

*О. Є. ШАТАЛОВ, Є. Є. ДУДАР, А. Ю. ВАСИЛЬЄВ*

### РЕАЛІЗАЦІЯ БАЗОВИХ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ЗАХИЩЕНОСТІ БОЙОВИХ МАШИН ЛЕГКОЇ КАТЕГОРІЇ ЗА МАСОЮ ВІД КІНЕТИЧНИХ БОЄПРИПАСІВ

Захищеність бойових машин легкої категорії за масою від ураження кінетичними боєприпасами сформована як комплексна задача визначення закономірностей впливу проектних чинників, характеристик засобів ураження та умов бойового застосування на здатність протистояти стрілецькій зброї та малокаліберним автоматичним гарматам. Розроблено параметризовані моделі бронекорпусів бойових машин легкої категорії за масою, які розташовані на території, яка теж параметризована. Як параметри враховані також калібр озброєння та тип боєприпасів, що взаємодіють із елементами бронекорпусу. На цій основі здійснено побудову тривимірних тактичних діаграм бронестійкості. Визначені характерні впливи різних параметрів на форму та розміри зони, з якої можливе ураження бойових машин легкої категорії за масою. Це дає можливість обґрунтувати проектні параметри захисних елементів цих машин за критерієм захищеності від дії кінетичних боєприпасів. Крім того, це створює основу для розробки тактичних прийомів з метою мінімізації ймовірності їх ураження із урахуванням умов бойових дій, у т.ч. – рельєфу місцевості.

**Ключові слова:** бойова машина; бойова машина легкої категорії за масою; бронезахищеність; швидкість пробиття; тактична діаграма

*О. Е. ШАТАЛОВ, Е. Е. ДУДАР, А. Ю. ВАСИЛЬЄВ*

### РЕАЛИЗАЦИЯ БАЗОВЫХ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ БОЕВЫХ МАШИН ЛЕГКОЙ КАТЕГОРИИ ПО МАССЕ ОТ КИНЕТИЧЕСКИХ БОЕПРИПАСОВ

Защищенность боевых машин легкой категории по массе от поражения кинетическими боеприпасами сформирована как комплексная задача определения закономерностей влияния проектных факторов, характеристик средств поражения и условий боевого применения на способность противостоять стрелковому оружию и малокалиберным автоматическим пушкам. Разработаны параметризованные модели бронекорпусов боевых машин легкой категории по массе, расположенных на территории, которая тоже параметризована. В качестве параметров учтены также калибр вооружения и тип боеприпасов, которые взаимодействуют с элементами бронекорпуса. На этой основе осуществлено построение трехмерных тактических диаграмм бронестойкости. Определено характерное влияние различных параметров на форму и размеры зоны, из которой возможно поражение боевых машин легкой категории по массе. Это дает возможность обосновать проектные параметры защитных элементов этих машин по критерию защищенности от воздействия кинетических боеприпасов. Кроме того, это создает основу для разработки тактических приемов с целью минимизации вероятности их поражения с учетом условий боевых действий, в т.ч. – рельефа местности.

**Ключевые слова:** боевая машина; боевая машина легкой категории по массе; бронезащищенность; скорость пробития; тактическая диаграмма

*O. SHATALOV, YE. DUDAR, A. VASILIEV*

### REALIZATION OF BASIC METHODS AND MODELS OF PROTECTION FOR LIGHT MASS CATEGORY COMBAT VEHICLES FROM KINETIC AMMUNITION

The protection of light mass combat vehicles from kinetic ammunition is formed as a complex task of determining the patterns of influence of design factors, characteristics of damage means and conditions of combat use on the ability to withstand small arms and low caliber automatic guns. Parameterized armored hulls models of light mass armored vehicles, which are located on the territory, which is also parameterized, has been developed. The weapon caliber and the type of ammunition are also taken into account as parameters that interact with armored hull elements. On this basis, the construction of three-dimensional tactical diagrams of armor-resistant is built. Characteristic influences of various parameters are determined on zone's shape and size, from which the damage of light mass combat vehicles is possible. This gives an opportunity to substantiate the design parameters of the protective elements of these machines by the criterion of protection against the action of kinetic ammunition. In addition, the basis has been created for the development of tactical techniques in order to minimize the likelihood of their destruction, taking into account the conditions of combat operations, including terrain.

**Keywords:** combat vehicle; light mass category combat vehicle; armored protection; breakthrough speed; tactical diagram

**Вступ.** Захищеність бойових машин (БМ) легкої категорії за масою (ЛКМ) від дії різноманітних боєприпасів є надзвичайно актуальною проблемою сьогодення. Це зумовлено, з одного боку, широким розповсюдженням машин подібного класу у сучасних збройних силах. З іншого боку, натеper різко зростає потужність стрілецької зброї та малокаліберних автоматичних гармат. Крім того, серед засобів ураження, крім кінетичних боєприпасів, значного розповсюдження набули фугасні, кумулятивні боєприпаси та міни.

Таким чином, змінилася конструкція та схема бронювання сучасних машин у різних проекціях. Змінилися також властивості бронематеріалів і характеристики засобів ураження. Ще більшою мірою змінилися умови бойового застосування цих машин. В умовах, що склалися, застосування традиційних методик оцінки захищеності бойових машин легкої категорії за масою призводить до похибок у розв'язанні задач аналізу, а, відповідно, і синтезу раціональних проектних рішень їх захисних елементів.

Задля адекватного моделювання дії різних чинників на захищеність бойових машин легкої категорії за масою

необхідна розробка таких підходів, моделей, методів та засобів, які би враховували усі значущі чинники у їх сукупності. Крім того, важливою є вимога до варіативності усіх компонент створюваних моделей захищеності із метою організації цілеспрямованих процедур пошуку прийнятних технічних рішень при проектних розробках сучасних бойових машин легкої категорії за масою. Це становить мету цієї роботи, яка ілюструється на прикладі дії кінетичних боєприпасів на бронекорпуси цих машин.

**Аналіз існуючих методик оцінки рівня захищеності.** Більшість існуючих методик оцінки захищеності БМ ЛКМ від стрілецької зброї та кінетичних засобів ураження можна умовно розділити на дві великі групи (рис. 1), що засновані на даних реальних обстрілів і тактичних діаграм [1–10].

У рамках цих груп також можна провести додаткову класифікацію. Так, наприклад, дані про реальні обстріли можуть бути отримані експериментально при обстрілі елементів захисту та реальних бойових машин [11–22].

© О. Є. Шаталов, Є. Є. Дудар, А. Ю. Васильєв, 2019

Елементи захисту (бронеплити, плити з додатковими елементами бронювання, допоміжні захисні конструкції тощо) зазвичай досліджуються у балістичних лабораторіях [11] або на полігонах. Що стосується машин у цілому, то експерименти з оцінки їх рівня захищеності проходять переважно на полігоні.

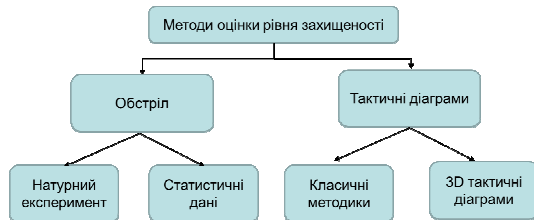


Рисунок 1 – Класифікація методик оцінки захищеності БМ ЛКМ

Іншим прикладом методики оцінки захищеності, заснованої на результатах реальних обстрілів, є аналіз статистичних даних [12] про бойові пошкодження машин, отримані у ході їх реальної експлуатації, особливо в ході бойових дій і воєнних конфліктів [3, 14].

Що стосується оцінки захищеності за допомогою тактичних діаграм, то тут можна розділити на класичні методики, викладені практично без змін у всіх основних роботах, присвячених питанням розробки та проектування бронетехніки [5–7, 15] починаючи з 40-х років минулого століття, і методику тривимірних-тактичних діаграм, запропоновану вперше в роботах Шаталова О. Є. [1, 2, 4, 9, 10].

