

УДК 519.242:338.32.053.4

Скорук Олена,
кандидат економічних наук, доцент,
Волинський національний університет імені Лесі Українки,
кафедра обліку і оподаткування,
м. Луцьк, ORCID ID 0000-0002-9497-1945,
e-mail: skoruklena@gmail.com

<https://doi.org/10.29038/2786-4618-2023-04-183-189>

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ У ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ

У статті розглянуто сучасні аспекти використання математичних моделей у вирішенні завдань сталого розвитку підприємств. Розглянуто сутності концепції сталого розвитку та визначено її важливість для підприємств у сучасному динамічному бізнес-середовищі. Досліджено роль математичного моделювання в процесі прийняття рішень на основі застосування специфічних методів та інструментів, які допомагають аналізувати й оптимізувати виробничі процеси суб'єктів господарювання в контексті сталого розвитку. Розглянуто комплекс спеціалізованих математичних моделей, які використовують для моделювання сталого розвитку, з урахуванням таких аспектів, як лінійне та нелінійне програмування, теорії імітаційного моделювання, теорії ігор, диференціальних рівнянь тощо. Проаналізовано особливості застосування моделей у діяльності підприємств та визначено їхню ефективність у забезпеченні досягнення сталого розвитку.

Ключові слова: економічні моделі, економіко-математичне моделювання, бізнес-процеси, сталий розвиток, ефективність підприємства.

Skoruk Olena,
PhD in Economics, Associate Professor,
Lesya Ukrainka Volyn National University,
Department of Accounting and Taxation,
Lutsk

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE ACTIVITIES OF ENTERPRISES

The article examines modern aspects of the use of mathematical models in solving problems of sustainable development of enterprises. The essence of the concept of sustainable development was considered and its importance for enterprises in the modern dynamic business environment was determined. The role of mathematical modeling in the decision-making process based on the application of specific methods and tools that help to analyze and optimize the production processes of economic entities in the context of sustainable development is studied. A complex of specialized mathematical models used for modeling sustainable development is considered, including such aspects as linear and non-linear programming, simulation theory, game theory, differential equations, etc. The peculiarities of the application of these models in the activities of enterprises were analyzed and their effectiveness in ensuring the achievement of sustainable development was determined. Practical examples of the implementation of economic and mathematical models at enterprises of various industries on the basis of reducing resource consumption, optimizing production processes, waste and risk management strategies, as well as planning future investments in sustainable development were studied. The importance of the development and improvement of economic-mathematical modeling methods for achieving the goals of sustainable development of economic entities is determined. The essence of challenges and obstacles that arise in the process of implementing economic and mathematical models to achieve sustainable development of enterprises, which include the objective need for access to a large amount of data, the complexity of interaction with counterparties, as well as the instability of the modern economic environment, is considered. Strategies and recommendations for overcoming these challenges are proposed, including the development of information systems and the actualization of the needs of business entities regarding the importance of sustainable development. The necessity of integrating mathematical models in the planning and economic activities of enterprises to achieve the efficiency of their sustainable development is determined. The importance of applying economic-

mathematical modeling to increase the efficiency of enterprises and stimulate their sustainable activity to achieve strategic goals is proven.

Keywords: economic models, economic-mathematical modeling, business processes, sustainable development, enterprise efficiency.

Постановка проблеми. В сучасних умовах, для яких характерні динамічні зміни у бізнес-середовищі, питання сталого розвитку стали ключовими для суспільства та економіки. При цьому підприємства, як основа реального сектору економічної системи, відіграють важливу роль у досягненні цієї мети, оскільки їхні рішення впливають на темпи економічного зростання, соціальний розвиток та екологічну стійкість. Проте в контексті посилення глобальних викликів, пов'язаних із деструктивним впливом країн-агресорів, змінами клімату, обмеженістю ресурсів та економічними коливаннями, суб'єкти господарювання стикаються зі складнішими завданнями при забезпеченні сталого розвитку.

Однією з ключових проблем в цьому аспекті є розробка ефективних стратегій та інструментів для досягнення сталого розвитку на підприємствах різних галузей. Це вимагає вирішення ряду питань, пов'язаних, зокрема, з оцінкою впливу різних факторів на сталий розвиток, оскільки суб'єкти господарювання повинні аналізувати вплив різних чинників, таких як економічні, соціальні та екологічні, на їхню діяльність. Це дослідження впливу ризиків та загроз економічній діяльності підприємства. Вирішення цієї проблематики потребує розробки довгострокових стратегій, які б дозволили суб'єктам господарювання забезпечувати свій сталий розвиток, збалансовуючи економічні інтереси зі збереженням природних ресурсів та соціальними цінностями. Це потребує прийняття економічно обґрунтованих рішень щодо інвестицій у виробничі процеси, впровадження інновацій та ресурсозбереження.

