

УДК 004.942

DOI <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-4.37>

Шелудченко Л. С.

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри транспортних технологій та засобів АПК,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: seludcenkolesa@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0409-4641

Комарніцький С. П.

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних технологій та засобів АПК,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: sergiypetrov2207@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7654-3373

Павлів О. В.

кандидат ветеринарних наук, доцент,
завідувач кафедри екології Відокремленого підрозділу
Національного університету біоресурсів і природокористування України
Бережанський агротехнічний інститут
Бережани, Україна
E-mail: olegpavliv826@gmail.com
ORCID: 0009-0006-2970-1670

Мельник В. А.

асистент кафедри транспортних технологій та засобів АПК,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: ttzapk@pdatu.edu.ua

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

Анотація

У статті розглядаються теоретико-методологічні аспекти застосування методу моделювання як одного із ключових інструментів дослідження, проєктування та оптимізації технологічних процесів і систем у сучасній інженерії. Зокрема, авторами визначено, що теоретичним обґрунтуванням та методологічним аналізом застосування методу моделювання технологічних процесів і систем забезпечується формування науково обґрунтованої методології досліджень, підвищується ефективність наукових експериментів, а результати модельного дослідження формують потужну основу для подальшого розроблення та впровадження ефективних моделей в інженерну практику. Проаналізовано гносеологічні функції моделей та визначено специфіку їх застосування. Розглянуто методологію моделювання як ітераційний процес, який включає основні етапи процесу: від постановки задачі, формулювання гіпотези, розроблення концептуальної моделі, формалізації, **розроблення алгоритму та програмної реалізації, проведення експериментів, аналізу та інтерпретації результатів**. Акцентовано, що кожен етап потребує перевірки відповідності моделі реальному об'єкту, що забезпечується аналізом її адекватності і є визначальним фактором для отримання достовірних результатів. Обґрунтовано, що використання моделювання відкриває нові можливості для проведення модельних експериментів для оптимізації параметрів технічних систем, аналізу їх поведінки за різних умов та перевірки гіпотез. Це сприяє підвищенню достовірності отриманих результатів, інтеграції теоретичних знань у практичний досвід, а також розвитку інноваційних технологій і міждисциплінарних підходів у сучасній інженерії.

Ключові слова: наукові дослідження, моделювання, технологічні процеси і системи, міждисциплінарність, модель, адекватність моделі.

Вступ. Дослідження в галузі технічних наук спрямовуються на вирішення конкретних прикладних завдань: створення нових технологій, удосконалення технологічних процесів або оптимізацію наявних систем. Головною особливістю таких досліджень є орієнтація на ефективний кінцевий результат, який має чітко визначену практичну мету. Технічні дослідження оперують кількісними та якісними показниками, результати вимірювання яких повинні бути відтворюваними та об'єктивними. З цією метою використовуються різні методи наукових досліджень: математичний апарат (для опису процесів і систем, які досліджуються), стандартизовані методики (згідно з якими проводяться дослідження) та метрологічні показники (для забезпечення єдності та точності вимірювань). Варто відзначити, що будь-який технічний об'єкт у процесі досліджень розглядається як складна система, яка складається із взаємопов'язаних елементів (об'єктів системи) та зв'язків між ними (інформаційних, матеріальних, енергетичних тощо). Тому, здійснюючи дослідження, необхідно враховувати не лише властивості окремих елементів, а і особливість їхньої взаємодії між собою, зовнішнім середовищем, яке здійснює вплив не лише на досліджуваний об'єкт, а і на систему загалом [4]. Саме тому застосування моделювання є важливим методом, за допомогою якого можна здійснити перевірку гіпотез, провести розрахунки, прийняти попередні рішення та оцінити їх ефективність (технологічну, економічну, екологічну тощо).

Мета дослідження – теоретичне обґрунтування та методологічний аналіз застосування методу моделювання як ефективного інструменту наукових досліджень для проектування та оптимізації інженерних рішень.

Виклад основного матеріалу. Моделювання є універсальним методом наукового пізнання, який забезпечує можливість експериментального, аналітичного та прогностичного вивчення складних об'єктів, процесів і систем [10].