Проведемо більш детальний аналіз перелічених методик.

*Метод визначення захищеності на основі натурних експериментів.* Як уже згадувалось вище, натурний експеримент можна проводити двома способами – для визначення снарядостійкості бронепластин і елементів захисту та для визначення захищеності БМ ЛКМ в цілому.

Для проведення досліджень із визначення снарядостійкості проводиться один або серія експериментів. Ці експерименти проводяться в умовах балістичної лабораторії або на полігоні. У разі, якщо мова йде про лабораторні випробування, то є кілька варіантів проведення експериментів. Найбільш точним є варіант, в якому на невеликій відстані (до 1 метра) від розгінної труби (вона може бути пневматичної, гідравлічної, електричної дії або використовувати енергію пороху, рис. 2) встановлюється під певним кутом нахилу бронепластина або елемент захисту [1, 11]. В якості вихідного кута використовується кут  $90^\circ$  по відношенню до траєкторії кулі. При необхідності кут може змінюватися з певним кроком аж до граничного, при якому висока ймовірність появи рикошету. Далі для кожного кута нахилу проводиться серія експериментів з різною швидкістю в усьому діапазоні швидкостей польоту кулі до визначення граничної швидкості, при якій змінюється стан пробиття/непробиття. В якості розгінної труби іноді використовується штатна зброя під досліджуваній набій. У цьому випадку швидкість варіюється за рахунок зміни кількості пороху в набії [11].

Також подібні експерименти можуть проводитися за допомогою маятнікового копра. Це більш дешевий варіант для проведення експериментів, який, тим не

менш, дає можливість визначити швидкість пробиття з високою точністю. Однак він має суттєвий недолік – за його допомогою можна визначити тільки швидкість пробиття по нормалі до бронеліста.

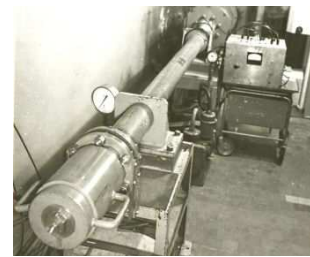


Рисунок 2 – Розгінна труба

Слід зазначити, що маятник може використовуватися як один з компонентів лабораторної установки в попередньому варіанті експерименту. Однак там він використовується для визначення залишкової енергії кулі після пробиття.

У разі полігонних випробувань проводиться стрільба з різних дистанцій по бронеплиті (яка зазвичай встановлена вертикально або під кутом до курсу стрільби) [1, 11, 12]. Бронеплита повинна бути не менше 10 калібрів за габаритами. При швидкостях зустрічі кулі з бронеплитю до 300 м/с, бронеплиту необхідно жорстко закріпити, при більших швидкостях це не обов'язково.

Для підвищення точності експерименту, по-перше, проводиться не один, а серія експериментів з однаковими умовами (особливо поблизу граничних умов), по-друге, використовують додаткове обладнання. Згідно з основами проведення експериментів [11] у серіях має бути не менше трьох підходів, бажано – 10, найвища точність – 100 та більше. В якості додаткового обладнання використовують різні варіанти устаткування для визначення швидкості: балістичний маятник; механічний хронограф; рамки з блоками оптоелектронних датчиків; рамки, що враховують магнітні зміни; високошвидкісні камери; рентген та інше.

З використанням результатів такого настрілу у відриві від методики тактичної діаграми можна отримати тільки грубу, приблизну характеристику про мінімальні та максимальні межі дальності зони безпеки. Цього, звичайно, недостатньо не тільки для експлуатації та прийняття тактичних рішень, але й для вирішення завдань проектування. Таким чином, результати подібних досліджень самі по собі використовуються тільки для оцінки ефективності броні або куль/зброї. Стосовно завдань захищеності БМ ЛКМ вони, зазвичай, використовуються не самі по собі, а в сукупності з методикою побудови тактичної діаграми.

Для проведення обстрілу машини використовується або повністю готова бойова машина, або готовий бронекорпус, і обстрілюється з різних курсів і різних дистанцій по відношенню до корпусу. При цьому фіксується результат пострілу: пробиття, прокол, непробиття, рикошет. Таким чином, виходить аналог тактичної діаграми, тільки отриманий не в результаті розрахунків, а в результаті натурного експерименту. У зв'язку з цим дана методика могла б бути найточнішою, якби не методологічна похибка у постановках подібних експериментів (які проводяться на поточний момент),

аналогічна з похибкою у припущеннях, прийнятих у класичних методиках побудови тактичних діаграм. Йдеться про те, що *обстріл корпусу відбувається зазвичай виключно на рівній місцевості, без урахування різниці висот.*

Головними проблемами натурних експериментів є їх вартість та тривалість. Для проведення *якісного* експерименту потрібно дороге обладнання, безліч набоїв та серія однотипних бронеплит/елементів захисту/корпусів/машин. Також потрібно чимало часу на підготовку до експерименту, його проведення та аналіз результатів. Найдешевший експеримент з визначення швидкості / дальності пробиття одним типом боєприпасу з одного типу зброї для одного типу бронеплити (один матеріал та одна товщина) вимагає мінімум: п'ять пострілів по три патрони для визначення двох кроків, між якими відбувається перехід стану пробив/не пробив, та 5 кроків по 5–10 патронів для отримання точного значення (з імовірністю не менше 80%). Плюс 3 однотипних бронеплити розмірами 10 см\*20 см. Вартість патрона 7.62x39 0.3–1.3 \$. Вартість бронесталі складає приблизно 1500 \$ за тону. Вага пластини з розмірами 100\*200\*10 мм – 1.56 кг, тобто 2,4 \$. Разом для одної товщини, для пострілу з одним кутом (по нормалі) потрібно від 500 до 2500 грн. (при курсі 25 грн. за 1\$). Для всього діапазону кутів, для однієї товщини, в середньому від 5 до 25 тис. грн. Для всього спектру товщин для БМ ЛКМ потрібно 100–250 тис. грн. (по мінімуму) на один тип боєприпасу калібру 7,62 мм.

При нормальному проведенні експерименту за всіма правилами, потрібно не менше 3.5. млн. грн для одного типу бронесталі і одного типу боєприпасу (і це тільки на витратні матеріали). Для основного спектру вражаючих боєприпасів калібру 7.62–14.5 мм потрібно приблизно 150 млн. грн.

*Метод визначення захищеності на основі аналізу статистичних даних участі БМ ЛКМ у збройних конфліктах.* За наявності повної і детальної статистики про результати використання БМ ЛКМ у збройних конфліктах [14, 16–19], такий метод можна було б назвати найточнішим методом. Однак з огляду на те, як збирається статистика, відсутні дані по дуже великій кількості важливих факторів [1, 20, 21]. Більш того, в умовах сучасного бою більшість таких даних та факторів майже неможливо отримати. Таким чином, оцінка статистичних даних стає складним і нетривіальним, часто навіть суперечливим завданням. Проте саме аналіз бойових ушкоджень може дати відповіді про проблеми використовуваних для оцінки захищеності методик. Так, саме на основі аналізу бойових ушкоджень, отриманих різними типами легкоброньованої техніки, що стоять на озброєнні ЗС України, у військових конфліктах Чечні, миротворчих операціях Іраку і антитерористичній операції на сході України, було доведено принципову помилковість результатів оцінки захищеності на основі класичних методик побудови тактичних діаграм [1, 3].