В зазначеному аспекті саме економіко-математичне моделювання може стати потужним інструментом для аналізу та прогнозування впливу рішень на сталий розвиток підприємств. Однак виникають питання про те, які саме моделі й методи треба використовувати, а також як забезпечити належну точність даних та врахувати невизначеність у таких моделях. Саме тому зростає актуальність вивчення й розробки методів та інструментів, які б допомогли суб'єктам господарювання ефективно досягати сталого розвитку в умовах динамічних змін сучасного бізнес-середовища. Це потребує поглиблення досліджень взаємозв'язків між економікою, екологією та соціальною сферою й використання математичних моделей для підтримки прийняття рішень та розвитку стратегій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упровадження концепції сталого розвитку в діяльність підприємств набуло особливої актуальності завдяки зростанню рівня загроз для навколишнього середовища, постійної обмеженості ресурсного забезпечення господарської діяльності та зростанню рівня суспільної відповідальності в провідних економічних системах світу. При цьому економіко-математичне моделювання сталого розвитку стало важливою сферою досліджень, у рамках якої існує значна кількість наукових напрацювань стосовно розробки ряду ефективних моделей та методологій.

Зокрема, варто відзначити дослідження Б. Погріщука, спрямовані на розробку концепцій сталого розвитку в контексті моделювання господарських бізнес-процесів підприємства. При цьому в роботі запропоновано застосування ряду економічних моделей і теорій, що оцінюють роль ринку, ресурсів та інновацій у забезпеченні досягнення сталого розвитку суб'єктів господарювання [8].

Важливим для сучасних підприємств є дослідження принципів моделювання ризиків та екологічних викликів, що викладене в роботі Ю. О. Чалюк, де розглянуто ефекти зміни клімату, забруднення довкілля та карбонових викидів на ефективність функціонування сучасних підприємств. При цьому розглянуто, як саме математичні моделі можуть допомогти оцінити ризики та сформулювати стратегії адаптації до змін клімату [4].

Відзначимо також фундаментальні дослідження О. Б. Білоцерківського про моделювання ефективності використання ресурсів у сучасних бізнес-процесах. Автор акцентує увагу на необхідності ефективного використання ресурсів та енергії на підприємствах. При цьому показано, як

математичні моделі лінійного та нелінійного програмування можуть бути використані для оптимізації виробничих процесів та зменшенні витрат ресурсів на основі застосування інноваційних технологій [1].

Крім того, важливого значення набуває моделювання управління прийняттям рішень, що розглянуте в роботах Т. О. Шматковської. Авторка оцінила розробку моделей для прийняття рішень, що враховують різні аспекти сталого розвитку, включаючи екологічні, соціальні та економічні фактори. В цьому аспекті було визначено потребу у використанні методів інтерактивного моделювання для аналізу стратегій управління прийняттям рішень [5; 6].

В умовах формування цифрової економіки особливого значення набувають моделі теорії інформації і штучного інтелекту, що досліджує М. І. Дзямучич. Автор зазначає, що розвиток інформаційних технологій та штучного інтелекту відкриває нові можливості для розробки й використання математичних моделей сталого розвитку, зокрема для аналізу великих обсягів даних та автоматизації виробничих процесів [2; 3].

Загалом бачимо значну актуальність проблеми забезпечення сталого розвитку підприємств на основі застосування економіко-математичного моделювання. Проте існує об'єктивна потреба у дослідженні принципів застосування розвинених моделей для забезпечення досягнення сталого розвитку суб'єктів господарювання в сучасних умовах.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Метою статті є аналіз та систематизація сучасних підходів до економіко-математичного моделювання сталого розвитку підприємств, вивчення методологічних особливостей та розробка рекомендацій щодо ефективного використання математичних інструментів у процесі управління підприємствами з урахуванням екологічних, економічних та соціальних аспектів сталого розвитку.

