

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ

ЦЕНТРАЛЬНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

УДК 623.438

РЕФЕРАТ
наукової роботи

ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРОТИМІННИХ СИДІНЬ
БОЙОВИХ БРОНЬОВАНИХ МАШИН

ДАВИДОВСЬКИЙ Леонід Сергійович – кандидат технічних наук, науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку озброєння та військової техніки бронетанкових, механізованих та аеромобільних військ управління розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України

Київ 2018

Актуальність теми досліджень. Аналіз бойових пошкоджень у воєнних конфліктах останніх десятиліть та бойовий досвід антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей (АТО) показує, що в той час коли броня машин забезпечує захист від стрілецької зброї, більша частина втрат припадає саме на підриви бойових броньованих машин (ББМ) на протитанкових мінах (ПТМ) та саморобних вибухових пристроях (СВП) (далі – мінно-вибухові пристрої (МВП)). Ця проблема стає актуальною в асиметричних бойових діях, де беруть участь незаконні збройні формування (НЗФ), які часто застосовують МВП. Досвід АТО показує, що ці засоби ураження представляють велику небезпеку для екіпажів, так як рівень захисту ББМ Збройних Сил України від них недостатній.

Сучасні технології дозволяють створювати корпуси ББМ, які здатні витримувати підриви на потужних МВП без пробиття. В такому випадку екіпаж залишається захищеним від вибухової ударної хвилі (УХ) та первинних факторів ураження. Тоді основним уражаючим фактором залишається так званий "ефект метання" викликаний великим прискоренням ББМ. Підвищити локальний захист екіпажу можливо за рахунок застосування сидінь, які поглинатимуть частину енергії, що передається від корпусу. Тому обґрунтування раціональних параметрів конструкції протимінного сидіння ББМ є важливим завданням при створенні чи модернізації ББМ.

Отже, **актуальність досліджень** обумовлюється наступними обставинами: по-перше - МВП широко застосовуються в сучасних воєнних конфліктах у тому числі й в АТО; по-друге - ЗС України не мають на озброєнні достатньо захищених зразків ББМ від цих засобів ураження; по-третє - спостерігаються великі втрати особового складу від підривів ББМ на МВП.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження безпосередньо пов'язані з науково-дослідними (НДР) та дослідно-конструкторськими роботами (ДКР) з розробки перспективних та модернізації існуючих зразків ББМ, що проводяться відповідно до Державної цільової оборонної програми розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України до 2020 року та планами наукової та науково-технічної діяльності Збройних Сил України. До них належать НДР шифри «Швидкість-Б», «Перспектива-ПМЗ», «Кремій-ПМ», «Сталь-СВ», «Корона» та ДКР шифри «БТР-3К», «Козак-2М», «Варта» замовником яких є Департамент військово-технічної політики, розвитку озброєння та військової техніки Міністерства оборони України.

Мета роботи - підвищення захищеності екіпажів бойових броньованих машин шляхом обґрунтування раціональних параметрів конструкції протимінних сидінь.

Об'єкт дослідження – динамічна реакція системи "людина-сидіння" на дію вибухового навантаження.

Предмет дослідження – вплив значень параметрів конструкції протимінного сидіння на імовірність та ступінь тяжкості травмування екіпажу при підриві ББМ.

Методи дослідження - методи математичного та імітаційного моделювання, планування експерименту, теорія подібності та метод скінченних елементів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в подальшому розвитку методів оцінки та оптимізації характеристик системи "людина-сидіння" при підриві ББМ на МВП, а саме:

- розроблено математичну модель числового рішення задачі визначення вибухового навантаження екіпажу, яка на відміну від існуючих аналітичних математичних моделей дозволяє враховувати складну геометрію конструкції ББМ та

функцію дисипації енергії вибуху, а також враховувати тип, форму та кількість вибухової речовини (ВР).

- розроблено методику обґрунтування раціональних параметрів конструкції протимінного сидіння ББМ, яка *на відміну від існуючих* враховує особливості вибухового навантаження складної геометрії корпусу ББМ і дозволяє провести оцінку імовірності та ступеню тяжкості ураження екіпажу за критерієм травмування хребта людини на етапі проектування та провести розрахунок і оптимізацію основних параметрів енергопоглинаючого елемента (ЕПЕ) протимінного сидіння;

- отримано нові експериментальні результати щодо кількісних і якісних залежностей між ефективністю роботи ЕПЕ з різними геометричними розмірами, з різною формою профілю з різних матеріалів та виявлені особливостей їх деформування;

- розроблено пропозиції щодо реалізації результатів дослідження для перспективних зразків ББМ.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх застосування під час обґрунтування вимог та оцінки конструктивних рішень для підвищення рівня локального захисту екіпажу сучасних і перспективних зразків ББМ включаючи етапи початкового проектування. Практичне значення отриманих результатів підтверджується відповідними актами реалізаціями.

