

УДК 004.89:519.22

Oleksandr Trofymchuk¹, Corresponding Member of the NASU, D. S. (Computer science), Professor, Director of the Institute of Telecommunications and Global Information Space
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3358-6274> **e-mail:** trofymchuk@nas.gov.ua

Petro Bidyuk², Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Mathematical Methods of System Analysis
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7421-3565> **e-mail:** pbidyuke_00@ukr.net

Oleksandr Terentiev¹, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Principal researcher
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4288-1753> **e-mail:** o.terentiev@gmail.com

Tetyana Prosyankina-Zharova¹, PhD, Associate professor, Senior Researcher
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9623-8771> **e-mail:** t.pruman@gmail.com

¹Institute of Telecommunications and Global Information Space of the NASU, Kyiv, Ukraine

²NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

MATHEMATICAL MODELING, INTELLIGENT DATA ANALYSIS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO SUPPORT DECISION-MAKING IN POST-WAR RECONSTRUCTION

Abstract. *The article is devoted to the actual scientific and applied problem – development of information technologies of support of making management decisions in conditions of systemic uncertainty, in particular, characteristic for periods of martial law and post-war recovery. Its peculiarity is complexity of formalization and structuring, necessity of solution of tasks of decision-making in conditions of systemic uncertainty and risk caused by military aggression. Therefore, the actual problem is development of scientifically based flexible and universal methodology of application of mathematical models, methods of intellectual data analysis, artificial intelligence, information technologies for formation of management decisions, within the framework of the corresponding decision support system (DSS). In the work, the architecture of the corresponding DSS is proposed, the key link of which is subsystem of preliminary processing of large volumes of input data formed from statistical indicators, results of observations and surveys, information from Internet sources, etc., for construction of models of the studied processes, development of scenarios, strategic and operational planning and forecasting. The system implements all elements of the technological chain of collecting and processing structured and unstructured data, mathematical modeling, methods of intelligent data analysis, scenario analysis, cognitive modeling, artificial intelligence, etc. A feature of the developed methodology is the ability to adequately assess the current situation, its retrospective and predict its development and consequences under several scenarios, which is relevant for decision-making tasks in martial law and post-war recovery.*

The proposed information technologies are intended for use in state and public administration systems. Their structure is flexible and adaptive: the components can be used separately or as part of existing decision-making support systems, implementation will increase the quality and efficiency of management decisions by optimizing analytical processes and data processing speed.

Keywords: *decision-making support system, management decisions, information technology, data processing, post-war recovery.*

О.М. Трофимчук¹, П.І. Бідюк², О.М. Терентьєв¹, Т.І. Просянкіна-Жарова¹

¹Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

²Інститут прикладного системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ ТА ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ

Анотація. Стаття присвячена актуальній науково-прикладній проблемі – розробленню інформаційних технологій підтримки прийняття управлінських рішень в умовах системної невизначеності, зокрема, характерної для періодів військового стану та повоєнного відновлення. Її особливістю є складність формалізації та структурування, необхідність розв’язання задач прийняття рішень в умовах системної невизначеності та ризику, зумовлених військовою агресією. Тому, актуальною є проблема розроблення науково обґрунтованої гнучкої та універсальної методики застосування математичних моделей, методів інтелектуального аналізу даних, штучного інтелекту, інформаційних технологій для формування управлінських рішень, в рамках відповідної системи підтримки прийняття рішень (СППР). В роботі запропонована архітектура відповідної СППР, ключовою ланкою якої є підсистема попередньої обробки великих обсягів вхідних даних, сформованих зі статистичних показників, результатів спостережень та опитувань, інформації з Інтернет-джерел тощо, для побудови моделей досліджуваних процесів, розробки сценаріїв, стратегічного та оперативного планування і прогнозування. У системі реалізовані всі елементи технологічного ланцюга збору та оброблення структурованих і неструктурованих даних, математичного моделювання, методи інтелектуального аналізу даних, сценарний аналіз, когнітивне моделювання, штучний інтелект тощо. Особливістю розробленої методики – можливість адекватної оцінки ситуації, що склалась на даний момент, її ретроспектива та передбачення її розвитку та наслідків за декількома сценаріями, що актуально для задач прийняття рішень в умовах воєнного стану та повоєнного відновлення.

Пропоновані інформаційні технології призначені до використання у системах державного та публічного управління. Їх структура є гнучкою та адаптивною: складові можуть бути використані окремо або у складі існуючих систем підтримки прийняття рішень, впровадження підвищить якість та оперативність управлінських рішень за рахунок оптимізації аналітичних процесів та швидкості оброблення даних.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, управлінські рішення, інформаційна технологія, оброблення даних, повоєнне відновлення.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2025.3.33-49>

Вступ

Прийняття ефективних управлінських рішень в період війни відбувається в умовах мінливого зовнішнього середовища, обмеженості ресурсів, відсутності повної інформації про ситуацію, в якій воно приймається, необхідності швидкого ухвалення такого варіанта, який врахує й ризики, й можливі наслідки, в тому числі довгострокові. Системна невизначеність – характерна

ознака не лише ситуації військового стану. Не менш актуальна вона для періоду повоєнного відновлення. Адже для соціально-економічної системи країни тривала військова агресія стала джерелом системних довготривалих викликів, подолання яких вимагає залучення всього потенціалу національної стійкості, в тому числі й ефективної системи прийняття управлінських рішень. Тобто, потрібна дієва багаторівнева система підтримки прийняття рішень, адаптована до потреб державного та публічного управління, яка на всіх рівнях «держава-регіон-громада» дозволяє приймати обґрунтовані стратегічні, тактичні та оперативні рішення щодо соціально-економічного розвитку держави та забезпечення спроможності регіонів та громад, формування ефективної оновленої національної економіки та забезпечення сталого розвитку. Звичайно, розбудова такої системи не можлива без сучасних комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень, що вирізняються гнучкістю, масштабованістю, які можна легко адаптувати до потреб осіб, що приймають рішення. Основу таких систем становлять математичні моделі, інструменти інтелектуального аналізу даних, штучний інтелект, що створюють умови для забезпечення аналізу ситуації в умовах невизначеності, побудови прогнозів високої якості для прийняття ефективних (зокрема, швидких) управлінських рішень для безперервності функціонування системи державного управління та забезпечення життєдіяльності національної економіки, безпеки населення в умовах постійного перебування під загрозою, в ситуації ризику та невизначеності тощо.

