

**Остроухова О.С., студентка групи 131м-24н-1**

**Науковий керівник: Козечко В.А., к.т.н., доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства**

*(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)*

## **ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА АВІАДЕТАЛЕЙ ІЗ ФОКУСОМ НА РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ**

Сучасна авіаційна промисловість переживає період активної технологічної еволюції, пов'язаної з пошуком нових шляхів підвищення ефективності виробництва та зниження екологічного навантаження. У цьому контексті все більшої актуальності набуває концепція циркулярної економіки, яка орієнтує промисловість на замкнуті матеріальні потоки, мінімізацію відходів і максимальне використання вторинних ресурсів [1]. Такий підхід формує підґрунтя для перегляду традиційних виробничих практик і оцінювання потенціалу інноваційних технологій, серед яких особливе місце займає адитивне виробництво.

Традиційні методи виготовлення авіаційних деталей, такі як лиття, механічна обробка та штампування, тривалий час залишалися основою виробництва у галузі. Вони забезпечують високу точність, відтворюваність та надійність готових компонентів, проте супроводжуються значними витратами матеріалів і енергії. Класичні технологічні підходи часто характеризуються складною ієрархією процесів, великою кількістю збирань і трудомістких операцій. Крім того, низький рівень автоматизації, значна тривалість виготовлення та обмеження щодо формотворення конструкцій знижують загальну ефективність таких методів у сучасних умовах. Унаслідок цього виникає потреба у нових підходах до проектування та виробництва, які здатні забезпечити одночасно технічну ефективність, економічну доцільність та екологічну стійкість [1].

Одним із найперспективніших напрямів, що відповідає цим вимогам, є адитивне виробництво (3D-друк). Його розвиток сприяє зміні самої парадигми виготовлення — від видалення матеріалу до його поетапного нанесення. Це створює можливість виробництва деталей складної геометрії без використання додаткових форм, оснащення чи великої кількості механічних операцій. Адитивні технології (АТ) відкривають нові шляхи підвищення матеріало- та енергоефективності в авіаційній промисловості, зокрема завдяки скороченню кількості технологічних етапів, зменшенню споживання ресурсів та зниженню викидів на всіх фазах життєвого циклу виробу. Впровадження АТ дозволяє оптимізувати як фазу проектування, так і етап виробництва, створюючи більш замкнуті матеріальні потоки. Таким чином, адитивні процеси не лише підвищують ефективність використання металів, а й сприяють формуванню нових бізнес-моделей, орієнтованих на повторне використання матеріалів і зменшення екологічного сліду [2].

Важливим доповненням до адитивних технологій є використання методів топологічної оптимізації, що дозволяють визначати раціональний розподіл матеріалу в межах заданої конструкції. Такий підхід забезпечує оптимізацію форми деталі залежно від силових потоків і навантажень, зменшуючи масу без втрати міцності. Поєднання топологічної оптимізації з методами селективного лазерного плавлення (SLM) відкриває нові можливості для оцінювання альтернатив між традиційним і адитивним виробництвом. Отримані результати свідчать, що адитивні методи мають потенціал забезпечити скорочення тривалості виробничого циклу та підвищення ефективності процесу при збереженні високої якості готових виробів [3].

У контексті принципів циркулярної економіки адитивне виробництво розглядається не лише як технологічна інновація, а як інструмент побудови більш сталих виробничих систем. Воно дозволяє здійснювати локальне виготовлення, скорочуючи

транспортні витрати та логістичні ризики, а також сприяє появі гнучких виробничих ланцюгів. Завдяки цьому формується потенціал для створення замкнених циклів використання матеріалів — від виробництва до ремонту та повторного застосування. Такий підхід сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище, одночасно покращуючи економічні показники виробництва [2].

Водночас виникає необхідність розв'язання низки проблем, пов'язаних із впровадженням адитивних технологій. Серед них — відсутність стандартизованих баз даних властивостей матеріалів, складнощі контролю якості деталей складної геометрії, потреба в удосконаленні чисельних алгоритмів проектування та розробленні підходів до моделювання повного життєвого циклу авіаційних виробів. Додатковим викликом є потреба адаптації інженерних стандартів, що регламентують процес сертифікації та експлуатації деталей, виготовлених адитивними методами [1].

Отже, адитивні технології створюють передумови для глибокої трансформації авіаційного виробництва у відповідності до принципів циркулярної економіки. Вони забезпечують підвищення гнучкості виробничих систем, зменшення кількості технологічних операцій, покращення екологічних характеристик і відкривають нові можливості для інтеграції цифрового моделювання з фізичним виробництвом. Традиційні методи при цьому залишаються важливими у виробництві великогабаритних чи навантажених компонентів, проте їх поєднання з адитивними процесами може забезпечити оптимальний баланс між точністю, економічністю та сталим розвитком виробництва.

Таким чином, перехід авіаційної промисловості до моделей виробництва, заснованих на принципах циркулярної економіки, має спиратися на комплексне оцінювання технологій з урахуванням енергетичних, екологічних і матеріальних аспектів. Адитивне виробництво в цьому контексті виступає ключовим елементом модернізації галузі, який поєднує інноваційні підходи до проектування, виготовлення та утилізації авіаційних компонентів.

#### Список використаних джерел:

1. Шинкарук В. І., Ліповський В. І. Огляд основних тенденцій та факторів сучасного розвитку аерокосмічної галузі. *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки*. Том XXVIII. Дніпро: ДНУ ім. О. Гончара, 2021. С. 65–83.
2. Monteiro H., Silva F., Leite M., et al. Energy and material efficiency strategies enabled by metal additive manufacturing for the aerospace/aeronautic sector. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 331. Article 129998. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129998.
3. Cruz M. F., Borille A. V. Decision methods application to compare conventional manufacturing process with metal additive manufacturing process in the aerospace industry. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2017. Vol. 39, Iss. 1. P. 177–193. DOI: 10.1007/s40430-016-0532-8.