Виклад основного матеріалу. Сучасні аспекти використання математичних моделей у вирішенні завдань сталого розвитку підприємств відображають складність та різноманітність викликів, які стоять перед сучасними бізнес-процесами. Насамперед, математичне моделювання сталого розвитку розширилося для врахування не тільки економічних аспектів, а й екологічних ризиків та впливу соціальних тенденцій в економічних системах. Функціональні моделі тепер повинні включати в себе оцінку впливу на довкілля, аналіз соціального впливу та врахування споживчих показників. Крім того, акцент змінився на більш деталізоване та гнучке моделювання, яке дозволяє аналізувати різні сценарії та враховувати невизначеність бізнес-середовища. При цьому застосування стохастичних моделей і симуляційних підходів дозволяє враховувати ризики та змінювати прогнозні параметри в режимі реального часу для адаптації до змінних умов.

Крім того, розвиток сучасних економічних систем засвідчує більш тісний зв'язок між різними аспектами сталого розвитку. Тому економіко-математичні моделі інтегрують економічні, екологічні та соціально-економічні фактори для оцінки загального впливу прийнятих рішень на сталий розвиток, що й відображає парадигму «середовище-людина-прибуток», яка вимагає застосування більш збалансованого підходу для управління підприємствами. Зауважимо також, що сучасні моделі стали більш доступними завдяки інтенсивному розвитку цифрових технологій та програмних засобів. Відтак і інструменти для створення та аналізу математичних моделей стали більш орієнтованими на користувачів, що дозволяє залучати більшу кількість фахівців з різних галузей розв'язання проблем сталого розвитку.

Загалом можна стверджувати, що сучасні аспекти використання математичних моделей у вирішенні завдань сталого розвитку підприємств полягають у більш комплексному та інтегрованому підході, який враховує економічні, екологічні й соціальні аспекти, використовує стохастичні та симуляційні моделі, та є функціонально більш доступним для широкого кола фахівців, що залучені до процесу моделювання.

Отже, приходимо до висновку, що трансформація підходів щодо практичного застосування спеціалізованого інструментарію для економіко-математичного моделювання в сучасних умовах полягає у формуванні системи бізнес-моделювання діяльності підприємств у рамках стратегічного управління ними. При цьому керівні принципи економіко-математичного бізнес-моделювання визначають саме стратегічний підхід до аналізу, планування та прийняття рішень у бізнесі. Головним

принципом при цьому є абстрагування реального бізнес-процесу у вигляді математичної моделі. Це допомагає аналітикам впорядковувати складність реального бізнес-середовища з великою кількістю змінних, виділяючи його ключові параметри та функціональні зв'язки.

Іншим важливим принципом є застосування таких математичних моделей для аналізу й прогнозування різних сценаріїв бізнес-діяльності суб'єктів господарювання. Саме вони дозволяють визначити найбільш оптимальні рішення та оцінити можливі ризики в діяльності підприємств. Крім того, об'єктивною необхідністю є постійне оновлення та вдосконалення моделей на основі нових даних і змін в середовищі бізнесу. Це дозволяє адаптувати бізнес-процеси до динамічних змін та підтримувати на належному рівні конкурентоспроможність підприємства. Зрештою, ефективність моделювання значною мірою залежить від продуктивності комунікацій і співпраці між різними фахівцями та стейкхолдерами для забезпечення ефективного використання моделей у прийнятті рішень. У загальному ж усі зазначені принципи об'єднуються для створення функціонального інструменту, який допомагає бізнесу досягати своїх стратегічних цілей, зменшувати ризики та оптимізувати ресурси (рис. 1).

