**УДК 539.3: 004.94**

***А.Ю. ВАСИЛЬЄВ, А.Ю. ТАНЧЕНКО, М.М. ТКАЧУК, Н.Б. СКРІПЧЕНКО, Я.М. ЛІСОВОЛ***

# ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ БРОНЕКОРПУСІВ ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИН ЗА КРИТЕРІЯМИ ЗАХИЩЕНОСТІ ШЛЯХОМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ І СТАНІВ ПРИ ДІЇ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ

В роботі наведено порівняння кількох військових броньованих машин різного типу. Наведено огляд найбільш використовуваних шляхів підвищення рівня захищеності. Запропоновано новий підхід до оцінки рівня захищеності шляхом інтегрованого аналізу найбільш поширених засобів ураження, за низкою вхідних параметрів бронекорпусів та вихідних критеріїв. Наведено деякі результати числового моделювання під час дії ударних хвиль від потужних вибухів на корпус броньованих машин та результати оцінки корпусів легкоброньованих машин на можливість пробиття стрілецькою зброєю.

***Ключові слова:*** легкоброньована машина, тактико-технічна характеристика, захищеність, комп'ютерне моделювання, напружено-деформований стан, метод скінченних елементів

The article provides a comparison of the different types military armored vehicles numbers. A most used ways to increase the protection level of armored vehicles are reviewed. A new approach to the estimation of the armored vehicles protection level by means of integrated computer-aided analysis of the most common destruction means, with a number of input vehicles body parameters and output criteria. The results of numerical simulation of the explosion shock waves action on armored vehicles body, and simulation of the possibility to penetrate of light armored vehicles bodies by infantry riffle ammunition. Stress-strain state obtained as a result of explosion simulation give information about deformation, plastic strain of armored plates and structure elements of armored vehicles body. Stress-strain state obtained with help of finite element method. Analysis of penetration danger level / protection level can be performed with the shooter point of view, for understanding where making the shot. Also analysis of penetration can be performed for understanding how areas around the armored vehicles separate with the level of danger / protection for vehicle. Calculation of penetration process are performed with methods which are developed by authors.

***Keywords:*** lightly armored car, tactical and technical characteristics, security, computer modeling, stress-strain state, finite element method

В работе приведен анализ сравнения ряда военных бронированных машин различного типа. Приведен обзор наиболее используемых путей повышения уровня защищенности. Предложен новый подход к оценке уровня защищенности путем интегрированного анализа наиболее распространенных средств поражения по ряду входных параметров бронекорпусов и выходных критериев. Приведены результаты численного моделирования во время действия ударной волны от мощных взрывов на корпус бронированных машин и результаты оценки корпусов легкобронированных машин на возможность пробития стрелковым оружием.

***Ключевые слова:*** легкобронированная машина, тактико-техническая характеристика, защищенность, компьютерное моделирование, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов

## Стан проблеми

На сьогоднішній день, особливо внаслідок поточних подій на сході України, ні у кого не викликає сумнів необхідність наявності у Збройних Силах України сучасних озброєнь, що відповідають поточним реаліям. Слід зауважити, що, за невеликим винятком, більшість використовуваної техніки є морально застарілою і використовується скоріше через відсутність інших варіантів, ніж через відповідність їх тактико-технічних характеристик (ТТХ) вимогам часу. З причини того що виробництво великої кількості нової військової техніки пов'язане зі значними проблемами, більш раціональним є глибока модернізація наявних зразків техніки. При цьому важливо, щоби кожен тип бойових броньованих машин розроблявся для вирішення конкретних завдань у певних умовах. Відповідно, є цілий набір параметрів і характеристик, які впливають на ефективність застосування даної техніки для вирішення поставлених завдань. Ці параметри і характеристики можна по-різному групувати, але зазвичай їх використовують як частини трьох основних характеристик військової техніки: вогневої потужності, мобільності та захищеності. Зміна балансу між даними характеристиками визначає спрямованість певної військової техніки на вирішення окремих військових завдань. Також слід зазначити, що крім відмінності в балансі, є ще й система обмежень. Як правило, основні це: ціна, габарити і маса, які також впливають на можливість виконання завдань і на рівень окремих компонент ТТХ.

У збройних силах багатьох країн, включаючи Україну, серед броньованої техніки найбільша кількість відноситься до класу легкоброньованих машин (рис. 1).