За темою роботи опубліковано 36 наукових праць (з них 12 статей, 1 Військовий стандарт, 4 звіти про теоретичну оцінку протимінної стійкості ББМ "Тритон", "Варта", "БТР-60" та "Барс-8", 16 тез доповідей, 1 патент на корисну модель та 2 авторських наукових творах, а також додатково відображені у 5 звітах про НДР.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Проведений аналіз бойових втрат ББМ та особового складу (о/с) у воєнних конфліктах останніх десятиріч та в ході АТО показує, що основну загрозу в сучасних умовах збройної боротьби становлять МВП. Починаючи з Другої Світової війни і закінчуючи бойовими діями в Іраку, частка втрат ББМ від цих засобів ураження зростає з 18% до понад 80%. Підтвердженням такої тенденції є досвід АТО, де в умовах "режиму припинення вогню" міни та фугаси використовуються все частіше. У зв'язку з обмеженнями по застосуванню боєприпасів великого калібру, бойові дії на Донбасі набули характеру "мінної війни". Ці обставини підтверджують актуальність роботи.

Для визначення рівня загрози що йде від МВП, проведено аналіз наявних ПТМ, класифіковано їх за різними категоріями та встановлено масштаби застосування у воєнних конфліктах та АТО. Найбільш ймовірну загрозу для ББМ представляють ПТМ обладнанні контактним підривачем (74%) та з фугасним уражаючим фактором (59%) з середньою масою ВР в ТНТ еквіваленті близько 7 кг. Ці дані відповідають оперативній інформації від груп розмінування в зоні АТО, де НЗФ масово застосовуються міни радянського виробництва сімейства "ТМ" з механічним приводом ініціювання, фугасної дії і масою ВР 6-8 кг.

Проведено аналіз механогенезу травмування екіпажу при підриві ББМ на МВП і встановлено, що пошкодження організму людини за таких умов має комплексний характер травмування. Найбільш вразливими до дії вибухових навантажень є дорсальна частина тіла (голова, шия, хребет) та нижні кінцівки.

Проведено аналіз напрямів вдосконалення протимінного захисту (ПМЗ) ББМ. Сидіння екіпажу є елементом конструкції ББМ, що сприймає вибухове навантаження та передає його на організм людини. Конструкція та параметри сидіння визначають значення отриманих людиною перевантажень внаслідок підриву. Проведено аналіз

конструкцій сидінь вітчизняних зразків ББМ та їх порівняння з протимінними сидіннями провідних компаній з розробки ББМ. За результатами аналізу встановлено, що сидіння вітчизняних ББМ мають відносно примітивну конструкцію та монтаж, що у випадку підриву ББМ на МВП не лише не захистить екіпаж, а й можуть спричинити додаткове ураження. Така невідповідність зумовлена відсутністю елементарних вимог до протимінних сидінь, так як основу напрацювань щодо сидінь ББМ складають застарілі стандарти, які не відповідають сучасним вимогам, не враховують реакцію сидіння і організму людини на дію вибухового навантаження, а передбачають лише певні вимоги по ергономіці.

Отже, виникає *протиріччя* між необхідністю підвищення локального захисту та неможливістю за допомогою існуючого науково-методичного апарату обґрунтувати раціональні параметри конструкції протимінного сидіння, так як в *практиці* – спостерігаються великі втрати о/с від підривів ББМ на МВП, а у *теорії* – відсутня методика розрахунку реакції протимінного сидіння на дію вибухового навантаження.

