Майорова Катерина Володимирівна, к.т.н., доцент

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут», Харків

ORCID ID: 0000-0003-3949-0791

Книр Антон Вячеславович, аспірант

ORCID ID: 0000-0003-1324-1850

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут», Харків

**АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ АВІАЦІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ**

**Дослідження в сучасній авіаційній промисловості зосереджені на вдосконаленні технологій виготовлення деталей за допомогою методів реверс-інжинірингу та адитивних технологій. Реверс-інжиніринг дозволяє відтворювати та оптимізувати існуючі деталі, особливо в ситуаціях, коли оригінальна документація відсутня або застаріла. Як наслідок, адитивні технології дозволяють створювати складні геометричні форми з високою точністю, що особливо важливо для компонентів авіації. Авіаційна промисловість використовує реверс-інжиніринг для відновлення та модернізації застарілої деталі з метою збільшення терміну служби літаків і підвищення їх надійності різними підходами та методами. Так стаття Лопеса та Віли описує метод реверс-інжинірингу з використанням адитивних технологій, який дозволяє виготовляти компоненти з великою точністю навіть без технічних креслень або CAD-моделей [1]. Для відновлення та ремонту металевих деталей гібридні процеси, які поєднують реверс-інжиніринг, попередню обробку та адитивне виробництво, були ефективними в [2].**

**Нові можливості для оптимізації топології кронштейнів з’явилися завдяки адитивним технологіям, зокрема 3D-друку металевими порошками. В [3] Попеску та інші показали, що адитивне виробництво та методи оптимізації топології можуть створювати міцніші та легші конструкції порівняно з традиційними методами виробництва. Це дозволяє значно скоротити час, необхідний для розробки та виробництва деталей, а також оптимізувати їх конструкцію, щоб підвищити їх функціональні характеристики.**

**Як зазначено в роботі Кампоса [4], впровадження реверс-інжинірингу та адитивних технологій також сприяє створенню цифрових та інтелектуальних інструментів для виробництва композитних матеріалів. Це відкриває нові можливості для розробки надзвичайно ефективних деталей авіації з покращеними механічними властивостями.**

**Процеси контролю якості можуть включати штучний інтелект (ШІ). Використання ШІ для виявлення дефектів дозволяє значно підвищити точність виявлення дефектів і одночасно знизити рівень помилок до нижче 1%. Використання ШІ та автоматизація виробництва авіаційних деталей підвищує продуктивність і зменшує витрати. Так в роботі [5] показано автоматизовані системи контролю якості, які можуть виконувати завдання швидше та з більшою точністю, ніж раніше, коли для їх виконання було потрібно багато зусиль і часу. Це дозволяє виробникам зосередитися на інших важливих елементах виробництва, таких як створення нових товарів і покращення існуючих технологій.**

**Автори робіт [6-7] показали виготовлення авіаційних деталей, поєднавши реверс-інжиніринг та 3D-друк, в яких доведено ефективність їх використання за рахунок зменшення припуску на оброблення, часу і вартості виготовлення.**

**Реверс-інжиніринг поширений і в оцифровуванні авіаційних деталей з полімерних композиційних матеріалів, у тому числі і для відновлення та контролю технологічної оснастки (матриць, форм), що доведено Сікульським та Майоровою [8-10].**

**Загалом авіаційна промисловість має нові можливості завдяки впровадженню реверс-інжинірингу, адитивних технологій у поєднанні з автоматизацією та ШІ. Це зменшує витрати на виробництво та підвищує ефективність виробничих процесів, одночасно підвищуючи якість і надійність авіаційних деталей. Подальші дослідження та впровадження цих технологій можуть значно покращити конкурентоспроможність авіаційної промисловості на світових ринках.**

**Література**

1. López, J., & Vila, C. (2021). An approach to Reverse Engineering Methodology for Part Reconstruction with Additive Manufacturing. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 1193, 012047.

2. A Hybrid Process Integrating Reverse Engineering, Pre-Repair Processing, Additive Manufacturing, and Material Testing for Component Remanufacturing. (2019). NCBI.

3. Popescu, D., & al. (2016). Topology Optimization and Additive Manufacturing of Aerospace Brackets. Procedia CIRP, 55, 154-159.

4. Campos, R., & al. (2023). Advanced Composite Materials in Aerospace: Digital Manufacturing and Reverse Engineering. Journal of Aerospace Technology and Management, 15, e20230001.

5. Chen, X., Zhao, G., Wang, Y., & Xie, Y. (2019). Optimization design and control of automated fiber placement machine for complex surfaces. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 103(9), 3807-3820.

6. Zhou, F., Lin, G.M., Zhang, W.G., et al. 3D printing technology and the latest application in the aviation area. Adv. Mater. Res., vol. 912–914, pp. 1057–1060 (2014).

7. Liu, R.; Wang, Z.; Sparks, T.; Liou, F.; Newkirk, J. Aerospace Applications of Laser Additive Manufacturing. Laser Addit. Manuf. Mater. Des. Technol. Appl. 1, 351–371 (2017).

8. Maiorova, K., Vorobiov, I., Boiko, M., Suponina, V., Komisarov, O. Implementation of reengineering technology to ensure the predefined geometric accuracy of a light aircraft keel. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 6(1 (114), 6–12 (2021).

9. Sikulskiy, V., Maiorova, K., Vorobiov, Iu., Boiko, M., Komisarov, O. Implementation of reengineering technology to reduce the terms of the technical preparation of manufacturing of aviation technology assemblies. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(1(117)), 25–32 (2022).

10. Maiorova K., Sikulskyi V., Vorobiov I., Kapinus O. & Knyr A. Study of a geometry accuracy of the bracket-type parts using reverse engineering and additive manufacturing technologies. In: Nechyporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds). Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2022. ICTM 2022. (Vol. 657, pp. 146-158), October 28-30, 2022, Kharkiv, Ukraine: National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”.