УДК 623:621.791.9

**Д. В. Качурівський, І. В. Віштак**

# ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

***Анотація.*** *У роботіі досліджено застосування адитивних технологій для виготовлення та відновлення деталей військової техніки. Розглянуто технології FDM і SLS для роботи з композитними полімерними та поліамідними матеріалами, оцінено їхню міцність, зносостійкість, вібраційну стійкість і геометричну точність. Встановлено перспективність використання FDM, SLS та Arburg Plastic Freeforming для оперативного виготовлення деталей, скорочення часу ремонту, зниження витрат і підвищення ремонтопридатності військової техніки.*

***Ключові слова:*** *адитивні технології, 3D-друк, військова техніка, ремонтні деталі, композитні матеріали, полімери, ремонтопридатність, зносостійкість.*

***Abstract.*** *The article investigates the application of additive manufacturing technologies for the production and restoration of military equipment components. FDM and SLS technologies for processing composite polymers and polyamide materials are considered, with an assessment of their mechanical strength, wear resistance, vibration resistance, and dimensional accuracy. The results demonstrate the potential of FDM, SLS, and Arburg Plastic Freeforming for the rapid production of components, reducing repair time and costs, and improving the maintainability of military equipment.*

***Keywords:*** *additive manufacturing, 3D printing, military equipment, repair components, composite materials, polymers, maintainability, wear resistance.*

Експлуатація військової техніки в умовах значних навантажень і зношування потребує оперативного відновлення пошкоджених та виготовлення запасних деталей. Традиційні способи виробництва часто є тривалими й потребують спеціального обладнання та складної логістики.

Перспективним рішенням є застосування адитивних технологій, які дають змогу швидко виготовляти деталі складної форми за цифровими моделями. Використання FDM, SLS та сучасних полімерних і композитних матеріалів дозволяє забезпечити необхідні характеристики деталей, скоротити час ремонту та підвищити ремонтопридатність військової техніки. Тому дослідження можливостей 3D-друку для виготовлення та відновлення її елементів є актуальним напрямом.

Сучасна військова техніка експлуатується в умовах значних механічних навантажень, вібрацій та інтенсивного зношування, що потребує оперативного ремонту й доступності запасних частин. Традиційне виготовлення окремих компонентів може бути тривалим через необхідність спеціального оснащення, матеріалів і складної логістики [1]. У зв’язку з цим перспективним рішенням є застосування адитивних технологій, які дозволяють виготовляти деталі безпосередньо за цифровою моделлю та швидко адаптувати конструкцію до конкретних потреб [2].

В Україні вже проводяться дослідження щодо використання 3D-друку для ремонту інженерної техніки та виготовлення деталей для модернізації безпілотних літальних апаратів [3]. Розглядається можливість вибору відповідного обладнання та матеріалів залежно від призначення деталі й умов її експлуатації. Це свідчить про перспективність використання адитивного виробництва для локального виготовлення компонентів військової техніки.

Зарубіжний досвід також демонструє практичне застосування 3D-друку у військовій сфері[4, 5]. Зокрема, у Збройних силах США адитивне виробництво використовується для виготовлення замінників окремих компонентів наземної військової техніки. Застосування цифрових моделей дозволяє оперативно виготовляти необхідні деталі та проводити їх перевірку без тривалого традиційного виробничого циклу. Окремі приклади стосуються бойових машин M2 Bradley, для яких розроблялися та виготовлялися компоненти із застосуванням адитивних технологій [4].

Для виготовлення ремонтних деталей доцільно використовувати технології FDM та SLS. FDM характеризується доступністю обладнання, широким вибором полімерних матеріалів і

можливістю швидкого виготовлення одиничних деталей. SLS дозволяє отримувати компоненти складної геометрії з полімерних порошків та забезпечує більш широкий спектр конструктивних можливостей [6]. Вибір технології повинен здійснюватися залежно від призначення деталі, механічного навантаження та умов експлуатації.

