

ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В УПРАВЛІННІ ГНУЧКИМИ ВИРОБНИЦТВАМИ

Захарченко В. І., доктор економічних наук, професор, професор кафедри міжнародного менеджменту та інновацій, Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

e-mail: v.i.zaharchenko@op.edu.ua

ORCID: 0000-0003-2903-2471

Швагірев М. Д., аспірант кафедри міжнародного менеджменту та інновацій, Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна

e-mail: max.shvagirev99@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7452-5091

Анотація. Метою дослідження є обґрунтування можливості використання інструментарію імітаційного моделювання для складних виробничих процесів у машинобудуванні. Для досягнення мети автори використовували такі методи: системний підхід, аналіз і синтез, систематизація, моделювання. У зв'язку зі складністю та різноманітністю виробничих процесів на машинобудівних підприємствах їх аналіз та оптимізацію було запропоновано здійснювати за допомогою інструментів імітаційного моделювання. В результаті дослідження побудовано імітаційну модель цеха механообробки корпусних деталей для виробництва металеворізаних верстатів, де працює гнучка виробнича система, яка складається з восьми обробувальних центрів, транспортної системи для міжопераційних переміщень, складу заготовок, складу готових виробів, обчислювальних машин. Практичне значення запропонованої моделі – вона дає змогу досліджувати варіанти ситуацій, які зустрічаються на практиці, робити обґрунтовані статистичні прогнози. При використанні імітаційної моделі можливі різні варіанти оптимізації: визначення оптимального розміру серії деталей, визначення оптимальної черговості варіантів, модель дозволяє імітувати рух деталей у процесі виробництва, визначати час простою верстатів тощо.

Ключові слова: моделювання, виробництво, імітація, модель, оптимізація, система, програмування, технологія.

USE OF SIMULATION MODELING IN FLEXIBLE PRODUCTION MANAGEMENT

Zakharchenko I. Vitaliy, Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of International Management and Innovation, National University «Odesa Polytechnic», Odesa, Ukraine

e-mail: v.i.zaharchenko@op.edu.ua

ORCID: 0000-0003-2903-2471

Shvahirev D. Maksym, PhD student of the Department of International Management and Innovation, National University «Odesa Polytechnic», Odesa, Ukraine

e-mail: max.shvagirev99@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7452-5091

Abstract. The purpose of the study is to substantiate the possibility of using simulation modeling tools for complex production processes in mechanical engineering. To achieve the goal, the authors used the following methods: systemic approach; analysis and synthesis, generalization and systematization. Due to the complexity and diversity of production processes at machine-building enterprises, it is proposed to consider the analysis and further optimization using simulation modeling tools. A simulation model is a formalized description of a production system through its elements and dependencies between them, the procedure for calculating indicators that characterize these elements and dependencies is presented in the form of an algorithm that is implemented on a PC using special programs. As a result of the study, a simulation model was built of a machining shop for body parts for the production of metal-cutting machine tools has been built, where a flexible production system operates, consisting of eight cutting centers, a transport system for inter-operational movements, a warehouse of blanks, a warehouse of finished products, and computing machines. The practical significance of the proposed model makes it possible to explore variants of situations encountered in practice and to make substantiated statistical predictions. Its use is also necessary in economic recessions. Accounting for downtime, equipment repairs, and optimizing production output (without economic and mathematical modeling) are also necessary in these conditions. When using a simulation model, various optimization options are possible: determining the optimal size of a batch of parts, determining the optimal sequence of options. As a result of using this approach, the given rules made it possible to simulate the movement of parts in the production process, determine the downtime of machine tools in the production process, including due to equipment repairs. One of the most important properties of simulation models is the ability to reproduce the action and consequences of the influence of random factors, for example, machine failure, failure to deliver raw materials on time, the appearance of urgent orders, etc.

Keywords: modeling, production, imitation, model, optimization, system, programming, technology.

