УДК 623.437.1

В. В. Поступальський, І. В. Віштак

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ВІЙСЬКОВИХ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Анотація. *Розглянуто основні чинники зниження експлуатаційної надійності військових автомобілів в умовах інтенсивного використання. Проаналізовано можливості застосування прогнозованого технічного обслуговування на основі бортових діагностичних систем і телеметричних даних для своєчасного виявлення ознак технічної деградації агрегатів. Окрему увагу приділено використанню сучасних триботехнічних матеріалів і нанодобавок до мастильних матеріалів як засобу потенційного зменшення тертя та зношування деталей. Обґрунтовано доцільність комплексного підходу до підтримання технічної готовності військової автомобільної техніки.*

Ключові слова: *військові автомобілі, експлуатаційна надійність, інтенсивне використання, прогнозоване технічне обслуговування, діагностування, триботехнічні матеріали.*

Abstract. *The main factors contributing to the reduction of operational reliability of military vehicles under intensive use are considered. The possibilities of predictive maintenance based on onboard diagnostic systems and telemetry data for the timely detection of technical degradation in vehicle components are analyzed. Particular attention is paid to the application of modern tribological materials and lubricant nano-additives as a potential means of reducing friction and wear. The feasibility of an integrated approach to maintaining the operational readiness of military vehicles is substantiated.*

Keywords: *military vehicles, operational reliability, intensive use, predictive maintenance, diagnostics, tribological materials.*

Інтенсивне використання військових автомобілів під час виконання завдань висуває підвищені вимоги до їхньої експлуатаційної надійності та технічної готовності. Робота в умовах бездоріжжя, підвищеної запиленості, значних температурних коливань і змінних навантажень прискорює зношування деталей та може спричиняти передчасні відмови силових установок, трансмісій і ходової частини. Додатковими чинниками зниження готовності техніки є обмеженість часу на технічне обслуговування, доступність запасних частин і ресурсів для проведення ремонтних робіт. Аналогічні проблеми забезпечення готовності наземної військової техніки відзначено у звіті Government Accountability Office [1]. За таких умов актуальним є вдосконалення підходів до діагностування, прогнозування технічного стану та запобігання відмовам автомобільних агрегатів.

До основних чинників, що впливають на надійність військових автомобілів за інтенсивної експлуатації, належать:

- тривала робота двигунів і трансмісій за змінних та підвищених навантажень;
- абразивне зношування спряжених поверхонь унаслідок потрапляння пилу й забруднень;
- погіршення властивостей мастильних матеріалів унаслідок температурного та механічного навантаження;
- порушення встановлених інтервалів технічного обслуговування;
- обмежений доступ до діагностичного обладнання, запасних частин і ремонтних ресурсів.

Наведені чинники можуть спричиняти прискорену деградацію вузлів, збільшення кількості позапланових ремонтів і зниження коефіцієнта технічної готовності автомобільного парку. Тому перспективним напрямом є доповнення регламентного обслуговування методами контролю фактичного технічного стану машин.

Одним із перспективних напрямів є впровадження прогнозованого технічного обслуговування (Predictive Maintenance), яке передбачає визначення технічного стану агрегатів на основі результатів періодичного або безперервного контролю експлуатаційних параметрів. Для цього можуть використовуватися дані бортових діагностичних систем, інтерфейсів CAN, а також додаткових датчиків температури, тиску, вібрації та інших параметрів [2]. Подальше

опрацювання отриманих даних за допомогою статистичних методів і алгоритмів машинного навчання дає змогу виявляти відхилення від нормального режиму роботи та оцінювати тенденції зміни технічного стану агрегатів [2; 3].

Практичну перспективність такого підходу підтверджують дослідження щодо застосування цифрових двійників для прогнозування технічного стану наземних військових автомобілів [2], а також розроблення системи MANPREDIC, у якій використовуються телеметричні дані CAN-шини та алгоритми машинного навчання для виявлення ознак деградації транспортних засобів [4]. Водночас ефективність прогнозування залежить від повноти діагностичної інформації, якості даних, наявності історії технічного обслуговування та достовірності моделей.

Іншим напрямом є підвищення зносостійкості деталей шляхом удосконалення триботехнічних властивостей мастильних матеріалів. Сучасні дослідження розглядають можливість використання наночастинок металів, оксидів, вуглецевих матеріалів та їхніх композицій як добавок до мастильних середовищ. Залежно від хімічного складу, концентрації та умов контакту такі добавки можуть впливати на коефіцієнт тертя, інтенсивність зношування та формування захисних трибоплівок на поверхнях тертя [5; 6]. Однак їхня ефективність потребує експериментальної перевірки з урахуванням сумісності з базовою оливою, фільтраційних властивостей, стабільності дисперсії та вимог виробника агрегату.