Дана робота присвячена розробленню сучасних інформаційних технологій, що поєднують сучасні засоби збору та оброблення інформації, аналітичний інструментарій та призначені до використання у системах підтримки прийняття рішень державного та публічного управління. Пропоновані інформаційні технології вирізняються адаптивністю, масштабованістю, надають можливість опрацьовувати невизначеності різних типів, досліджувати економічні, екологічні та соціальні чинники, як в умовах війни, так і у період повоєнного відновлення.

Зважаючи на те, що практично відсутній досвід використання систем підтримки прийняття рішень в управлінні соціально-економічними системами у ситуації військового конфлікту та повоєнної відбудови, тема роботи є актуальною, має практичну цінність та наукову новизну.

Постановка задачі

Метою роботи є розроблення методології створення системи підтримки прийняття рішень, призначеної для вирішення задач управління повоєнним відновленням як на рівні держави, так і регіону та галузі національної економіки. Основу цієї системи становлять нові інформаційні технології збору, обробки, накопичення великих обсягів структурованої та неструктурованої інформації, математичні моделі, методи інтелектуального аналізу даних та штучний інтелект.

Задачі дослідження:

- виконати огляд підходів, що застосовуються в сучасних системах підтримки прийняття рішень;
- запропонувати методику формування інформаційної основи для формування проєкта рішення;

- розробити методику інтелектуального аналізу даних та штучного інтелекту, які дозволять виявити закономірності та зв'язки в даних, визначати чинники, що найбільше впливають (є найбільш критичними) на розвиток соціально-економічної та суспільно-політичної ситуацій, що потребують прийняття вчасних та адекватних управлінських рішень;
- запропонувати методику використання сценарного аналізу та когнітивного моделювання в поєднанні з математичними моделями, штучним інтелектом та інтелектуальним аналізом даних для формування сценаріїв суспільно-політичних, економічних та воєнно-політичних ситуацій, які потенційно можуть вимагати заходів економічного впливу, втручання органів державної безпеки, застосування та/або залучення сил оборони на коротко- та середньострокову перспективу;
- розробити методику визначення груп типових ситуацій, розгортання яких може спричинити загрозу національній безпеці, їх наслідків, а також чинників, які можуть прискорити чи призупинити їх розгортання;
- запропонувати шляхи покращення та практичного застосування вказаної методики.

Аналіз досліджень і публікацій

Одними з ключових напрямків впровадження наукових досліджень, які сприятимуть підвищенню якості управлінських рішень, є розробка та впровадження сучасного спеціалізованого інформаційно-аналітичного апарату, основу якого становлять математичні моделі та адаптивні методи прогнозування, інтелектуальний аналіз даних, штучний інтелект, як уніфіковані підходи до генерації управлінських рішень у типових ситуаціях, так і індивідуальні сценарії, методи оптимізації використання ресурсів для досягнення цілей прийняття швидких та ефективних управлінських рішень, особливо в кризових ситуаціях, що протікають в умовах невизначеності, як у воєнний період, так і під час повоєнного відновлення, в рамках нових та існуючих ІТ-технологій. Розробленню систем підтримки прийняття рішень в управлінні соціально-економічними системами присвячені роботи П. І. Бідюка [1-9], О. П. Гожого [8], С. О. Довгого [10], В. І. Іваненка [11], Й. Корбуша [6, 12], О. Г. Наконечного [13], О. В. Нестеренка [14], О. М. Трофимчука [1-9], застосуванню методології системного аналізу – Н. Д. Панкратової та М. З. Згуровського [15], інформаційних технологій – роботи В. О. Васяніна [16], Є. В. Малахова [17], С. В. Цюцюри [18], штучного інтелекту – Ю. П. Зайченка [19, 20], В. І. Литвиненка [21], інтелектуального аналізу даних – М. М. Корабльова [22], Д. В. Ланде [23], забезпеченню надійності та ефективності функціонування комп'ютерних систем – роботи В. А. Пепеляєва [24], О. М. Хімича [25].

Незважаючи на значний доробок у сфері розроблення систем підтримки прийняття рішень, як в Україні, так і за кордоном, питанням розроблення інформаційних технологій, адаптованих до використання на різних рівнях прийняття рішень та управління, призначених для розв'язання задач запобігання виникненню негативних явищ, спричинених військовим конфліктом або соціально-економічною ситуацією, приділено мало уваги.

Невирішеним залишається питання забезпечення системного підходу до інформатизації аналітичної складової у процесі підтримки прийняття рішень під час обґрунтування моделі економічного та соціального розвитку громад та регіонів на поточний момент та на перспективу, зокрема, під час розроблення стратегій, програм, планів регіонального розвитку, визначення оптимального складу об'єднаних територіальних громад та галузевої структури економіки країни та регіону в період повоєнного відновлення, обґрунтування вибору моделі управління за урахування екологічних та суспільно-політичних чинників, можливості масштабування та модернізації існуючої інформаційної системи. Практично відсутні напрацювання стосовно методики формування цілісної системи інформаційно-аналітичного забезпечення соціально-економічного розвитку та суспільно-політичної стабільності.

Теоретичні основи дослідження

Для прогнозування соціально-економічних процесів розроблено багато різних методик застосування інтелектуального аналізу даних, математичного моделювання у системах підтримки прийняття рішень. Ці підходи представлені в роботах багатьох вітчизняних та закордонних вчених [1-25], це:

- регресійні моделі різних типів;
- моделі із включенням трендової складової та урахуванням залишків (різниця між реальним та прогнозним значенням), що включаються до моделі у вигляді ковзного середнього, за умови, що між залишками та цільовою змінною є кореляція;
- моделі класу експоненційного згладжування – Хольта, Брауна, Вінтерса (з адитивною або мультиплікативною сезонною складовою), з урахуванням дампа тренду та інші модифікації;
- нейронні мережі;
- узагальнені лінійні моделі;
- ймовірнісні моделі;
- нечіткі методи.

Однак, незважаючи на таке різноманіття моделей та методів, універсальної методики їх застосування для прогнозування соціально-економічних процесів на даний час немає. У багатьох публікаціях [1-8, 12-14, 16] щодо практичної реалізації короткострокового прогнозного моделювання відзначається, що хороші результати можна одержати за використання узагальнених лінійних моделей, експоненційних дисперсних та ймовірнісно-статистичних моделей у просторі станів. Структура моделі оцінюється наближено на підставі дослідження закономірностей протікання процесу, аналізу кореляційних функцій, візуального аналізу даних. При цьому вибирається кілька найбільш ймовірних структур (кандидатів). Потім обчислюються оцінки параметрів моделей-кандидатів, обирається краща з них, використовуючи відповідні статистичні характеристики якості моделей.