JEL Classification: D240; L230; M110

Постановка проблеми. Урядова Національна економічна стратегія на період до 2030 р. констатує: «Результати аудиту дали змогу побачити глибокі трансформації секторів економіки. Україна відставала у 90-ті роки і продовжує відставати в розвитку з точки зору продуктивності праці, енергоефективності, доданої вартості в промисловості та сільському господарстві. Причинами такої стагнації є відсутність інвестицій, поступова зношеність та відсутність модернізації обладнання, повільні темпи запозичення та розвитку передових технологій та інновацій у виробництві» [7, с. 8].

Виробничі процеси на машинобудівних підприємствах надзвичайно складні та різноманітні. Це призводить до того, що в рамках відомих теорій лінійного та нелінійного програмування, статистичного моделювання, мережевого планування описати їх з достатнім ступенем достовірності не завжди можливо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі підготовки цієї статті автори аналізували праці таких фахівців: Т. Блудова і О. Шапошник [1], С. Єрмак і С. Онешко [2], М. Меркулов і Л. Ширяєва [3], С. Ілляшенко і О. Біловодська [4], А. Колосов [5], І. Крамаренко [6], Й. Петрович [8].

Так, І. Крамаренко у своїй роботі доходить висновку, «... що тільки швидке втілення наукових досягнень у нові технології та продукцію надасть країні можливості впевнених та постійних темпів економічного зростання...» [6, с. 77]. Й. Петрович, як і автори цього дослідження, віддаючи належне значення гнучким виробничим системам [8, с. 72], зауважує: «Інтеграція гнучкого виробництва дозволяє персоналу, який обслуговує ГВС, обмінюватись інформацією через центральні банки даних як по вертикалі, так і по горизонталі. Це забезпечує належну технічну взаємодію і швидке ухвалення рішень у межах своєї компетенції, а також краще виконання розпоряджень відповідного вищого рівня управління за кожним вертикальним зв'язком» [8, с. 86]. С. Єрмак і С. Онешко роблять «... спробу запропонувати підхід до формування моніторингу параметрів процесів на прикладі гнучкої виробничої системи, який веде до максимізації фактичної продуктивності кожного об'єкту, що проходить через універсальну організаційно-технологічну систему сучасного промислово виробництва» [2, с. 236]. А. Колосов досліджує основні положення організації управління стійкістю підприємства на основі вирішення таких питань: «...використання концептуальних основ сучасного економічного управління підприємством як об'єктом; створення інформаційної моделі систем підготовки вихідних даних для моніторингу стану; створення функціональної моделі управління стійкістю підприємств; внесення змін в організаційну структуру управління підприємством; розробка методичного забезпечення виконання всіх елементів управлінської діяльності в частині моніторингу стану» [5, с. 239-240]. Але більшість фахівців не звертають увагу на такий важливий елемент, як оптимізація виробництва.

Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми. У таких ситуаціях, коли відомі математичні моделі та методи виявляються надто спрощеними і не можуть адекватно відобразити економічну та виробничу реальність, на допомогу приходить метод імітаційного моделювання. Його використання також потрібне і в умовах економічного спаду. Облік часу простою, ремонту обладнання та проведення (без економіко-математичного моделювання) оптимізації випуску продукції в цих умовах також необхідні.

Мета дослідження полягає у наданні обґрунтування можливості використання інструментарію імітаційного моделювання для складних виробничих процесів у машинобудуванні у тих випадках, коли відсутні або неможливі для застосування розроблені аналітичні методи вирішення завдань оптимізації виробництва.

Основний матеріал. Імітаційна модель є формалізованим описом виробничої системи через її елементи та залежності між ними, порядок розрахунку показників, що характеризують ці елементи та залежності, представлений у вигляді алгоритму, що реалізується на ПК за допомогою спеціальних програм. Численні розрахунки – імітаційні експерименти, що проводяться на ПК, – необхідні для отримання знань про особливості функціонування об'єкта, що моделюється.