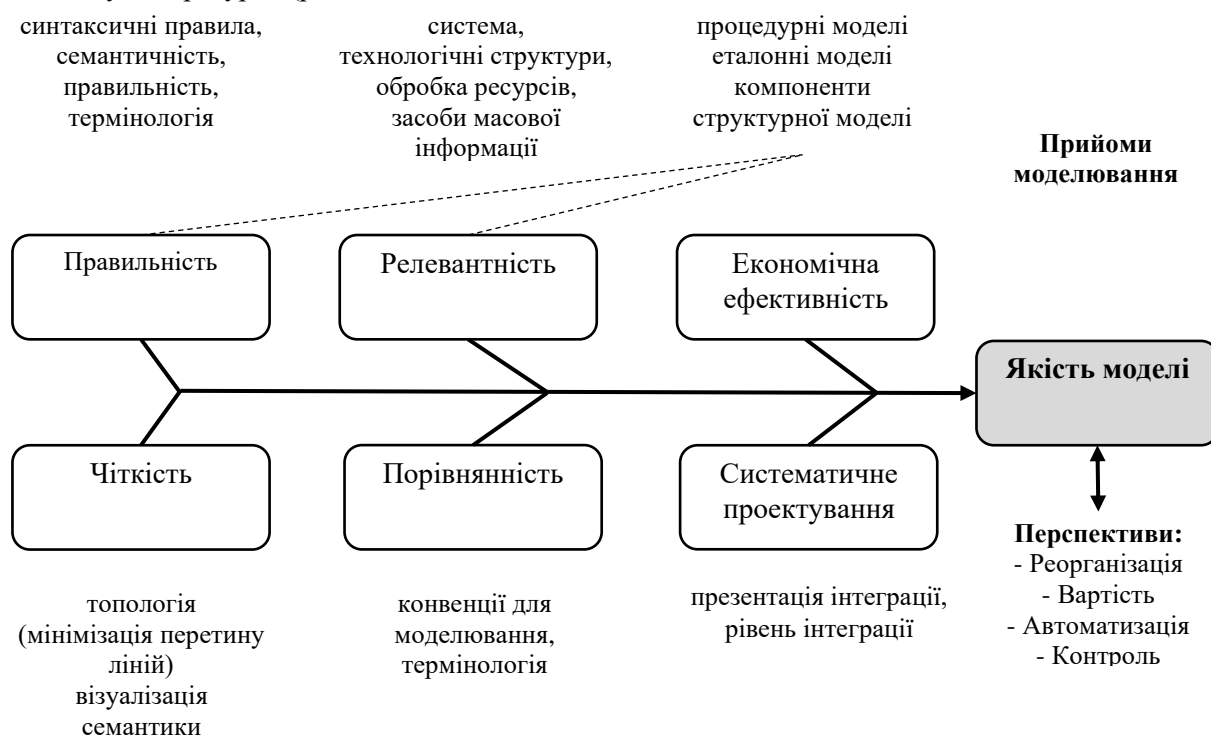


Рис. 1. Основи керівних принципів бізнес-моделювання
Джерело: систематизовано автором на основі [7]

Отже, математичне моделювання відіграє важливу роль у процесі прийняття рішень в контексті сталого розвитку підприємств. Воно дозволяє аналізувати й оптимізувати виробничі процеси суб'єктів господарювання, враховуючи економічні, екологічні та соціальні аспекти. При цьому математичні моделі надають можливість структуризації великих обсягів даних та взаємозв'язків у системі, які складно аналізувати вручну. Вони допомагають виділити ключові фактори та визначити функціональні взаємодії між ними, що є важливим у вирішенні проблем сталого розвитку. З іншого боку, математичне моделювання надає змогу проводити сценарний аналіз та прогнозування різних варіантів розвитку підприємства в плановому періоді. А самі моделі дозволяють відобразити різні альтернативи стратегій, враховуючи змінність умов та ризики, пов'язані зі сталим розвитком. Це й допомагає вибрати найбільш оптимальний шлях досягнення сталого розвитку підприємства.

Важливим аспектом моделювання є необхідність оптимізації виробничих процесів підприємства. Математичні моделі можуть бути використані для пошуку оптимальних рішень, які б зменшили споживання ресурсів та витрати, забезпечуючи при цьому стабільний розвиток підприємства. Тому застосування економіко-математичного моделювання допомагає інтегрувати різні аспекти сталого розвитку в єдиний аналітичний

інструмент. Воно дозволяє вирішувати складні завдання, враховуючи взаємодію різноманітних факторів бізнес-середовища, що сприяє прийняттю більш обґрунтованих та ефективних рішень, спрямованих на досягнення сталого розвитку підприємств у рамках обраної стратегії.

Лінійне програмування відіграє важливу роль у контексті сталого розвитку підприємств, забезпечуючи ефективну оптимізацію використання ресурсів та прийняття рішень у різних бізнес-процесах. Лінійне програмування дозволяє підприємствам максимально раціонально розподіляти наявні ресурси, включаючи фінансові, людські та матеріальні, що є особливо важливим в контексті сталого розвитку. Крім того, лінійне програмування враховує багато обмежень, що існують у формі лінійних рівнянь та нерівностей, що дозволяє аналізувати складні виробничі процеси та стратегії в умовах сталого розвитку. Саме це допомагає вирішувати задачі, які включають в себе багато змінних параметрів, що може бути особливо важливим у контексті сталого розвитку, де існують численні впливи та варіанти розвитку ситуації.

