

**М. В. Петровський, І. М. Дегтярьов, Д. В. Мірошніченко,
П. В. Леонтєєв, В. О. Журба, В. Г. Ланчинський**
**ПЕРСПЕКТИВИ ПРОЄКТУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ПЛАТФОРМ ТА
МЕТОДИКИ ЇХ РОЗРАХУНКУ**

***Анотація:** в дослідженні обґрунтовано необхідність використання передових методик розрахунку, включаючи 3D-моделювання та чисельні методи для оптимізації конструкції та забезпечення надійності роботизованих платформ. Показано переваги застосування програмного середовища ANSYS для проведення віртуальних випробувань та аналізу поведінки платформи в різних умовах експлуатації. Доведено перспективи розроблення методик розрахунку надійності, довговічності та ремонтпридатності окремих вузлів роботизованої платформи.*

***Ключові слова:** чисельне моделювання, 3D-моделювання, ресурс.*

***Abstract:** the research substantiates the necessity of using advanced calculation methods, including 3D modeling and numerical methods, to optimize the design and provide reliability of robotic platforms. The advantages of using the ANSYS software environment for conducting virtual simulations and analyzing the behavior of the platform under various operating conditions are shown. The prospects for the development of methods for calculating the reliability, durability and maintainability of individual nodes of the robotic platform have been proven.*

***Keywords:** numerical simulation, 3D modeling, recourse.*

На даний момент провідні країни світу, що є лідерами за військовим потенціалом, прийшли до висновку, що війни майбутнього – це війни роботизованих комплексів. Про це, зокрема, свідчать керівні документи США, а саме: Стратегія роботизованих і автономних систем армії США до 2035 р., Операційна концепція армії США до 2040 р. та Інтегрована дорожня карта безпілотних систем на 2017-2042 роки [1]. У документах зазначається, що пріоритетом застосування військ є виконання підрозділами завдань з мінімізацією втрат особового складу. Одним із ключових шляхів досягнення цієї мети виступає роботизація озброєння та військової техніки, що сприяє як мінімізації втрат серед військовослужбовців, так і підвищенню ефективності виконання бойових завдань. Роботизовані платформи здатні вести розвідку і логістику, а також ведення бойових операцій, розмінування та евакуації поранених, що знижує ризик для життя військовослужбовців.

В умовах сучасних оборонних викликів з якими стикається Україна, розробка та впровадження роботизованих платформ у військовій сфері вимагає нових методологій проєктування, які повинні враховувати не лише типові кінематичні та динамічні параметри, але й специфічні вимоги, такі як стійкість до екстремальних умов, стелс-технології, автономність, інтеграцію зі системами зв'язку та керування, а також відповідність високим стандартам безпеки. Водночас, ефективне проєктування військових роботів потребує передових методик розрахунку, включаючи використання алгоритмів штучного інтелекту для адаптації до невизначених умов бойової обстановки та оптимізації витрат ресурсів. Таким чином, розробка інноваційних військових роботизованих платформ є надзвичайно актуальною і стратегічно важливою задачею, оскільки вона забезпечує технологічну перевагу на полі бою та сприяє підвищенню безпеки військових операцій у динамічно змінюваних умовах сучасного військового конфлікту.

Провідні світові виробники військової техніки, такі як General Dynamics, Lockheed Martin, Rheinmetall та інші, вже розробили й успішно впроваджують високотехнологічні роботизовані системи, здатні виконувати широкий спектр завдань – від розвідки та логістики до бойових дій. Проте наявні рішення є надзвичайно дорогими, що обмежує їхнє масове впровадження, особливо для країн із обмеженими оборонними бюджетами. З огляду на це, виникає необхідність розробки аналогічних роботизованих платформ, що мають схожі характеристики та орієнтованих на економічну ефективність. Це вимагає оптимізації конструкції та вибору матеріалів, зниження складності окремих модулів та компонентів, а також використання

локальних ресурсів і виробничих потужностей, що дозволяє значно скоротити вартість готової продукції. Крім того, застосування сучасних технологій, таких як адитивне виробництво, композитні матеріали та модульні підходи у проектуванні, допомагає значно здешевити процес створення військових роботів без втрати їх функціональних можливостей.