Складність системи, що моделюється, зумовила виділення в ній окремих складових (елементів) і формалізований їх опис або за допомогою раніше розроблених аналітичних моделей, або новостворених з подальшою їх інтеграцією в єдину імітаційну модель. Вивчення окремого елемента досягається циклічним виконанням щодо нього розрахунків

у межах всієї імітаційної моделі. Тим самим забезпечується можливість вивчення як системи загалом з урахуванням аналітичної обробки підсумкових результатів розрахунків, отриманих при різних значеннях вхідних даних, так і елементів системи, яка моделюється, що дозволить досліджувати ступінь впливу цього елемента на функціонування системи, встановити характер цього впливу для найбільш ефективного його використання у керуванні всією системою чи її окремими складовими тощо.

Імітаційне моделювання включає такі етапи: формулювання мети, розробка концепції побудови моделі, побудова моделі у вигляді схеми або алгоритму розрахунків, складання методики обробки результатів імітаційних експериментів, розробка програмного забезпечення проведення імітаційних експериментів на ПК, проведення розрахунків, аналіз та узагальнення результатів моделювання.

Використовуючи імітаційне моделювання, можна будувати моделі аналізованих об'єктів будь-якої складності. Імітаційну модель можна також використовувати для всебічного аналізу діяльності підприємства або його окремих підрозділів, застосовувати як для аналізу, так і для планування роботи окремих ланок виробничого процесу та виробництва загалом. Імітаційне моделювання набуло широкого поширення в Україні та за кордоном.

До переваг методу імітаційного моделювання можна віднести:

1) можливість з'ясування численних питань, пов'язаних із функціонуванням виробничої системи, не вдаючись до натурного експерименту, що позбавляє витрат на дорогі експерименти;

2) можливість використання отриманих під час імітаційних експериментів даних для статистичного прогнозу;

3) скорочення тривалості дослідження об'єкта, що моделюється;

4) дослідження різних варіантів ситуацій, які можуть зустрітись на практиці, дій системи при зміні вхідних характеристик або навколишніх умов, а також характеристик самої системи шляхом використання методу Монте-Карло.

Вдаватися до імітаційного моделювання слід у тих випадках, коли відсутні або не можуть бути використані розроблені аналітичні методи розв'язання задачі, є повна впевненість в успішному створенні моделі розв'язання задачі, є можливість отримати достатню кількість експериментальних розрахунків за допомогою імітаційної моделі.

При розробці програмного забезпечення імітаційної моделі можуть використовуватись мови високого рівня (Фортран, Паскаль тощо), а також спеціальні мови моделювання (Динамо, Сімскрипт, GPSS, Імітак). Застосування цих спеціальних мов підвищує швидкість створення імітаційної моделі на ПК, проте відповідна мова не завжди може бути в розпорядженні розробника, не завжди може бути реалізована на певному типі ПК, не обов'язково забезпечить всі бажані обчислювальні та логічні операції, які необхідно врахувати в імітаційній моделі. Тому імітаційне моделювання із застосуванням програм, написаних мовами високого рівня, залишається дієвим засобом створення програм для імітаційних моделей.

Одна з найважливіших властивостей імітаційних моделей – можливість відтворення дії та наслідків впливу випадкових факторів, наприклад, виходу з ладу верстата, непоставки сировини та матеріалів устрок, появи термінових замовлень тощо. В результаті спостереження невеликої кількості випадкових величин практично неможливо зробити обґрунтований висновок про характеристики цих величин. При спостереженні над великою кількістю випадкових величин можна встановити їх середні характеристики. Тому в імітаційному моделюванні широко використовують метод статистичних випробувань Монте-Карло.