Сутність лінійного програмування в економіко-математичному моделюванні якраз і полягає у вирішенні існуючих обмежень виробництва шляхом пошуку найбільш оптимальних рішень за допомогою математичних методів. Зокрема, якщо визначити термін конкретного бізнес-процесу як x_j , сам бізнес-процес як S_i , а результативність бізнес-процесу як $P_j (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,k)$, то необхідно врахувати існуюче природне обмеження T , яке відображається за допомогою таких нерівностей:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1k} \leq T \\ x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2k} \leq T \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ x_{m1} + x_{m2} + \dots + x_{mk} \leq T \end{cases} \quad (1)$$

Відповідно, для забезпечення найбільш продуктивного рішення щодо функціонування бізнес-процесу, необхідне виконання такої умови:

$$\begin{cases} a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} + \dots + a_{m1}x_{m1} = n_1 \\ a_{21}x_{12} + a_{22}x_{22} + \dots + a_{m2}x_{m2} = n_2 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ a_{1k}x_{1k} + a_{2k}x_{2k} + \dots + a_{mk}x_{mk} = n_k \end{cases} \quad (2)$$

Крім того

$$x_j \geq 0 \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,k) \quad (3)$$

В такому випадку затрати на підтримання функціонування бізнес-процесу в умовах наявних обмежень визначатимуться через функцію:

$$F = b_{11}x_{11} + b_{12}x_{12} + \dots + b_{mk}x_{mk} \quad (4)$$

Таким чином, економіко-математична модель забезпечення найбільшої ефективності бізнес-процесу полягатиме у вирішенні задачі, яку можна описати як $X=(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{mk})$. При цьому обов'язково повинні задовольнятися обмеження, визначені системами (1) і (2) за умови (3). А максимальна ефективність буде досягнута тоді, коли функція (4) набуде свого мінімального значення, що свідчатиме про найменші затрати для підтримки функціонування бізнес-процесу в умовах заданих обмежень [1].

Фактично ефективність застосування економіко-математичного моделювання в вирішенні завдань сталого розвитку підприємств проявляється у декількох аспектах.

По-перше, математичні моделі дають змогу аналізувати великі обсяги даних та враховувати складні взаємозв'язки між різними факторами, допомагаючи виокремити ключові параметри та шляхи вирішення існуючих обмежень. Це сприяє кращому розумінню ситуації та визначенню оптимальних стратегій розвитку підприємства.

По-друге, економіко-математичне моделювання дозволяє враховувати багато аспектів сталого розвитку, включаючи соціально-економічні, ринкові, еколого-економічні. Це допомагає підприємствам розвивати збалансовані стратегії, у яких враховується вплив на навколишнє середовище, соціальну спрямованість діяльності та економічну ефективність суб'єкта господарювання.

По-третє, математичне моделювання дозволяє проводити всебічний сценарний аналіз та здійснювати прогнозування різних варіантів розвитку підприємства, враховуючи невизначеність та ризики. Це допомагає керівництву приймати більш обґрунтовані рішення, спрямовані на забезпечення досягнення сталого розвитку підприємств в умовах динамічних змін бізнес-середовища.

Таким чином, ефективність застосування економіко-математичного моделювання проявляється у здатності підприємств аналізувати, планувати та оптимізувати свою діяльність відповідно до принципів сталого розвитку, зменшуючи витрати, ризики та негативний вплив на зовнішнє середовище.

Висновки та пропозиції. Таким чином, приходимо до висновку, що економіко-математичне моделювання набуває особливого значення в сучасному управлінні підприємствами у контексті сталого розвитку. Математичні моделі дозволяють аналізувати складні взаємозв'язки в бізнес-процесах підприємства та сприяють оптимізації виробничих процесів на основі врахування обмежень та ризиків. Тому економіко-математичне моделювання допомагає суб'єктам господарювання досягати сталого розвитку на засадах збалансованого використання ресурсів та зменшення негативного впливу бізнес-процесів на зовнішнє середовище. Оскільки сталість розвитку стає дедалі важливішою метою для усіх суб'єктів ринку, то економіко-математичне моделювання виступає важливим інструментом досягнення даної мети.