На основі проведеного аналізу механогенезу травмування екіпажу ББМ при підриві на МВП та відомих даних щодо стійкості організму людини до ударних навантажень обґрунтовано критерії травмування екіпажу ББМ при вибуховому навантаженні. Узагальнено медико-технічні вимоги, використання яких сприятиме проведенню детальнішої оцінки ефективності впровадження технічних рішень. Для оцінки травмування хребта при вертикальних навантаженнях використовується DRI (англ. *Dynamic Response Index*) - індекс динамічної реакції по вертикальній осі. Хребет людини можна представити у вигляді механічної системи, що складається з маси, демпфера і пружного елемента (рис.1.). DRI визначається за виразом (1).

$$DRI = \frac{\omega^2 \delta}{g}, \quad (1)$$

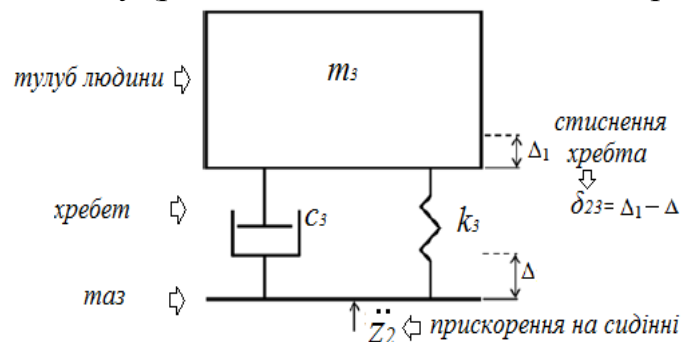


Рис.1.
Механічна система,
еквівалентна хребту
людини

де, *DRI* – індекс динамічної реакції хребта, допустиме значення $DRI \leq 17,7$, що відповідає 10% ймовірності травмування, при чому вертикальне прискорення $\ddot{z}_2(t)$ становить не $>14,5g$; δ – відносне переміщення при максимальному значенні $\ddot{z}_2(t)$. Рух цієї системи описується рівнянням (2).

$$\ddot{z}_2(t) = \ddot{\delta} + 2\zeta\omega\dot{\delta} + \omega^2\delta, \quad (2)$$

де, $\zeta = \frac{c}{2m\omega}$ – коефіцієнт демпфування; $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ – частота коливань тіла людини; значення $\zeta = 0,224$, m - середня маса верхньої частини тіла, k - жорсткість хребта, c - коефіцієнт в'язкого тертя хребта.

На основі медико-технічних вимог та критеріїв травмування сформовані вимоги до протимінних енергопоглинаючих сидінь ББМ, основними з яких є забезпечення допустимих значень перевантажень екіпажу. Обґрунтовано параметри елементів конструкції сидіння, що відповідають антропометричним, фізіологічним та психологічним даним людини з врахуванням мінімізації статичної роботи м'язів. Враховуючи особливості вибухового навантаження системи "людина-сидіння" розроблено модель протимінного енергопоглинаючого сидіння ББМ (рис.2 а,б).

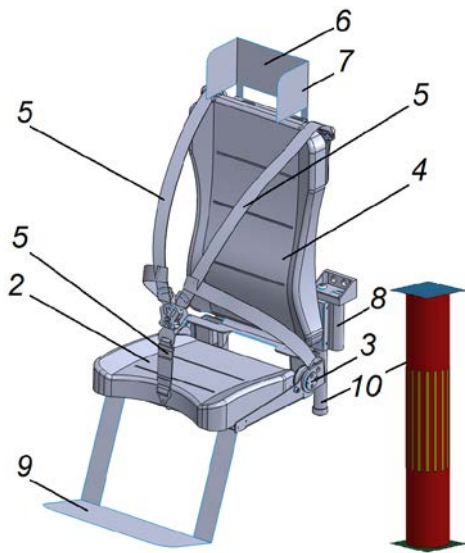
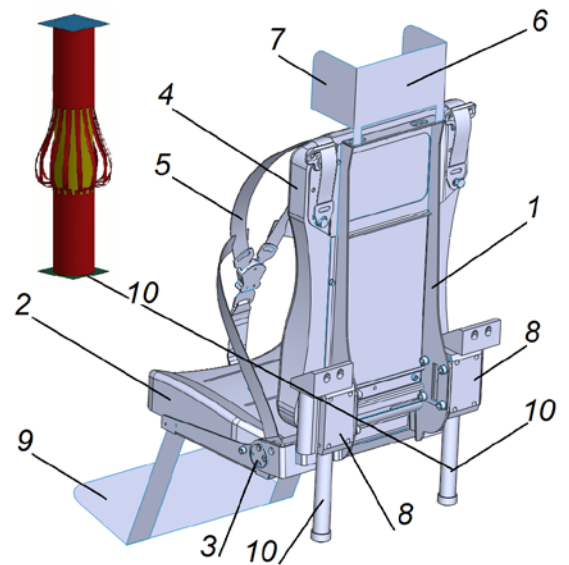