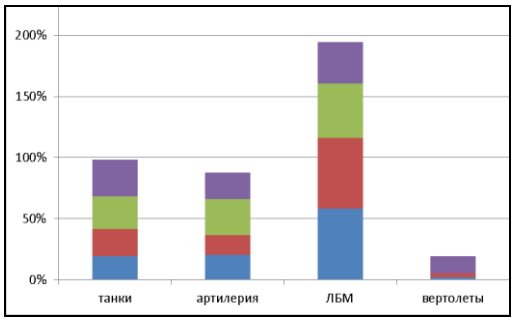



*Рис. 1 – Співвідношення різних типів військової техніки*

Різний баланс основних характеристик призвів до великої різноманітності типів: бронетранспортери, бойові машини піхоти, бойові машини десанту тощо. Ці машини практично не поступаються іншій техніці (наприклад, основним танкам) в мобільності, а деякі – і у вогневій потужності. Однак усі ці машини об'єднані загальним недоліком – слабким рівнем захищеності (порівняно з тими ж танками). На поточний момент зміни в тактиці і засобах озброєння призвели до того, що ці машини мають абсолютно недостатній рівень бронювання для захисту особового складу або забезпечення живучості маши-

© Васильєв А.Ю., Танченко А.Ю., Ткачук М.М., Скріпченко Н.Б., Лісовол Я.М., 2016

ни в бойових умовах. По суті, за рівнем захищеності вони практично не відрізняються від небронюваних зразків техніки, при цьому маючи значно більшу масу.

Також слід зазначити, що більшість методик оцінки рівня захищеності – морально застаріли і не можуть бути використані для оцінки на сьогоднішній день. Що стосується методів підвищення захищеності, то вони, по-перше впираються у відсутність адекватних методик оцінки поточного і проектованого рівня захищеності, а по-друге, призводять до істотного збільшення маси машини.

Таким чином, виникає важлива і актуальна наукова задача, яка спрямована на усунення суперечності між потребою і можливістю в оцінці захищеності. Це дасть можливість вирішити ще гостріше постале практичне завдання: обґрунтування структури і параметрів бронекорпусів легкоброньованих машин за критеріями захищеності. Ці два завдання важливі як для вирішення проблем проектування нових зразків військової техніки, так і для розробки варіантів модернізації існуючої техніки.

*Метою роботи* є розробка наукових основ оцінки захищеності ЛБМ на основі результатів математичного моделювання процесів ураження бронекорпусів та його елементів, і обґрунтування на їх основі раціональних рішень з підвищення та забезпечення необхідного рівня захищеності.

## Загальний опис методів та засобів підвищення рівня захищеності для легкоброньованих машин

Розглянемо теоретичні розробки та засоби розв'язання поставлених задач досліджень, слідуючи роботам [3–5]. Задача забезпечення необхідного рівня захищеності може виникати при проектуванні нових зразків ЛБМ, при модернізації чи експлуатації існуючих зразків. В усіх трьох випадках в першу чергу необхідно адекватно оцінити існуючий рівень захищеності від чинників ураження. Надалі необхідно обрати найбільш адекватні до ситуації методи підвищення захищеності.

Основним варіантом підвищення та забезпечення необхідного рівня захищеності для ЛБМ можна назвати такі рішення:

– використання нових зразків захисту замість застарілих;

– установка додаткового бронювання.

Використання як броні бронелистів з нових матеріалів, які були розроблені в останні роки для захисту від сучасного озброєння – це один з найкращих варіантів вирішення проблеми захищеності. Сучасні види броньової сталі мають підвищені характеристики міцності та забезпечують більш високий рівень захищеності при менших товщинах та вазі. Подібна заміна позитивно позначиться на рівні захищеності, при цьому така модифікація не призведе до підвищення маси або погіршення міцності корпусу. Однак даний підхід буде дієвим тільки у випадку виготовлення нових зразків модернізованої техніки і абсолютно непридатний до застосування модернізації тієї, що існує.

