

О. В. КАНІВЕЦЬ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри механічної та електричної інженерії
Полтавський державний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-4364-8424

С. В. ПОПОВ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри механічної та електричної інженерії
Полтавський державний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-2381-152X

ПЕРСПЕКТИВИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ МЕХАНОСКЛАДАЛЬНИХ ДІЛЬНИЦЬ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ РІЗАЛЬНИМ ІНСТРУМЕНТОМ У ВОЄННИЙ ЧАС

У статті проаналізовано функціонування підприємств машинобудівного комплексу України в екстремальних умовах воєнного стану. Систематизовано ключові виклики, що постають перед механоскладальними дільницями: критичне порушення логістичних ланцюгів у тому числі із забезпечення їх різальним інструментом, дефіцит кваліфікованих кадрів, енергетична нестабільність та постійна загроза руйнування виробничих активів. Обґрунтовано, що традиційні моделі організації виробництва виявились неефективними та вразливими у воєнний час. Тим самим виявлено нагальну науково-практичну проблему розробки адаптивних механізмів управління виробництвом. Метою даного дослідження є надання рекомендацій щодо перспектив удосконалення організаційно-технічної структури та операційної діяльності механоскладальних дільниць, спрямованих на підвищення їх гнучкості, стійкості, ефективності та забезпечення їх різальним інструментом в умовах воєнного стану. Обґрунтовано доцільність переходу від лінійної організації виробничого потоку до створення автономних гнучких виробничих комірок, які здатні до швидкого перенастроювання та паралельного виконання завдань. Розроблено рекомендації щодо технологічної модернізації, зокрема інтеграції адитивних технологій для оперативного виготовлення оснащення та компонентів, а також впровадження цифрових інструкцій з елементами доповненої реальності для прискорення процесу складання виробів та навчання персоналу. Запропоновано заходи з реінжинірингу логістики через диверсифікацію постачальників та впровадження локальних систем управління запасами Kanban. Сформульовано підходи до управління персоналом, що включають крос-функціональну підготовку та психологічну підтримку. Реалізація запропонованого комплексу заходів дозволяє трансформувати механоскладальну дільницю у стійку та адаптивну виробничу систему, що забезпечить зниження залежності від зовнішніх дестабілізуючих факторів, скорочення виробничого циклу, мінімізацію втрат обмежених ресурсів та підтримку стабільно високої якості продукції.

Ключові слова: механоскладальна дільниця, воєнний стан, оптимізація виробництва, гнучкі виробничі системи, оціадливе виробництво.

O. V. KANIVETS

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Mechanical and Electrical Engineering
Poltava State Agrarian University
ORCID: 0000-0003-4364-8424

S. V. POPOV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Mechanical and Electrical Engineering
Poltava State Agrarian University
ORCID: 0000-0003-2381-152X

PROSPECTS FOR IMPROVING THE WORK OF MECHANICAL ASSEMBLY SECTIONS AND PROVIDING THEM WITH CUTTING TOOLS IN MARTIAL LAW

The article analyzes the functioning of enterprises in Ukraine's machine-building complex under the extreme conditions of martial law. It systematizes the key challenges facing mechanical assembly shops: critical disruption of logistics chains, including the supply of cutting tools, a shortage of skilled personnel, energy instability, and the

constant threat of destruction of production assets. It has been substantiated that traditional models of production organization have proven to be ineffective and vulnerable in wartime. This has revealed an urgent scientific and practical problem of developing adaptive production management mechanisms. The purpose of this study is to provide recommendations on the prospects for improving the organizational and technical structure and operational activities of mechanical assembly shops, aimed at increasing their flexibility, stability, efficiency, and ensuring their supply with cutting tools in conditions of martial law. The feasibility of transitioning from a linear organization of the production flow to the creation of autonomous flexible production cells capable of rapid reconfiguration and parallel task execution is justified. Recommendations have been developed for technological modernization, in particular the integration of additive technologies for the rapid manufacture of equipment and components, as well as the introduction of digital instructions with augmented reality elements to speed up the process of assembling products and training personnel. Measures for logistics reengineering through supplier diversification and the introduction of local Kanban inventory management systems are proposed. Approaches to personnel management are formulated, including cross-functional training and psychological support. The implementation of the proposed set of measures will transform the mechanical assembly shop into a stable and adaptive production system, which will reduce dependence on external destabilizing factors, shorten the production cycle, minimize the loss of limited resources, and maintain consistently high product quality.