Рис. 2.
 Модель протимінного сидіння з варіантами ЕПЕ:
 1 - каркас; 2- опорна поверхня; 3 - система фіксації та регулювання; 4 - спинка; 5 - ремені безпеки; 6 - підголівник; 7 - бокові упори; 8 - направляючий механізм задавання руху сидіння; 9 - підставка для ніг; 10 - системи поглинання енергії



Але головним є не конструкція сидінь, а встановлення в місцях їх кріплення ЕПЕ, які виконують цільову функцію (ЦФ) роботи протимінного сидіння шляхом дисипації енергії вибуху. Через високу швидкість наростання навантаження, більшість існуючих ЕПЕ матимуть ефект запізнення і не спрацюють. З аналізу конструкцій ЕПЕ обрано крашбоксы, які поглинають енергію удару, спрямовану вздовж осі елемента, шляхом множинної деформації в передбаченій послідовності (рис. 2, п.10).

Розроблена математична модель з врахуванням можливих заходів щодо підвищення ПМЗ представлена на рис. 3.

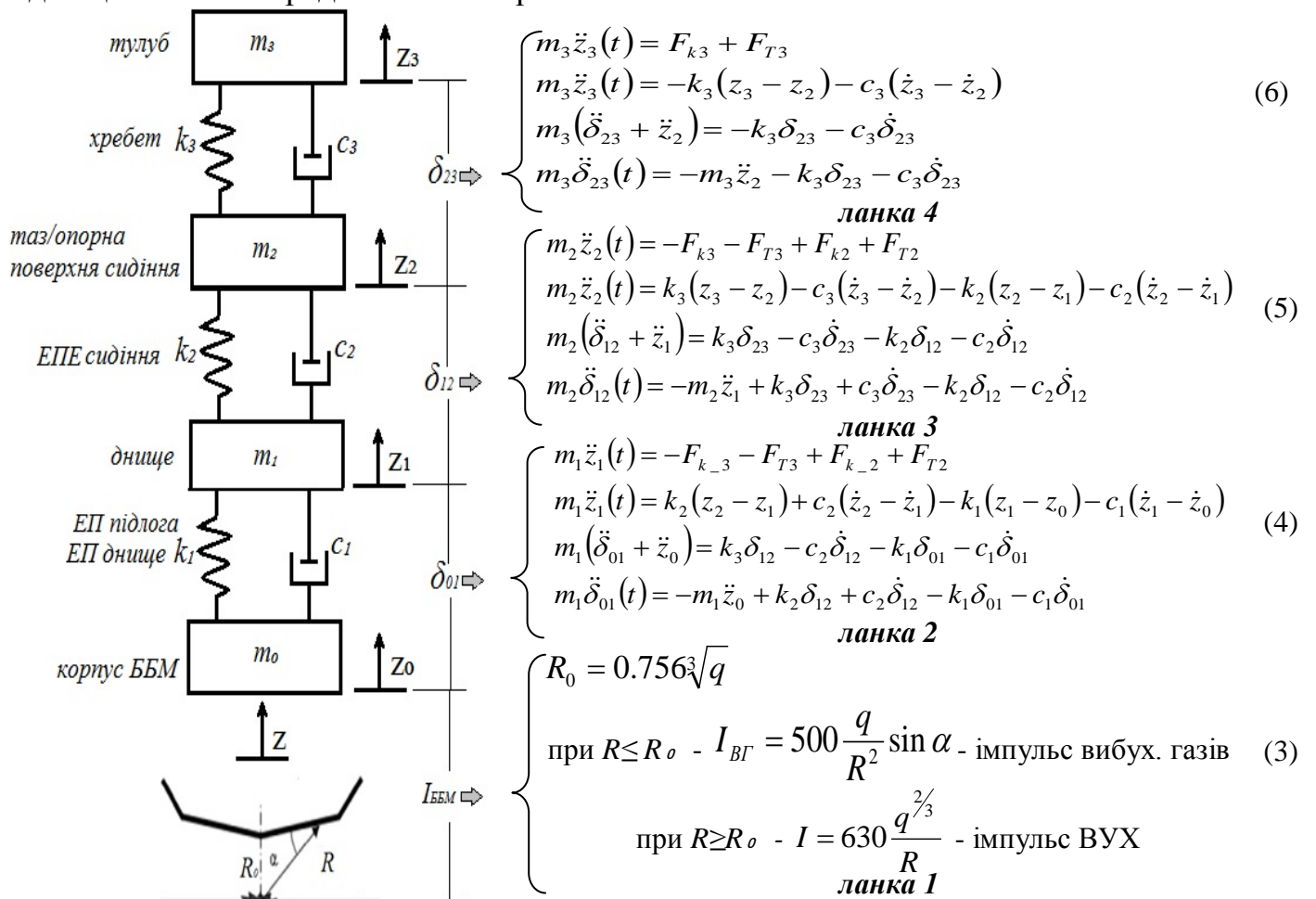


Рис. 3. Модель навантаження екіпажу з врахуванням впроваджених заходів підвищення протимінного захисту ББМ, де R_0 - характерна відстань при розміщенні МВП на поверхні землі; R - відстань (в м) від точки вибуху до точки контакту вибухових газів з конструкцією ББМ; q - потужність МВП (кг); α - кут зустрічі вибухових газів з днищем ББМ; k та c коефіцієнти жорсткості та в'язкого тертя хребта відповідно, ЕП - енергопоглинаюче.

Для більш детального опису моделі динамічної реакції системи "людина-сидіння", її умовно розділено на 4 ланки та формалізовано системою диференційних рівнянь Лагранжа 2 роду (3-6).

З систем рівнянь (3-6) видно, що кожна з ланок має свої окремі елементи з пружними та жорсткістними властивостями. Тому для визначення дисипативної функції, необхідно провести випробування демпфуючої здатності кожного елемента та кожної ланки окремо. Такі обставини не дозволяють з достатньою точністю оцінити навантаження екіпажу, а спростування демпфуючих властивостей елементів конструкції робить модель неприйнятно грубою. Ланка 4 на рис.3 - це модель еквівалентна хребту людини, де й визначається критерій травмування хребта *DRI*.