Відповідно, для вирішення завдань з підвищення захищеності при модернізації чи експлуатації, залишається тільки додаткове бронювання. Його можна проводити як ззовні машини, так і всередині. Як додаткове бронювання можуть виступати: бронелисти з спецсталі; бронелисти з алюмінієвих, титанових і інших сплавів спеціального призначення; керамічні бронепластини; кевларові, вуглепластикові, склопластикові та інші композитні пластини або обшивка; додаткові композиційні модулі захисту; гратові екрани; динамічний та активний захист; додатковий захист, виготовлений у польових умовах із підручних матеріалів (мішки з піском, ящики з камінням тощо); комбінація різних рішень.

Додаткове бронювання може бути незнімним, легко замінним й комбінованим.

Досить раціональною є розробка механізмів кріплення пластин, подібних до тих що використовуються в бронелистах, на корпуси ЛБМ. Незважаючи на різноманіття типів ЛБМ з їх відмінностями в геометрії, матеріалах корпусу, розміщенні внутрішніх і зовнішніх елементів, можна розробити єдину (уніфіковану) систему з високим ступенем стандартизації конструкційних елементів для проведення модернізації техніки, що стоїть на озброєнні ЗСУ.

*Рис. 2 – Приклад установки додаткового бронювання на БМП "Пума"*

Подібні роботи з модернізації можуть бути виконані не тільки силами бронетанкоремонтних заводів, але й особовим складом, проте більш раціонально робити їх саме на заводах (рис. 2). Таким варіантом "модернізацій" користуються не тільки ЗСУ (через брак коштів), але й військовослужбовці НАТО (рис. 3).

Окрім безпосередньо ураження броні є проблема ураження особового складу та внутрішніх елементів вторинними осколками. Частковими засобами вирішення такої проблеми і збільшення загального рівня захищеності може виступати армована гума. Джерелом подібної гуми можуть виступати навіть списані колеса ЛБМ. Подібні варіанти модернізації менш ефективні порівняно з кевларом, однак суттєво дешевші та їх можна проводити силами особового складу.

Також силами особового складу можна проводити (й зазвичай проводяться) заходи із підвищення захищеності за допомогою підручних засобів. У цьому випадку конструкторська думка обмежена виключно наявними в розпорядженні матеріалами і засобами. Найбільш поширеними з підручних засобів є: мішки, дерев'яні ящики, металеві та пластикові ємкості з різноманітними наповнювачами. Найбільш розповсюдженими наповнювачами є земля, пісок і каміння. Іншими варіантами є: гусеничні

траки, колеса, колоди і товсті дошки, окремі листи металу і саморобні ґратчасті екрани, виготовлені з кутиків, штаб та арматури.

*Рис. 3 – Додаткове бронювання з підручних засобів на М113 під час бойових дій в Іраці*

Оцінити внесок подібних доробок у підвищення рівня захищеності буває вкрай проблематичним, оскільки велика частина робіт проводиться "на око" без наукової або хоча б інженерної проробки та без урахування накопиченого досвіду. По-друге, подібні "модернізації" дуже відрізняються одна від іншої, бо роботи, в більшості випадків, проводяться на основі наявних можливостей та матеріалів. Таким чином, ефективність подібних "поліпшень" вкрай сумнівна.

При цьому зазначимо, що такі рішення зазвичай призводять до істотного переобтяження машини, зміни її інерційних і мас-центрувальних характеристик. Підвищується навантаження на двигун, трансмісію, ходову. Це призводить до значних втрат в рухливості, маневреності, ресурсі.

Як наслідок отримуємо неочевидне і не завжди реальне покращення захищеності, при істотному погіршенні інших характеристик.

## Теоретичні основи розв'язання поставленої задачі

Для формування строгої постановки задачі, що виникає, необхідно:

1. Сформулювати критеріальні та обмежувальні залежності
2. Визначитися із математичними моделями процесів та станів, що реалізуються при бойовому застосуванні ЛБМ
3. Визначити варійовані параметри та розробити механізм їхньої зміни.

Якраз останнє із перелічених завдань, як правило, визначає основні проблемні аспекти виникаючої комплексної проблеми. Справа в тому, що імплементація механізму варіювання проектно-технологічних параметрів стикається із складністю побудови за тим чи іншим їхнім набором відповідної геометричної чи скінчено-елементної моделі.