Лінійна модель у просторі станів для неперервного часу:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= A(t)x(t) + B(t)u(t) + w(t), \\ z(t) &= H(t)x(t) + V(t),\end{aligned}$$

де $x(t)$ – вектор змінних стану розмірності n , $\dot{x}(t)$ – перша похідна вектору стану стосовно часу (швидкість зміни значень вектору стану); $A(t)$ – матриця динаміки об'єкта (суб'єкта) чи процесу вимірності $[n \times n]$, яка в загальному випадку залежить від часу; $B(t)$ – матриця коефіцієнтів керування вимірності $[n \times m]$, яка також може залежати від часу; $u(t)$ – вектор сигналів керування вимірністю $[m \times 1]$; $w(t)$ – вектор збурень стану вимірності $[n \times 1]$; $z(t)$ – вектор вимірів (експериментальних даних вимірності $[r \times n]$; $H(t)$ – матриця коефіцієнтів вимірів розмірності $[r \times n]$, $v(t)$ – вектор похибок (шумів) вимірності r .

Модель у просторі станів для дискретного часу [1, 3]:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Fx(k) + w(k), \\ z(k) &= A^T u(k) + H^T x(k) + v(k), \end{aligned}$$

де F , A^T , H^T – матриці параметрів розмірності $[n \times n]$, $[r \times p]$ і $[r \times n]$, відповідно; $u(k)$ – вектор регресорів (екзогенних змінних) розмірності $[p \times 1]$, $w(k)$, $v(k)$ – вектори збурень стану та шумів вимірів відповідно з такими статистичними характеристиками [1, 3]:

$$E[w(k)w^T(l)] = \begin{cases} Q, k=l \\ 0, k \neq l \end{cases}, \quad E[v(k)v^T(l)] = \begin{cases} R, k=l \\ 0, k \neq l \end{cases},$$

де $Q[n \times n]$, $R[r \times r]$ – коваріаційні матриці збурень та шумів вимірів відповідно. Послідовності $\{w(k)\}$, $\{v(k)\}$ некорельовані для будь-яких моментів часу [1, 3]:

$$E[w(k)v^T(l)] = 0, \forall k, l.$$

Враховуючи особливості досліджуваних процесів, для прогнозування їх розвитку доцільно використовувати узагальнені лінійні моделі, зокрема, Log-лінійні моделі, пробіт/логіт моделі, регресію Пуассона та інші, які являють собою сукупність методів побудови регресійних моделей та статистичної обробки даних. Всі етапи реалізації цієї методики супроводжуються використанням відповідних множин статистичних критеріїв, що дозволяє одержати прогнози хорошої якості на різних вибірках даних.

Для оцінювання невідомих параметрів моделей опрацьованими є байєсівські підходи [2, 5, 7], які доцільно використовувати і на коротких вибірках, що дуже актуально для соціально-економічних процесів, оскільки часто вони описуються статистичними показниками за 5-10 років. Однією з проблем під час визначення структури моделі є встановлення факту наявності нелінійностей у досліджуваному процесі та типу нелінійностей. Для розв'язання цієї проблеми використовується візуальний аналіз даних та формальні тести на наявність нелінійностей. Важливою проблемою при стратегічному управлінні соціально-економічними процесами і особливо аграрним виробництвом є необхідність оперативно виявити наявність відрізків із лінійним або нелінійним трендом, наявність гетероскедастичності та значних імпульсних викидів (екстремальних значень), які можуть суттєво впливати на якість моделі. Для цього, як правило, використовують тести на наявність нелінійності. Тест використовується у випадку, коли можна набрати кілька груп (реалізацій) спостережень для одного й того ж процесу.

У роботах [1, 4] описується застосування методики усереднення прогнозів за декількома моделями. Результати прийнятної якості дозволяє забезпечити використання адаптивного моделювання [1, 4].

Значною мірою проблема вибору оптимального методу прогнозного моделювання пов'язана з наявністю та складністю опрацювання невизначеностей різних типів: ситуаційної, статистичної, структурної, ймовірнісної тощо. Хоча більшість існуючих інформаційних систем підтримки прийняття рішень мають засоби, призначені для виявлення та прогнозування ризиків, викликаних саме такими невизначеностями, увага зосереджується на оцінюванні невизначеностей лише окремих типів. Перспективами вирішення цієї проблеми є впровадження інтелектуальних технологій та засобів обробки великих масивів структурованих та неструктурованих даних у системах підтримки прийняття рішень.

Адже одним із основних стримуючих факторів щодо активного застосування апарату математичного моделювання та інтелектуальних технологій у системах підтримки прийняття рішень в управлінні соціально-економічними процесами є проблема отримання вхідної інформації, якісно сформованої та в обсягах, достатніх для побудови математичних моделей та інтелектуального аналізу даних. Адже сформувати довгий часовий ряд макроекономічних, економічних та фінансових показників часто немає можливості. Тому, особі, що приймає рішення, доводиться стикатися з проблемою неповноти та неякості вхідної інформації. Особливо це стосується періодів, коли відбувалися суспільно-політичні та структурні перетворення, економічні та фінансові кризи тощо, хоча набір показників, що опрацьовуються, може бути досить значним. Хоча на мікрорівні дана проблема пов'язана перш за все з відсутністю практики накопичення даних для потреб аналізу та прогнозування господарської та фінансової діяльності підприємств за період, більший ніж три-п'ять років. За таких обставин сформувати навчальну та валідаційну вибірки взагалі немає можливості.

В роботах [4, 26] запропоновано використовувати метод подібності процесів та його модифікації. За даного методу дослідження зосереджується на виявленні короткострокової та довгострокової динаміки у досліджуваних даних. Основною ідеєю цього методу є виявлення значимих патернів в даних [26].

Часто опрацювання коротких вибірок даних зводиться до вирішення проблеми зменшення розмірності моделей із використанням таких методів, як метод головних компонент та його модифікації, факторний аналіз, багатомірне шкалювання тощо, із подальшим використанням різних видів регресійних моделей, нейронних мереж тощо.