Під час бойових дій роботизовані комплекси використовуються для виконання завдань у складних умовах, які включають екстремальні температури, вологість, механічні навантаження. Це вимагає інноваційних підходів до їхнього проектування та чіткого обґрунтування методів розрахунку, що забезпечують надійність і довговічність таких платформ. Ключовим завданням у процесі проектування є створення високоточних 3D-моделей компонування платформи, що дозволяє детально відпрацьовувати конструктивні особливості, оцінювати розміщення основних вузлів та модулів, а також забезпечувати раціональне використання внутрішнього простору.

Методи чисельного моделювання, такі як метод скінченних елементів, дозволяють з високою точністю прогнозувати поведінку компонентів у робочих умовах та піддають їх віртуальному тестуванню, що суттєво знижує ризики на етапі фізичних випробувань. Розрахунки з використанням чисельного моделювання допомагають оцінювати розподіл навантажень на різних ділянках платформи та аналізувати її стійкість до зношування, вібраційних і ударних навантажень. Це особливо важливо для вузлів, які несуть основні механічні навантаження та працюють під високим тиском, наприклад, у ходових системах і привідних механізмах.

У роботі створено 3D-модель роботизованої платформи в програмному середовищі ANSYS [2], що надає низку переваг та робить цей підхід надзвичайно цінним для наукових досліджень і розробок у сфері військової робототехніки. ANSYS забезпечує високоточне моделювання та симуляцію, що дозволяє детально відтворити компонування платформи, її геометрію та матеріальні властивості окремих елементів. Це дало можливість отримати віртуальний прототип платформи, на якому проведено випробування різних конструктивних рішень без необхідності створення фізичного зразка. Такий підхід суттєво знижує витрати на етапі розробки, оскільки дозволяє проводити численні ітерації моделювання, поки не буде досягнуто оптимальної конфігурації. Чисельні методи, доступні в ANSYS, дозволили провести аналіз навантажень, деформацій та напружень у різних умовах експлуатації. Це особливо важливо для роботизованих платформ, що працюють у жорстких умовах і піддаються екстремальним механічним впливам. Використовуючи ANSYS, автори передбачили, як окремі елементи платформи реагуватимуть на такі впливи, що дозволило оптимізувати їхню конструкцію для підвищення міцності та надійності. Також здійснено розрахунки ресурсу, зокрема вдалося спрогнозувати знос і стійкість до вібраційних та ударних навантажень. Це дало змогу закласти в проєктовану платформу високу ремонтпридатність і мінімізувати ризики виходу з ладу під час експлуатації, що є критично важливим для військової техніки. Завдяки своїм можливостям для розрахунків, ANSYS було обрано, як потужний інструмент для підвищення ефективності розробки роботизованої платформи, що дозволяє знизити вартість і час на створення фізичного прототипу.

У процесі проектування додатково необхідною є розробка методик розрахунку надійності, довговічності та ремонтпридатності окремих вузлів роботизованої платформи. Військова техніка повинна не лише виконувати свої функції на полі бою, але й зберігати здатність до швидкого ремонту в польових умовах. Це вимагає розрахунку кожного елемента на стійкість до тривалого впливу високих навантажень, а також оптимізації конструкції з урахуванням зручності обслуговування та заміни зношених деталей. Таким чином, в роботі розроблений комплексний підхід до розрахунку військової роботизованої платформи, що дозволяє значно підвищити їхню функціональність та адаптивність у жорстких експлуатаційних умовах, що є критично важливим для сучасних військових операцій.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що створення багатофункціональних військових роботизованих платформ є важливим і стратегічно необхідним напрямом для підвищення обороноздатності сучасних армій. Розробка таких платформ, що поєднує інноваційні підходи до проектування, використання сучасних технологій 3D-моделювання та чисельного аналізу в програмному середовищі ANSYS, забезпечує високу ефективність і економічність. Чисельні методи дозволяють не лише оптимізувати конструкцію,

але й підвищують надійність і довговічність компонентів, що в умовах екстремальних навантажень гарантує працездатність платформ у складних бойових обставинах.