Крім того, зважаючи на великий обсяг обчислень, які необхідно проводити, така імплементація повинна здійснюватися в максимально автоматизованому режимі. Відтак, у ході багатоваріантних досліджень слід забезпечувати непротирічивість створюваних моделей, безконфліктність обміну даними та несуперечливість інформації. На додаток часина визначальних параметрів не має простої числової ідентифікації, тобто вони є узагальненими параметрами. Відповідно, для оперування з ними потрібно розробляти додаткові алгоритми.

Враховуючи перелічені особливості, загальна структура досліджень, яка пропонується до використання, полягає у послідовності наступних етапів:

1. Розробка процедури ідентифікації досліджуваного об'єкта за множиною варійованих параметрів, у тому числі – проектно-технологічних рішень, режимів бойового застосування, характеристик засобів ураження, тощо.
2. Розробка критеріальних та обмежувальних вимог до компонент тактико-технічних характеристик, які обрані для забезпечення заданого їх рівня, у вигляді самостійної процедури. Основне завдання такої процедури – визначення цільової функції та умов задовільнення/незадовільнення обмеженням, які звужують область варіювання в узагальненому параметричному просторі. При цьому певні характеристики, що є основою для формування критеріальних та обмежувальних величин, є результатом розв'язання задач аналізу фізико-механічних процессів та станів, які виникають в елементах легкоброньованих машин при їх використанні у бойових умовах (див. пункт 3).
3. Аналіз фізико-механічних процесів та станів, які виникають в елементах ЛБМ при експлуатації та виконанні бойових задач, при певному наборі варійованих параметрів. Цей аналіз проводиться в автоматичному режимі, причому на вході – множина узагальнених параметрів P, а на виході – набір характеристик досліджуваних процесів та станів (наприклад, максимальні еквівалентні напруження або деформації, швидкості, прискорення, тиск тощо).
4. Проведення аналізу поточних ТТХ досліджуваної ЛБМ та здійснення цілеспрямованго кроку з варіювання тих чи інших параметрів елементів ЛБМ з метою поліпшення визначення компонент тактико-технічних характеристик. Цей етап повторюється до отримання кінцевого позитивного результату.
5. Здійснення поглибленого аналізу процесів та станів елементів ЛБМ із визначеними (обґрунтованими на етапах 1-4) проектно-технологічними рішеннями. Як правило, перелічені етапи стосуються найбільш важливих компонент ТТХ ЛБМ, наприклад, захищеності від дії ударної хвилі або кінетичих боєприпасів, що забезпечується у першу чергу властивостями бронекорпусу. Отже послідовність етапів 1-5 передбачає розв'язання або задач ударно-контактної взаємодії боєприпасу із бронепанелями корпусу ЛБМ, або ударно-хвильового навантаження (надлишковий тиск у фронті ударної хвилі), або напруженно-деформований стан бронекорпусів ЛБМ при дії динамічних та імпульсних зусиль тощо. Таким чином, попри збереження описанної вище структури досліджень, окремі їхні етапи можуть змінюватися. Відповідно, зазнають змін також і математична та числова моделі процесів і станів, які протікають або установлюються в елементах ЛБМ, ті чи інші характеристики захищеності (залежно від типу боєприпасу, походження та властивостей ударної хвилі (залежно від джерела виникнення та умов розповсюдження) тощо). Проте модульна структура роботи створюваного програмного комплексу, яка

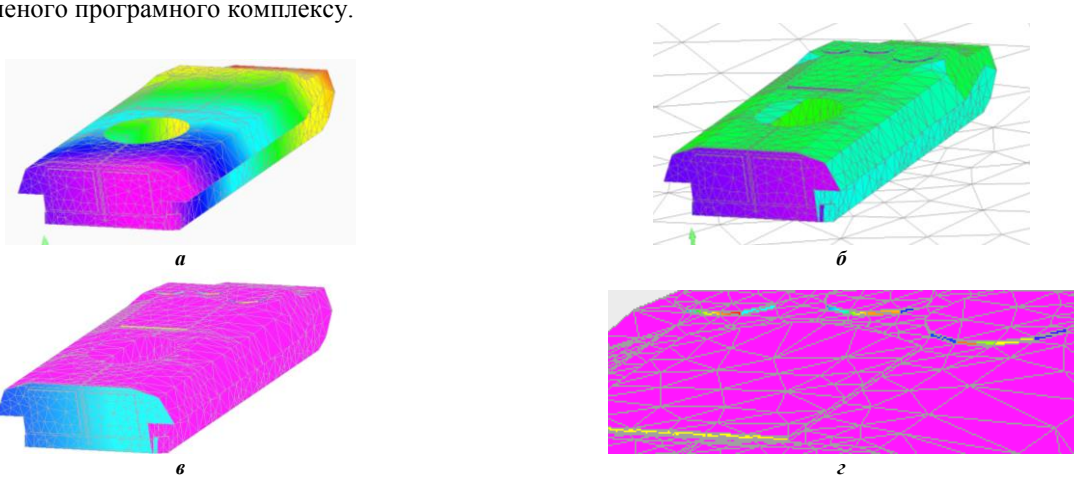
природнім чином випливає їх поетапної структури досліджень, забезпечує оперативне переналаштування на певне коло тих чи інших задач.