Для оцінювання імовірності безвідмовної роботи військових автомобілів може застосовуватися експоненціальна модель надійності, яка передбачає сталу інтенсивність відмов протягом досліджуваного періоду [7]. Такий підхід використано, зокрема, у дослідженні авторів у роботі [7] для порівняння моделей відмов озброєння та військової техніки, зокрема вибору відповідного закону розподілу для оцінювання надійності. Математична залежність має вигляд:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

де *P(t)* – імовірність безвідмовної роботи протягом часу *t*; λ – стала інтенсивність відмов за прийнятого припущення про експоненціальний розподіл часу до відмови; t – тривалість експлуатації.

Модель дає змогу оцінити зміну ймовірності безвідмовної роботи за різних значень інтенсивності відмов. Зокрема, за умови зменшення λ внаслідок реалізації ефективних профілактичних заходів розрахункове значення *P(t)* зростає. Водночас кількісне оцінювання такого ефекту потребує статистичних даних щодо відмов конкретного типу автомобілів до та після впровадження відповідних заходів.

Таблиця 1 – Порівняння підходів до технічного обслуговування військових автомобілів

Критерій оцінювання	**Регламентне технічне обслуговування**	**Прогнозоване технічне обслуговування**
Основний принцип	Виконання робіт за встановленими інтервалами	Планування робіт за результатами оцінювання технічного стану
Інформаційна основа	Пробіг, напрацювання, регламентні вимоги	Діагностичні параметри, телеметрія, історія відмов
Виявлення несправностей	Під час планових оглядів або після прояву ознак несправності	За тенденціями зміни контрольованих параметрів
Планування ремонтів	Відповідно до регламенту	З урахуванням прогнозованого стану агрегатів
Основні обмеження	Можливість передчасної заміни справних деталей або виникнення відмов між ТО	Потреба в достовірних даних, діагностичних засобах і моделях прогнозування

Комплексне використання зазначених підходів передбачає збереження обов'язкових регламентних операцій із доповненням їх діагностуванням за фактичним станом. Застосування триботехнічних матеріалів може розглядатися як додатковий засіб зниження зношування, але не як заміна належної системи мащення, контролю рівня та тиску оливи або встановлених ремонтних процедур.

Підвищення експлуатаційної надійності військових автомобілів в умовах інтенсивного використання потребує комплексного поєднання технічних і організаційних заходів. Перспективним напрямом є доповнення регламентного технічного обслуговування методами прогнозування технічного стану на основі бортової діагностики, телеметрії та аналізу експлуатаційних даних. Використання сучасних триботехнічних матеріалів і нанодобавок до мастильних матеріалів може сприяти зменшенню тертя та зношування, проте потребує перевірки їхньої ефективності й сумісності з конкретними агрегатами. Реалізація такого підходу створює передумови для своєчасного виявлення несправностей, раціонального планування ремонтів і підвищення технічної готовності військового автомобільного парку.

Список використаних джерел:

1. U.S. Government Accountability Office. Weapon System Sustainment: Various Challenges Affect Ground Vehicles' Availability for Missions. GAO-25-108679. Washington, DC, 2025. URL: https://www.gao.gov/products/gao-25-108679 (дата звернення: 06.11.2026).
2. Eddy C. W., Castanier M. P., Wagner J. R. Predictive Maintenance of a Ground Vehicle Using Digital Twin Technology. *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility*. 2025. Vol. 7, Issue 2. P. 865–876. DOI: https://doi.org/10.4271/2024-01-2867.
3. MANPREDIC: A successful case study in predictive maintenance for ground vehicles in the Spanish army. *Alexandria Engineering Journal*. 2026. Vol. 145. P. 182–206. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aej.2026.04.037.
4. U.S. Department of Defense Office of Inspector General. Audit of the Department of Defense's Implementation of Predictive Maintenance Strategies to Support Weapon System Sustainment. Report No. DODIG-2022-103. 2022. URL: https://www.dodig.mil/reports.html/Article/3063635/audit-of-the-department-of-defenses-implementation-of-predictive-maintenance-strat/ (дата звернення: 06.11.2026).
5. Jiang Z., Sun Y., Liu B. et al. Research progresses of nanomaterials as lubricant additives. *Friction*. 2024. Vol. 12. P. 1347–1391. DOI: https://doi.org/10.1007/s40544-023-0808-9.
6. Garcia Tobar M., Contreras Urgiles R. W., Jimenez Cordero B., Guillen Matute J. Nanotechnology in Lubricants: A Systematic Review of the Use of Nanoparticles to Reduce the Friction Coefficient. *Lubricants*. 2024. Vol. 12, No. 5. Article 166. DOI: https://doi.org/10.3390/lubricants12050166.
7. Kurtseitov T., Kopashynskii S., Yablonskyi P. Comparison of distribution laws (failure models) for describing the processes occurring in the mathematical model of exploitation (storage) of weapons at the "use" and "maintenance" stages of the life cycle. Social Development and Security. 2023. DOI: 10.33445/sds.2023.13.6.8

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

Поступальський Владислав Валерійович – студент групи 1ГМ-24б кафедри галузевого машинобудування, факультет машинобудування та транспорту, Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: 1807vladuslav@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

Postupalskyi Vladyslav– Studentof group 1GM-24b of the Department of Industrial Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 1807vladuslav@gmail.com