Як приклад збудуємо імітаційну модель цеху механообробки на ПАТ «Одеський завод радіально-свердильних верстатів» (ПАТ «ОЗРСВ»), на якому діє гнучка виробнича система (ГВП). Цей цех технологічно орієнтований на обробку середньокорпусних деталей. У цеху є 8 обробних центрів, а також візок для транспортування деталей від верстата до верстата та від складу-штабелера заготовок до складу-штабелера готових деталей. Схема розташування верстатів, оснащених роботами-маніпуляторами, і маршрут руху візка рейками показані на рис. 1.

Сірим кольором показані місця розташування контейнерів з деталями; ОЦ 1 - ОЦ 4 – обробні центри моделі IP400 ПМ1; ОЦ 5 - ОЦ 8 – обробні центри моделі I800 ПМ1 Ф4; == – маршрут руху візка.

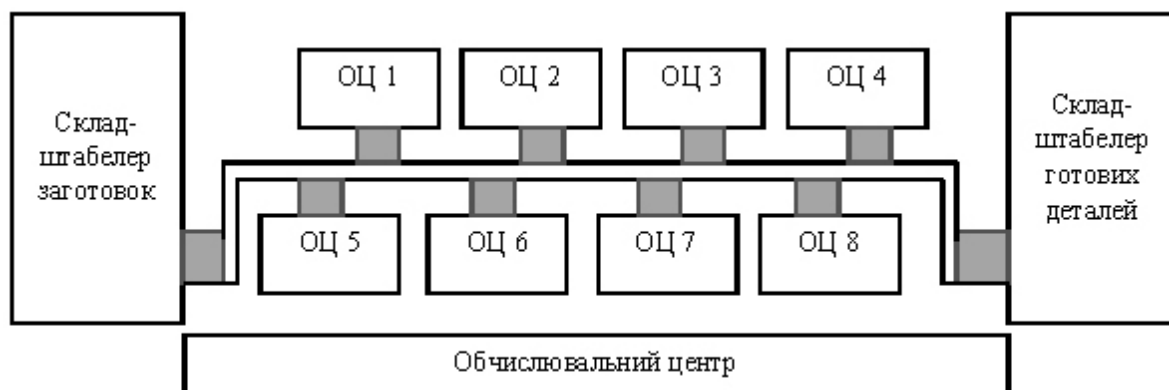


Рис. 1. Схема розташування обладнання та маршрут руху візка в цеху механообробки, оснащеному ГВС

Джерело: складено авторами

Щоб охарактеризувати виробничі можливості цеху, необхідно знати ряд чисельних величин: час руху візка від одного об'єкта в цеху до іншого, час обробки деталей в цеху на технологічних операціях, виробничу програму. У процесі імітації можна варіювати порядок обробки деталей різних найменувань, закріплення деталей за тим чи іншим верстатом однієї й тієї ж назви, виходу з ладу та час ремонту верстата. Час руху від одного об'єкта до іншого може бути заданий матрицею (табл. 1).

Таблиця 1

Час руху візка між виробничими об'єктами в цеху механообробки, хв.

Об'єкт	Об'єкт									
Склад-штабелер заготовок	Склад-штабелер заготовок	ОЦ 1	ОЦ 2	ОЦ 3	ОЦ 4	ОЦ 5	ОЦ 6	ОЦ 7	ОЦ 8	Склад-штабелер готових деталей
	0	3	5	7	2	4	6	5	8	10
	3	0	2	4	1	1	3	4	5	7
	5	2	0	2	3	1	1	6	3	5
	7	4	2	0	5	2	4	6	7	3
	2	1	3	5	0	2	4	5	6	8
	4	1	1	2	2	0	2	7	4	6
	6	3	1	4	4	2	0	2	5	4
	5	4	6	6	5	7	2	0	4	2
	8	5	3	7	6	4	5	4	0	6
Склад-штабелер готових деталей	10	7	5	3	8	6	4	2	6	0

Джерело: складено авторами

Час обробки та послідовність проходження технологічних операцій від окремих середніх корпусних деталей представлені у таблиці 2.