*Визначення снарядостійкості розрахунковим способом.* Ще одним методом, за допомогою якого можна визначати деякі параметри бронестійкості, а, отже, і захищеності, є чисельне моделювання процесу пробиття за допомогою методу скінченних елементів [1, 11, 22–30]. Однак слід зазначити, що для отримання коректних

результатів для цієї методики необхідно мати у наявності велику кількість експериментально отриманих механічних характеристик матеріалів, які беруть участь у процесі бронепробиття (як з боку бронезахисту, так і з боку засобу ураження), і тривалості як постановки такої задачі, так і безпосередньо розв'язання (для одного варіанту зустрічі кулі з перешкодою розрахунок може тривати від кількох годин до декількох днів на сучасних комп'ютерах) [1, 22, 25]. Таким чином, цю методику нерационально використовувати для оцінки захищеності у відриві від інших методів. Найкраще ця методика підходить для побудови діаграм бронестійкості разом із результатами обстрілу.

*Результати порівняння методик.* Аналіз статистичних даних – ще довгий та більш коштовний процес. Він міг би бути найточнішим, проте не всі дані надходять до статистики – ураження від стрілецької зброї взагалі найчастіше не аналізуються.

Також слід зазначити, що натурний експеримент – це довгий та високоартісний процес, і через використання не зовсім вірних підходів при проведенні експерименту є недостатньо точним, як очікується. Але при умові, що досліджуються декілька машин і проводиться обстріл не тільки по горизонталі, а й верхньої та нижньої проєкцій, тоді можливо отримати майже 100% точність. У сьогоденні бойових машин легкої категорії за масою із одної відстані обстрілюють по всіх проєкціях, але засіб ураження та БМ ЛКМ все ще розміщені на одному рівні в одній площині, тому натурний експеримент – недостатньо точний, і за рівнем точності отриманих результатів можна прирівняти із класичною методикою щодо оцінки рівня захищеності.

Класичні методики – найшвидші та найпростіші, і через це – не потребують великих коштів. Але через серйозну методичну похибку є не тільки неточними, але дуже небезпечними у сучасних умовах (неврахування зміни тактики ведення бойових дій).

Методика побудови 3D тактичних діаграм (ТД) більш складна та повільніша за класичну, проте набагато точніша та швидша за натурний експеримент та аналіз статистичних даних. Можливості цього методу дають змогу врахувати ймовірну зміну положення стрільця відносно машини, ймовірну зміну орієнтації машини в середовищі.

Таким чином, методика, що зможе точно і швидко розв'язувати задачі з оцінки рівня захищеності БМ ЛКМ від стрілецької зброї, має об'єднати у собі всі переваги існуючих методик, а саме: перше – використовувати реальні дані з бронестійкості та бронепробиття; друге – мати швидкість розрахунків, близьку до швидкості класичних методик; третє – має базуватись на методиці побудови 3D ТД як на найбільш точній та сучасній методиці. Для цього методика 3D ТД повинна бути вдосконалена для врахування факторів, що не взяті до уваги в існуючих методиках та для прискорення її роботи. Так само, як і методика 3D ТД, методика, що розробляється у цьому дослідженні, буде складною та тривалою при ручних розрахунках. Її використання є недоцільним без використання обчислювальної техніки та засобів автоматизації. Проте, при сучасному стані розвитку комп'ютерної техніки, яка вже використовується при проектуванні бойових машин

легкої категорії за масою та вирішенні бойових задач, це не є проблемою. Через це необхідно також розглянути сучасний стан програмного забезпечення для створення та аналізу просторових об'єктів.

*Огляд методів та програмного забезпечення для створення просторових об'єктів.* На сьогоднішній день існує дуже велика кількість комп'ютерних програм, що дають можливість створювати та працювати з просторовими об'єктами. Для створення геометричних моделей машинобудівних об'єктів, таких як бронекорпуси БМ ЛКМ, можна використати широкий список програмного забезпечення, що належить до класу CAD/MCAD – computer aided design (Mechanical CAD) [22, 28–39]. Історично їх поділяють на три рівні: вищий (важкий), середній, нижчий (легкі). З моменту виникнення та розповсюдження цього терміну пройшла деяка міграція можливостей CAD, тож точної класифікації неможливо знайти, проте більшість експертів погоджується з тим, що до вищого рівня, тобто систем що обладнані найбільшим функціоналом, на сьогодні можна віднести лише три системи: Dassult Systemes Catia, PTC Creo, Siemens NX [30]. До середніх зазвичай відносять системи Autodesk Inventor, Siemens Solid Edge, SolidWorks, Аскон Компас 3D, Топ Системи T-Flex [30]. Всі зазначені системи мають функціонал тривимірного твердотільного та поверхневого моделювання, створення збірних моделей та оформлення креслень [30]. Для тих задач, що стоять в рамках здійсненого дослідження, не має великої різниці в тому, яку систему обрати. У цьому випадку обрана система SolidWorks, що має збалансовану потужність та простоту інтерфейсу.

Розрахункові скінченно-елементні (СЕ) моделі простіше за все створювати в програмному забезпеченні, що відноситься до класу CAE – computer aided engineering на основі геометричних моделей створених, до того в CAD. Серед таких програм можна перерахувати: Abaqus, ANSYS, MSC Patran, Siemens Femap тощо. У цій роботі використаний універсальний пре-постпроцесор Siemens Femap через те, що він має один з кращих функціоналів щодо автоматизації рутинних операцій та обміну даними.

Спеціалізовані програмні модулі, що забезпечують інтеграцію з обраним програмним забезпеченням, створені за допомогою програмного середовища Microsoft Visual Studio та мови програмування WB.NET.

**Постановка завдань досліджень.** Проведений аналіз джерел дозволяє зробити наступні висновки:

1. Стрілецька зброя є не тільки найпоширенішою зброєю, а й досить поширеним засобом ураження бойових машин легкої категорії за масою і особового складу, який перебуває під його захистом.

2. БМ ЛКМ, які стоять на озброєнні ЗС України, не забезпечують потрібного рівня захищеності від найдешевших і розповсюджених засобів ураження – стрілецької зброї (особливо калібром від 7.62 мм до 14.5 мм), незважаючи на те, що розроблялися саме для захисту від них. Бронекорпуси потребують підвищення рівня захисту від стрілецької зброї.

3. Усі існуючі варіанти підвищення захищеності бойових машин легкої категорії за масою, що експлуатуються у ЗС України, вимагають проведення науково-дослідних робіт щодо оцінки їхнього впливу як

на рівень захищеності, так і на інші тактико-технічні характеристики.

4. Єдиним прийнятним варіантом підвищення захищеності БМ ЛКМ, що експлуатуються у ЗС та інших силових структурах України, є додаткове бронювання, для якого відсутні методики врахування їхнього впливу на захищеність. Виникає необхідність щодо розробки методики щодо розв'язання невирішеної задачі.

5. Класичні методи оцінки захищеності від кінетичних боєприпасів не можуть застосовуватися для оцінки рівня захищеності БМ ЛКМ від стрілецької зброї.

6. Для завдань оцінки рівня захищеності, особливо на етапах проектування нових зразків бойових машин легкої категорії за масою або розробки варіантів модернізації існуючих, з наявних методів найкраще підходить метод побудови тривимірних тактичних діаграм. Проте він потребує доопрацювання для реалізації можливості врахування: особливості рельєфу місцевості, геометрії бронекорпусу БМ ЛКМ, додаткового бронювання, внутрішнього обладнання БМ ЛКМ, наявності будівель, ймовірності влучення, без врахування яких неможливо адекватно вирішувати завдання оцінки проектних рішень на наявний у реальності рівень захищеності.

Таким чином, можна зазначити наявність протиріччя між потребою в оцінці та підвищенні рівня захищеності бойових машин легкої категорії за масою від стрілецької зброї, з одного боку, і можливістю виконання цих робіт на основі наявного науково-практичного апарату, – з іншого. У зв'язку з цим виникає важлива і актуальна задача розробки комплексної математичної моделі аналізу рівня захищеності корпусів БМ ЛКМ від стрілецької зброї, що передбачає *вирішення таких завдань:*

1. Розробка комплексної математичної моделі, в яку входять: математичний апарат побудови геометрії місцевості і машини, математична модель польоту кулі; моделювання кута зустрічі снаряду з елементами броньованого корпусу; математична модель для визначення швидкості пробиття з урахуванням додаткового бронювання; математичний апарат опису зони ураження і всіх супутніх параметрів для машини та її елементів безпосередньо на навколишній місцевості, на якій розташована машина, і різні варіанти аналізу отриманих результатів.