Гносеологічні функції моделей: пізнавальна (виявляє нові закономірності і властивості досліджуваних об'єктів), інтерпретаційна (забезпечує пояснення та осмислення досліджуваних фактів), аналітична (визначає структуру системи та взаємозв'язки між її елементами), прогностична (визначає поведінку систем у майбутньому), експериментальна (створює умови для проведення досліджень), систематизуюча (інтегрує знання у єдину концептуальну схему) є універсальним інструментом пізнання, який забезпечує зв'язок між теорією та практикою, сприяючи розвитку наукових знань і технологій.

У технічній сфері моделювання являє собою метод створення та дослідження моделей технічних об'єктів, систем або процесів, які відображають суттєві характеристики, структуру та принципи функціонування оригіналу [3].

Метою такого підходу є отримання нових знань про поведінку досліджуваних процесів і систем, виявлення закономірностей їх роботи, а також оптимізація параметрів для підвищення ефективності їх функціонування.

Застосування моделювання дозволяє здійснювати аналіз і прогнозувати процеси без необхідності втручання у реальний об'єкт, що значно знижує витрати ресурсів і зменшує ризики експериментів. За допомогою моделей досліджуються впливи зовнішніх факторів, тестуються різні варіанти конструктивних або технологічних рішень, а також здійснюється оцінка стійкості системи до змін параметрів зовнішнього середовища [5].

Варто зазначити, що дослідження технологічних процесів і систем методом моделювання характеризується ітеративністю процесу. Для досягнення проектних технічних характеристик циклічність алгоритму створює умови для реалізації коригуючих змін (за потреби) в основні етапи дослідження: формулювання гіпотези; проектування та моделювання; проведення експерименту; аналіз результатів досліджень тощо [6]. Таким чином, застосування методу моделювання дає можливість отримати нові знання про об'єкт дослідження, виявити закономірності його поведінки під дією зовнішніх факторів та здійснювати оптимізацію параметрів згідно з факторами зовнішнього середовища (табл. 1).

Таблиця 1. Ключові завдання, які вирішуються методом моделювання

Завдання, які вирішуються	Характеристика
Аналіз	Розуміння функціонування наявної системи
Проектування	Створення нових технічних систем із заданими характеристиками
Оптимізація	Покращення параметрів наявної системи
Прогнозування	Передбачення поведінки системи в майбутньому або за змінних умов.

Таким чином, алгоритм реалізації моделювання досліджуваного технологічного процесу або системи характеризується циклічністю послідовних дій, кожен етап якого спрямований на формування, уточнення та перевірку моделі (табл. 2).

Застосування методу моделювання надає низку суттєвих переваг: зменшення витрати часу та ресурсів на розробку технічних систем; можливість здійснення більш детального аналізу внутрішніх характеристик системи, які важко або неможливо виміряти експериментальним шляхом; зменшення ризиків для навколишнього середовища під час дослідження складних або небезпечних систем; оперування різними рівнями масштабності, що забезпечує універсальність застосування у різних галузях; оптимізація параметрів з метою вибору найбільш оптимального рішення за попередньо визначеними критеріями ефективності, надійності, екологічності тощо [1; 5; 6].

Проте варто звернути увагу, що отримані результати мають наукову та практичну цінність лише за тих умов, коли побудована модель адекватно відображає властивості та поведінку досліджуваного об'єкта. Недостатня відповідність моделі призводить до можливості виникнення похибок у прогнозах і втрати практичної цінності результатів [8; 9].