Для оброблення текстової інформації, як було запропоновано в роботах [23], доцільно застосовувати засоби інтелектуального аналізу текстів та такі методи штучного інтелекту, як Natural Language Processing (NLP) (для автоматичного вилучення інформації з текстів, новин, соціальних мереж), Knowledge Graphs (для побудови семантичних мереж впливів та подій), Data Fusion та Feature Engineering – для об'єднання гетерогенних джерел і формування єдиної бази ознак. Застосування штучного інтелекту стає в нагоді у задачах виявлення закономірностей, чинників, що спричиняють найбільший вплив на перебіг соціально-економічних процесів – Linear/Elastic Net, Random Forest Regressor, XGBoost; для розпізнавання подій та ризиків – методи Logistic Regression,

SVM, Decision Trees, CatBoost; для обґрунтування вибору стратегії реагування на події – Reinforcement Learning (RL); для прогнозування соціально-економічних подій – LSTM, GRU, TimesFM, Prophet.

Значна увага приділена також використанню ймовірнісних моделей [1, 4, 7], які, як показали дослідження [1-9], доцільно використовувати при розробці сценаріїв. Добре зарекомендували себе й методики сценарного аналізу, у яких використовуються когнітивні, мережі Байєса та експертне оцінювання. У роботах [1, 4, 12] пропонується використання когнітивного моделювання та експертного оцінювання для вибору найбільш значимих факторів, що якнайкраще описують структуру та поведінку досліджуваної системи з наступним їх використанням у процесі прийняття рішень, розробленні сценаріїв та прогнозів за цими сценаріями.

В задачах прийняття рішень, методики розв'язку яких ґрунтуються на аналітичних процедурах [9], логічних правилах та раціональному експертному оцінюванні, у багатьох випадках не отримують бажаного результату стосовно якості оцінок прогнозів. Тому виникає проблема системного використання альтернативних методів прогнозування для підвищення якості їх оцінок. Для вирішення цієї проблеми при розв'язанні задач прийняття рішень управління розвитком соціально-економічних систем на основі методології системного аналізу, яка передбачає ієрархічний аналіз процесів моделювання та прогнозування, урахування невизначеностей структурного параметричного та статистичного характеру, адаптування структури й параметрів моделей до змін у процесах та застосування альтернативних методів оцінювання параметрів моделей з метою пошуку кращих оцінок прогнозів за допомогою множини числових критеріїв їхньої якості, доцільно застосовувати методику, представлену у [2, 4-6].

Критерії оцінювання адекватності моделей підбираються в залежності від характеру досліджуваного процесу та обраної методики прогнозного моделювання. В залежності від цього використовують як окремі критерії якості, так і інтегральний критерій, а також порівняльні критерії. Враховуючи те, що при вирішенні задач прогнозного моделювання соціально-економічних процесів використовуються методи прогнозування на основі комбінацій моделей різних типів, для оцінювання якості таких прогнозів використовують різні варіанти усереднення прогнозів та методи оптимізаційного типу.

Результати дослідження

Архітектура пропонованої системи призначена для вирішення задач прийняття рішень в умовах невизначеності, тому обов'язковим компонентом є керуюча частина із зворотним зв'язком (рис. 1).

Як можна побачити із наведеної схеми, існує можливість покращення якості прогнозів за рахунок застосування адаптивної схеми моделювання та розширення функціоналу блоку попередньої підготовки даних.

Пропонований метод був апробований на декількох практичних задачах.

Зокрема, для дослідження перспектив повоєнного відновлення була використана пропонована методика, реалізована у декілька кроків. На першому кроці окреслено просторові (територія України: макро-, мезо-, мікрорівні), функціональні (галузі національної економіки та фінансовий сектор згідно з класифікацією видів економічної діяльності) та часові межі (2015-2024 рр.)

досліджуваної системи. Дані, використані для аналізу, розміщені у відкритих джерелах – це дані з Порталу відкритих даних [27], дані Державної служби статистики України [28], Національного банку України [29], Міністерства фінансів України [30], Пенсійного фонду України [31], а також показники, представлені на сайтах Світового банку [32], Організації Об'єднаних Націй [33], Європейського банку реконструкції та розвитку [34], Європейського парламенту [35] тощо.



Рисунок 1. Архітектура системи підтримки прийняття рішень

На другому кроці виконано SWOT, PEST, SPACE, кореляційний аналіз, доповнені матрицею впливу, яка дозволила поєднати кількісні показники, зокрема макроекономічні показники, кореляційні залежності та результати експертних оцінювань. На базі матриці впливу побудовано мережевий граф, у якому вузли – це галузі національної економіки й макропоказники, а ребра – впливи, значення яких відповідає значенню абсолютної сили понад 1,0. Далі виявляються сфери, що впливають на загальну стійкість системи – це фінанси та транспорт, і які потребують моніторингу та керування. На третьому кроці побудовано базовий, оптимістичний та песимістичний сценарії. Наприклад, базовий сценарій (табл. 1) передбачає, що активні бойові дії припинені, при повільному відновленні інфраструктури та помірному темпі реформ. За збереження нинішнього рівня міжнародної допомоги й стабільної світової кон'юнктури очікується щорічне зростання ВВП на 3 %, інфляція 8–10 %, поступове зниження безробіття до 12 % і курс гривні в діапазоні 40–45 грн/\$.

Таблиця 1. Базовий сценарій

Припущення	активні бойові дії припинені, інфраструктура відновлюється, хоча й повільно; реформи тривають у нинішньому темпі, але є пригальмовування із-за бюрократизації впровадження змін; міжнародна допомога на високому рівні (на рівні траншів, отримуваних у період військових дій), потік прямих іноземних інвестицій помірний; на світовому ринку сприятлива цінова кон'юнктура на головні експортні товари – зерно та метал (ціни на зерно й метал залишаються близько до середньорічних 2022-2023 рр. рівнів).
Макроекономічні показники (щорічно)	темپ приросту ВВП – 3 %; індекс споживчих цін не перевищує 10–15 %; безробіття знижується з 15 % до 12 %; дефіцит бюджету 15-20 % ВВП; курс національної валюти стійкий – коливається в діапазоні 40–45 грн/дол.
Секторальні ефекти	промисловість: відновлюється, виробництво зростає на 60 % або на 20 % від довоєнного рівня, зростання не менше 2 % щорічно; урожайність сільськогосподарських культур стало висока, експорт +1,5-2 % щорічно; ІТ-сектор зростає на 5-8 % на рік; сфера будівництва та реконструкції – відбудова 30 % зруйнованих об'єктів до 2027 р.