Програма випуску виробів: кришка 2М55.50.00050 – 200 шт., фланець 2570.2012.034 – 50 шт., корпус 2М55.504.90.47 – 200 шт.

Таблиця 2

Час обробки та послідовність проходження технологічних операцій

Деталь	Вид операції у порядку обробки	Час обробки, хв.
Кришка 2 М55.50.00050	Фрезерна	16
	Розточувальна	18
	Свердлильна	12
	Розточувальна	18
Фланець 2570.2012.034	Фрезерна	14
	Розточувальна	20
	Розточувальна	18
	Свердлильна	16
Корпус 2 М55.504.90.47	Фрезерна	18
	Свердлильна	10
	Розточувальна	12
	Свердлильна	10
	Свердлильна	12

Джерело: складено авторами

При використанні імітаційної моделі можливі різні варіанти оптимізації: визначення оптимального розміру серії деталей, визначення оптимальної черговості варіантів (рис. 2).

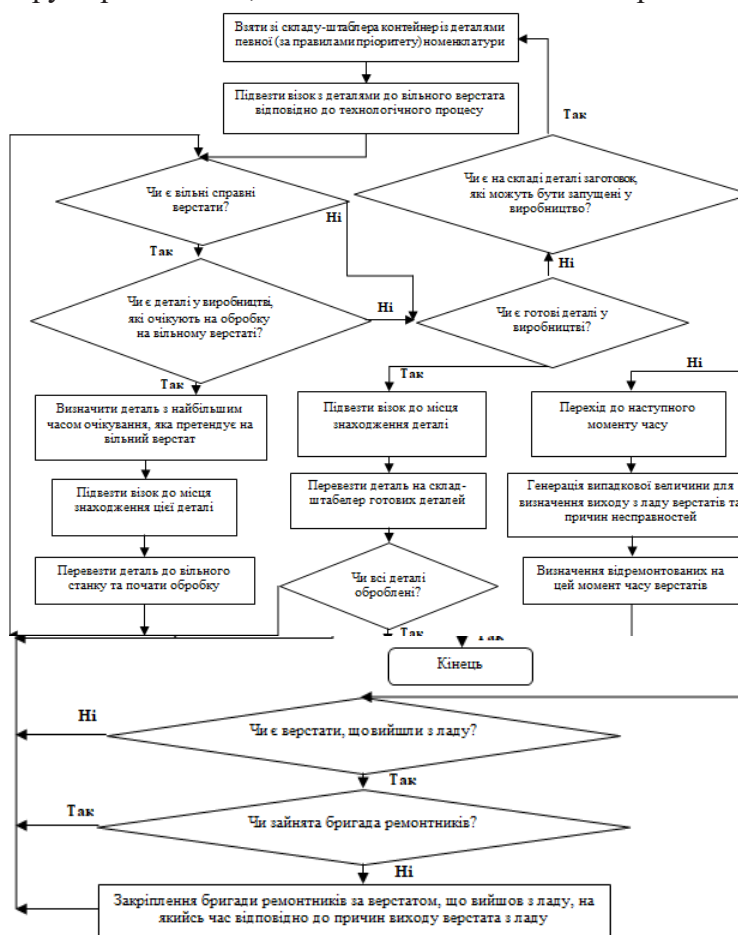


Рис 2. Логічна схема імітаційної моделі цеху механообробки ГВС

Джерело: складено авторами за матеріалами [2, 9]

У процесі дослідження вирішувалося приватне завдання оптимальної черговості варіантів використання одного й того ж устаткування кількох видів виробів. Розмір витрат за переналагодження устаткування залежить від послідовності виготовлення різних варіантів продукції. При оптимальній послідовності варіантів витрати на переоснащення обладнання повинні бути найнижчими.