Таблиця 2. Етапи реалізації моделювання

1 етап – Постановка завдання	
Визначається мета дослідження, формуються основні завдання, які має визначити модель, встановлюються межі системи та умови її функціонування.	
2 етап – Формулювання гіпотези	
Визначається попереднє теоретичне припущення щодо характеру взаємозв'язків між параметрами системи, яке підлягає подальшій перевірці методом моделювання	
3 етап – Розроблення концептуальної моделі	
Технологічний процес або система (об'єкт моделювання) «спрощується» шляхом прийняття необхідних припущень та ідеалізацій. Визначається перелік факторів, які є суттєвими для дослідження, та ті, які можуть бути знехтувані задля зручності та ефективності подальших розрахунків.	
4 етап – Формалізація (створення математичної моделі)	
Концептуальна модель описується у формалізованій, математичній формі, яка відображає взаємозв'язки між елементами системи.	
5 етап – Розроблення алгоритму та програмна реалізація	
На основі математичної моделі створюється алгоритм розв'язання задачі, який реалізується у вигляді комп'ютерної програми або за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення	
6 етап – Верифікація та валідація моделі	
Верифікація передбачає перевірку коректності реалізації моделі, зокрема правильності алгоритмів, обчислень і відсутності програмних помилок.	Валідація спрямована на оцінювання адекватності моделі реальному об'єкту шляхом порівняння результатів моделювання з експериментальними, або теоретично відомими даними. Цей етап є ключовим для підтвердження достовірності та практичної цінності моделі.
7 етап – Проведення комп'ютерних експериментів	
На цьому етапі модель використовується як інструмент для дослідження: змінюються вхідні параметри, а результати аналізуються для виявлення закономірностей поведінки об'єкта.	
8 етап – Аналіз та інтерпретація результатів	
Отримані результати підлягають системному аналізу та візуалізації (у вигляді графіків, таблиць, поверхонь відгуків тощо), на основі яких формуються науково обгрунтовані висновки, рекомендації та пропозиції щодо вдосконалення технічних рішень.	

Саме адекватність моделі визначає ступінь її відповідності технологічному процесу, системі чи об'єкту і є ключовим критерієм для забезпечення достовірності результатів моделювання. Через оцінку адекватності моделі проводиться верифікація (перевірка правильності реалізації) та валідація (порівняння з експериментальними чи теоретично відомими даними), які дозволяють гарантувати, що моделювання забезпечує надійну основу для наукового аналізу, оптимізації технологічних процесів і прийняття подальших інженерних рішень [2].

Висновки. Результати модельних досліджень становлять важливу методологічну та теоретичну основу для розроблення нових технічних рішень, удосконалення технологічних процесів і систем, підвищення їх ефективності і водночас зниження витрат на експериментальні випробування. Моделювання дає змогу здійснювати прогнозування поведінки досліджуваної системи за різних умов експлуатації, оптимізувати параметри виробничих процесів і систем, розробляти інноваційні технології. Таким чином, метод моделювання є важливим інструментом інженерного проектування та управління, що визначає їхню практичну цінність для розвитку сучасної інженерної практики.

Перспективи для подальших наукових досліджень, які відкриває метод моделювання, полягають у: можливості проведення віртуальних експериментів і прогнозування поведінки систем у динамічних умовах; створення оптимізаційних моделей для вибору найефективніших технічних рішень; розробленні нових концепцій і методів моделювання, що враховують сучасні виклики цифровізації та автоматизації [7]; формуванні міждисциплінарних підходів до аналізу інженерних, економічних і екологічних аспектів технічних систем; удосконалення освітнього процесу, зокрема шляхом впровадження моделювання у наукові дослідження здобувачів вищої освіти і молодих науковців.

