

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІЙСЬКОВИХ ГУСЕНИЧНИХ І КОЛІСНИХ МАШИН НА ЕТАПІ ПРОЕКТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

А. В. ГРАБОВСЬКИЙ*, А. Ю. ВАСИЛЬЄВ, М. М. ТКАЧУК, А. Ю. ТАНЧЕНКО,
О. В. МАРТИНЕНКО, Д. В. КИРИЧУК, С. В. БОРИСЕНКО, О. І. КАСАЙ

Кафедра теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, УКРАЇНА

*email: grabovski@tmm-sapr.org

АНОТАЦІЯ У роботі міститься постановка задачі забезпечення тактико-технічних характеристик військових гусеничних і колісних машин на етапі проектних досліджень. Запропонована адаптація методу узагальненого параметричного моделювання до розв'язання задач аналізу динаміки та міцності елементів військових гусеничних і колісних машин. Розглянуті декілька частинних задач. У процесі досліджень використані сучасні програмні комплекси. Розроблені методи та моделі можуть бути застосовані до розв'язання задач обґрунтування параметрів елементів об'єктів бронетанкової техніки за критеріями міцності, захищеності, точності ведення вогню

Ключові слова: військова гусенична і колісна машина, тактико-технічна характеристика, режим бойового застосування, напружено-деформований стан, аналіз динаміки та міцності, контактний тиск

PROVIDING OF TACTICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MILITARY CATERPILLAR AND WHEELED VEHICLES ON STAGE OF DESIGN RESEARCHES

A. V. GRABOVSKIY, A. YU. VASILIEV, M. M. TKACHUK, A. YU. TANCHENKO,
O. V. MARTYNENKO, D. V. KYRYCHUK, S. V. BORYSENKO, O. I. KASAI

Department theory and systems of automated design of mechanisms and machines, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov, UKRAINE

ABSTRACT The paper contains a statement of the problem to ensure performance characteristics of military tracked and wheeled vehicles at the stage of design research. A method of adapting a generalized parametric modeling to solving problems of dynamics analysis and durability of elements of military tracked and wheeled vehicles. We consider particular problems associated with the contact interaction of elements of military vehicles, interaction of shock wave loading hulls with light armored cars, the impact of jet impact forces on the strength of hulls, as well as the interaction of the kinetic ammunition with armored obstacle. During the study used modern software systems. Designed methodological approach combines the flexibility and adaptability by appropriate modification of the operator describing the processes and conditions. The important point is that at this time to address the problems of the analysis is the ability to use powerful software systems that implement, for example, a finite element method. Thus, the combination of these instruments on the basis of the proposed methodology makes it possible to develop a parametric numerical models that can be directly used for the project to ensure tactical and technical characteristics of advanced domestic military tracked and wheeled vehicles. The developed methods and models can be applied to the solution of armored vehicles parameter study problems of elements of objects according to the criteria of strength, security, accuracy of fire.

Keywords: military wheeled and caterpillar vehicles, tactical and technical characteristics, mode of combat use, stress-strain state, dynamics and strength analysis, contact pressure

Вступ

Ситуація на світовому і вітчизняному ринках науково-технічних розробок в області створення, виготовлення і дослідження елементів бронетанкової техніки. Аналіз публікацій [1-12], матеріалів виставок, Internet-матеріалів, а також практики бойових дій у східних областях України дає змогу провести експрес-аналіз стану як ринку озброєнь та військової техніки в цілому, так і його науково-дослідницького сегменту з акцентом на вітчизняних розробників, виробників і постачальників. При цьому можна виділити наступні закономірності.

Характерні особливості ринку науково-технічних розробок в області створення, виготовлення і дослідження об'єктів бронетанкової техніки обумовлюються сучасни-

ми тенденціями її розвитку, а саме зсувом акцентів в озброєнні озброєних сил, різким підвищенням тактико-технічних характеристик створюваних зразків техніки і зниженням термінів їх проектування, дослідження і виготовлення. Спостерігається збільшення в цілому інтересу до легкої бронетанкової техніки при його збереженні до важкої бронетанкової техніки. Відбувається зростання інтересу до модернізації бронетанкової техніки, що перебуває на озброєнні багатьох країн світу.

Для ринку науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт характерне, з одного боку, збільшення інтеграції проектно-дослідницьких робіт і виробничої кооперації в міжнародних масштабах, а також обмежені можливості провідних західних фірм (в тому числі з країн НАТО) допускати передачу в Україну передових

технічних рішень, – з іншого.

Протягом декількох років відбулося різке зменшення закупівель військової техніки Збройними Силами України, яке останнім часом потрібно наростити настільки ж різко. Основні центри науково-дослідних робіт СРСР залишилися в Росії. Там же – основні банки науково-технічної інформації, даних експериментальних досліджень і полігонних випробувань, а також – лабораторні бази і спецобладнання. При цьому доступ до них був істотно обмежений, а в сьогоденних умовах – неможливий. Разом із тим в Україні існує потужна науково-дослідницька інфраструктура, яка за умов системного підходу може бути мобілізована задля розв'язання задач забезпечення тактико-технічних характеристик (ТТХ) військових гусеничних і колісних машин (ВГКМ) на етапі проектних досліджень

Відмічені особливості дають підставу зробити висновок про те, що в області науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) з тематики розробки і модернізації бронетанкової техніки, у першу чергу – військових гусеничних і колісних машин, склалася якісно нова ситуація, в якій виникає необхідність зробити акценти на наступні напрями робіт:

- рішуча відмова від старих форм і методів проведення НДДКР, для яких характерні висока витратність, низька оперативність і слабе застосування сучасних комп'ютерних технологій;
- впровадження, причому в найкоротші терміни, найбільш передових технологій проектування, дослідження і виготовлення в практику роботи підприємств ОПК. Важливо при цьому дотримувати можливість безконфліктного обміну даними у взаємоузгодження форматах даних;
- активне проведення моніторингу стану досліджень у фірмах та країнах-конкурентах і отримання результативної інформації зі всіх доступних питань;
- активний моніторинг і прогнозування тематики досліджень, які представляють або представлятимуть інтерес для потенційних замовників і споживачів, у першу чергу – ЗСУ;
- концентрація зусиль на ключових напрямках досліджень.