Крім того, моделювання сталого розвитку є інноваційним підходом, який сприяє ефективному управлінню ресурсами підприємств. Тому використання економіко-математичних моделей допомагає підприємствам впроваджувати стратегії сталого розвитку, що сприяють їхній конкурентоспроможності та реалізації довгострокової стратегії. Таким чином, економіко-математичне моделювання є ключовим інструментом реалізації принципів сталого розвитку суб'єктів господарювання, що сприяє сталому зростанню, збалансованому використанню ресурсів та підвищенню соціальної відповідальності бізнес-процесів.

Джерела та література

1. Білоцерківський О. Б., Ширяєва Н. В., Замула О. О. Економіко-математичне моделювання. Харків : НТУ «ХПІ», 2010. 108 с.
2. Дзямулич М. І., Шматковська Т. О. Вплив сучасних інформаційних систем і технологій на формування цифрової економіки. *Економічний форум*. 2022. №2. С. 3–8.
3. Дзямулич М. І. Фінансове забезпечення сталого розвитку регіону. *Економічний форум*. 2023. №3. С. 128–133.
4. Чалюк Ю. О. Суспільство 5.0 у японській концепції кейданрен. *Mechanism of an Economic Regulation*. 2023. №1(99). С. 65–74.
5. Шматковська Т. О., Коробчук Т. І., Борисюк О. В. Сучасні інформаційно-комунікаційні технології в системі обліково-аналітичного забезпечення щодо моделювання бізнес-процесів. *Економіка та суспільство*. 2023. №53.
6. Шматковська Т. О., Стащук О. В., Дзямулич М. І. Великі дані та бізнес-моделювання економічних систем. *Ефективна економіка*. 2021. №5.
7. Becker J., Rosemann M., Von Uthmann C. Guidelines of business process modeling. *Business process management*. 2000. Pp. 30-49.
8. Pohrishchuk B., Kolomiiets T., Chaliuk Y., Yaremko I., Hromadska N. Modeling the application of anti-crisis management business introduction for the engineering sector of the economy. *International Journal of Safety & Security Engineering*. 2023. Vol. 13(2). P.187–194.

References

1. Bilotserkivskiyi, O. B., Shyriaieva, N. V., & Zamula, O. O. (2010) Ekonomiko-matematychnye modeliuвання [Economic and mathematical modeling]. Kharkiv: NTU "KhPI" (in Ukrainian).
2. Dziamulych M. I., & Shmatkovska T. O. (2022) Vplyv suchasnykh informatsiinykh system i tekhnolohii na formuvannya tsyfrovoi ekonomiky [The influence of modern information systems and technologies on the formation of the digital economy]. Ekonomichniy forum – Economic Forum. Vol. 2. P. 3–8 (in Ukrainian).
3. Dziamulych, M. I. (2023) Finansove zabezpechennia stalogo rozvytku regionu [Financial support for sustainable development of the region]. Ekonomichniy forum – Economic Forum. Vol. 3. P. 128–133 (in Ukrainian).
4. Chaliuk, Yu. O. (2023). Suspilstvo 5.0 v iaponskii kontseptsii keidanren [Society 5.0 in the Japanese concept of keidanren]. Mechanism of an Economic Regulation. Vol. 1(99). P. 65–74 (in Ukrainian).
5. Shmatkovska, T. O., Korobchuk, T. I., & Borysiuk, O. V. (2023). Suchasni informatsiino-komunikatsiini tekhnolohii v systemi oblikovo-analitychnoho zabezpechennia shchodo modeliuвання biznes-protseviv [Modern

information and communication technologies in the system of accounting and analytical support for modeling business processes]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and society*. Vol. 53 (in Ukrainian).

6. Shmatkovska, T. O., Stashchuk, O. V., & Dziamulych, M. I. (2021). Velykidani ta bisnes-modeliuvannia ekonomichnykh system [Big data and business modeling of economic systems]. *Efektivna ekonomka – Efficient economy*. Vol. 5 (in Ukrainian).

7. Becker, J., Rosemann, M., Von Uthmann, C. (2000). Guidelines of business process modeling. *Business process management*. Pp. 30-49.

8. Pohrishchuk B., Kolomiets T., Chaliuk Y., Yaremko I., & Hromadska N. (2023). Modeling the application of anti-crisis management business introduction for the engineering sector of the economy. *International Journal of Safety & Security Engineering*. Vol. 13(2). P.187–194.

Стаття надійшла до редакції 15.10.2023 р.