## Результати числового моделювання

Для розв'язання поставлених у роботі задач створено спеціалізований програмний комплекс, який був апробовано на низці тестових прикладів. Зокрема, на рис. 4-8 наведені ілюстровані матеріали аналізу захищеності бронекорпусів із використанням розробленого програмного комплексу.

Таким чином, розроблений СПМК на поточний час дозволяє проводити оцінку впливу варіювання проектно-технологічних параметрів на низку критеріїв пов'язаних з тактико-технічними характеристиками захищеності щодо наступних вражаючих чинників: потужні вибухи та ураження стрілецькою зброєю.

Як показує аналіз одержаних результатів, для тестових конструкцій бронекорпусів забезпечується можливість проведення повноцінного аналізу процесів, що відбуваються при різних проектних параметрах та характеристиках засобів ураження.

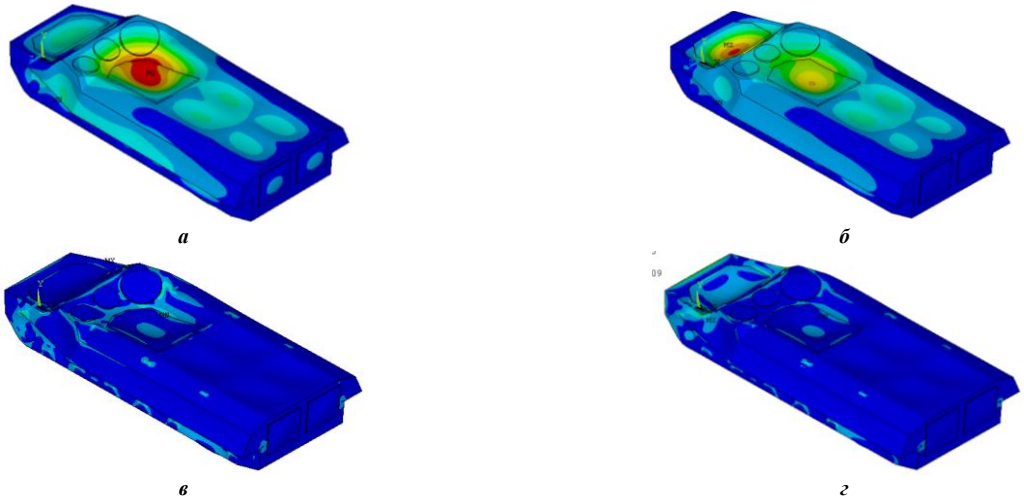


*а* *б* *в* *г*

*Рис. 4 – Результати розрахунку параметрів пробиття корпусу МТ-ЛБ з конкретної точки простору: а – дальність польоту кулі; б – кут зустрічі корпусу з кулею; в – можливість пробиття всього корпусу; г – можливість пробиття фрагменту корпусу*