Постановка задачі

На теперішній час забезпечення ТТХ військових гусеничних і колісних машин здійснюється на етапі розробки на основі аналізу проектних досліджень фізико-механічних процесів і станів, які реалізуються в елементах машин у процесі експлуатації та бойового застосування. Це зумовлено тими обставинами, що від складових ВГКМ вимагається не тільки виконання певних функцій, але й висока міцність і надійність. При цьому на елементи машин діють у процесі експлуатації та бойового застосування різноманітні силові, теплові, хімічні впливи. Основною тенденцією останнім часом є якраз як інтенсифікація режимів бойового застосування, що призводить як до зростання рівня окремих чинників ураження, так і розширення множини чинників, які діють у сукупності на один і

той же елемент ВГКМ. Відповідно, виникає потреба у створенні нових, більш досконалих, адекватних і точних математичних і числових моделей виникаючих у елементах ВГКМ фізико-механічних процесів і станів, оскільки комп'ютерне моделювання дає змогу більш оперативно та економно обґрунтувати проектно-технологічні параметри їхніх елементів, що забезпечують потрібний рівень ТТХ.

Дослідженням різноманітних фізико-механічних процесів і станів в елементах ВГКМ присвячено багато досліджень [13-15]. Разом із тим у цих дослідженнях аналізуються переважно окремі зовнішні та внутрішні чинники. У той же час, як відзначалося вище, ці чинники діють у сукупності. Тому їх потрібно враховувати у створюваних математичних і числових моделях якраз у сукупній дії. Отже, постає проблема розробки таких моделей, які природним чином інтегрують різні чинники, параметри, структури та розподіли. Основною вимогою до цих моделей є можливість їхньої варіативності та керованості із одночасним збереженням цілісності, безконфліктності, а також взаємовпливу різних чинників.

Метод розв'язання задачі

Для розв'язання поставленої задачі доцільно застосовувати як основу метод узагальненого параметричного моделювання [16]. За його використання кожен компонент цілісної моделі розглядається як узагальнений варійований параметр. Це дає змогу формально застосувати усі операції традиційного параметричного аналізу, проте враховуючи кожен раз специфіку тієї чи іншої задачі. Отже, увівши у розгляд масив узагальнених параметрів $P = \{p_i\}$, можна поставити у загальному вигляді задачу параметричного синтезу:

$$I(p) \rightarrow \min; L(p, u, f, t) = 0; H_j \leq [H_j]; T_k \geq [T_k].$$

Тут I – деяка цільова функція, L – оператор початково-крайової задачі, що описує фізико-механічний процес або стан об'єкту у вигляді просторово-часового розподілу; H_j , $[H_j]$ – відповідно певні характеристики процесів і станів, а також граничні їхні величини (що визначають допустимий рівень тих чи інших характеристик), $j = 1, \dots, N_H$; T_k , $[T_k]$ – поточні та ті, що вимагається досягнути, рівні компонент тактико-технічних характеристик ВГКМ, $k = 1, \dots, N_T$.

Контактна взаємодія елементів ВГКМ

У даному випадку маємо взаємозв'язані процеси руху того чи іншого елемента машини чи озброєння, з одного боку, його контактну взаємодію зі спряженими елементами, – з іншого боку, а також напружено-деформований стан (НДС) контактуючих тіл. Це, наприклад, рух кульових поршнів радіальної гідропередачі ГОП-900 танкової трансмісії [17] у взаємодії зі статорним кільцем та блоком циліндрів; рух снаряда та взаємодія із стінками гарматного ствола; взаємодія елементів кочення пагону башти танка чи легкоброньованої машини із його

напрямними елементами у процесі здійснення пострілів, наведення на ціль чи руху на місцевості.

Отже, оператор L у даному випадку розпадається на співвідношення

$$L_1(p_R, v_R, f_R, t) = 0; \quad L_2(f_R, q) = 0; \quad L_3(u, q, t) = 0.$$

Тут v_R – узагальнені координати, що описують рух досліджуваного елемента, що залежать від масиву параметрів p_R (наприклад, тиск на елемент), а f_R – відповідні зусилля, які виникають при цьому. Ці зусилля трансформуються у контактні напруження q , які викликають напружено-деформований стан, що описується розподілом переміщень u точок досліджуваного тіла, компонентів тензора деформацій $\varepsilon = \varepsilon(u)$ та напружень $\sigma = \sigma(u)$.

Основна увага, зокрема, приділена аналізу контактної взаємодії кульового поршня з біговою доріжкою в радіальній ГОП (рис. 1). Розглянуто досить загальний клас профілів бігових доріжок на кільці статора (рис. 2). Профіль бігової доріжки в центральній своїй частці є дугою кола радіуса R_f з кутовою величиною 2θ . Таким чином, середня частка бігової доріжки є жолобом торіодальної форми, по якому перекочується поршень при обертанні ротора. Радіуси жолоба і поршня передбачається робити близькими для того, щоб зменшити первинний зазор між поршнем і біговою доріжкою в поперечному напрямі. У результаті форма бігової доріжки як поверхні обертання повністю визначається параметрами її профілю: R_f, R_c, θ . При цьому значення конструктивних параметрів: $R_p=31,75$ мм, $R_{sp}=128$ мм, $R_{st}=159,75$ мм.