2. Розробка геометричних і чисельних моделей корпусів БМ ЛКМ і місцевості для проведення дослідження рівня захищеності їхніх корпусів.

3. Розробка спеціалізованого програмно-модельного комплексу, що реалізує розроблену математичну модель.

4. Побудова тактичних діаграм для різних варіантів місцевості, положення і орієнтації бойових машин легкої категорії за масою (для різних БМ ЛКМ).

5. Аналіз отриманих тактичних діаграм на місцевості з урахуванням додаткових контрольованих параметрів, порівняння результатів з отриманими класичними методиками.

6. Розробка нових критеріїв захищеності, які врахують зміни у тактичних прийомах, способах захисту і засобах ураження.

7. Розробка рекомендацій щодо використання результатів досліджень в умовах проектування,



краще відповідають реаліям сучасного бою.

Таким чином, розроблені методика, підходи, моделі, методи та СПМК є працездатними та більш достовірними порівняно із існуючими.

**Геометричні моделі бойових машин легкої категорії за масою.** Для виконання передбачених

досліджень було створено геометричні моделі для чотирьох бойових машин легкої категорії за масою, що стоять на озброєнні ЗСУ: БТР-80, БТР-3, БТР-4, МТ-ЛБ. БМ ЛКМ та геометричні моделі, що побудовані на основі відомостей про геометрію бронекорпусів, показані на рис. 6–13.

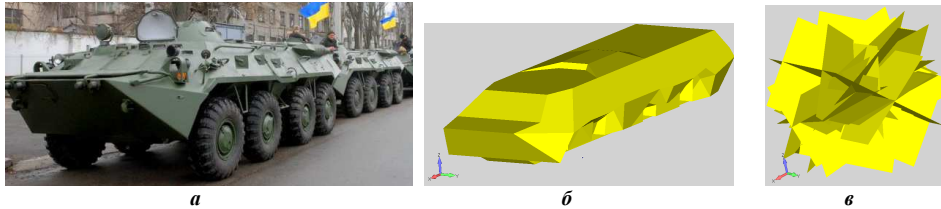


Рисунок 6 – БТР-80:

*a* – реальна машина; *б* – базова геометрична модель; *в* – спрощена геометрична модель



Рисунок 7 – БТР-3: *a* – реальна машина; *б* – базова геометрична модель



Рисунок 8 – БТР-4: *a* – реальна машина; *б* – базова геометрична модель

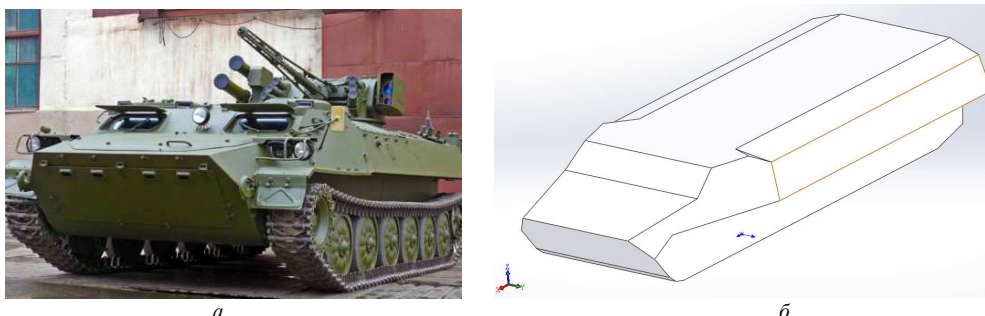


Рисунок 9 – МТ-ЛБ: *a* – реальна машина; *б* – базова геометрична модель

Слід зазначити, що при створенні геометричних моделей було виконано низку спрощень – не моделювались: вікна, отвори, двері та люки. Моделювались лише основні поверхні бронекорпусу. На рис. 6 зображений корпус БТР-80 у вигляді, що співпадає з представленням за класичними методиками та методикою, запропонованою Штаталовим О. Є. [1, 5, 6].

Порівняння геометричних моделей корпусів показано на рис. 10–13. На рис. 10 зображені геометричні представлення бронекорпусів БТР-80, що створені за класичною (жовтий колір) та запропонованою методикою у співпадаючих системах координат.

Як видно з рисунків, за класичною методикою та методикою, що була розроблена Штаталовим О. Є. [1],

центр бронеплит співпадає з початком системи координат машини, геометрія пластин не має значення, важливим є лише орієнтація пластин у просторі та їх товщина. У класичній методиці [5–7] стрілець знаходиться у тій самій горизонтальній площині, що і центр бронеплити. У методиці Шаталова О.Є. стрілець може знаходитись у будь якій точці простору, в тому числі вище, чи нижче за рівнем [41], проте бойових машин легкої категорії за масою представлена як матеріальна точка, що знаходиться в початковій точці системи координат (СК) БМ ЛКМ та лежить на поверхні землі.

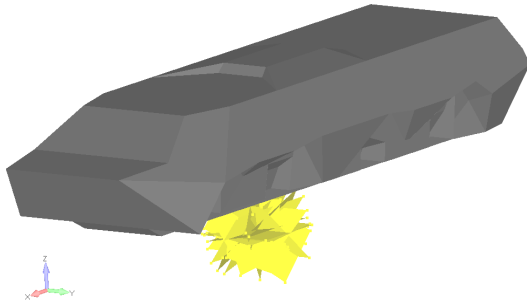


Рисунок 10 – Порівняння геометрії корпусів БТР–80 за класичною методикою (жовтий колір) та за поточною (темно-сірий колір)

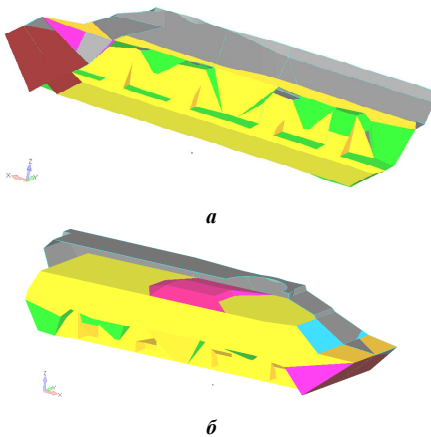


Рисунок 11 – Порівняння геометрії бронекорпусів БТР–80 та БТР–3 (зображений сірим):  
а – вид ліворуч; б – вид праворуч

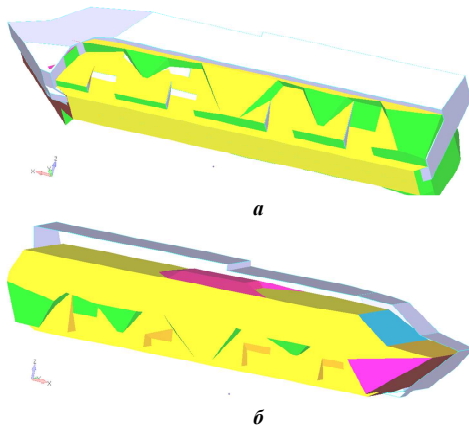


Рисунок 12 – Порівняння геометрії бронекорпусів БТР–80 та БТР–4 (зображений світло-сірим):  
а – вид ліворуч; б – вид праворуч

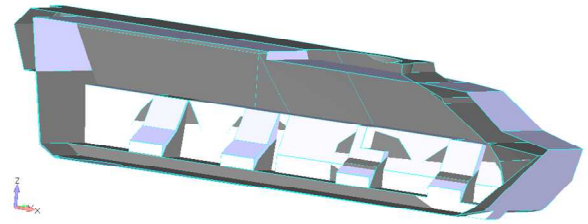


Рисунок 13 – Порівняння геометрії бронекорпусів БТР–3 (зображений сірим) та БТР–4 (зображений світло-сірим)

Для того, щоб більш точно описати положення БМ ЛКМ, у цій роботі центр СК БМ ЛКМ знаходиться в геометричному центрі між колесами (чи траками) на поверхні землі, як це зображено на рис. 14. Таким чином, корпус піднятий на 300–500 мм над землею. Напрямок осей СК машини наступний: вісь  $Ox$  – вздовж машини, із заду на перед; вісь  $Oy$  – з правого борта на лівий; вісь  $Oz$  – вертикально вгору. Це дає можливість більш точно моделювати положення машини на місцевості, при суміщенні локальної СК машини з локальною СК точки місцевості.