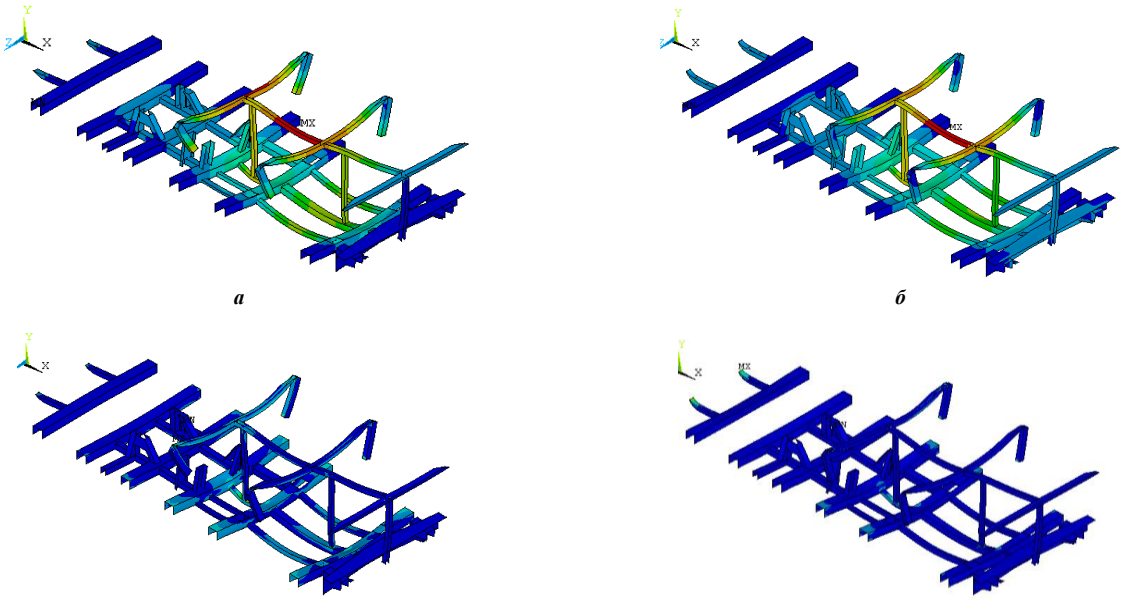
*а* *б*

*Рис. 5 – Діаграми небезпечності точок на карті для ЛБМ, в залежності від розподілу товщин бронелистів: а – монотовщина; б – реальний розподіл*



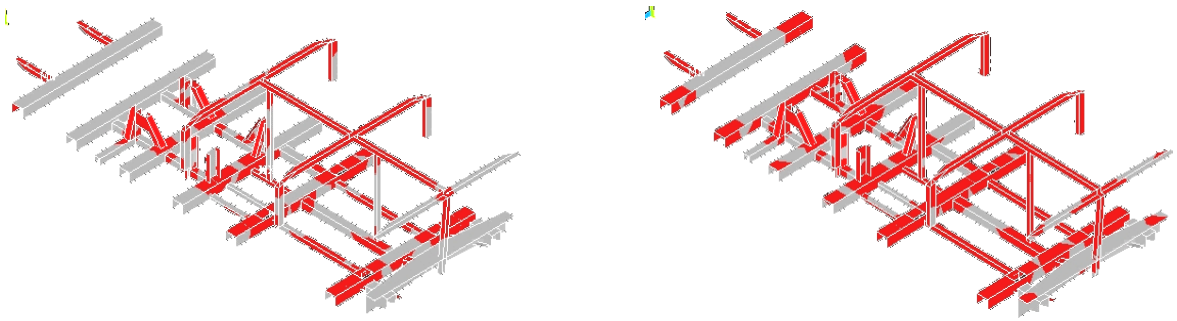
*а* *б* *в* *г*

*Рис. 6 – Картини розподілу НДС для корпусу МТ-ЛБ при різних потужностях ударної хвилі*



*а* *б* *в* *г*

*Рис. 7 – Картини розподілу НДС для силової структури МТ-ЛБ при різних потужностях ударної хвилі*



*а* *б*

*Рис. 8 – Картини зон пластичного деформування в силовій структурі МТ-ЛБ при різних потужностях ударної хвилі*

## Висновки

Основними висновками за роботою є те, що запропонована у ній структура досліджень забезпечує гнучкий, оперативний та точний аналіз процесів та станів, які виникають в елементах легкоброньованих машин, при варіюванні і проектно-технологічних параметрів, і характеристик засобів ураження, і умов бойового застосування ЛБМ. Тим самим забезпечується розв'язання задач синтезу, тобто визначення таких проектних рішень, які забезпечують задані ТТХ захищеності. Зокрема, ці розробки реалізовані для забезпечення захищенності ЛБМ за рахунок обґрунтування варіантів проектно-технологічних параметрів бронекорпусів ЛБМ під дією ударно-контактних, ударно-хвильових, динамічних та імпульсних зусиль у вигляді спеціалізованого програмного комплексу. Надалі планується розширення області застосування розробленої технології досліджень на нові об'єкти

### Список літератури

**1. 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, О.В. Мартиненко** // Перспективи науково-технологічного забезпечення оборонно-промислового комплексу України: Інформаційно-комунікативний захід (Київ, 22-23 вересня 2015). – К.: ТОВ "Міжнародний виставковий центр", 2015. – С. 234–238.