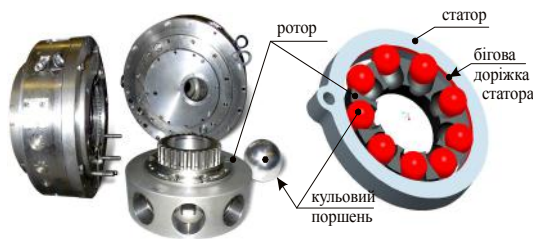


Рис. 1 – Радіальна гідропередача ГОП-900 (ХКБМ)

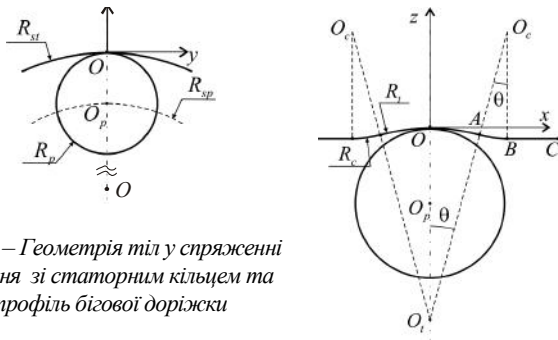


Рис. 2 – Геометрія тіл у спряженні поршня зі статорним кільцем та профіль бігової доріжки

Вплив варійованих параметрів на характер контактної взаємодії поршня з кільцем статора за відсутності тертя і локальний НДС демонструється результатами розрахунків, проведених різними методами. Видно (рис. 3, 4), що форма розглянутих поперечних профілів зумовлює характер розподілу контактного тиску, суттєво відмінний

від герцевського, що необхідно враховувати при виборі значень радіусу центральної частки бігової доріжки статора ГОП та інших її конструктивних параметрів.

Рис. 5 демонструє області застосування та порівняльну точність результатів, одержаних за Герцом, методом скінченних елементів (МСЕ) та методом граничних елементів (МГЕ), а рис. 6 – характер НДС в контактуючих

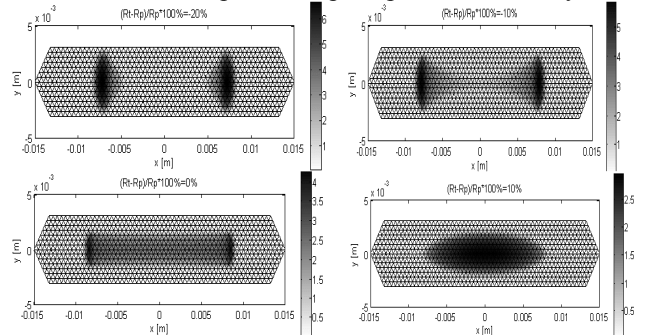


Рис. 3 – Розподіли контактного тиску при різних значеннях різниці радіусів жолоба і поршня

Рис. 4 – Розподіл контактного тиску на осі Ox при малих різницях радіусів жолоба та поршня порівняно з аналогічним розподілом у випадку контакту з циліндром

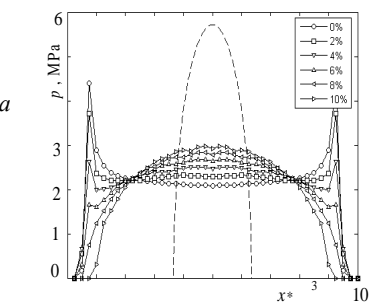


Рис. 5 – Залежності значень максимального контактного тиску від відносної різниці радіусів жолоба та поршня

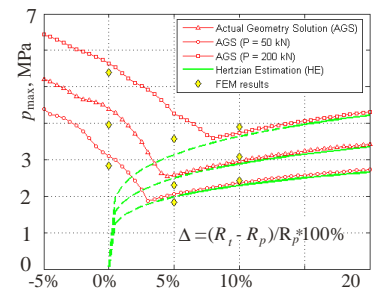
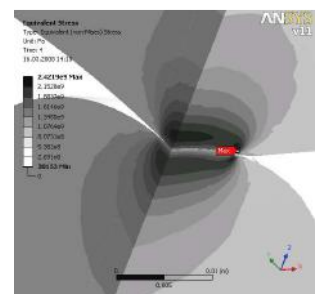


Рис. 6 – Розподіл напружень за Мізесом в кульовому поршні та статорі при зусиллі стискування 200 кН (МСЕ, четвертина моделі)



тілах. Дані результати стали основою для визначення раціональної форми бігових доріжок радіальних ГОП з умов контактної міцності.

Взаємодія ударно-хвильового навантаження із бронькорпусом легкоброньованої машини

Пов'язані між собою процеси обтікання ударною

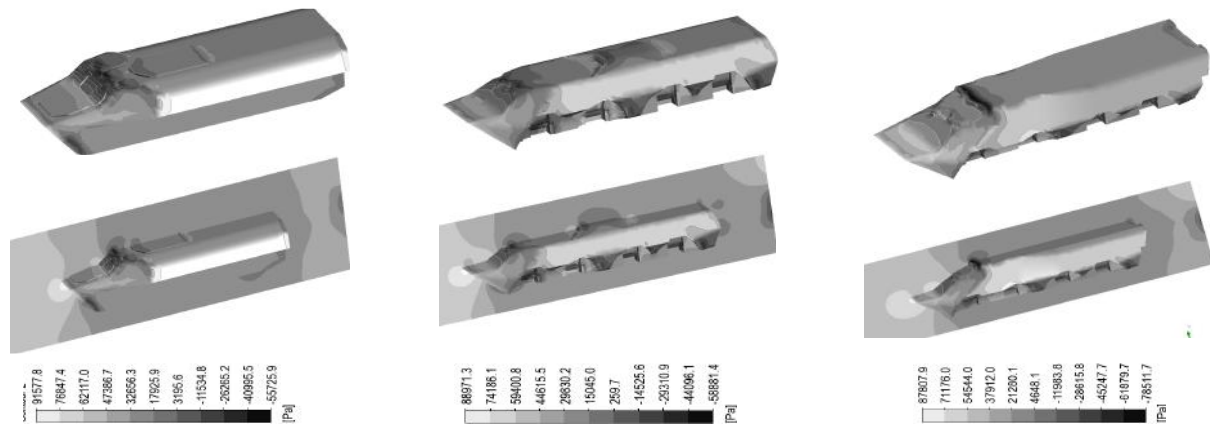
хвилею бронекорпусу легкоброньованої машини та його напружено-деформований стан описуються системою рівнянь [5, 15, 16]