Key words: mechanical assembly shop, martial law, production optimization, flexible manufacturing systems, lean manufacturing.

Постановка проблеми

Функціонування промислових підприємств України в умовах повномасштабної війни характеризується екстремальним рівнем невизначеності та ризиків. Особливо гостро ці виклики постають перед машинобудівною галуззю, яка є фундаментом обороноздатності та економічної стійкості держави [1]. Механоскладальні дільниці, як ключові ланки у створенні кінцевої продукції, зазнають безпрецедентного тиску, що зумовлений порушенням ланцюгів постачання комплектуючих, мобілізацією значної частини кваліфікованого персоналу, енергетичними обмеженнями та постійною загрозою ракетних обстрілів. Традиційні моделі організації виробництва орієнтовані на стабільні умови та довгострокове планування, а у період невизначеності можуть бути неефективними [2]. Виникає нагальна науково-практична потреба у розробці та адаптації нових підходів до організації роботи механоскладальних дільниць, які б дозволили не лише зберегти виробничий потенціал, але й забезпечити його ефективне функціонування та розвиток у кризових умовах. Необхідність швидкого переналагодження на випуск нової або модифікованої продукції військового та подвійного призначення, мінімізація втрат та забезпечення високої якості за обмежених ресурсів вимагають системного перегляду існуючих виробничих процесів та впровадження інноваційних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблематика підвищення ефективності механоскладальних дільниць та цехів є предметом постійної уваги науковців. Класичні підходи, що викладені у працях з організації виробництва, фокусуються на методах поточної та потоково-конвеєрної зборки, оптимізації тактів та мінімізації міжопераційних простоїв [3]. Водночас сучасні дослідження концентруються навколо концепцій ощадливого виробництва [4], гнучких виробничих систем [5] та цифрової трансформації Індустрія 4.0 [6].

Так, у роботах [7, 8], значна увага приділяється питанням оптимізації виробничих потоків за рахунок впровадження інструментів Lean Manufacturing, таких як 5S, Kanban, SMED. Проте, більшість подібних досліджень проведено в умовах мирного часу і вони не враховують специфіку ризиків, що пов'язані із військовими діями.

Наукові праці [9, 10] присвячені стійкості ланцюгів постачання, у яких дослідники проаналізували стратегії диверсифікації постачальників, створення резервних запасів та релокації виробничих потужностей як відповідь на кризові явища. Ряд досліджень [11, 12] зосереджені на вивченні ролі цифрових двійників Digital Twins у моделюванні та оптимізації виробничих процесів в умовах динамічних змін, що є вкрай актуальним для швидкого переналагодження виробництва. У роботах [13, 14], що присвячені адитивним технологіям, автори підкреслюють їх потенціал для оперативного виготовлення деталей, що є критично важливим при порушенні традиційних каналів постачання.

Однак, незважаючи на значну кількість досліджень з оптимізації виробництва та управління ризиками, бракує комплексних наукових праць, які б системно адаптували ці концепції до унікальних та екстремальних умов функціонування саме механоскладальних дільниць українських підприємств у період воєнного стану. Існуючі публікації або розглядають загальні аспекти стійкості бізнесу або фокусуються на окремих технологічних рішеннях, не пропонуючи цілісної моделі реорганізації виробничого процесу.

Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є надання рекомендацій щодо перспектив удосконалення організаційно-технічної структури та операційної діяльності механоскладальних дільниць, спрямованих на підвищення їх гнучкості, стійкості, ефективності та забезпечення їх різальним інструментом в умовах воєнного стану.

Викладення основного матеріалу дослідження

Удосконалення роботи механоскладальних дільниць у воєнний час потребує комплексного підходу, що охоплює організаційні, технологічні та кадрові аспекти. Пропонована модель базується на трьох фундаментальних принципах: гнучкість, стійкість та цифровізація.

1. Організаційна гнучкість: перехід до модульних комірок.