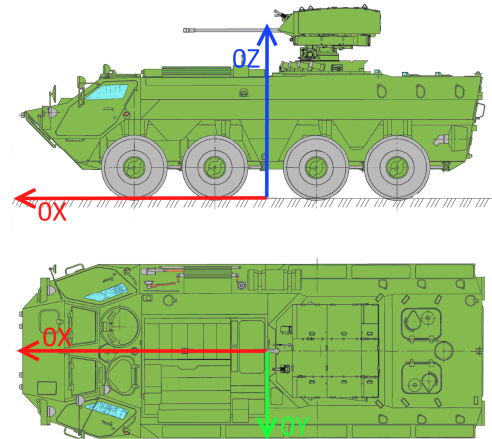


Рисунок 14 – Положення та орієнтація СК машини

Слід зазначити, що базові геометричні моделі розглянутих БМ ЛКМ, що відносяться до класу БТР, є майже однаковими в нижній частині (нижня проекція). Що стосується бокової проекції, то вона також має схожі кути нахилу та положенням бронеплит. Проте є суттєва різниця у вигляді даху, кормової та передньої проекції (особливо у БТР–4 по відношенню до БТР–3 та БТР–80). Також корпус БТР–3 вищий за БТР–80 майже на 30%, а БТР–4 вищий за БТР–80 на 15.4%. Корпус БТР–80 вищий за МТ–ЛБ теж на 15%. Різниця у висоті (без урахування бойових модулів) між найвищою машиною – БТР–3, та найнижчою – МТ–ЛБ, складає 40%. Такий аналіз доводить, що відсутність можливості моделювання геометрії БМ ЛКМ, може призвести до суттєвих похибок.

Розрахункова модель бойових машин легкої категорії за масою створюється на основі її геометричної моделі. Подібно до моделі місцевості, вона складається з вузлів (що лежать на геометрії) та елементів – три- і чотирикутних полігонів. Крім цих даних про елементи, що дійсні і для місцевості (центр та нормаль), модель БМ ЛКМ також має інформацію про належність до конкретної бронепроєкції; товщину та матеріал основного бронювання; наявність, тип і товщину додаткового бронювання.

Крім того, у моделі закладені профілі поверхонь місцевості, на якій відбуваються бойові дії. Також є можливість задати характеристики кінетичного боєприпасу.

Таким чином, створені комплексні моделі, які поєднують характеристики чинників ураження, умов бойових дій, компонувальні рішення та проектні параметри бойових машин легкої категорії за масою.

#### Висновки.

1. Розроблено комплексний спеціалізований програмно-модельний комплекс «Бузок», який реалізує базові підходи, методи та моделі для аналізу оцінки рівня захищеності бойових машин легкої категорії за масою за критеріями захищеності. Він відрізняється урахуванням усіх значущих чинників задля адекватної оцінки захищеності цих машин. Це дає переваги стосовно точності результатів, термінів досліджень та достовірності рекомендацій порівняно із традиційними методами.

2. Урахування таких чинників як висота розташування зброї, із якої здійснюється обстріл бойової машини, та рельєфу місцевості чинять суттєвий вплив на захищеність досліджуваної машини. Отже, їх неурядування призводить до неправильних рекомендацій на етапі проектування захисних елементів бойових машин легкої категорії за масою.

3. На основі аналізу результатів досліджень побудовано просторові діаграми бронестійкості та визначено тенденції зміни цих характеристик при варіюванні окремих чинників та параметрів. Це створює основу для обґрунтування проектних рішень захисних елементів бойових машин легкої категорії за масою.

У подальших дослідженнях планується здійснити розширений аналіз захищеності низки бойових машинин від дії кінетичних боєприпасів та інших чинників ураження.