Список використаних джерел

1. Артемчук В.О., Каменева І.П., Попов О.О., Яцишин А.В., Кириленко Ю.О. Засоби аналізу даних в задачах підтримки управлінських рішень в галузі екологічної безпеки. *Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації* : матеріали IV науково-практичної конференції Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України (Київ, 24 листопада 2022 р.). Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2022. С. 22–29.
2. Лисий О.О., Шелудченко Л.С., Павельчук Ю.Ф., Замойський С.М. Екологічна безпека в сільськогосподарському виробництві як складова сталого розвитку. *Механізація та електрифікація сільського господарства* : загальнодержавний збірник ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2019. Вип. № 9 (108). С. 187–195.
3. Піндус О.В., Чеховський С.А., Піндус Н.М., Витвицька Л.А. Моделювання технологічних процесів. *Перспективні технології та прилади*. Луцьк, 2022. № 21. С. 90–94. <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2022-21-13>.
4. Пташний О.Д., Першина Ю.І. Моделювання управління технологічним процесом. *Машинобудування* : збірник наукових праць. Харків, 2023. № 31. С. 4–11. <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2023-31-4-1>.
5. Шелудченко Л.С., Шелудченко Б.А., Чинчик О.С., Овчарук О.В. Моделювання і прогнозування динаміки природно-техногенних геоєкосистем : навчальний посібник. Кам'янець-Подільський : В-во ТОВ «Каліграф», 2017. 216 с.
6. Шелудченко Л.С. Теоретичні основи та методи забезпечення екологічної безпеки природно-техногенних геоєкосистем з автотранспортними мережами. Київ : «Три К», 2022. 225 с.
7. Шелудченко Л.С. Теоретичне обгрунтування застосування кіберфізичної системи на транспорті для забезпечення екологічно безпечного функціонування автодорожньої інфраструктури. *Екологічні науки* : науково-практичний жур-

нал. 2022. № 41 (2). Київ : Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління. С. 216–221. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.есо.2-41.8>.

8. Яцишин А.В., Попов О.О., Артемчук В.О., Ковач В.О., Зінов'єва І.С. Автоматизовані інформаційні системи підтримки прийняття управлінських рішень у галузі екологічної безпеки. *Information Technologies and Learning Tools*. 2019. Vol. 72, № 4. С. 286–305.

9. Debela I. Conceptual model of the management optimization problem. *Таврійський науковий вісник. Серія : Економіка*. 2023 (16). С. 114–118. DOI: 10.32782/2708-0366/2023.16.15 .

10. Modeling, Simulation and Optimization for Science and Technology / ed. by W. Fitzgibbon, Y.A. Kuznetsov, P. Neittaanmäki, O. Pironneau. Dordrecht : Springer, 2014. P. 248.

Sheludchenko L. S.

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Department of Transport Technologies and Means of the Agro-Industrial Complex,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: seludcenkolesa@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0409-4641*

Komarnitskyi S. P.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Transport Technologies and Means of the Agro-Industrial Complex,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: sergiypetrov2207@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7654-3373*

Pavliv O. V.

*Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Ecology,
Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
"Berezhany Agrotechnical Institute"
Berezhany, Ukraine
E-mail: olegpavliv826@gmail.com
ORCID: 0009-0006-2970-1670*

Melnyk V. A.

*Assistant at the Department of Transport Technologies and Means of the Agro-Industrial Complex,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: ttzapk@pdatu.edu.ua*

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF MODELING TECHNOLOGICAL PROCESSES AND SYSTEMS

Abstract

The article examines the theoretical and methodological aspects of applying the modeling method as one of the key tools for research, design, and optimization of technological processes and systems in modern engineering. In particular, the authors emphasize that the theoretical justification and methodological analysis of using modeling methods for technological processes and systems ensure the formation of a scientifically grounded research methodology, enhance the efficiency of scientific experiments, and create a solid foundation for the further development and implementation of effective models in engineering practice. The epistemological functions of models are analyzed, and the specifics of their applicability are determined. The modeling methodology is considered as an iterative process that includes the main stages of the modeling procedure from problem formulation, hypothesis development, conceptual model construction, formalization, algorithm design, and software implementation to experimentation, analysis, and interpretation of results. It is emphasized that each stage requires verification of the model's correspondence to the real object, which is ensured by analyzing its adequacy and serves as a determining factor for obtaining reliable results. It is substantiated that the use of modeling opens up new opportunities for conducting virtual experiments aimed at optimizing the parameters of technical systems, analyzing their behavior under different conditions, and testing hypotheses. This contributes to improving the reliability of the obtained results, integrating theoretical knowledge into practical experience, and fostering the development of innovative technologies and interdisciplinary approaches in modern engineering.

Key words: scientific research, modeling, technological processes and systems, system approach, models.