Побудовані сценарії дають можливість узагальнити фактори, ранжувати ключові компоненти та їх зв'язки. На четвертому кроці виконується моделювання нелінійних зв'язків, між факторами процесу, що досліджується. Для побудови топології мережі Байєса використовується метод Greedy Thick Thining, для обчислення значень ймовірностей по мережі – метод K2. Попередньо, дані були підготовлені, а саме від інтервальних значень перейшли до бінарних, що моделюють два стани – ріст або падіння значення змінної у момент часу t , по відношенню до значення у попередній момент часу $t-1$. Фрагмент мережі Байєса представлений на рис. 2.

Отримана мережа Байєса має похибку класифікації у 15 %, тобто в 85 % випадків мережа вірно моделює інвестиційний сценарій, а саме, зміну валового нагромадження капіталу, залежно від значень станів інших вершин мережі – макроекономічних показників.

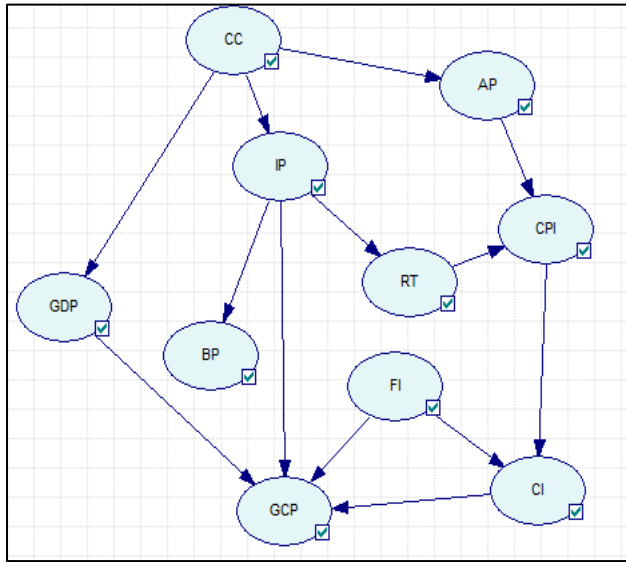


Рисунок 2. Фрагмент топології мережі Байєса, що моделює базовий сценарій повоєнного відновлення

Загалом, моделювання сценаріїв на основі мереж Байєса показало, що суттєве збільшення значення цільової змінної GCP (валове нагромадження капіталу) досягається в першу чергу за рахунок зростання значень параметрів моделі, таких як GDP (валовий внутрішній продукт), RT (оборот роздрібної торгівлі), IP (обсяг реалізованої промислової продукції, товарів та послуг) та AP (продукція сільського господарства).

На п'ятому кроці за побудованими сценаріями здійснюється прогнозування різних цільових змінних на різних часових перерізах. Наприклад, для «інвестиційного» сценарію для довгострокового прогнозування валового нагромадження основного капіталу було застосовано методи штучного інтелекту – нейронні мережі. Побудована модель має статистичні характеристики: статистика R-квадрат дорівнює 0,93, а середня абсолютна процентна похибка прогнозу на тренінговому наборі даних MAPE дорівнює 7,39 %.

На рис. 3 представлені результати довгострокового прогнозування валового внутрішнього продукту та валового нагромадження основного капіталу за різними сценаріями на період до 2040 року. Для побудови моделі нейронної мережі було використано програмне забезпечення SAS Enterprise Miner, з налаштуваннями аналітичних компонентів мережі: вхідний шар містить усі змінні, що використані для побудови сценаріїв, включаючи лагові змінні першого порядку; один прихований шар, що містить п'ять прихованих вершин (обрано аналітичним шляхом); використовується функція перетворення вхідних змінних softmax; кількість ітерацій навчання – двадцять.

Як видно з рис. 3, відновлення економіки та позитивна економічна динаміка на перспективу до 2040 року можуть бути досягнуті за умови сталого зростання залучення інвестицій та збереження співвідношення промисловість-сільське господарство на довоєнному рівні.

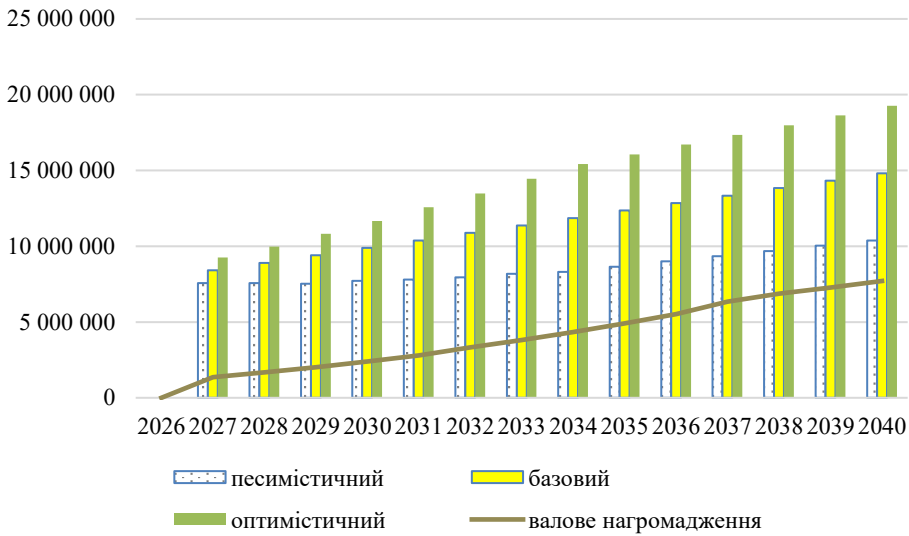


Рисунок 3. Результати довгострокового прогнозування макроекономічної динаміки за різними сценаріями інвестиційного забезпечення до 2040 року

Якість одержаних результатів прогнозного моделювання свідчить про перспективність застосування запропонованої методики для різних соціально-економічних процесів. Також запропонований підхід має переваги щодо автоматизації основних процесів попередньої обробки даних та прогнозного моделювання.

