвитку підприємств пріоритетними є різні сценарії інноваційного розвитку, розраховано інтегральний показник сталого розвитку шляхом адитивної згортки. Оскільки показник інтенсивності викидів парникових газів на одиницю продукції є дестимулятором сталого розвитку, його в інтегральній моделі взято з мінусом,



всі інші показники – з плюсом. Прийнято, що складові економічного, соціального та екологічного розвитку є рівнозначними при прийнятті рішення.

Для всіх підприємств, не залежно від розміру, інтегральний показник сталого розвитку максимізується при реалізації сценарію «Агресивного впровадження інновацій».

Висновки. Результати регресійного аналізу підтвердили, що надмірно низька частка витрат на інновації (менше 1%) не забезпечує належного оновлення технологічної бази, тоді як «агресивне» зростання витрат на інновації (понад 5%) у складних макроекономічних умовах може спричинити фінансове перенавантаження.

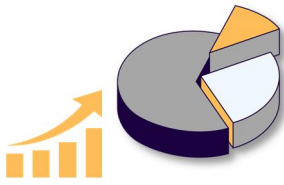
Хоча з позиції виключно економічної рентабельності іноді вигіднішим здається сценарій «Статус-кво», розрахунки інтегрального показника, що об'єднує економічні, екологічні та соціальні метрики свідчать: саме агресивне впровадження інновацій забезпечує найвищу збалансованість розвитку підприємств, особливо у довгостроковій перспективі.

Перспективами подальших досліджень в цьому напрямку є розробка стратегій забезпечення сталого розвитку металургійних підприємств в Україні в умовах війни та післявоєнного відновлення.

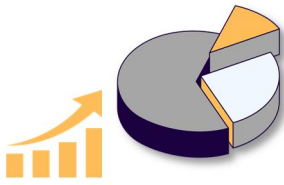
Список використаних джерел

1. Marrucci L., Daddi T., Iraldo F. The integration of circular economy with sustainable consumption and production tools: Systematic review and future research agenda. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118268>.

2. Lu H.T., Li X., Yuen K.F. Digital transformation as an enabler of sustainability innovation and performance – Information processing and innovation ambidexterity perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*. 2023. Vol. 196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122860>.



3. Dabbous A., Barakat K.A. The road towards environmental sustainability: Investigating the role of information and communication technologies and green technology innovations. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139826>.
4. Chaparro-Banegas N., Ibañez Escribano A.M., Mas-Tur A., Roig-Tierno N. Innovation facilitators and sustainable development: a country comparative approach. *Environment, Development and Sustainability*. 2024. Vol. 26. P. 8467–8495. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-023-03055-w>.
5. Loučanová E., Nosál'ová M., Olšiaková M., Štofková Z., Dumiter F.C., Nicoară Ş.A., Boiță M. Innovation as a Tool for Sustainable Development in Small and Medium Size Enterprises in Slovakia. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. DOI: <https://doi.org/10.3390/su152115393>.
6. Sarfraz M., Ivascu L., Abdullah M.I., Ozturk I., Tariq J. Exploring a Pathway to Sustainable Performance in Manufacturing Firms: The Interplay between Innovation Capabilities, Green Process, Product Innovations and Digital Leadership. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14105945>.
7. Srouji A. F., Hamdallah M. E., Al-Hamadeen R., Al-Okaily M., Elamer A. A. The impact of green innovation on sustainability and financial performance: Evidence from the Jordanian financial sector. *Business Strategy and Development*. 2023. Vol. 6. Is. 4. P. 1037-1052.
8. Global Reporting Initiative. URL: <https://www.globalreporting.org/standards>.
9. CDP Worldwide. URL: <https://www.cdp.net/en>.
10. Siddique M. A., Akhtaruzzaman M., Rashid A., Hammami H. Carbon disclosure, carbon performance and financial performance: International evidence. *International Review of Financial Analysis*. 2021. Vol. 75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2021.101734>.



11. ISO 30414:2018. Human resource management - Guidelines for internal and external human capital reporting. URL: <https://www.iso.org/standard/69338.html>.

12. Sult A., Wobst J., Lueg R. The role of training in implementing corporate sustainability: A systematic literature review. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. 2024. Vol. 31. Is. 1. P. 1-30. DOI: <https://doi.org/10.1002/csr.2560>.

13. Artyukhova N., Tiutiunyk I., Bogacki S., Wołowiec T., Dluhopolskyi O., Kovalenko Y. Scenario Modeling of Energy Policies for Sustainable Development. *Energies*. 2022. Vol. 15. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15207711>.

14. SASB Standards overview. URL: <https://sasb.ifrs.org/standards/>.

15. Science, technology and innovation. URL: <https://www.oecd.org/innovation/inno/frascati-manual.htm>.

16. Xiao P., Zhang H., Sun X., Zhang F., Du X., Liu G. International ambidexterity and innovation performance: The moderating role of the host country's institutional quality. *Journal of Innovation & Knowledge*. 2022. Vol. 7. Is. 3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100218>.