$$L_4(p_V, v_V, u, \Gamma, q, t) = 0; \quad L_5(q_V, u) = 0.$$

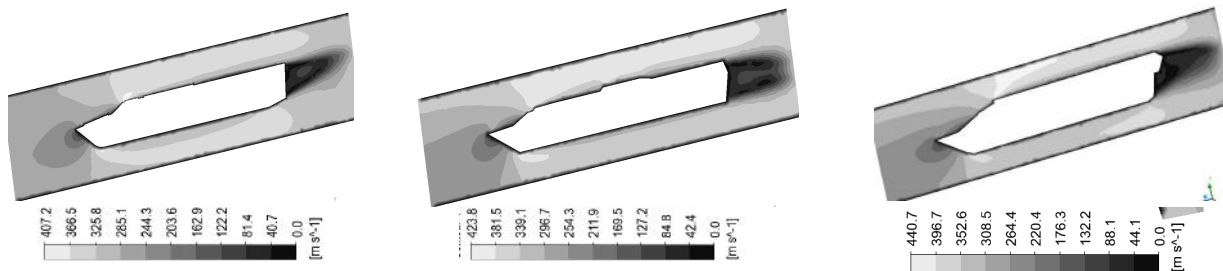
Тут L_4 – оператор газодинамічного процесу; L_5 – оператор для опису напружено-деформованого стану бронекорпусу легкоброньованої машини. При цьому бронекорпус задається формою його обводу. На нього набігає ударна хвиля

із параметрами p_V (швидкість, напрям, величина надлишкового тиску у фронті тощо). Відповідно v_V – змінні, що описують газодинамічний потік V (швидкість, тиск, температура), а q_V – відповідне силове навантаження від потоку на бронекорпус. Переміщення u точок бронекорпусу, з одного боку, описують НДС бронекорпусу, а, з іншого, – відповідають за зміну геометрії обводу бронекорпусу.

Зокрема, суттєве значення має геометрична форма обводів бронекорпусів. На рис. 7 представлені порівняль-



розподіли надлишкового тиску на бронекорпус: на вході – тиск 50 кПа, на виході – швидкість 300 м/с

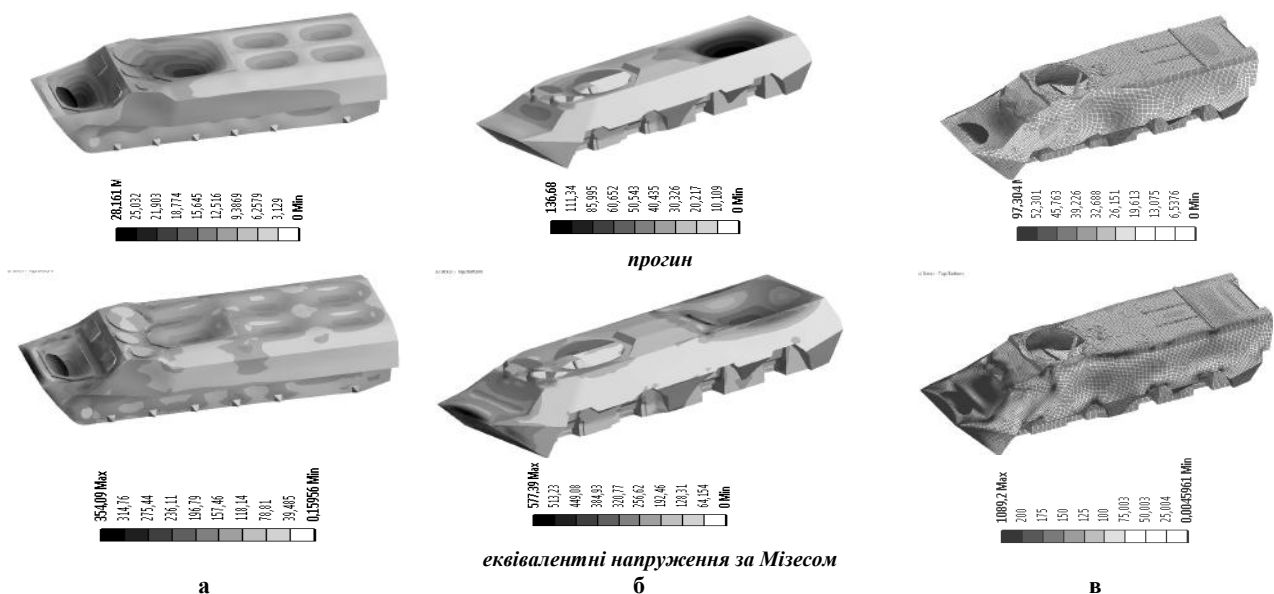


швидкостей у потоці

б

в

Рис. 7 – Розподіли надлишкового тиску та швидкостей у потоці на бронекорпуси: а – МТ-ЛБ, б – БТР-80, в – БТР-3Е



еквівалентні напруження за Мізесом

а

б

в

Рис. 8 – Розподіли прогинів та еквівалентних напружень за Мізесом для "моношарових" варіантів бронекорпусів з товщиною елементів 6 мм в а – ЛБ, б – 80, в – 3Е

ні характерні розподіли надлишкового тиску на бронекорпуси МТ-ЛБ, БТР-80 та БТР-3Е. Видно суттєву різницю полів розподілу надлишкового тиску. Це, у свою чергу, здійснює вплив на напружено-деформований стан силової структури бронекорпусів (на рис. 8 – розподіли прогинів та еквівалентних напружень за Мізесом в бронекорпусах МТ-ЛБ, БТР-80 та БТР-3Е для "монотовщинних" варіантів бронекорпусів з товщиною елементів 6 мм).

Таким чином, сукупно на напружено-деформований стан бронекорпусів легкоброньованих машин впливають і параметри ударної хвилі, і проектні рішення (як геометрія зовнішніх обводів, так і внутрішня

силова структура, а також – товщини листових панелей).

Отже, така структура моделювання дає змогу напряму встановити закономірності впливу технічних характеристик елементів бронекорпусів на міцність та захищеність при дії ударних хвиль з тими чи іншими параметрами.