Класична лінійна або предметно-замкнена структура дільниці є вразливою до збоїв. Вихід з ладу обладнання або персоналу однієї ланки може зупинити весь процес. В умовах війни, коли ризики раптових зупинок є надзвичайно високими через повітряні тривоги, перебої з енергопостачанням, відсутності компонентів, доцільним є перехід до моделі гнучких виробничих комірок (ГВК).

ГВК – це автономна група універсального обладнання та багатопрофільних робітників для виконання повного циклу виробництва і складання окремого вузла або невеликого виробу [15]. Вона як мініатюрна дільниця всередині великого цеху, що організована за принципом «острівної» автономії. В основі її структури лежить група різнотипного, але логічно пов'язаного і компактно розташованого обладнання зазвичай у формі літери «U». Така конфігурація дозволяє одному або кільком робітникам-універсалам виконувати послідовно всі операції зі створення вузла чи деталі мінімізуючи переміщення.

Ключовим елементом гнучких виробничих комірок є «багатопрофільна команда». На відміну від конвеєра, де кожен працівник виконує одну монотонну операцію, у ГВК робітники володіють декількома суміжними навиками та можуть взаємно замінювати один одного. Вони несуть повну відповідальність за весь цикл роботи в межах своєї комірки від подачі заготовок до контролю якості готового продукту. Логістика матеріальних потоків також локалізована. Комірка має власний невеликий запас необхідних компонентів та робить її менш залежною від загальноцехової логістики.

Запропонована структура дозволяє створити паралельні процеси для одночасного складання різних вузлів. Такий підхід знижує залежність від послідовних операцій, а також підвищує стійкість виробництва у разі зупинки однієї комірки, наприклад, через відсутність специфічного компонента, у той час як інші – продовжують працювати. Компактні команди та універсальне обладнання дозволяють оперативно змінювати об'єкт складання та швидко переналагоджувати виробництво. У таблиці 1 наведено порівняльний аналіз організаційних структур дільниці.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз організаційних структур дільниці

Характеристика	Лінійна структура (конвеєр)	Гнучка виробнича комірка
Принцип роботи	Послідовний, жорсткий такт	Паралельний, автономний
Тип обладнання	Спеціалізоване	Універсальне, переналагоджуване
Вимоги до персоналу	Вузька спеціалізація	Багатопрофільність, взаємозамінність
Гнучкість	Низька	Висока
Стійкість до збоїв	Низька (ефект доміно)	Висока (локалізація проблеми)
Ефективність	Максимальна при масовому виробництві	Висока при дрібносерійному та мінливому виробництві

2. Технологічна модернізація та адаптація.

Технологічне забезпечення дільниці повинно бути спрямоване на автономність та швидкість. Впровадження адитивних технологій, таких як промислові 3D-принтери, дозволяє оперативно виготовляти елементи технологічного оснащення, наприклад, ложементи, фіксатори, шаблони, а також дрібні допоміжні деталі та навіть деякі компоненти кінцевого виробу. Таке рішення радикально знижує залежність від зовнішніх постачальників оснащення та комплектуючих, терміни постачання яких в надзвичайних умовах є непередбачуваними.

В умовах воєнного часу паперові носії інформації можуть бути втрачені або пошкоджені. Як доповнення до паперових креслеників та технологічних карт доцільно використовувати планшетні комп'ютери із захищеним доступом до цифрових моделей та інтерактивних інструкцій у хмарних сервісах. У свою чергу, технології доповненої реальності (AR) можуть проектувати віртуальні підказки безпосередньо на робочу зону складальника, що прискорює процес складання вузлів, мінімізує помилки та значно скорочує час на навчання нового персоналу, що є критичним при високій плинності кадрів.

3. Реінжиніринг логістики та управління запасами.

Порушення ланцюгів постачання сировини та оснащення є однією з ключових проблем. Стратегія оптимізації має включати диверсифікацію постачальників, локалізацію виробництва компонентів та впровадження системи «двох контейнерів».

Замість одного основного постачальника, часто з географічно вразливого регіону, необхідно мати 2–3 альтернативних варіанти, що розташовані у різних регіонах України. Критичні компоненти бажано доставляти із-за кордону. Додатково необхідно провести аудит комплектуючих з метою налагодження їх виробництва на суміжних дільницях власного підприємства або у місцевих партнерів.