Висновки

Розроблена інформаційна технологія заснована на системному використанні інструментальних засобів і методів, які вирішують завдання аналізу, моделювання, прогнозування, підтримки прийняття рішень в управлінні соціально-економічними системами у період повоєнного відновлення, забезпечує обґрунтування та аналіз ефективності пропонуваніх варіантів рішень та сценаріїв розвитку подій. Математичні моделі, засоби інтелектуального аналізу даних, штучний інтелект, пропонувані в роботі, становлять основу інформаційно-аналітичної технології для забезпечення прийняття рішень у сфері національної безпеки і оборони. Їх використання посилить інформаційно-аналітичну та прогностичну функції служб міністерств та відомств, установ, організацій, органів місцевого самоврядування, зокрема підвищить якість збирання первинної інформації, сформує передумови для створення системи моніторингу загроз національній безпеці України, що охопить різні рівні державного управління; забезпечить комплексне оцінювання стану національної економіки, покращить інформаційно-аналітичне забезпечення стратегічного планування; дозволить сформувати єдиний інформаційний простір державного управління національною безпекою та обороною. Запропоновані математичні моделі, інструменти інтелектуального аналізу даних, штучний інтелект, сценарії, когнітивні моделі та методи прогнозування та підтримки прийняття рішень

можуть використовуватися залежно від типу й механізму вибору та формулювання конкретної задачі, як окремо – для розв’язування окремих підзадач, так і системно – для вирішення загальної проблеми. Результати виконання роботи дозволять удосконалити систему підтримки прийняття рішень в сфері національної безпеки та оборони як складової національної системи стійкості та інформаційно-аналітичне забезпечення процесу прийняття рішень, аналізу перебігу подій та результатів прийнятого рішення відповідними структурами органів державного управління та місцевого самоврядування, зокрема, проаналізувати поточну ситуацію, потенційні та реальні загрози та кризові ситуації (зокрема, визначити їх прояви), розробити типові рішення, сценарії реагування на загрози, критичні ситуації, катастрофи тощо, прогнозувати спроможності, необхідні для їх подолання.

В подальшому система може бути розширена за рахунок додавання нових математичних моделей та їх ансамблів, засобів обробки геопросторової інформації та штучного інтелекту, зокрема, технології Human-in-loop.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Trofymchuk, O. M., Bidiuk, P. I., Prosiankina-Zharova, T. I., & Terentiev, O. M. (2019). *Decision support systems for modelling, forecasting and risk estimation: Monography*. Riga: LAP LAMBERT Academic Publishing.
2. Trofymchuk, O. M., Bidiuk, P. I., Prosiankina-Zharova, T. I., & Terentiev, O. M. (2023). Bayesian data analysis in modeling and forecasting nonlinear nonstationary financial and economic processes. *Проблеми керування та інформатики*, 4, 71–83. <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2023-4-6>
3. Бідюк, П. І., Тимошук, О. Л., Коваленко, А. Є., & Коршевнік, Л. О. (2022). *Системи і методи підтримки прийняття рішень: Підручник для здобувачів ступеня магістра за спеціальністю 124 Системний аналіз*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського.
4. Trofymchuk, O., Bidiuk, P., Terentiev, O., & Klymenko, V. (2024). The methodology for adaptive modeling and forecasting nonlinear and nonstationary processes. *Міжнародний науково-технічний журнал «Проблеми керування та інформатики»*, 1, 63–79.
5. Kuznetsova, N. V., Trofymchuk, O. M., Bidiuk, P. I., Terentiev, O. M., & Levenchuk, L. B. (2021). Bayesian modelling of risks of various origin. *KPI Science News*, 4, 7–18. <https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.4.251684>
6. Korbicz, J., Trofymchuk, O., Bidiuk, P., Kuznetsova, N., Terentiev, O., & Prosiankina-Zharova, T. (2021). Probabilistic modeling of risks of different origin. *Modern Information Technologies for Environmental Safety Management, Nature Management, Emergency Measures*, October 7, Kyiv, Ukraine, 29–42.
7. Trofymchuk, O. M., Bidiuk, P. I., Prosiankina-Zharova, T. I., & Terentiev, O. M. (2022). Bayesian data analysis in modeling and forecasting nonlinear nonstationary financial and economic processes. *XXI Міжнародна науково-практична конференція “Інформаційно-комунікаційні технології та сталий розвиток,”* 14–16 листопада 2022 р., м. Київ, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. Київ: ТОВ «Видавництво «Юстон».
8. Bidiuk, P. I., Korshevnyuk, L. O., Gozhyi, O. P., Kalinina, I. O., Prosyankina-Zharova, T. I., & Terentiev, O. M. (2019). Modeling and forecasting financial and economic processes with decision support system. *Наукові вісті КПІ*, 5–6, 7–17. <https://doi.org/10.20535/kpi-sn.2019.5-6.176835>
9. Довгий, С. О., Бідюк, П. І., & Трофимчук, О. М. (2014). *Системи підтримки прийняття рішень на основі статистично-ймовірнісних методів*. Київ: Логос.

10. Довгий, С. О., Копійка, О. В., & Козлов, О. С. (2023). Передача інформації в автоматизованих системах спеціального призначення. *Екологічна безпека та природокористування*, 1(45), 76–90. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.1.76-90>
11. Іваненко, В. І. (2015). Очікувана корисність у ситуаціях прийняття рішень з випадковими у широкому сенсі наслідками. *Системні дослідження та інформаційні технології*, 2, 51–58.
12. Korbicz, J., Bidyuk, P., Kuznietsova, N., Terentiev, O., & Prosiankina-Zharova, T. (2020). Multivariate distribution model for financial risks management. *The 9th International Conference "Information Control Systems & Technologies" (ICST2020)*, Odessa, Sept. 24–26, (pp. 416–429). CEUR Workshop Proceedings.
13. Nakonechnyi, O., & Podlipenko, Y. (2021). *Guaranteed estimation problems in the theory of linear ordinary differential equations with uncertain data*. River Publishers Series in Mathematical and Engineering Science.
14. Поліщук, В. Б., Нетесін, І. Є., & Нестеренко, О. В. (2019). *Інформаційні технології в управлінні оборонними ресурсами: методологічний контекст та приклади практичної реалізації*. Київ: УкрНЦ РІТ.
15. Панкратова, Н. Д. (2018). *Системний аналіз. Теорія та застосування*. Київ: Наукова думка.
16. Васянін, В. О., Трофимчук, О. М., & Ушакова, Л. П. (2025). Методологія математичного моделювання перспективного розвитку вузлів і транспортних маршрутів у багатопродуктовій ієрархічній мережі. II. Експериментальні дослідження. *Кибернетика та системний аналіз*, 61(2), 78–98. <https://doi.org/10.34229/KCA2522-9664>
17. Bocharova, M., & Malakhov, E. (2024). Improving information theory of context-aware phrase embeddings in HR domain. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5, 53–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313970>
18. Цюцюра, С., Гнатченко, Д., & Фібрук, Р. (2024). Алгоритм розроблення веб-орієнтованого застосунку цифровізації підприємства. *Управління розвитком складних систем*, 59, 235–241. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.235-241>
19. Zgurovsky, M. Z., & Zaychenko, Y. P. (2019). *Big Data: Conceptual analysis and applications*. Switzerland: International Publishing.
20. Zgurovsky, M. Z., & Zaychenko, Y. P. (2016). *The fundamentals of computational intelligence: System approach*. Switzerland: Springer International Publishing.
21. Mashkov, V., Lytvynenko, V., & Lurie, I. (2023). Modeling and simulating mutual testing in complex systems by using Petri nets. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, 15(6), 81–93. <https://doi.org/10.5815/ijigsp.2023.06.07>
22. Korablyov, M., & Lutsyy, S. (2022). System-information models for intelligent information processing. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 3(21), 26–38. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.21.026>
23. Zgurovsky, M., Lande, D., Boldak, A. et al. (2021). Linguistic analysis of Internet media and social network data in the problems of social transformation assessment. *Cybernetics and Systems Analysis*, 57(2), 228–237. <https://doi.org/10.1007/s10559-021-00348-8>
24. Pepelyaev, V. A., Golodnikov, A. N., & Golodnikova, N. A. (2022). A new method of reliability optimization in the classical problem statement. *Cybernetics and Systems Analysis*, 58(6), 917–922. <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00525>
25. Петрик, М. Р., Бойко, І. В., Хіміч, О. М., & Петрик, М. М. (2021). Високопродуктивні суперкомп'ютерні технології моделювання та ідентифікації складних нанопористих кіберсистем зі зворотними зв'язками для n-компонентної компетитивної адсорбції. *Кибернетика і системний аналіз*, 57(2), 170–183. <https://doi.org/10.1007/s10559-021-00357>
26. Leonard, M., Sloan, J., Lee, J., & Elsheimer, B. (2007). *An introduction to similarity analysis using SAS*. Proceedings of the SAS Global Forum. <https://support.sas.com/rnd/app/ets/papers/similarityanalysis.pdf>