Вплив реактивних зусиль віддачі на міцність бронекорпусів

Маємо у цьому випадку опис процесу пострілу з параметрами p_S і змінними v_S

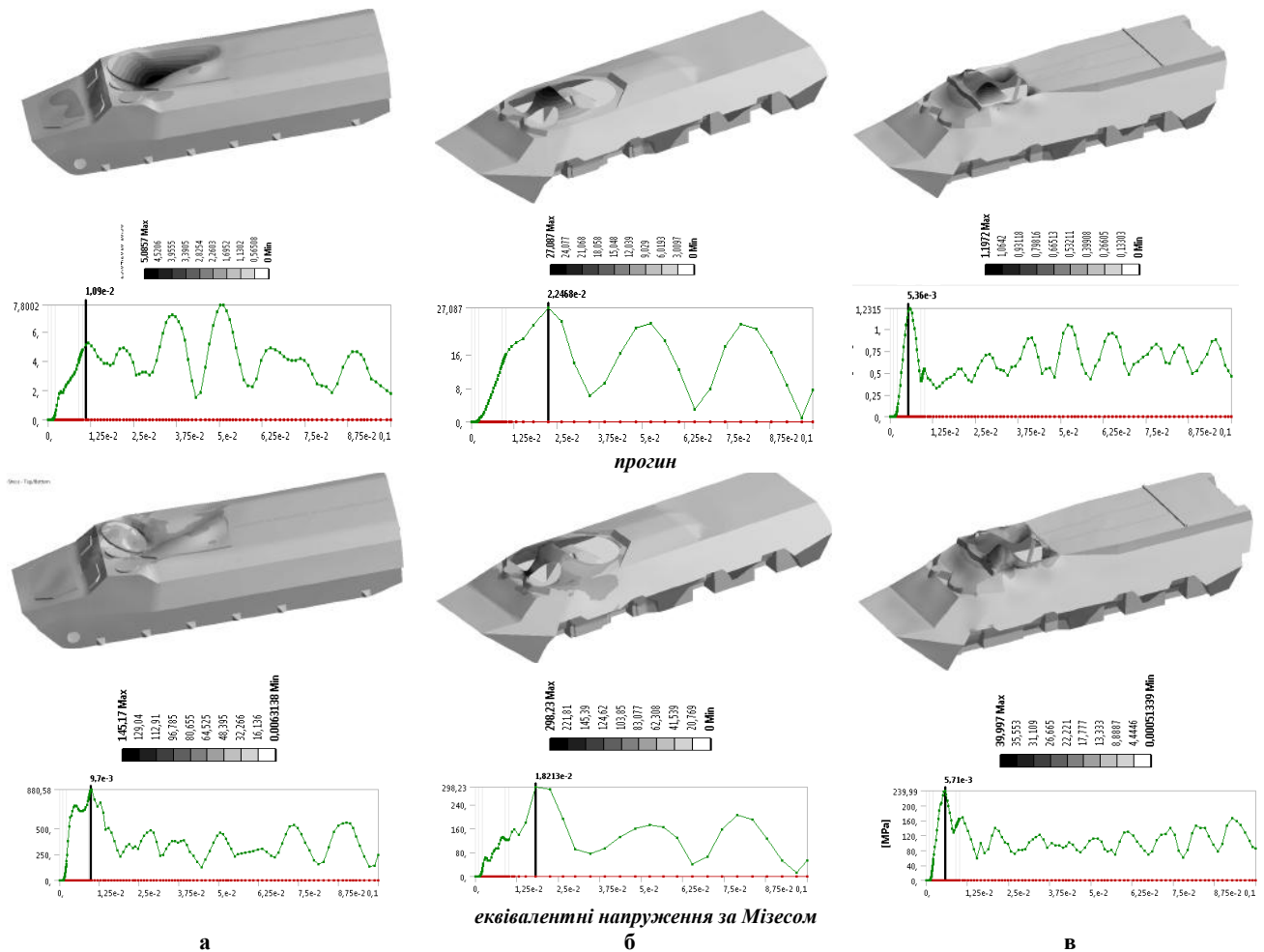
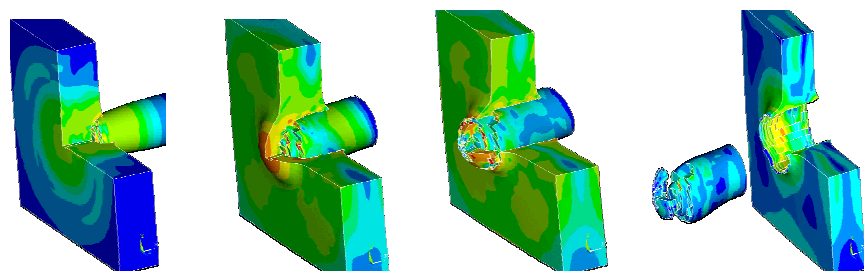


Рис. 9 – Розподіли компонент напружено-деформованого стану вектора переміщень та еквівалентних напружень за Мізесом при дії реактивних зусиль віддачі при здійсненні пострілів із власних бойових модулів різних бронемашин (зусилля 10 кН прикладається на висоті 0.5 м від центру погінного кільця):
а – МТ-ЛБ, б – БТР-80, в – БТР-3Е

Рис. 10 – Ілюстрації різних етапів взаємодії кінетично-го боєприпасу із бронепере-шкодою



$$L_6(p_s, v_s, q_s, t) = 0$$

та динамічного напружено-деформованого стану бронекорпусу

$$L_7(q_s, u, t) = 0.$$

У цьому випадку реактивні зусилля віддачі викликають напружено-деформований стан, що, як і вище, характеризується вектором переміщень точок бронекорпусу u .

На рис. 9 наведені характерні розподіли компонент напружено-деформованого стану вектора переміщень та еквівалентних напружень за Мізесом при дії реактивних зусиль віддачі при здійсненні пострілів із власних бойових модулів різних бронемашин (для тих же, що й вище, "монотовщинних" варіантів бронекорпусів). Із аналізу цих розподілів випливає, що реактивні зусилля віддачі впливають на міцність та жорсткість бронекорпусів. Отже, із критеріїв міцності та точності ведення вогню стає можливим визначити такі проектні рішення бронекорпусів, які забезпечують заданий рівень ТТХ військових гусеничних і колісних машин, що проектуються.