Запровадження системи Kanban дозволить уникнути простоїв виробництва через відсутність сировини. Система має можливість здійснювати візуальний контроль рівня запасів дрібних стандартних компонентів. Робочий запас знаходиться в першому контейнері. У разі закінчення деталей, робітник бере другий резервний контейнер і подає сигнал на поповнення першого. Таким чином створюється буфер безпеки, що дорівнює часу поставки.

4. Управління персоналом в екстремальних умовах.

В екстремальних умовах людський фактор набуває вирішального значення. Дефіцит кадрів через мобілізацію та міграцію вимагає нетривіальних рішень. Розробка інтенсивних програм навчання дозволяють працівникам опановувати суміжні професії. Так, слюсар-складальник може виконувати базові операції контролера відділу технічного контролю. Це забезпечить взаємозамінність всередині гнучкої комірки.

З іншої сторони, у ГВК бажано запровадити матеріальну мотивацію працівників та соціальну підтримку. Окрім премій за виконання плану, необхідно ввести бонуси за освоєння нової операції, подання раціоналізаторської пропозиції щодо зменшення затрат, наставництво для нових працівників. Організація роботи психологічної служби на підприємстві допоможе робочим подолати стрес та тривожність, що пов'язані із війною. Стабільний психоемоційний стан персоналу є прямою запорукою продуктивності та якості роботи.

Впровадження гнучких комірок та цифрових інструментів дозволить скоротити час переналагодження та цикл складання виробу. Водночас оптимізація логістики та управління запасами підвищить коефіцієнт використання робочого часу за рахунок зменшення простоїв.

Висновки

Удосконалення роботи механоскладальної дільниці в умовах воєнного стану є складним, багатоаспектним завданням, що виходить за межі традиційних методів оптимізації. Запропонований у статті підхід базується на синергії принципів організаційної гнучкості, технологічної адаптації та орієнтованого на стійкість управління, дозволяє сформувати виробничу систему ефективного протистояння викликам війни.

Перехід від жорстких лінійних структур до гнучких виробничих комірок, інтеграція адитивних технологій та цифрових інструментів, реінжиніринг ланцюгів постачання та впровадження адаптивних моделей управління персоналом створюють необхідну базу для забезпечення не лише виживання, але й розвитку виробництва. Реалізація цих заходів дозволить підвищити стійкість дільниці до зовнішніх шоків, скоротити виробничий цикл, мінімізувати втрати обмежених ресурсів та забезпечити стабільну якість продукції, що є критично важливим для обороноздатності та економічної безпеки України. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку кількісних моделей для оцінки рівня стійкості виробничих систем та економічного обґрунтування інвестицій у запропоновані інновації.

Список використаної літератури

1. Беліменко О. І., Блакита Г. В. Економічна стійкість підприємств в умовах війни. *Збірник наукових праць ТДАТУ імені Дмитра Моторного*. 2025. №1(54). С. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.32782/2519-884X-2025-54-2>
2. Боковець В., Пілявоз Т., Григорук І. Забезпечення стабільного розвитку та економічної стійкості підприємств в умовах сучасних викликів. *Herald of Khmelnytskyi National University*. 2025. № 1. С. 465–468. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-338-68>
3. Чибіряк Я. І., Ващенко С. М., Алексенко О. В., Дерев'янчук А. Й. Підвищення ефективності складальних процесів у машинобудуванні. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2012. Вип. 121. С. 137–141. DOI: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdutug_2012_121_26
4. Rouhollah Khakpour, Ahmad Ebrahimi, Seyed-Mohammad Seyed-Hosseini; Lean process mining: adopting process mining in lean manufacturing for dynamic process mapping and avoiding waste occurrence in real time. *International Journal of Lean Six Sigma*. 2025. №16 (1). pp. 231–255. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2024-0059>
5. Fenta E. W., Tsegaye A. A., Abere A. E. Opportunities in Flexible Manufacturing Systems in the Near Future. *Glob J Flex Syst Manag*. 2025. №26. pp. 247–267. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40171-025-00437-z>
6. Gupta S., Singh R. K., Amrit C. Integrating Industry 4.0 with Circular Economy Approach for Sustainable and Flexible Manufacturing Systems. *Glob J Flex Syst Manag*. 2025. №26. pp. 115–145. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40171-025-00438-y>
7. Roumieh N., Shibani A., Almjirab A., Ahmed M., Arbouche O., Hassan D. Managing Risks Based Scrum/Kanban Methodologies in Construction Industry. *Journal of Engineering and Management Studies*. 2025. Vol. 1. № 1. pp. 1–7. URL: <https://jenams.com/wp-content/uploads/2025/03/01.01.25-journal-of-Engineering-and-Management-Studies-.pdf>
8. Aguilar-Landaeta C. C., García-Saona J. K., Meza-Ortiz R. N. Lean Manufacturing Implementation in Textile Dyeing: A Study of Process Optimization and Waste Reduction in a Peruvian SME. *International Journal of Recent Engineering Science*. 2025. Vol. 12. №3. pp. 35–46. DOI: <https://doi.org/10.14445/23497157/IJRES-V12I3P105>