27. Набори даних. (n.d.). <https://data.gov.ua/dataset>. <https://data.gov.ua>
28. Публікації. (n.d.). *Державна служба статистики України*. <https://www.ukrstat.gov.ua>
29. Набори даних. (n.d.). *Національний банк України*. <https://bank.gov.ua/ua/statistic>
30. Набори даних. (n.d.). *Міністерство фінансів України*. Статистичний збірник. <https://mof.gov.ua/uk/statistichnij-zbirnik>
31. Набори даних. (n.d.). *Пенсійний фонд України*. <https://www.pfu.gov.ua/statystyka>
32. Data Sets. (n.d.). *World Bank Open Data*. <https://data.worldbank.org>
33. United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2016). *Compendium of innovative practices in public governance and administration for sustainable development*. UN-iLibrary. <https://doi.org/10.18356/4bbb6eba-en>
34. Data sets. (n.d.). *The European Bank for Reconstruction and Development*. <https://www.ebrd.com/home.html>
35. Data sets. (n.d.). *European Parliament*. <https://www.europarl.europa.eu/portal/en>

Стаття надійшла до редакції 13.06.2025 і прийнята до друку після рецензування 09.09.2025

REFERENCES

1. Trofymchuk, O. M., Bidiuk, P. I., Prosiankina-Zharova, T. I., & Terentiev, O. M. (2019). *Decision support systems for modelling, forecasting and risk estimation: Monography*. Riga: LAP LAMBERT Academic Publishing.
2. Trofymchuk, O. M., Bidiuk, P. I., Prosiankina-Zharova, T. I., & Terentiev, O. M. (2023). Bayesian data analysis in modeling and forecasting nonlinear nonstationary financial and economic processes. *Problemy keruvannya ta informatyky*, 4, 71–83. <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2023-4-6> [in Ukrainian].
3. Bidjuk, P. I., Tymoshchuk, O. L., Kovalenko, A. Je., & Korshevnyuk, L. O. (2022). *Systemy i metody pidtrymky pryjnjattja rishen': Pidruchnyk dla здобувачів ступеня магістра за спеціальністю 124 Systemnyj analiz*. Kyiv: KPI im. Igorja Sikors'kogo [in Ukrainian].
4. Trofymchuk, O., Bidiuk, P., Terentiev, O., & Klymenko, V. (2024). The methodology for adaptive modeling and forecasting nonlinear and nonstationary processes. *Problemy keruvannya ta informatyky*, 1, 63–79.
5. Kuznietsova, N. V., Trofymchuk, O. M., Bidiuk, P. I., Terentiev, O. M., & Levenchuk, L. B. (2021). Bayesian modelling of risks of various origin. *KPI Science News*, 4, 7–18. <https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.4.251684>
6. Korbicz, J., Trofymchuk, O., Bidiuk, P., Kuznietsova, N., Terentiev, O., & Prosiankina-Zharova, T. (2021). Probabilistic modeling of risks of different origin. In *Modern Information Technologies for Environmental Safety Management, Nature Management, Emergency Measures* (pp. 29–42). Kyiv, Ukraine.
7. Trofymchuk, O. M., Bidiuk, P. I., Prosiankina-Zharova, T. I., & Terentiev, O. M. (2022). Bayesian data analysis in modeling and forecasting nonlinear nonstationary financial and economic processes. In *XXI Mizhnarodna nauково-praktychna konferencija: "Informacijno-komunikacijni tehnologii' ta stalij rozvytok"* (pp. 14–16). Kyiv: TOV "Vydavnytstvo Juston" [in Ukrainian].
8. Bidiuk, P. I., Korshevnyuk, L. O., Gozhyi, O. P., Kalinina, I. O., Prosiankina-Zharova, T. I., & Terentiev, O. M. (2019). Modeling and forecasting financial and economic processes with decision support system. *Naukovi visti KPI*, 5–6, 7–17. <https://doi.org/10.20535/kpi-sn.2019.5-6.176835>
9. Dovgyj, S. O., Bidjuk, P. I., & Trofymchuk, O. M. (2014). *Systemy pidtrymky pryjnjattja rishen' na osnovi statystychno-jmovirnisnyh metodiv*. Kyiv: Logos [in Ukrainian].