Щоб врахувати усі фактори показані на рис. 3, розроблена математична модель для числового рішення вибухового навантаження конструкції ББМ за допомогою інтегрованого програмно-модельного комплексу, яка враховує динамічне пружно-пластичне деформування кожного елемента системи та їх ударно-контактну взаємодію. Для реалізації числового рішення цієї задачі обраний пакет прикладних програм скінечно-елементного аналізу LS-DYNA. Вибухове навантаження в LS-DYNA моделювалось з застосуванням довільних лагранжево-ейлерових сіток (метод Логранжа-Ейлера - *англ. Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE)*). В основу цього підходу покладено рівняння стану Джонсона-Уілкінса-Лі (*англ. Jones-Wilkins-Lee*) (7).

$$p = A(1 - \frac{\omega}{R_1 V}) \exp\{-R_1 V\} + B(1 - \frac{\omega}{R_2 V}) \exp\{-R_2 V\} + \frac{\omega}{V} \bar{E}, \quad (7)$$

де $V = \rho_0 / \rho = v / v_0$ - відносний питомий об'єм; $A, B, C, R_1, R_2, \omega$ - емпіричні константи.

Метод ALE забезпечує умову спільності деформації, тоді як інші функції прискорення від часу не враховують локальні ефекти відбиття УХ та її "затінення". А для досягнення ЦФ дослідження необхідно визначити дисипацію частини енергії на шляху проходження її від корпусу до сидіння екіпажу. Крок інтегрування, що визначається розміром скінечних обирається за правилом Куранта-Фредрикса-Леві.

На основі проведених теоретичних досліджень, розроблено методику обґрунтування раціональних параметрів конструкції протимінного сидіння. Методика включає в себе три етапи. На першому - визначається вибухове навантаження, на другому - ефективність роботи обраного ЕПЕ, на третьому - ступінь пошкодження екіпажу за обраним критерієм та ефективність роботи протимінного енергопоглинаючого сидіння. В рамках методики розроблено новий алгоритм обґрунтування раціональних параметрів ЕПЕ, що за рахунок варіювання кількісними та якісними показниками дозволяє адаптувати його роботу під умови навантаження.

Для визначення навантаження в місцях кріплення сидінь проведено числовий експеримент підриву багатоцільового тактичного автомобіля "КОЗАК-2" (далі - БТА "КОЗАК-2"). Адекватність розробленої числової математичної моделі була оцінена шляхом порівняння результатів розрахунку з натурним експериментом зразка (рис.4). Розбіжність результатів моделювання з експериментом лише в періодах коливань, а пікові значення прискорень мають високу збіжність. Відносна похибка отриманих прискорень на сидінні екіпажу становить 8,5 %, де з осцилограми отриманої при підриві, пікове прискорення становить 28,5g, час його дії 1,8 мс, а розрахункове максимальне значення прискорення 31g за 1,5мс (рис. 4в).