**2. 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 (Київ, вересень 2015 р.). – К.: ТОВ "Міжнародний виставковий центр", 2015. – С. 8–13.

3. **Ткачук Н.А.** Теоретичні основи та практика проектно-технологічного забезпечення тактико-технічних характеристик бойових броньованих машин / **М.А. Ткачук, О.І. Шейко, А.В. Набоков, А.В. Грабовський, О. В. Литвиненко** // Перспективи науково-технологічного забезпечення оборонно-промислового комплексу України: Інформаційно-комунікативний захід (Київ, вересень 2016 р.). – К.: ТОВ "Міжнародний виставковий центр", 2016.

4. **Веретельник О.В.** Динамические процессы в элементах военных колесных и гусеничных машин при боевом применении / **О.В. Веретельник, О.В. Мартиненко, Ю.В. Костенко, А.В. Набоков, І.В. Мазур** // Перспективи науково-технологічного забезпечення оборонно-промислового комплексу України: Інформаційно-комунікативний захід (Київ, вересень 2016 р.). – К.: ТОВ "Міжнародний виставковий центр", 2016.

5. **Васильєв А.Ю.** Обгрунтування структури та параметрів бронекорпусів легкоброньованих машин за критеріями захищеності / **А.Ю. Васильєв, А.Ю. Танченко, М.М. Ткачук, Н.Б. Скріпченко, Я.М. Лісовол** // Перспективи науково-технологічного забезпечення оборонно-промислового комплексу України: Інформаційно-комунікативний захід (Київ, вересень

2016 р.). – К.: ТОВ "Міжнародний виставковий центр", 2016.

***Bibliography (transliterated)***

1. **Vasyl'yev A.Yu.** Metody zabezpechennya taktyko-tekhnichnykh kha-rakterystyk viys'kovykh husenychnykh i kolisnykh mashyn na etapi proekt-nykh doslidzhen' / **A.Yu. Vasyl'yev, M.M. Tkachuk, A.Yu. Tanchenko, O.V. Martynenko** // Perspektyvy naukovo-tekhnolohichnoho zabezpe-chennya oboronno-promyslovoho kompleksu Ukrayiny: Informatsiyno-komunikatyvnyy zakhid (Kyiv, 22-23 veresnya 2015). – Kyiv: TOV "Mizhnaro-dnyy vystavkovyy tsentr", 2015. – P. 234–238.

2. **Chepkov I.B.** Osnovni napryamy rozvytku ozbroyennya i viys'-kovoyi tekhniky. Orhanizatsiyni i ekonomichni mekhanizmy derzhavnoyi pidtrymky oboronnoyi promyslovosti / **I.B. Chepkov** // Perspektyvy naukovo-tekhnolohichnoho zabezpechennya oboronno-promyslovoho kompleksu Ukrayiny: Informatsiyno-komunikatyvnyy zakhid (Kyiv, veresen' 2015 r.). – Kyiv: TOV "Mizhnarodnyy vystavkovyy tsentr", 2015. – P. 8–13.

3. **Tkachuk M.A.** Teoretychni osnovy ta praktyka proektno-tekhnolohichnoho zabezpechennya taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk boyovykh bron'ovanykh mashyn / **M.A. Tkachuk, O.I. Sheyko, A.V. Nabokov, A.V. Hrabovs'kyy, O. V. Lytvynenko** // Perspektyvy naukovo-tekhnolohichnoho zabezpechennya oboronno-promyslovoho kompleksu Ukrayiny: Informatsiyno-komunikatyvnyy zakhid (Kyiv, veresen' 2016 r.). – Kyiv: TOV "Mizhnarodnyy vystavkovyy tsentr", 2016.