Перед встановленням адитивно виготовлених компонентів на військову техніку необхідно оцінювати їхню механічну міцність, зносостійкість, геометричну точність, температурну та вібраційну стійкість [7]. Особливого значення набуває проведення лабораторних і експлуатаційних випробувань, які дозволяють визначити відповідність отриманих деталей установленим вимогам.

Перспективним напрямом є створення цифрових бібліотек моделей запасних деталей. Це дозволить зберігати тривимірні моделі компонентів і за необхідності швидко виготовляти їх без тривалого виробничого циклу. Такий підхід може підвищити оперативність ремонту та зменшити залежність від централізованого постачання окремих запасних частин.

Отже, адитивні технології мають значний потенціал для підвищення ефективності ремонту та технічного обслуговування військової техніки. Їх застосування дає можливість скоротити час виготовлення окремих деталей, спростити процес їх відновлення та забезпечити локальне виробництво необхідних компонентів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на експериментальне визначення міцності, зносостійкості, точності та довговічності деталей, виготовлених різними методами адитивного виробництва.

Адитивні технології є перспективним засобом виготовлення та відновлення окремих деталей військової техніки. Застосування FDM, SLS та Arburg Plastic Freeforming дає змогу скоротити час ремонту, зменшити витрати та оперативно виготовляти необхідні компоненти. Подальші дослідження доцільно спрямувати на підвищення міцності, зносостійкості та точності адитивно виготовлених деталей.

Список використаних джерел:


1. Alzahmi W., Shamayleh A., Stefancich M. The role of additive manufacturing in spare parts management: A systematic review. *Cleaner Engineering and Technology*. 2025. Vol. 27. Art. 101029. DOI: https://doi.org/10.1016/j.clet.2025.101029.
2. Rautio S., Valtonen I. Supporting military maintenance and repair with additive manufacturing. *Journal of Military Studies*. 2022. Vol. 11, no. 1. P. 23–36. DOI: https://doi.org/10.2478/jms-2022-0003.
3. Щербак С. 3D-друк у військовій практиці України: від кухонного «Лего» та FPV-дронів до розподіленого фронтового конвеєра. *Defense Express*. 2026. 6 квітня. URL: https://defence-ua.com/minds_and_ideas/3d_druk_u_vijskovij_praktitsi_ukrajini_vid_kuhonnogo_lego_ta_fpv_droniv_do_rozpodilenogo_frontovogo_konvejera-22461.html (дата звернення: 14.10.2026).
4. Army Evaluates 3D Printing for Bradley Fighting Vehicle's Transmission Mount. *Mobility Engineering Technology*. 2024. 11 October. URL: https://www.mobilityengineeringtech.com/component/content/article/51824-army-evaluates-3d-printing-for-bradley-fighting-vehicles-transmission-mount (дата звернення: 14.10.2026).
5. How the US Military Uses 3D Printing Technologies. *Markforged*. 2024. URL: https://markforged.com/resources/blog/how-are-different-branches-of-the-us-military-using-additive (дата звернення: 14.10.2026).
6. Kafle A., Luis E., Silwal R., Pan H. M., Shrestha P. L., Bastola A. K. 3D/4D Printing of Polymers: Fused Deposition Modelling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS), and Stereolithography (SLA). *Polymers*. 2021. Vol. 13, no. 18. Art. 3101. DOI: https://doi.org/10.3390/polym13183101.
7. Subramani R., Leon R. R., Nageswaren R. та ін. Tribological Performance Enhancement in FDM and SLA Additive Manufacturing: Materials, Mechanisms, Surface Engineering, and Hybrid Strategies—A Holistic Review. *Lubricants*. 2025. Vol. 13, no. 7. Art. 298. DOI: https://doi.org/10.3390/lubricants13070298.



***Віштак Інна Вікторівна*** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua. https://orcid.org/0000-0001-5646-4996

***Качурівський Дмитро Віталійович*** – студент групи 1ПМ–24б, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dvkachurivski@gmail.com.

***Vishtak Inna*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Life Safety and Safety Pedagogy, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vishtakiv@vntu.edu.ua . https://orcid.org/0000-0001-5646-4996

***Kachurivskyi Dmytro*** – Student (Group 1PM–24b), Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dvkachurivski@gmail.com