Спосіб закріплення сидіння та фіксація прискорення на ньому в моделі відповідає натурному зразку (рис.5). Після перевірки достовірності результатів числового експерименту, було визначено розрахункове значення прискорення в місці

кріплення сидіння та проведено дослідження ЕПЕ, що зазнає впливу такого прискорення.

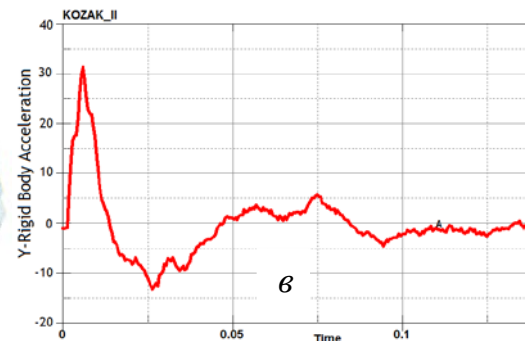
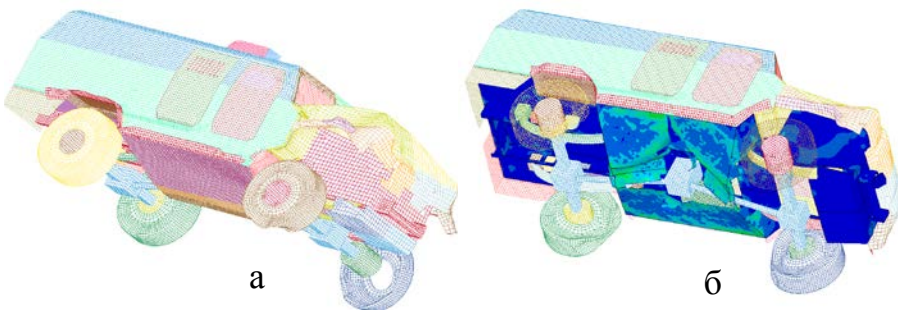


Рис. 4. Підрив БТА "КОЗАК-2": а - зразок після підриву заряду ВР під колесом; б - зразок після підриву заряду ВР під днищем; в - прискорення в місці кріплення сидіння екіпажу (зверху - результати отримані при натурному підриві зразка, знизу - результати числового експерименту)

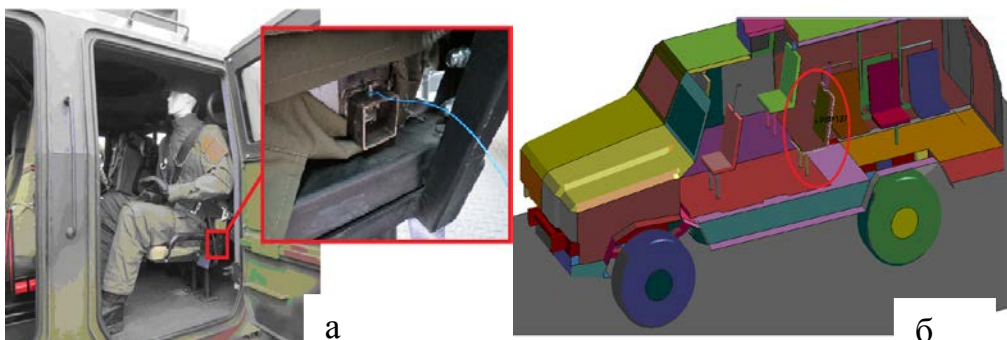


Рис. 5. Фіксація прискорення на сидінні екіпажу БТА "КОЗАК": а – місце встановлення акселерометра при натурному підриві; б – місце фіксації в розрахунковій моделі.

Через амплітудно-частотні характеристики значень прискорення яке прикладається, в ЕПЕ будуть виникати ефекти інерції. Тоді прогресивна втрата стійкості, що передбачає послідовне утворення заглибин та виступів вздовж ЕПЕ може розвиватись різними режимами деформації, так як поширення хвиль напруження в ЕПЕ відбувається по всій його довжині (рис.6.)