9. Скорупський К. С. Стратегії управління виробництвом в умовах війни. *Актуальні питання економічних наук*. 2025. №7. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14911617>
10. Ульянченко Н. Стратегія управління підприємством в умовах воєнного стану. *Herald of Khmelnytskyi National University*. 2025. 342(3(1)). С. 293–297. DOI: [https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-342-3\(1\)-41](https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-342-3(1)-41)
11. Nwamekwe C. O., Vitalis E. N., Igbokwe N. C., Nwabunwanne E. C., Ono C. G. Digital Twin-Driven Lean Manufacturing: Optimizing Value Stream Flow. *Letters in Information Technology Education (LITE)*. 2025. № 8(1). pp. 1–13. URL: <https://hal.science/hal-05127340>
12. Li L., Qu T., Liu Y., Zhong R. Y., Xu G., Sun H., Gao Y., Lei B., Mao C., Pan Y., Wang F., Ma C. Sustainability assessment of intelligent manufacturing supported by digital twin. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. pp. 174988–175008. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3026541
13. Сонець О. В., Воронцов Б. С. Особливості виготовлення деталей адитивними технологіями з металевих сплавів. Аналітичний огляд. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2025. 9(2(105)). С. 185–194. DOI: [https://doi.org/10.20535/2521-1943.2025.9.2\(105\).326824](https://doi.org/10.20535/2521-1943.2025.9.2(105).326824)
14. Wang X, Gong X, Chou K. Review on powder-bed laser additive manufacturing of Inconel 718 parts. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2016. Vol. 231(11). pp. 1890–1903. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954405415619883>
15. Абрашкевич Ю. Д., Пелевін Л. Є., Марченко О. А. Процеси гнучких виробництв: навч. посібник. Київ : КНУБА, 2019. 212 с.