References

1. Artemchuk, V.O., Kameneva, I.P., Popov, O.O., Yatsyshyn, A.V., Kyrylenko, Yu.O. (2022). Zasoby analizu danykh v zadachakh pidtrymky upravlinskykh rishen v haluzi ekolohichnoi bezpeky [Data analysis tools in management decision support tasks in the field of environmental safety]. *Energy security in the digital transformation era: materials of IV scientific practical conference of the G.E. Pukhov Institute for Modeling in Energy Engineering National Academy of Sciences of Ukraine* (Kyiv, November 24, 2022). Kyiv: PIMEE NAS of Ukraine [in Ukrainian].
2. Lysyi, O.O., Sheludchenko, L.S., Pavelchuk, Yu.F., Zamoiskyi, S.M. (2019). Ekolohichna bezpeka v silskohospodarskomu vyrobnytstvi yak skladova staloho rozvytku [Environmental safety in agricultural production as a prerequisite for sustainable development]. *Mechanization and electrification of agriculture: national collection of the National Scientific Center "IMESG."* Glevakha. Issue No. 9 (108). Pp. 187–195 [in Ukrainian].
3. Pindus, O.V., Chekhovsky, S.A., Pindus, N.M., Vitvitskaya, L.A. (2022). Modeliuvannia tekhnolohichnykh protsesiv [Modeling of technological processes]. *Promising technologies and devices*. Lutsk. № 21. Pp. 90–94. <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2022-21-13> [in Ukrainian].
4. Ptashnyy, O.D., Pershyna, Yu.I. (2023). Modelyuvannia upravlinnya tekhnolohichnym protsesom [Modeling of technological process management]. *A collection of scientific papers. Engineering*. Kharkiv, № 31. P. 4–11. <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2023-31-4-1> [in Ukrainian].
5. Sheludchenko, L.S., Sheludchenko, B.A., Bakhmat, O.M., Chynchyk, O.S., Ovcharuk, O.V. (2017). Modelyuvannia i prohnozuvannia dynamiky pryodno-tekhnohennykh heoekosystem [Modeling and forecasting of dynamics of one-man-made geocosystems]: textbook. Kamianets-Podilskyi: publishing house «Kalihraf» [in Ukrainian].
6. Sheludchenko, L.S. (2022). Teoretychni osnovy ta metody zabezpechennia ekolohichnoi bezpeky pryrodno-tekhnohennykh heoekosystem z avtotransportnyimi merezhamy [Theoretical foundations and methods for ensuring the environmental safety of natural and technogenic geocosystems with motor transport networks: monograph]. Kyiv: publishing house «Three K». P. 225 [in Ukrainian].
7. Sheludchenko, L.S. (2022). Teoretychne obgruntuvannia zastosuvannia kiberfizychnoi systemy na transporti dlia zabezpechennia ekolohichno bezpechnoho funktsionuvannia avtodorozhnoi infrastruktury [Theoretical justification for the use of cyber-physical systems in transport to ensure the environmentally safe operation of road infrastructure]. *Ecological Sciences: Scientific and Practical Journal*, № 41 (2). Kyiv: State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management. P. 216–221. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.8> [in Ukrainian].
8. Yatsyshyn, A.V., Popov, O.O., Artemchuk, V.O., Kovach, V.O. ta Zinovieva, I.S. (2019). Avtomatyzovani informatsiini systemy pidtrymky pryiniattia upravlinskykh rishen u haluzi ekolohichnoi bezpeky [Automated information systems for supporting management decisions in the field of environmental safety]. *Information Technologies and Learning Tools*. Vol 72, № 4. Pp. 286–305 [in Ukrainian].
9. Debela I. (2023). Conceptual model of the management optimization problem. *Tavriya Scientific Bulletin. Series: Economics*. (16). Pp. 114–118. <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2023.16.15> [in English].
10. Modeling, Simulation and Optimization for Science and Technology. (2014). / Ed.: W. Fitzgibbon, Y.A. Kuznetsov, P. Neittaanmäki, O. Pironneau. Springer. Dordrecht. P. 248. [in English].

Отримано: 02.10.2025

Рекомендовано: 10.11.2025

Опубліковано: 16.12.2025