У таблиці 3 показані зміни витрат за переналагодження устаткування (при всіх можливих переходах) для процесу виробництва з трьома варіантами продукції. Можливі два типи послідовності варіантів:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A; \quad (1)$$

$$A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A.$$

Витрати на переналагодження обладнання для кожного циклу варіанта:

$$10 + 7 + 9 = 26; \quad (2)$$

$$20 + 12 + 5 = 37.$$

Це означає, що оптимальною послідовністю буде:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A. \quad (3)$$

Таблиця 3

Оптимальна послідовність варіантів

Об'єкт	Кришка (А)	Фланець (В)	Корпус (С)
Кришка (А)	-	5	9
Фланець (В)	10	-	12
Корпус (С)	20	7	-

Джерело: складено авторами

Верстати можуть відмовляти з трьох причин, причому на усунення першої причини потрібно 1,5 год., другої – 0,5 год., третьої – 10 хв. незалежно від типу верстата. Розмежування типів верстатів лише трохи ускладнить алгоритм розв'язання задачі.

Візок може перевозити не більше чотирьох контейнерів, у кожному контейнері знаходиться по десять деталей одного найменування. Контейнер повинен бути повністю оброблений на заданій операції і після цього перевозиться візком до іншого верстата або до складу-штабелера готових деталей.

В імітаційній моделі слід задати кілька раціональних правил вибору найменування деталей на обробку, наприклад, нехай насамперед буде обрано деталь, яка має найменший час обробки. У цьому випадку спочатку оброблятиметься корпус, потім кришка і після цього кришка циліндра. Можна скористатися іншими правилами, заснованими на завантаженні вільних верстатів.

Потім необхідно вказати правила переміщення деталей:

- якщо верстат вільний, то на нього завантажуються деталь, яка чекає у черзі обробки довше;

- якщо одночасно закінчено обробку кількох деталей, то на вільний верстат завантажуються та деталь, що має меншу величину залишкового часу обробки.

Висновки. Задані правила дозволяють імітувати рухи деталей у процесі виробництва, визначити час простою верстатів у процесі виробництва, зокрема через ремонт. Передбачається, що у цеху є одна ремонтна бригада, яка не може одночасно виконувати роботи з ремонту кількох верстатів. У правилах не фігурував час руху візка від одного виробничого об'єкта до іншого. Він буде врахований в імітаційній моделі, хоча, ввівши інші правила переваг, можна було б врахувати цей параметр при виборі порядку обробки деталей.

Список літератури

1. Блудова Т. В., Шапошник О. Л. Реінжиніринг бізнес-процесів підприємства та управлінські рішення: оцінка стратегії впровадження. Формування ринкових відносин в Україні. 2020. №4 (277). С. 67-74. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3886960>
2. Єрмак С. О., Онешко С. В. Формування системи моніторингу функціонування організаційно-технологічної системи на прикладі гнучкого виробництва. Теорія створення і функціонування організаційно-технологічних систем у високотехнологічному виробництві / за ред. В. І. Захарченко. Одеса: Фенікс, 2022. С. 224-238. URL: http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/13025/1/Zakharchenko_Yermak_Oneshko_monograph.pdf (дата звернення: 20.12.2024)