Крім того, необхідність зниження витрат на виробництво таких платформ, враховуючи економічні обмеження багатьох країн, стає важливою передумовою для створення конкурентоспроможної військової техніки. Оптимізація структури та вибір доступних матеріалів дозволяє значно скоротити витрати, не знижуючи ефективності та функціональних можливостей. Завдяки розробленим у роботі підходам до розрахунку на ремонтпридатність, платформи можуть легко обслуговуватись і ремонтуватись навіть у польових умовах, що знижує їх загальну вартість експлуатації та підвищує довговічність.

Таким чином, представлений в роботі підхід може бути застосований до розробки військових та цивільних роботизованих платформ, що є комплексним і ефективним рішенням, яке задовольняє сучасним оборонним потребам, забезпечуючи високу надійність та ефективність, що не тільки відповідає вимогам безпеки та оборони України, а і потребам сучасного суспільства.

Список використаних джерел:

1. Залипка В. Д. Особливості створення та застосування наземних роботизованих комплексів у провідних країнах світу та Україні. Науковий вісник НЛТУ України. 2022, Т. 32, № 4. С. 60-65.
2. ANSYS release 19.0 Documentation for ANSYS WORKBENCH: ANSYS Inc.

Петровський Михайло Васильович – канд. фіз. - мат. наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики, Сумський державний університет, м. Суми, e-mail: m.petrovskiy@etech.sumdu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0387-3136>

Дегтярьов Іван Михайлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів, Сумський державний університет, м. Суми, e-mail: ivan_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8535-987X>

Мірошниченко Дмитро Валерійович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник кафедри комп'ютеризованих систем управління, Сумський державний університет, м. Суми, e-mail: d.miroshnychenko@ksu.sumdu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6785-8996>

Леонтєв Петро Володимирович – канд. техн. наук, завідувач кафедри комп'ютеризованих систем управління, Сумський державний університет, м. Суми, e-mail: p.leontiev@ksu.sumdu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9494-9078>

Журба В'ячеслав Олегович – канд. фіз. - мат. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління, Сумський державний університет, м. Суми, e-mail: v.zhurba@ksu.sumdu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4475-9898>

Ланчинський Вадим Григорович – аспірант, кафедра комп'ютеризованих систем управління, Сумський державний університет, м. Суми, e-mail: v.lanchynskiy@ksu.sumdu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0777-9980>

Petrovskiy Mykhailo – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering, Sumy State University, Sumy, e-mail: m.petrovskiy@etech.sumdu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0387-3136>

Dehtiarov Ivan – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, Sumy State University, Sumy, e-mail: ivan_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8535-987X>

Miroshnychenko Dmytro – PhD, Senior Research Scientist of the Department of Computerized Control Systems, Sumy State University, Sumy, e-mail: d.miroshnychenko@ksu.sumdu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6785-8996>

Leontiev Petro – PhD, Head of the Department of Computerized Control Systems, Sumy State University, Sumy, e-mail: p.leontiev@ksu.sumdu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9494-9078>

Zhurba Viacheslav – PhD, Associate professor, Associate Professor of the Department of Computerized Control Systems, Sumy State University, Sumy, e-mail: v.zhurba@ksu.sumdu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4475-9898>

Lanchynskyi Vadym – Post graduate student, Department of Computerized Control Systems, Sumy State University, Sumy, e-mail: v.lanchynskyj@ksu.sumdu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0777-9980>