#### Список літератури

- Шаталов О. Е. К вопросу построения и использования 3D мерных планов местности. *Механіка та машинобудування*, 2005. №1. С. 210–213.
- Дудар Є. Є., Шаталов О. Є., Васильєв А. Ю., Куденко С. В. Комплексна математична модель побудови тривимірних тактичних діаграм на місцевості та її програмна реалізація. *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: *Машинознавство та САПР*. Харків: НТУ «ХП», 2018. № 7 (1283). С. 25–33.
- Васьківський М. І. Деякі аспекти аналізу бойових та експлуатаційних втрат озброєння та військової техніки Сухопутних військ під час проведення АТО. *Основні напрями формування воєнно-технічної політики держави та шляхи її вирішення: матеріали IV наук.-техн. конф. ЦНДІ ОБТ ЗС України* (м. Київ, 16 грудня 2014 р.). Київ, 2014. С. 67.
- Шаталов О. Є., Матушко Б. П., Андрієнко А. М., Пашковський В. В. Підвищення живучості механізованого підрозділу за рахунок застосування тривимірних тактичних діаграм. *Військово-технічний збірник*: випуск 1 (4). Львів: АСВ, 2011. С. 112–115.
- Буров С. С. *Конструкція і расчёт танков*. Москва: Изд-во Академии им. Машиновского Р. Я., 1973. 602 с.
- Талу К. А., Козлов А. Г. *Конструкція і расчёт танков*. Москва: изд. Академии БТВ, 1958. 534 с.
- Чобиток В. А., Брижинієв Ю. Н., Долганов А. А., [и др.] *Конструкція і расчёт танков и БМП*. Москва: Воениздат, 1984. 376 с.
- Волонцевич Д. О., Костяник І. В., Камфенкель Д. І. Спосіб підвищення допустимої швидкості ведення вогню з ходу при русі бойової машини по пересіченій місцевості. *Механіка та машинобудування*, 2010. №1. С.94–102.
- Ткачук А. Н., Шаталов О. Е., Ларин А. Ю., [и др.]. Расчет траектории полета пуль и снарядов с учетом угла нутации, прецессии и собственного вращения. *Артиллерийское и стрелковое вооружение*, 2005. №3. С. 38–42.
- Дудар Є. Є., Шаталов О. Є., Васильєв А. Ю. Математичне моделювання геометрії місцевості – методика моделювання геометрії місцевості для вирішення задач із побудови тактичних діаграм захищеності БМ ЛКВ. *Науковий вісник "Біоресурси і природокористування"*. Київ, 2017. Т. 9. № 3–4. С. 80–88.
- Голуб В. А., Чепков І. Б., Ларін А. Ю. [та ін.]. Дослідження кутів прецесії та нутації куль стрілецької зброї після пробиття перешкод. *Озброєння та військова техніка: ЦНДІ ОБТ ЗС України*, Київ, 2014. С. 28–33.
- Голуб В. А. *Балістичний та протимінний захист бойових колісних машин. Методологічні основи побудови*. Монографія / Львів: АСВ, 2014. 224 с.
- Васьковский М. И., Чепков И. Б., Неговский О. М. Принципы и методы решения проблемы повышения защищенности и живучести БМ с использованием защитных устройств динамического типа. *Артиллерийское и стрелковое вооружение: НТЦ АСВ*. Киев, 2006. Вып. 1. С. 48–53.
- Бабакин А. Танки и БМП горели в горах Дагестана. *Независимое военное обозрение*, 2004. № 9. С. 45–47.
- Лосик О. А. Танки: *Основы теории, конструкции и боевой эффективности*, кн. 1 / ред. коллектив: рук. авт. кол. О. Н. Брылев (глава) и др. Москва: Изд-во Академии БТВ, 1983. С. 38–40.
- Потери бронетехники в войне на Украине по месяцам. URL: <http://lostarmour.info/analytcs>. [дата звернення 10.03.2017].
- The Military Balance 2016: Press Launch. URL: <https://www.iiss.org/en/events/events/archive/2016-a3c2/february-f239/launch-of-the-military-balance-2016-e42e>. [дата звернення 15.02.2016].
- Броньований напрям: Перспективи розвитку та пріоритети переоснащення Збройних Сил України бронетанковим озброєнням та технікою з урахуванням досвіду ведення бойових дій в Антитерористичній операції. *Defense Express*. Київ, 2017. №1–2. С. 14–25.
- Стримати кулю: Захист бойових броньованих машин від ураження кулями калібру 12,7 мм та 14,5 мм. *Defense Express*. Київ, 2017. №3–4. С. 58–60.
- Купрінєнко О. М., Ларин А. Ю., Мищенко Я. С. Влияние изменений характера ведения вооруженной борьбы на классификацию боевых бронированных машин. *Збірник наукових праць: ХУПС*, 2013. Вип. №4 (37). С. 7–11.
- Васьківський М. І. Уточнені вимоги до захищеності зразків озброєння Сухопутних військ Збройних Сил України за результатами АТО. *Основні напрями формування воєнно-технічної політики держави та шляхи її вирішення: ЦНДІ ОБТ ЗС України: матеріали IV наук.-техн. конф.* (м. Київ, 16 грудня 2014 р.). Київ, 2014. С. 69.
- Васильєв А. Ю., Мартиненко О. В., Ткачук М. А., Шаталов О. Є. [та ін.] Використання сучасного програмного забезпечення при моделюванні процесу пробиття. *Збірник наукових праць Військового інституту ВВ МВС України*, 2004. №1–2. С. 55–57.
- Чепков І. Б. Попередня оцінка бронепробиття бронебійно-підкаліберного снаряда. *Артилерійське і стрілецьке озброєння*, 2003. №1. С. 4–9.
- Бісік С. П., Купрінєнко О. М., Корбач В. Г. Оцінка протимінної стійкості легкої бойової колісної машини. *Вісник НТУ "ХП"*. Харків, 2015. № 42 (948). С. 125–138.
- Hallquist J. LS-DYNA: Theoretical Manual. Livermore Software Technology Corporation, 1998, May. 498 p.
- Ya-ting YU, Ping-an DU, Zhen-wei WANG Z. *Research on the current application status of finite element method*. School of Mechatronics Engineering, University of Electronics Science and Technology, (Chengdu 610054, China): електрон. версія журн., 2005. URL: [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-JXSJ200503002.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-JXSJ200503002.htm).
- Williams K., Poon K. *A Numerical Analysis of the Effect of Surrogate Anti-Tank Mine Blasts on the M113*. URL: <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA375585> (дата звернення: 20.01.2017).
- Шабагура Ю. В., Королько С. В. Застосування титану в залізвуглецевих сплавах для підвищення стійкості конструкційних матеріалів військової техніки та озброєння. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ"* (м. Львів, 22–24 травня 2013 р.). Львів, 2013. С. 68.