Взаємодія кінетичного боєприпасу із бронеперешкодою

У даному випадку потрібно дослідити рівняння зовнішньої балістики

$$L_8(p_B, v_B, q_B, t) = 0$$

та співвідношення для опису процесу взаємодії боєприпасу із бронеперешкодою:

$$L_9(q_B, u, t) = 0.$$

Тут p_B – параметри зовнішньої балістики (точка пострілу, початкова швидкість та кути метання тощо), v_B – змінні, що описують положення снаряда у просторі, q_B – кінематичні та силові характеристики системи "снаряд – броня" у момент зустрічі; u , як і вище, – змінні, що описують НДС системи тіл "снаряд – бронеперешкода".

На рис. 10 показані ілюстрації різних етапів взаємодії кінетичного боєприпасу із бронеперешкодою. У результаті одержано "віртуальний випробувальний стенд", який дає змогу оперативно проводити аналіз захищеності бронекорпуса ВГКМ при дії кінетичного боєприпасу того чи іншого калібру, при тій чи іншій швидкості зустрічі із перешкодою, а також при заданому куті зустрічі та структурі й властивостях матеріалу боєприпасу (кулі, снаряда). Вбудовуючи цей "віртуальний випробувальний стенд" у процеси проектних досліджень, можна обґрунтувати проектні параметри бронекорпусів ВГКМ за критерієм захищеності.

Висновки

Запропонований у роботі підхід до визначення тактико-технічних характеристик військових гусеничних і колісних машин на етапі проектних досліджень дає змогу високооперативно, з високою точністю та помірними витратами проводити проектні дослідження та обґрунтувати проектні технологічні параметри, які забезпечують задані тактико-технічні характеристики об'єктів бронетанкової техніки. При цьому цей підхід поєднує

методологічну універсальність та можливість адаптації за рахунок відповідної модифікації операторного опису процесів і станів. Важливим моментом є те, що на даний час для розв'язання задач аналізу є можливим застосування потужних програмних комплексів, які реалізують, наприклад, метод скінченних елементів. Крім того, для варіативного опису геометричних форм добре пристосовані сучасні САД-системи типу Creo, SolidWorks, Catia, Inventor тощо. Отже, об'єднання цих інструментів на запропонованій методологічній базі надає можливість розробляти параметричні числові моделі, які можуть бути напряму застосовані для проектного забезпечення ТТХ перспективних вітчизняних військових гусеничних і колісних машин.

Список літератури

1. **Чепков, І. Б.** Основні напрями розвитку озброєння і військової техніки. Організаційні і економічні механізми державної підтримки оборонної промисловості / **І. Б. Чепков** // *Перспективи науково-технологічного забезпечення оборонно-промислового комплексу України: Інформаційно-комунікативний захід*. – К.: ТОВ "Міжнародний виставковий центр". – 2015. – С. 8-14.
2. **Марченко, А. П.** Двигунобудування для бронетехніки: історія, сучасний стан і перспективи / **А. П. Марченко** // *Перспективи науково-технологічного забезпечення оборонно-промислового комплексу України: Інформаційно-комунікативний захід*. – К.: ТОВ "Міжнародний виставковий центр". – 2015. – С. 30-33.
3. **Ткачук, М. А.** Науковий супровід проектно-технологічних розробок задля забезпечення тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин / **М. А. Ткачук, О. В. Литвиненко, А. В. Грабовський** // *Перспективи науково-технологічного забезпечення оборонно-промислового комплексу України: Інформаційно-комунікативний захід*. – К.: ТОВ "Міжнародний виставковий центр". – 2015. – С. 61-65.
4. **Гайворонский, А. А.** Сопротивляемость сварных соединений стальной высокой твердости специального назначения образованию холодных трещин / **А. А. Гайворонский, В. Д. Позняков, А. В. Клапатюк** [и др.] // *Перспективи науково-технологічного забезпечення оборонно-промислового комплексу України: Інформаційно-комунікативний захід*. – К.: ТОВ "Міжнародний виставковий центр". – 2015. – С. 185-190.
5. **Васильєв, А. Ю.** Методи забезпечення тактико-технічних характеристик військових гусеничних і колісних машин на етапі проектних досліджень / **А. Ю. Васильєв, М. М. Ткачук, А. Ю. Танченко** [та інш.] // *Перспективи науково-технологічного забезпечення оборонно-промислового комплексу України: Інформаційно-комунікативний захід*. – К.: ТОВ "Міжнародний виставковий центр". – 2015. – С. 234-238.
6. **Hetherington, J. G** Military terrain vehicles / **J. G. Hetherington, J. N. White** // *Journal of Terramechanics*. – 2007. – No 1(44). – P. 23-34. – doi:10.1016/j.jterra.2006.01.003.
7. **Krylov, V. V.** Calculation of ground vibration spectra from heavy military vehicles / **V. V. Krylov, S. Pickup, J. McNuff** // *Journal of Sound and Vibration*. – 2010. – No 329. – P. 3020-3029. – doi:10.1016/j.jsv.2013.03.036.
8. **Rudiger Kieneke** Active Seat Suspension with Two Degrees of Freedom for Military Vehicles / **Rudiger Kieneke, Christian Graf, Jürgen Maas** // *IFAC Proceedings Volumes*. – 2013. – Vol. 46, Is. 5. – P. 523-529. – doi:10.3182/20130410-3-CN-2034.00085.
9. **Kanea James R.** Multipass coefficients for terrain impacts based