References

1. Belimenko, O. I., & Blakya, H. V. (2025) Ekonomichna stiiikist pidpriemstv v umovakh viiny [Economic stability of enterprises in wartime]. *Zbirnyk naukovykh prats TDATU imeni Dmytra Motornoho*, 1(54), pp. 17–25. DOI: <https://doi.org/10.32782/2519-884X-2025-54-2> [in Ukrainian].
2. Bokovets, V., Piliavoz, T., & Hryhoruk, I. (2025) Zabezpechennia stabilnoho rozvytku ta ekonomichnoi stiiikosti pidpriemstv v umovakh suchasnykh vyklykiv [Ensuring stable development and economic sustainability of enterprises in the face of modern challenges]. *Herald of Khmelnytskyi National University*, 1, pp. 465–468. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-338-68> [in Ukrainian].
3. Chybiriak, Ya. I., Vashchenko, S. M., Aleksenko, O. V., & Derevianchuk, A. Y. (2012) Pidvyshchennia efektyvnosti skladalnykh protsesiv u mashynobuduvanni [Improving the efficiency of assembly processes in mechanical engineering]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*, Vol. 121, pp. 137–141. DOI: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhtusg_2012_121_26 [in Ukrainian].
4. Rouhollah, Khakpour, Ahmad, Ebrahimi, Seyed-Mohammad, & Seyed-Hosseini (2025) Lean process mining: adopting process mining in lean manufacturing for dynamic process mapping and avoiding waste occurrence in real time. *International Journal of Lean Six Sigma*, 16(1), pp. 231–255. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2024-0059>
5. Fenta, E. W., Tsegaye, A. A., & Abere, A. E. (2025) Opportunities in Flexible Manufacturing Systems in the Near Future. *Glob J Flex Syst Manag*, 26, pp. 247–267. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40171-025-00437-z>
6. Gupta, S., Singh, R. K., & Amrit, C. (2025) Integrating Industry 4.0 with Circular Economy Approach for Sustainable and Flexible Manufacturing Systems. *Glob J Flex Syst Manag*, 26, pp. 115–145. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40171-025-00438-y>
7. Roumieh, N., Shibani, A., Almijrab, A., Ahmed, M., Arbouche, O., & Hassan, D. (2025) Managing Risks Based Scrum/Kanban Methodologies in Construction Industry. *Journal of Engineering and Management Studies*, Vol. 1, 1, pp. 1–7. URL: <https://jenams.com/wp-content/uploads/2025/03/01.01.25-journal-of-Engineering-and-Management-Studies-.pdf>
8. Aguilar-Landaeta, C. C., García-Saona, J. K., & Meza-Ortiz, R. N. (2025) Lean Manufacturing Implementation in Textile Dyeing: A Study of Process Optimization and Waste Reduction in a Peruvian SME. *International Journal of Recent Engineering Science*, Vol. 12, 3, pp. 35–46. DOI: <https://doi.org/10.14445/23497157/IJRES-V12I3P105>
9. Skorupskyi, K. S. (2025) Stratehii upravlinnia vyrobnytstvom v umovakh viiny [Production management strategies in wartime]. *Aktualni pytannia ekonomichnykh nauk*, 7. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14911617> [in Ukrainian].
10. Ulianchenko, N. (2025) Stratehiia upravlinnia pidpriemstvom v umovakh voiennoho stanu [Business management strategy in conditions of martial law]. *Herald of Khmelnytskyi National University*, 342(3(1)), pp. 293–297. DOI: [https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-342-3\(1\)-41](https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-342-3(1)-41) [in Ukrainian].
11. Nwamekwe, C. O., Vitalis, E. N., Igbokwe, N. C., Nwabunwanne, E. C., & Ono, C. G. (2025) Digital Twin-Driven Lean Manufacturing: Optimizing Value Stream Flow. *Letters in Information Technology Education (LITE)*, 8(1), pp. 1–13. URL: <https://hal.science/hal-05127340>

12. Li, L., Qu, T., Liu, Y., Zhong, R. Y., Xu, G., Sun, H., Gao, Y., Lei, B., Mao, C., Pan, Y., Wang, F., & Ma, C. (2020) Sustainability assessment of intelligent manufacturing supported by digital twin. *IEEE Access*. Vol. 8. pp. 174988–175008. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3026541
13. Sonets, O. V., & Vorontsov, B. S. (2025) Osoblyvosti vyhotovlennia detalei adytyvnymy tekhnolohiiamy z metalevykh splaviv. Analitychnyi ohliad [Features of manufacturing parts using additive technologies from metal alloys. Analytical review]. *Mechanics and Advanced Technologies*, 9(2(105)), pp. 185–194. DOI: [https://doi.org/10.20535/2521-1943.2025.9.2\(105\).326824](https://doi.org/10.20535/2521-1943.2025.9.2(105).326824) [in Ukrainian]
14. Wang, X., Gong, X., & Chou, K. (2016) Review on powder-bed laser additive manufacturing of Inconel 718 parts. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 231(11), pp. 1890–1903. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954405415619883>
15. Abrashkevych, Yu. D., Pelevin, L. Ye., & Marchenko, O. A. Protsesy hnuchkykh vyrobnytstv: navch. posibnyk [Flexible manufacturing processes: textbook]. Kyiv : KNUBA, 2019. 212 c. [in Ukrainian]

Дата першого надходження рукопису до видання: 19.09.2025
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 17.10.2025
Дата публікації: 28.11.2025