Рис. 6. Режими деформації при прогресивній втраті стійкості ЕПЕ:
1 – вісесиметричний,
2 – невісесиметричний,
3 – вигин, 4 – змішаний

Очевидно, що значно більше енергії поглинається в режимі вісесиметричної деформації, ніж в режимі глобального вигину, бо за таких умов більша кількість матеріалу бере участь у пластичній деформації. Крок зон пластичних деформацій також залежить від геометрії профілю, тому для порівняння здатності ЕПЕ поглинати енергію було обрано 6 різних варіантів: круглий; квадратний; прямокутний; шестигранний; восьмигранний і еліпс. Умови навантаження, матеріал та периметр основи профіля були однаковими в усіх розрахунках.

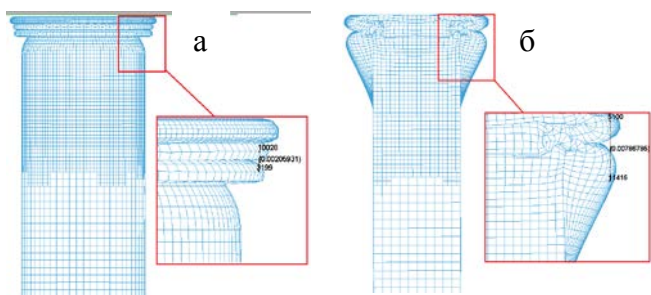


Рис. 7. Крок зон пластичних деформацій:
а- круглий профіль; б- прямокутний

Кращі показники енергоємності показали восьмигранний, шестигранний та круглий профілі. Результати числового експерименту пояснюються тим, що у восьмигранному, шестигранному та круглому профілях поля напруження розподіляються по всьому периметру, що забезпечує їх вісесиметричну прогресивну втрату стійкості, тоді як у профілів з прямокутником та еліпсом в основі, зони пластичних деформацій значно більші, так як їх сторони невісесиметричні (рис. 7, 8).

Суттєвий вплив на ефективність роботи ЕПЕ має вибір матеріалу. Для проведення порівняння обрано чотири різних матеріали (рис.9, 10).

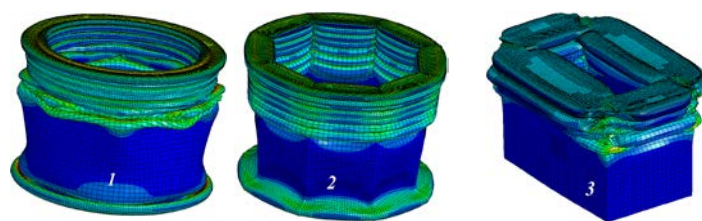


Рис. 8. Поля напруження та зони пластичних деформацій круглого (1), восьмигранного (2) та прямокутного (3) профілів

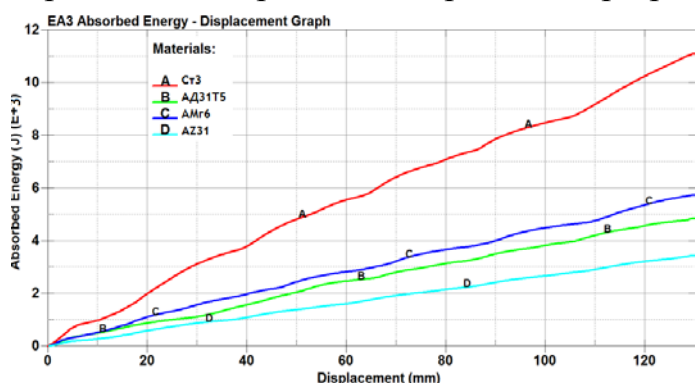


Рис. 9. Залежність поглиненої енергії від деформації ЕПЕ з восьмигранним профілем з різних матеріалів

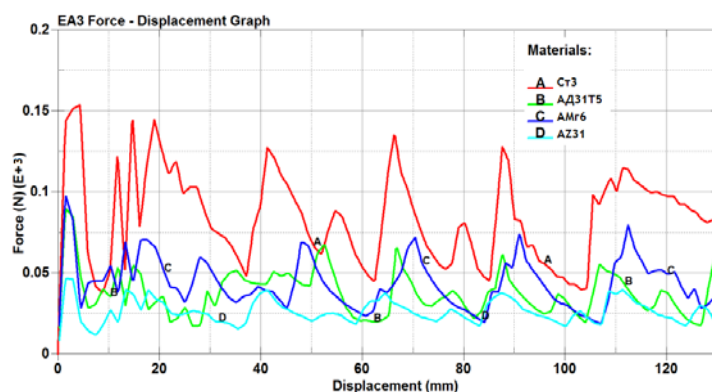


Рис. 10. Залежність сили спрацювання від робочого ходу ЕПЕ з восьмигранного профілю з різних матеріалів

З проведеного структурного та параметричного синтезу обрано варіанти ЕПЕ з кращими характеристиками для експериментальних досліджень.