10. Dovgyj, S. O., Kopijka, O. V., & Kozlov, O. S. (2023). Peredacha informacii' v avtomatyzovanyh systemah special'nogo pryznachennja. *Ekologichna bezpeka ta pryrodokorystuvannja*, 1(45), 76–90. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.1.76-90> [in Ukrainian].
11. Ivanenko, V. I. (2015). Ochikuvana korysnist' u sytuacijah pryjnattja rishen' z vypadkovyvy u shyrokomu sensi naslidkamy. *Systemni doslidzhennja ta informacijni tehnologii'*, 2, 51–58 [in Ukrainian].
12. Korbicz, J., Bidyuk, P., Kuznietsova, N., Terentiev, O., & Prosiiankina-Zharova, T. (2020). Multivariate distribution model for financial risks management. In *The 9th International Conference "Information Control Systems & Technologies" (ICST2020)* (pp. 416–429). CEUR Workshop Proceedings.
13. Nakonechnyi, O., & Podlipenko, Y. (2021). *Guaranteed estimation problems in the theory of linear ordinary differential equations with uncertain data*. River Publishers.
14. Polishchuk, V. B., Netesin, I. Je., & Nesterenko, O. V. (2019). *Informacijni tehnologii' v upravlinni oboronnyvy resursamy: metodologichnyj kontekst ta pryklady praktychnoi realizacii'*. Kyiv: UkrNC RIT [in Ukrainian].
15. Pankratova, N. D. (2018). *Systemnyj analiz. Teorija ta zastosuvannja*. Kyiv: Naukova Dumka [in Ukrainian].
16. Vasjanin, V. O., Trofymchuk, O. M., & Ushakova, L. P. (2025). Metodologija matematychnogo modeljuvannja perspektyvnogo rozvytku vuzliv i transportnyh marshrutiv u bagatoproduktovij ijerarhichnij merezhi. II. Eksperymental'ni doslidzhennja. *Kibernetyka ta systemnyj analiz*, 61(2), 78–98. <https://doi.org/10.34229/KCA2522-9664> [in Ukrainian].
17. Bocharova, M., & Malakhov, E. (2024). Improving information theory of context-aware phrase embeddings in HR domain. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5, 53–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.313970>
18. Cjucjura, S., Gnatchenko, D., & Fibruk, R. (2024). Algorytm rozroblennja veb-orijentovanogo zastosunku cyfrovizacii' pidpryjemstva. *Upravlinnja rozvytkom skladnyh system*, 59, 235–241. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.235-241> [in Ukrainian].
19. Zgurovsky, M. Z., & Zaychenko, Y. P. (2019). *Big data: Conceptual analysis and applications*. Switzerland: International Publishing.
20. Zgurovsky, M. Z., & Zaychenko, Y. P. (2016). *The fundamentals of computational intelligence: System approach*. Switzerland: Springer International Publishing.
21. Mashkov, V., Lytvynenko, V., & Lurie, I. (2023). Modeling and simulating mutual testing in complex systems by using Petri nets. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, 15(6), 81–93. <https://doi.org/10.5815/ijigsp.2023.06.07>
22. Korablyov, M., & Lutskey, S. (2022). System-information models for intelligent information processing. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 3(21), 26–38. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.21.026>
23. Zgurovsky, M., Lande, D., Boldak, A., et al. (2021). Linguistic analysis of internet media and social network data in the problems of social transformation assessment. *Cybernetics and Systems Analysis*, 57(2), 228–237. <https://doi.org/10.1007/s10559-021-00348-8>
24. Pepelyaev, V. A., Golodnikov, A. N., & Golodnikova, N. A. (2022). A new method of reliability optimization in the classical problem statement. *Cybernetics and Systems Analysis*, 58(6), 917–922. <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00525>
25. Petryk, M. R., Bojko, I. V., Himich, O. M., & Petryk, M. M. (2021). Vysokoproduktyvni superkomp'juterni tehnologii' modeljuvannja ta identyfikacii' skladnyh nanoporystyh kibersystem zi zvorotnyvy zv'jazkamy dlja n-komponentnoi' kompetytyvnoi' adsorbicii'. *Kibernetyka i systemnyj analiz*, 57(2), 170–183. <https://doi.org/10.1007/s10559-021-00357> [in Ukrainian].
26. Leonard, M., Sloan, J., Lee, J., & Elsheimer, B. (2007). An introduction to similarity analysis using SAS. *Proceedings of the SAS Global Forum 2007* (22 p.). <https://support.sas.com/rnd/app/ets/papers/similarityanalysis.pdf>
27. Nabory danyh. (n.d.). <https://data.gov.ua/dataset>. <https://data.gov.ua> [in Ukrainian].

28. Publikacii'. (n.d.). *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*. <https://www.ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian].
29. Nabory danyh. (n.d.). *Nacional'nyj bank Ukrainy*. <https://bank.gov.ua/ua/statistic> [in Ukrainian].
30. Nabory danyh. (n.d.). *Ministerstvo finansiv Ukrainy. Statystychnyj zbirnyk*. <https://mof.gov.ua/uk/statystichnij-zbirnik> [in Ukrainian].
31. Nabory danyh. (n.d.). *Pensijnyj fond Ukrainy. Statystyka*. <https://www.pfu.gov.ua/statystyka> [in Ukrainian].
32. Data Sets. (n.d.). *World Bank Open Data*. <https://data.worldbank.org>
33. United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2016). *Compendium of innovative practices in public governance and administration for sustainable development*. <https://doi.org/10.18356/4bbb6eba-en>
34. Data Sets. (n.d.). *European Bank for Reconstruction and Development*. <https://www.ebrd.com/home.html>
35. Data Sets. (n.d.). *European Parliament*. <https://www.europarl.europa.eu/portal/en>

The article was received 13.06.2025 and was accepted after revision 09.09.2025

Трофимчук Олександр Миколайович

д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України, директор
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України
Адреса робоча: 0186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3358-6274> **e-mail:** Trofymchuk@nas.gov.ua

Бідюк Петро Іванович

д.т.н., професор, професор кафедри математичних методів системного аналізу
Інститут прикладного системного аналізу Національного технічного університету
України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Адреса робоча: 03056, м. Київ, Берестейський проспект, 37
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7421-3565> **e-mail:** pbidyuke_00@ukr.net

Терентьєв Олександр Миколайович

д.т.н., доцент, провідний науковий співробітник
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України
Адреса робоча: 0186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4288-1753> **e-mail:** o.terentiev@gmail.com

Просянкін-Жарова Тетяна Іванівна

к.е.н., доцент, старший науковий співробітник
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України
Адреса робоча: 0186, м. Київ, Чоколівський бульв., 13
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9623-8771> **e-mail:** tpruman@gmail.com