29. Zhang Tieshan Hu Jianli, Tang Yun. *Dynamic Finite Element Analysis of Light Vehicle Frame*. School of Mechanical Engineering, NUST, Nanjing 210094, (Yuejin Automobile Group Corporation, Nanjing 210037): электрон. версія журн., 2001. URL: [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-NJLG200106006.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-NJLG200106006.htm). URL: (дата звернення: 21.01.2015).
30. Ткачук Н. А., Пономарев Е. П., Миргородский Ю. Я. [и др.]. Специализированные системы для автоматизированного проектирования, исследования и изготовления транспортных средств специального назначения и элементов технологических систем. *Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск "Колесные и гусеничные машины специального назначения"*, 2003. №27. С. 13–20.
31. Васильев А. Ю., Малакей А. Н., Пелешко Е. В., Шаталов О. Е. К вопросу интегрированных систем анализа динамических процессов в корпусах транспортных средств специального назначения. *Механика та машинобудування*, 2004. №1. С. 51–60.
32. Писаренко А. Е. Блочно-модульный принцип конструирования корпусов легких ВГМ. *Механика и машиностроение. Научно-технический журнал*. Харьков, 2004. № 1. С. 28-35.
33. Jonsson G. R. Analysis of Elastic-Plastic Impact Involving Severe Distortions. *J. Appl. Mech.*, 1976. V. 43. №3. P. 85–90.
34. Куприненко О. М., Голуб В. А. Синтез вариантов проектных гипотез технического облика перспективных типов боевых бронированных машин. *Військово-технічний збірник*. Львів, 2013. №2(9). С. 36–42.
35. Васильев А. Ю., Мартыненко А. В., Шаталов О. Е. [та ін.]. Комплексный подход к модернизации корпусов легкобронированных машин с использованием современных программных комплексов. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Наукове фахове видання*, Мелітополь, 2005. Вип. 26. С.169–174.
36. Гриценко Г. Д., Рубан А. Г., Ткачук Н. А. Формирование оценочных критериев при исследовании транспортных средств и технологических систем как единых целостных механических систем. *Машинобудування: Вісник Харківського державного політехнічного університету*. Збірка наукових праць. Випуск 101. Харків: ХДПУ, 2000. С. 92–96.
37. Трудоношин В. А. САПР: Система автоматизированного проектирования: Учеб. пособие для вузов. В 9 кн. Кн. 4: Математические модели технических объектов / под ред. И. П. Норенкова, В. А. Трудоношин, Н. В. Пивоварова. Минск: Высш. шк., 1988. 159 с.
38. Веретельник Ю. В., Миргородский Ю. Я., Пелешко Е. В., Ткачук Н. А. Параметрические модели элементов сложных систем как основа построения специализированных расчетных систем. *Механика та машинобудування*, 2003. № 1. Т. 2. С. 3–8.
39. Глуценко Э. В., Пелешко О. Е., Шаталов О. Е., Колесник В. А. Формирование математических моделей для исследования прочности и жесткости элементов корпусов транспортных средств специального назначения. *Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск "Колесные и гусеничные машины специального назначения"*, 2003. № 27. С. 62–70.
40. Шаталов О. Е., Дудар С. С., Васильев А. Ю. Комплексна математична модель аналізу захищеності бойових машин легкої категорії за масою стрілецької зброї з урахуванням геометрії машини, рельєфу місцевості й додаткового бронювання. *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: *Машинознавство та САПР*. Харків: НТУ «ХП», 2019. № 1. С. 93–109.
41. Борисюк М. Д., Волосникова С. А., Кудров В. М., Кузнецов Г. А. Некоторые аспекты модернизации бронетанковой техники. *Механика та машинобудування. Науково-технічний журнал*. Харків: НТУ "ХПИ", 2006. № 1. С.99–104.
- the Land Forces during the ATO]. *Osnovni napryamy` formuvannya voyenno–texnichnoyi polity`ky` derzhavy` ta shlyaxy` yiyi vy`rshemya: materialy` IV nauk.-texn. konf. CzNDI OVT ZS Ukrayiny`* (m. Ky`yiv, 16 грудня 2014 р.). Ky`yiv, 2014, p. 67.
4. Shatalov O. Ye., Matuzko B. P., Andriyenko A. M., Pashkovs`ky`j V. V. Pidvy`shhennya zhy`vuchosti mexanizovanogo pidrozdilu za raxunok zastosuvannya try`vy`mirny`h takty`chny`h diagram [Increased durability of the mechanized unit due to the use of three-dimensional tactical diagrams]. *Vijs`kovo–texnichny`y` zbirny`k: vy`pusk 1* (4). L`viv: ASV. 2011, pp. 112–115.
5. Burov S. S. *Konstrukcija i raschjot tankov* [Design and calculation of tanks]. Moscow: Izd-vo Akademii im. Malinovskogo R. Ja., 1973. 602 p.
6. Talu K. A., Kozlov A. G. *Konstrukcija i raschet tankov* [Design and calculation of tanks]. Moscow: izd. Akademii BTV, 1958. 534 p.
7. Chobitok V. A., Brizhinov Ju. N., Dolganov A. A., [i dr.] *Konstrukcija i raschjot tankov i BMP* [Design and calculation of tanks and IFV]. Moscow: Voenizdat, 1984. 376 p.
8. Voloncev`ch D. O., Kostjany`k I. V., Kamfenkel` D. I. Sposib pidvy`shhennya dopusty`moyi shvy`dkosti vedennya vognyu z xodu pry` rusi bojovoyi mashy`ny` po peresichenij miscevidosti [A method of increasing the permissible speed of driving a fire on the move while moving a combat vehicle on a rough terrain]. *Mexanika ta mashy`nobuduвання*. 2010, no. 1, pp. 94–102.
9. Ткачук А. Н., Шаталов О. Е., Ларин А. Ю., [и др.]. Raschet traektorii poleta pul' i snarjadov s uchetom ugla nutacii, precessii i sobstvennogo vrashhenija [Calculation of the trajectory of the flight of bullets and shells, taking into account the nutation angle, precession and proper rotation]. *Artillerijskoe i strelkovoe vooruzhenie*. 2005, no. 3, pp. 38–42.
10. Dudar Ye. Ye., Shatalov O. Ye., Vasy`g`yev A. Yu. Matematy`chne modelyuvannya geometriyi miscevidosti – metody`ka modelyuvannya geometriyi miscevidosti dlya vy`rshennya zadach iz pobudovy` takty`chny`h diagram zaxy`shhenosti BM LKV [Mathematical modeling of geometry of a locality is a technique of modeling of geometry of a locality for solving problems from construction of tactical security diagrams of IF LKW.]. *Naukovy`y` visny`k "Bioresursy` i pry`rodokory`stvannya"*. Ky`yiv, 2017, V. 9, no. 3–4, pp. 80–88.
11. Golub V. A., Chepkov I. B., Larin A. Yu. [та ін.]. Doslidzhennya kutiv pereseciji ta nutaciyi kul' strelcz`koyi zbroyi pislja pryby`ttya pereshkod [Investigation of the precession and nutation of bullets of small arms after obstruction of obstacles]. *Ozbroyennya ta vijs`kova texnika: CzNDI OVT ZS Ukrayiny`*, Ky`yiv, 2014, pp. 28–33.
12. Golub V. A. *Balisty`chny`j ta proty`mynny`j zaxy`st bojovy`h kolisny`h mashyn. Metodologichni osnovy` pobudovy`* [Ballistic and mint defense of combat vehicles. Methodological basis of construction]: Monografiya / L`viv: ASV, 2014. 224 p.
13. Vas`kovskij M. I., Chepkov I. B., Negovskij O. M. Principy i metody reshenija problemy povyshenija zashhishhennosti i zhivuchesti BBM s ispol'zovaniem zashhitnyh ustrojstv dinamicheskogo tipa [Principles and methods for solving the problem of enhancing the security and survivability of BBM using dynamic protection devices]. *Artillerijskoe i strelkovoe vooruzhenie: NTC ASV*. Kiev, 2006, Vyp.1, pp. 48–53.
14. Babakin A. Tanki i BMP goreli v gorah Dagestana [Tanks and IFV burned in the mountains of Dagestan]. *Nezavisimoe voennoe obozrenie*. 2004, no. 9, pp. 45–47.
15. Losik O. A. Tanki: Osnovy teorii, konstrukcii i boevoj jefektivnosti [Tanks: Fundamentals of theory, design and combat effectiveness], kn. 1 / red. kollektiv: ruk. avt. kol. O. N. Brylev (glava) i dr.. Moscow: Izd-vo Akademii BTV, 1983, pp. 38–40.
16. Poteri bronetehniki v vojne na Ukraine po mesjacam [Loss of armored vehicles in the war in Ukraine for months]. URL: <http://lostarmour.info/analytcs>. [data zvernennja 10.03.2017].
17. The Military Balance 2016: Press Launch. URL: <https://www.iiss.org/en/events/events/archive/2016-a3c2/february-f239/launch-of-the-military-balance-2016-e42e>. [data zvernennja 15.02.2016].
18. Bron`ovany`j napryam: Perspekty`vy` rozvy`tku ta priory`tety` pereosnashhennya Zbrojny`h Sy`l Ukrayiny` bronetankovy`m ozbrojennyam ta texnikoyu z uraxuvannyam dosvidu vedennya bojovy`h dij v Anty`terory`sty`chnij operaciyi [Reservations directly: Prospects for development and retooling of the retrofitting of the Forward Forces of Ukraine with armored infantry and technical equipment for uraxuvannyam up to the battlefield]. *Defense Express*. Ky`yiv, 2017, no. 1–2, pp. 14–25.
19. Stry`maty` kulyu: Zaxy`st bojovy`h bron`ovany`h mashy`n vid urazhennya kulyamy` kalibru 12,7 mm ta 14,5 mm [To pass a ball: Protection of armored combat vehicles from the defeat of bullets of a caliber of 12.7 mm and 14.5 mm]. *Defense Express*. Ky`yiv, 2017,