3. Захарченко В. І., Меркулов М. М., Ширяєва Л. В. Інноваційний розвиток в Україні: наука, технологія, практика: монографія. Одеса: Фаворит, 2011. 598 с.
4. Ілляшенко С. М., Біловодська О. А. Управління інноваційним розвитком промислових підприємств: монографія. Суми: Університетська книга, 2010. 281 с.
5. Колосов А. М., Колосова К. А., Штапаук Г. П. Управління стійкістю підприємства: монографія. Старобільськ: видавництво ЛНУ імені Тараса Шевченка, 2016. 336 с.
6. Крамаренко І. С., Хмелик О. А. Дослідження та тенденції сучасного стану інноваційного розвитку машинобудівних підприємств України. Економіка та держава. 2020. №1. С. 73-77. DOI: 10.32702/2306-6806.2020.1.73.
7. Національна економічна стратегія на період до 2030 р. Урядовий кур'єр. 2021. №45. С. 8-36.
8. Петрович Й. М. Організування промислового виробництва: підручник. Київ: Знання, 2009. 328с.
9. Козик В. В. Організація виробництва: підручник / В. В. Козик, А. С. Гавриляк, Т. О. Петрушка; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів: Вид. Львів. політехніки, 2020. 256 с.
10. Непрана А. В., Шевченко І. Ю. Економіка підприємства: Підручник: у 3 т./ за ред. А. В. Непрана, І. Ю. Шевченко. Харків: Видавництво Іванченка І. С., 2024, Т. 1, 537 с. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/items/d11db172-b0b8-4a0e-a845-cd21f965facb/full> (дата звернення 26.12.2024).

References

1. Bludova, T. V., Shaposhnyk, O. L. (2020). Reengineering of enterprise business processes and management decisions: assessment of implementation strategy. *Formuvannia rynkovykh vidnosyn v Ukraini*, 4 (277), 67-74. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3886960>. [In Ukrainian].
2. Yermak, S. O., Oneshko, S. V. (2022). Formation of a system for monitoring the functioning of the organizational and technological system on the example of flexible production. *Theory of creation and functioning of organizational and technological systems in high-tech production* / edited by V. I. Zakharchenko. Odessa: Fenix, 224-238. Retrieved from http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/13025/1/Zakharchenko_Yermak_Oneshko_monograph.pdf (accessed 20 December 2024) [In Ukrainian].
3. Zakharchenko, V. I., Merkulov, M. M., Shyriaieva, L. V. (2011). *Innovatsijnyj rozvytok v Ukraini: nauka, tekhnolohiia, praktyka: monohrafiia*. Odessa: Favori. [In Ukrainian].
4. Illiashenko, S. M., Bilovods'ka, O. A. (2010). *Upravlinnia innovatsijnym rozvytkom promyslovykh pidpryiemstv: monohrafiia*. Sumy: Universytets'ka knyha. [In Ukrainian].
5. Kolosov, A. M., Kolosova, K. A., Shtapauk, H. P. (2016). *Upravlinnia stijkistiu pidpryiemstva: monohrafiia*. Starobil's'k: vydavnytstvo LNU imeni Tarasa Shevchenka [In Ukrainian].
6. Kramarenko, I. S., Khmelyk, O. A. (2020). Research and trends of the current state of innovative development of machine-building enterprises of Ukraine. *Ekonomika ta derzhava*, 1, 73-77. DOI: 10.32702/2306-6806.2020.1.73 [In Ukrainian].
7. National Economic Strategy for the Period Until 2030. (2021). *Uriadovyj kur'ier*, 45, 8-36. [In Ukrainian]
8. Petrovych, J. M. (2009). *Orhanizuvannia promysloвого vyrobnytstva: pidruchnyk*. Kyiv: Znannia. [In Ukrainian].
9. Kozyk, V. V. (2020). *Orhanizatsiia vyrobnytstva: pidruchnyk* / V. V. Kozyk, A. S. Havryliak, T. O. Petrushka; M-vo osvity i nauky Ukrainy, Nats. un-t «Lviv. politekhnik». Lviv: Vyd. Lviv. politekhniky. [In Ukrainian].
10. Neprana, A. V., Shevchenko, I. Yu. (2024). *Ekonomika pidpryiemstva: Pidruchnyk: u 3 t./ za red. A. V. Neprana, I. Yu. Shevchenko*. Kharkiv: Vydavnytstvo Ivanchenka I. S. Retrieved from <https://dspace.khadi.kharkov.ua/items/d11db172-b0b8-4a0e-a845-cd21f965facb/full> (accessed 26 December 2024) [In Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 07.02.2025

Прийнята до публікації 20.02.2025