4. **Veretel'nyk O.V.** Dynamycheskye protsessы v эlementakh voennыkh kolesnыkh y husenychnыkh mashyn pry boevom prymenenyy / **O.V. Veretel'nik, O.V. Martinenko, Ju.V. Kostenko, A.V. Nabokov, I.V. Mazur** // Perspektyvy naukovo-tekhnolohichnoho zabezpechennya oboronno-promyslovoho kompleksu Ukrayiny: Info-rmatsiyno-komunikatyvnyy zakhid (Kyiv, veresen' 2016 r.). – Kyiv: TOV "Mizhnarodnyy vystavkovyy tsentr", 2016.

5. **Vasyl'yev A.Yu.** Obhruntuvannya struktury ta parametriv bronekorpusiv lehkobron'ovanykh mashyn za kryteriyamy zakhyshchenosti / **A.Yu. Vasyl'yev, A.Yu. Tanchenko, M.M. Tkachuk, N.B. Skripchenko, Ya.M. Lisovol** // Perspektyvy naukovo-tekhnolohichnoho zabezpechennya oboronno-promyslovoho kompleksu Ukrayiny: Informatsiyno-komunikatyvnyy zakhid (Kyyiv, veresen' 2016 r.). – K.: TOV "Mizhnarodnyy vystavkovyy tsentr", 2016.

*Поступила (received) 10.10.2016*

***Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions***

Обґрунтування структури та параметрів бронекорпусів легкоброньованих машин за критеріями захищеності шляхом комп'ютерного моделювання процесів і станів при дії засобів ураження / **А.Ю. Васильєв, А.Ю. Танченко, М.М. Ткачук, Н.Б. Скріпченко, Я.М. Лісовол** // Вісник НТУ "ХПИ". Серия: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ "ХПІ", 2016. – № 39 (1211). – С. 39-44. – Бібліогр. 5 назв. –ISSN 2079-0775.

Обоснование структуры и параметров бронекорпусов легкобронированной машин по критерию защищенности путем компьютерного моделирования процессов и состояний при действия средств поражения/ **А.Ю. Васильев, А.Ю. Танченко, Н.Н. Ткачук, Н.Б. Скрипченко, Я.Н. Лисовол** // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Машиноведение и САПР. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2016. – 39 (1211). – С. 39-44. – Библиогр. 5 назв. – ISSN 2079-0775.

The definition of structure and parameters of light-armored vehicle body FOR maximising its protection criteria by computer-aided modelling of processes and reactions during different ways of its defeat / **A. Vasiliev, A. Tanchenko, M. Tkachuk, N. Skripchenko, Ya. Lisovol** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Engineering and CAD. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No 39 (1211). – P. 39–44. – ISSN 2079-0775.

***Відомості про авторів / About the Authors***

***Васильєв Антон Юрійович*** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", докторант кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", Харків; тел.: (057) 707-69-01; e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org.

***Vasiliev Anton*** – Ph.D., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", doctorante at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, Kharkiv; tel.: (057) 707-69-01; e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org.

***Танченко Андрій Юрійович***– кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", докторант кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", Харків; тел.: (057) 707-69-01; e-mail: ATanchenko@tmm-sapr.org.

***Tanchenko Andrii*** – Ph.D., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", doctorante at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, Kharkiv; tel.: (057) 707-69-01; e-mail: ATanchenko@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", Харків; тел.: (057) 707-69-01; e-mail: mikolei@rambler.ru.

***Tkachuk Mykola*** – Ph.D., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", doctorante at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, Kharkiv; tel.: (057) 707-69-01; e-mail: mikolei@rambler.ru.

***Скріпченко Наталія Борисівна*** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", молодший науковий співробітник кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", Харків; тел.: (057) 707-65-34; e-mail: natalia.skripchenko@ntu.kharkiv.edu.

***Skripchenko Nataliia*** – Ph.D., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", junior researcher at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, Kharkiv; tel.: (057) 707-65-34; e-mail: natalia.skripchenko@ntu.kharkiv.edu.

***Лісовол Яна Миколаївна*** – викладач – стажист, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", кафедра "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", Харків; тел.: (057) 707-69-01; e mail: yana.lisowol@yandex.ru.

***Lisovol Yana*** – teacher – stazhist , National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", the department "The theory and computer aided design of mechanisms and machines", Kharkiv, phone: +38 (057) 707-69-01; e-mail: yana.lisowol@yandex.ru.