- no. 3–4, pp. 58–60.
20. Kuprinenko O. M., Larin A. Ju., Mishhenko Ja. S Vlijanie izmenenij haraktera vedennja vooruzhennoj bor'by na klassifikaciju boevykh bronirovannykh mashin [Influence of changes in the nature of the conduct of armed struggle on the classification of military armored vehicles]. *Zhurnal naukovih prac': HUPS*. 2013, Vip. No. 4 (37), pp. 7–11.
  21. Vas'kivs'kyj M. I. Utochneni vy'mogy do zaxyshhenosti zrazkiv ozbrojennya Suxoputny'h vijs'k Zbrojny'h Sy'l Ukrainy za rezul'tatamy ATO [The requirements for the security of samples of the Armed Forces of the Armed Forces of Ukraine according to the results of the ATO are specified]. *Osnovni napryamy formuvannya voyenno-texnichnoyi polityky derzhavy ta shlyaxy yiyi vy'rishennya: CzNDI OVT ZS Ukrainy: materialy IV nauk.-texn. konf.* (m. Ky'yiv, 16 grudnya 2014 r.). Ky'yiv, 2014, P. 69.
  22. Vasylyev A. Yu., Martynenko O. V., Tkachuk M. A., Shatalov O. Ye. [ta in.] Vy'korystannya suchasnogo programnogo zabezpechennya pry modelyuvanni procesu probyttya [Use of modern software during modeling of punching process]. *Zbirnyk naukovy'h prac' Vijs'kovogo instytutu VV MVS Ukrainy*. 2004, no. 1–2, pp. 55–57.
  23. Chepkov I. B. Poperednya ocinka broneprobityta bronebijnopidkalibernogo snaryada [Preliminary assessment of armor-piercing armor-piercing projectile]. *Artylerijs'ke i strilecz'ke ozbrojennya*. 2003, no. 1, pp. 4–9.
  24. Bisyk S. P., Kuprinenko O. M., Korbach V. G. Ocinka protyminnoyi stijkosti legkoyi bojovoyi kolisnoyi mashyny [Assessment of the motile stability of a lightweight combat vehicle]. *Visnyk NTU "KhPI"*. Kharkiv. 2015, no. 42 (948), pp. 125–138.
  25. Hallquist J. *LS-DYNA: Theoretical Manual*. Livermore Software Technology Corporation, 1998, May. 498 p.
  26. Ya-ting YU, Ping-an DU, Zhen-wei WANG. *Research on the current application status of finite element method*. School of Mechatronics Engineering, University of Electronics Science and Technology, (Chengdu 610054, China): elektron. versiya zhum. 2005. URL: [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-JXSJ200503002.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-JXSJ200503002.htm).
  27. Williams K., Poon K. *A Numerical Analysis of the Effect of Surrogate Anti-Tank Mine Blasts on the M113*. URL: <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA375585> (data zvernennya: 20.01.2017).
  28. Shabatura Yu. V., Korol'ko S. V. Zastosuvannya tytanu v zalizovuglecevy'h splavax dlya pidvyshchennya stijkosti konstrukcijnnykh materialiv vijs'kovoyi tekhniki ta ozbrojennya [Application of titanium in iron-carbon alloys to increase the stability of structural materials of military equipment and armaments]. *Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-texnichnoyi konferenciyi "Perspektyvy rozvytku ozbrojennya ta vijs'kovoyi tekhniki suxoputny'h vijs'k"* (m. L'viv, 22-24 travnya 2013 r.). L'viv, 2013, P. 68.
  29. Zhang Tieshan Hu Jianli, Tang Yun. *Dynamic Finite Element Analysis of Light Vehicle Frame*. School of Mechanical Engineering, NUST, Nanjing 210094, (Yuejin Automobile Group Corporation, Nanjing 210037): elektron. versiya zhum., 2001. URL: [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-NJLG200106006.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-NJLG200106006.htm). URL: (data zvernennya: 21.01.2015).
  30. Tkachuk N. A., Ponomarev E. P., Mirgorodskij Ju. Ja. [i dr.] Specializirovannye sistemy dlja avtomatizirovannogo proektirovanija, issledovanija i izgotovlenija transportnykh sredstv special'nogo naznachenija i jelementov tehnologicheskikh sistem [Specialized systems for computer-aided design, research and manufacturing of special purpose vehicles and elements of technological systems]. *Vestnik NTU "KhPI". Tematicheskij vypusk "Kolesnye i gusenichnye mashiny special'nogo naznachenija"*. 2003, no. 27, pp. 13–20.
  31. Vasil'ev A. Ju., Malakej A. N., Peleshko E. V., Shatalov O. E. K voprosu integrirovannykh sistem analiza dinamicheskikh processov v korpusah transportnykh sredstv special'nogo naznachenija [On the issue of integrated systems for analyzing dynamic processes in special vehicle bodies]. *Mehanika ta mashinobuduvannya*. 2004, no. 1, pp. 51–60.
  32. Pisarenko A. E. Blochno-modul'nyj princip konstruivannija korpusov legkikh VGM [Block-modular design principle of light VGM cases]. *Mehanika i mashinostroenie. Nauchno-tehnicheskij zhurnal*. Kharkov. 2004, no. 1, pp. 28–35.
  33. Jonsson G. R. Analysis of Elastic-Plastic Impact Involving Severe Distortions. *J. Appl. Mech*, 1976. V. 43, no. 3, pp. 85–90.
  34. Kuprinenko O. M., Golub V. A. Sintez variantov proektnykh gipotez tehnicheskogo oblika perspektivnykh tipov boevykh bronirovannykh mashin [Synthesis of variants of the design hypotheses of the technical appearance of promising types of armored combat vehicles]. *Vijs'kovotexnichnyj zbirnyk*. L'viv. 2013, no. 2(9), pp. 36–42.
  35. Vasil'ev A. Ju., Martynenko A. V., Shatalov O. E. Kompleksnyj podhod k modernizacii korpusov legkobronirovannykh mashin s ispol'zovaniem sovremennykh programnykh kompleksov [An integrated approach to the modernization of light armored cars with the use of modern software systems]. *Praci Tavrijs'koyi derzhavnoyi agrotexnichnoyi akademiyi*. Naukove faxove vydannya, Melitopol'. 2005, vyp. 26, pp. 169–174.
  36. Gricenko G. D., Ruban A. G., Tkachuk N. A. Formirovanie ocenочnykh kriteriev pri issledovanii transportnykh sredstv i tehnologicheskikh sistem kak edinyh celostnykh mehanicheskikh sistem [Formation of evaluation criteria in the study of vehicles and technological systems as a single holistic mechanical systems]. *Mashynobuduvannya: Visnyk Kharkivs'kogo derzhavnogo politexnichnogo universytetu*. Zbirka naukovy'h prac'. Vy'pusk 101. Kharkiv: XDPU. 2000, pp. 92–96.
  37. Trudonosin V. A. SAPR: *Sistema avtomatizirovannogo proektirovanija: Ucheb. posobie dlja vtuzov. V 9 kn. Kn. 4: Matematicheskie modeli tehnicheskikh ob'ektov* [Computer-aided design: Textbook. manual for technical colleges. In 9 kN. Prince 4: Mathematical models of technical objects]. Pod red. I. P. Norenkova, V. A. Trudonosin, N. V. Pivovarova. Minsk: Vyssh. shk., 1988. 159 p.
  38. Veretelnik Ju. V., Mirgorodskij Ju. Ja., Peleshko E. V., Tkachuk N. A. Parametricheskie modeli jelementov slozhnykh sistem kak osnova postroenija specializirovannykh raschetnykh sistem [Parametric models of elements of complex systems as the basis for building specialized computational systems]. *Mexanika ta mashynobuduvannya*. 2003, no. 1, vol. 2, pp. 3–8.
  39. Glushhenko Je. V., Peleshko E. V., Shatalov O. E., Kolesnik V. A. Formirovanie matematicheskikh modelej dlja issledovanija prochnosti i zhestkosti jelementov korpusov transportnykh sredstv special'nogo naznachenija [The formation of mathematical models to study the strength and rigidity of the elements of the body of vehicles for special purposes]. *Vestnik NTU "KhPI". Tematicheskij vypusk "Kolesnye i gusenichnye mashiny special'nogo naznachenija"*. 2003, no. 27, pp. 62–70.
  40. Shatalov O. Ye., Dudar Ye. Ye., Vasylyev A. Yu. Kompleksna matematychna model' analizu zaxyshhenosti bojovy'h mashyn legkoyi kategoriyi za masoyu strilecz'koyi zbroji v uraxuvannyam geometriji mashyny, rel'yefu miscevosti j dodatkovogo bronyuvannya. *Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Mashynoznavstvo ta SAPR*. Kharkiv: NTU «KhPI», 2019, no. 1, pp. 93–109.
  41. Borisjuk M. D., Volosnikov S. A., Kudrov V. M., Kuznecov G. A. Nekotorye aspekty modernizacii bronetankovoy tekhniki [Some aspects of the modernization of armored vehicles]. *Mexanika ta mashynobuduvannya. Naukovo-texnichnyj zhurnal*. Kharkiv: NTU «KhPI», 2006, no. 1, pp. 99–104.

Надійшла (received) 8.07.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Шаталов Олег Євгенійович (Шаталов Олег Евгеньевич, Shatalov Oleg)** – кандидат технічних наук, Національна Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, доцент кафедри бронетанкової техніки, Львів, тел. 097-457-38-31, <http://orcid.org/0000-0001-8941-8734>, e-mail: [shatl-oleg-ua@ukr.net](mailto:shatl-oleg-ua@ukr.net)

**Дудар Євген Євгенович (Дудар Евгений Евгеньевич, Dudar Yevhen)** – Національна Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, начальник циклової комісії бронетанкової техніки та водіння відділення підготовки Військового коледжу сержантського складу, Львів,

**Васильєв Антон Юрійович (Васильев Антон Юрьевич, Vasiliev Anton)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин»; м Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8106-0950>; e-mail: [AVasiliev@tmm-sapr.org](mailto:AVasiliev@tmm-sapr.org).