- on military vehicle type, size and dynamic operating properties / **James R. Kanea, Paul Ayersa, Heidi Howardb, Alan Andersonb, Daniel Kochb** // *Journal of Terramechanics*. – 2013. – Vol. 50, Is. 3. – P. 175-183. – doi:10.1016/j.jterra.2013.04.001.
10. **Els, P. S.** The applicability of ride comfort standards to off-road vehicles / **P. S. Els** // *Journal of Terramechanics*. – 2005. – Vol. 42, Is. 1. – P. 47-64. – doi:10.1016/j.jterra.2004.08.001.
 11. **Ault, J. Peter** Corrosion durability testing of military vehicles / **J. Peter Ault** // *Metal Finishing*. – 1999. – Vol. 97, Is. 10. – P. 20-23. – doi:10.1016/S0026-0576(00)80959-9.
 12. **Hetherington, J.G.** An investigation of pressure under wheeled vehicles / **J. G. Hetherington, J. N. White** // *Journal of Terramechanics*. – 2002. – Vol. 39, Is. 2. – P. 85-93. – doi:10.1016/S0022-4898(02)00006-X.
 13. **Чепков, И. Б.** Классификация защитных устройств динамического типа / **И. Б. Чепков** // *Артиллер. и стрелковое вооружение*. – 2004. – № 3. – С. 24-28.
 14. **Чепков, И. Б.** Модель обоснования технических решений защитных устройств боевых бронированных машин / **И. Б. Чепков** // *Артиллер. и стрелковое вооружение*. – 2011. – № 4. – С. 42-46.
 15. **Лапицкий, С. В.** Основы военно-технических исследований. Теория и приложения: монография [в 4 т.]. Методология исследования сложных систем военного назначения / **С. В. Лапицкий, А. В. Кучинский, А. И. Сбитнев** [и др.]; ред.: **С.В. Лапицкий**. – К. – 2013. – Т.4. – 417с.
 16. **Ткачук, Н. А.** Конечные-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания / **Н. А. Ткачук, Г. Д. Грищенко, А. Д. Чепурной** [и др.] // *Механіка та машинобудування*. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. – № 1. – С. 57-79.
 17. **Аврунин, Г. А.** Объемная гидроредукция с шариковыми поршнями ГОП-900: характеристики и технический уровень / **Г. А. Аврунин, И. В. Кабаненко, В. В. Хавиль** [и др.] // *Механіка та машинобудування*. – 2004. – № 1. – С. 14-21.
- Bibliography (transliterated)**
1. **Chepkov I. B.** Osnovni napryamy rozvytku ozbroynennya i viys'kovoyi tekhniki. Orhanizatsiyni i ekonomichni mekhanizmy derzhavnoyi pidtrymky oboronnoyi promyslovosti [The main directions of development of weapons and military ma-ki. Organizational and economic mechanisms of state maintenance of defense industry]. *Perspektyvy naukovo-tehnolohichnoho zabezpechennya oboronno-promyslovoho kompleksu Ukrainy: Informatsiyno-komunikatyvnyy zakhid*, Kyiv: "Mizhnarodnyy vystavkovyy tsentr", 2015, 8-14.
 2. **Marchenko, A. P.** Dvyhynobuduvannya dlya bronetekhniki: istoriya, suchasnyy stan i perspektyvy [Engine for armored vehicles: history, current state and prospects]. *Perspektyvy naukovo-tehnolohichnoho zabezpechennya oboronno-promyslovoho kompleksu Ukrainy: Informatsiyno-komunikatyvnyy zakhid*, Kyiv: "Mizhnarodnyy vystavkovyy tsentr", 2015, 30-33.
 3. **Tkachuk, M. A., Lytvynenko, O. V., Grabovskiy, A. V.** Naukovyy suprovid proektno-tehnolohichnykh rozrobok zadlya zabezpechennya taktyko-tehnichnykh kharakterystyk boyovykh bron'ovanykh mashyn [Scientific support project-by-technological developments to provide tactical and technical characteristics boyo of new armored vehicles] *Perspektyvy naukovo-tehnolohichnoho zabezpechennya oboronno-promyslovoho kompleksu Ukrainy: Informatsiyno-komunikatyvnyy zakhid*, Kyiv, "Mizhnarodnyy vystavkovyy tsentr", 2015, 61-65.
 4. **Gajvoronskij, A. A., Poznjakov, V. D., Klapatjuk, A. B.** [i dr.] Soprotivljaemost' svarnykh soedinenij stalej vysokoj tverdsti special'nogo naznachenija obrazovaniju holodnykh treshhin [The resistance of welded joints of steels of high hardness special purpose formation of cold-tion of cracks]. *Perspektyvy naukovo-tehnolohichnoho zabezpechennya oboronno-promyslovoho kompleksu Ukrainy: Informatsiyno-komunikatyvnyy zakhid*, Kyiv: "Mizhnarodnyy vystavkovyy tsentr", 2015, 185-190.
 5. **Vasylyev, A. Yu., Tkachuk, M. M., Tanchenko, A. Yu.** [at al.] Metody zabezpechennya taktyko-tehnichnykh kharakterystyk viys'kovykh husenychnykh i kolisnykh mashyn na etapi proektnykh doslidzhen' [Methods of providing tactical and technical characteristics of military tracked and wheeled vehicles during the project-Studies] *Perspektyvy naukovo-tehnolohichnoho zabezpechennya oboronno-promyslovoho kompleksu Ukrainy: Informatsiyno-komunikatyvnyy zakhid [Prospects of scientific and technological support enforcement about-industrial complex of Ukraine: information and communication event]*, Kyiv "Mizhnarodnyy vystavkovyy tsentr", 2015, 234-238.
 6. **Hetherington, J. G., White, J. N.** Military terrain vehicles, *Journal of Terramechanics*, 2007, 1(44), 23-34, doi:10.1016/j.jterra.2006.01.003.
 7. **Krylov, V. V., Pickup, S., McNuff, J.** Calculation of ground vibration spectra from heavy military vehicles. *Journal of Sound and Vibration*, 2010, 329, 3020-3029, doi:10.1016/j.jsv.2013.03.036.
 8. **Rudiger Kieneke, Christian Graf, Jürgen Maas** Active Seat Suspension with Two Degrees of Freedom for Military Vehicles. *IFAC Proceedings Volumes*, 2013, 5(46), 523-529, doi:10.3182/20130410-3-CN-2034.00085.
 9. **Kanea James R., Ayersa Paul, Howardb Heidi, Andersonb Alan, Kochb Daniel** Multipass coefficients for terrain impacts based on military vehicle type, size and dynamic operating properties, *Journal of Terramechanics*, 2013, 3(50), 175-183, doi:10.1016/j.jterra.2013.04.001.
 10. **Els, P. S.** The applicability of ride comfort standards to off-road vehicles. *Journal of Terramechanics*, 2005, 1(42), 47-64, doi:10.1016/j.jterra.2004.08.001.
 11. **Ault, J. P.** Corrosion durability testing of military vehicles. *Metal Finishing*, 1999, 10(97), 20-23, doi:10.1016/S0026-0576(00)80959-9.
 12. **Hetherington, J. G., White, J. N.** An investigation of pressure under wheeled vehicles. *Journal of Terramechanics*, 2002, 2(39), 85-93, doi:10.1016/S0022-4898(02)00006-X.
 13. **Chepkov, I. B.** Klassifikacija zashhitnykh ustrojstv dinamicheskogo tipa [Dynamic Classification protective devices of type]. *Артиллер. и стрелковое вооружение [Artillery and small arms]*, 2004, 3, 24-28.
 14. **Chepkov, I. B.** Model' obosnovanija tehniceskikh reshenij zashhitnykh ustrojstv boevykh bronirovannykh mashin [Model study of technical solutions of safety devices armored combat vehicles]. *Артиллер. и стрелковое вооружение [Artillery and small arms]*, 2011, 4, 42-46.
 15. **Lapickij, C. B., Kuchinskij, A. B., Sbitnev, A. I.** [i dr.] Osnovy voenno-tehnicheskikh issledovanij. Teorija i prilozhenija: monografija [v 4 t.]. Metodologija issledovanija slozhnykh sistem voennogo naznachenija [Fundamentals of military-technical research. Theory and supply: the monograph. The research methodology of complex systems voennogo destination], red. **S.V. Lapickij**, Kyiv, 2013, 4, 417 p.
 16. **Tkachuk, N. A., Gricenko, G. D., Chepurnoj, A. D.** [i dr.] Konechno-jelementnye modeli jelementov slozhnykh mekhanicheskikh sistem: tehnologija avtomatizirovannoj generacii i parametrizovannogo opisanija [Finite element models of complex elements fur-mechanical systems: the technology of automated gene-radio and parameterized descriptions]. *Mekhanika ta mashynobuduvannya [Mechanics and Mechanical Engineering]*, Kharkiv, NTU "KhPI", 2006, 1, 57-79.
 17. **Avrunin, G. A., Kabanenke, I. V., Havil', V. V.** [i dr.] Ob'emnaja gidroperedacha s sharikovymi porshnjami GOP-900:

harak-teristiki i tehnicheskij uroven' [Volume hydraulic transmission with ball pistons GOP-900: features and technical level].

Mekhanika ta mashynobuduvannya [Mechanics and Mechanical Engineering], Kharkiv, NTU "KhPI", 2004, 1, 14-21.

Відомості про авторів (About authors)

Грабовський Андрій Володимирович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", старший науковий співробітник кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин"; тел.: (057) 7076166; e-mail: grabovskiy@tmm-sapr.org

Grabovskiy Andrey Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Researcher of Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department, tel.: (057) 7076166; e-mail: grabovskiy@tmm-sapr.org

Васильєв Антон Юрійович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", докторант кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org.

Vasiliyev Anton Yurievich – Ph.D., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", doctorante at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org.

Ткачук Микола Миколайович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", докторант кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", e-mail: myk.tkachuk@gmail.com

Tkachuk Mykola Mykolayovych – Ph.D., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", doctorante at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, e-mail: myk.tkachuk@gmail.com.

Танченко Андрій Юрійович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", докторант кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", e-mail: ATanchenko@tmm-sapr.org.

Tanchenko Andrii Yurievich – Ph.D., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", doctorante at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, e-mail: ATanchenko@tmm-sapr.org.

Мартиненко Олександр Вікторович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", науковий співробітник кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", e-mail: MartynenkoAV@tmm-sapr.org.

Martynenko Oleksandr Viktorovych – Ph.D., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", senior researcher at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, e-mail: MartynenkoAV@tmm-sapr.org.

Киричук Дмитро Валентинович – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", студент гр. ТМ-82Б

Kyrychuk Dmytro Valentynovych – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student of TM-82B group

Борисенко Сергій Вікторович – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", студент гр. ТМ-82Б

Borysenko Serhii Viktorovych – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student of TM-82B group

Касай Олена Ігорівна – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", студент гр. ТМ-82Б

Kasai Olena Igorivna – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student of TM-82B group

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Грабовський, А. В. Забезпечення тактико-технічних характеристик військових гусеничних і колісних машин на етапі проектних досліджень / **А. В. Грабовський, А. Ю. Васильєв, М. М. Ткачук, А. Ю. Танченко, О. В. Мартиненко, Д. В. Киричук, С. В. Борисенко, О. І. Касай** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ "ХПІ". – 2016. – № 18 (1190). – С. 22-29. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.04.

Please cite this article as:

Grabovskiy, A. V., Vasyliiev, A. Y., Tkachuk, M. M., Tanchenko, A. Y., Martynenko, O. V., Kyrychuk, D. V., Borysenko, S. V., Kasai, O. I. Providing of tactical and technical characteristics of military caterpillar and wheeled vehicles on stage of design researches. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 18 (1190), 22-29, doi:10.20998/2413-4295.2016.18.04.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Грабовский, А. В. Обеспечение тактико-технических характеристик военных гусеничных и колесных машин на этапе проектных исследований / **А. В. Грабовский, А. Ю. Васильев, М. М. Ткачук, А. Ю. Танченко, А. В. Мартыненко, Д. В. Киричук, С. В. Борисенко, Е. И. Касай** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 18 (1190). – С. 22-29. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.04.

АННОТАЦІЯ В роботі содержится постановка задачі забезпечення тактико-технічних характеристик військових гусеничних і колісних машин на етапі проектних досліджень. Предложена адаптація методу обобщенного параметрического моделирования к решению задач анализа динамики и прочности элементов военных гусеничных и колесных машин. Рассмотрены несколько частных задач. В процессе исследований использованы современные программные комплексы. Разработанные методы и модели могут быть применены к решению задач обоснования параметров элементов объектов бронетанковой техники по критериям прочности, защищенности, точности ведения огня.

Ключевые слова: военная гусеничная и колесная машина, тактико-техническая характеристика, режим боевого применения, напряженно-деформированное состояние, анализ динамики и прочности, контактное давление.

Надійшла (received) 17.15.2016