В процесі виготовлення оболонкових деталей їх фізико-механічні властивості можуть дещо відрізнятись від номінальних. Зразки для випробувань виготовлені методом екструзії, тому для уточнення параметрів моделі матеріалу ЕПЕ в числовому експерименті, проведено їх визначення (рис. 11).



Рис.11. Випробувальна машина ViSS-100:
а - загальний вигляд; б і в - зразки до і після

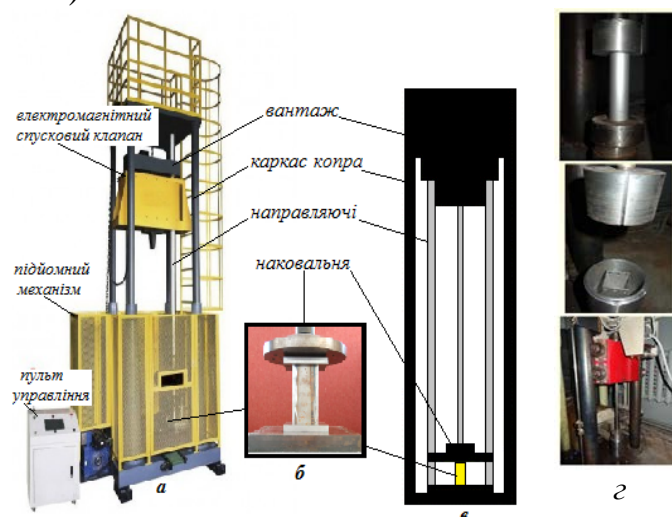


Рис. 12. Експериментальна установка ВК-2 (а),
б,г - встановлення зразка; в - функціональна схема

Для перевірки числової моделі деформування ЕПЕ під дією навантаження проведено фізичний експеримент на вертикальному копрі з вільно падаючим вантажем ВК-2 (рис.12). З розрахункової числової моделі підриву БТА "КОЗАК" результуюча максимальна швидкість на елементах кріплення сидіння екіпажу становила до 6 м/с. Імітація швидкості вибухового навантаження при деформуванні ЕПЕ здійснювалась за рахунок зміни маси вантажу та висоти його падіння. Тоді, за законом збереження енергії, при падінні вантажу масою 72 кг з висоти 2 м швидкість становитиме 6,26 м/с:

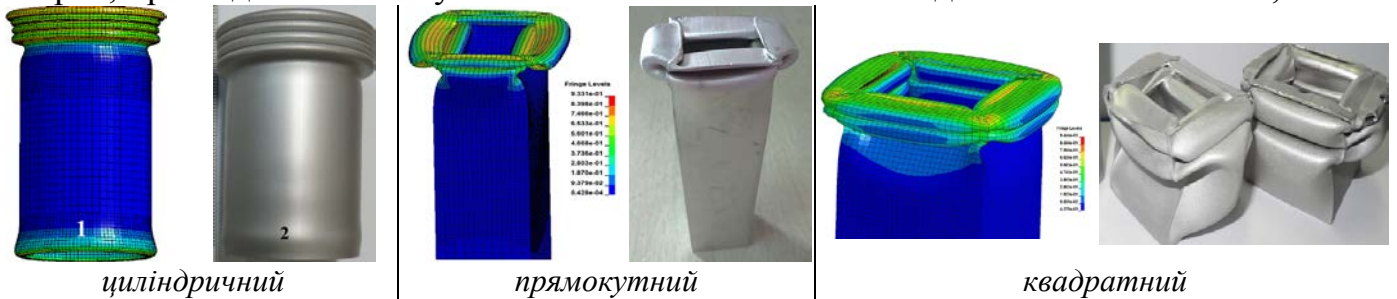


Рис.13. Порівняння результатів числового моделювання навантаження ЕПЕ з результатом фізичного експерименту різних профілів, при $v=6,264$ м/с

Експериментальні дослідження проведені на основі ортогонального планування експерименту, що дозволило побудувати рівняння регресії деформації ЕПЕ:

$$Y(x_1, x_2) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{11} \cdot (x_1)^2 + b_{22} \cdot (x_2)^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2. \quad (8)$$

За допомогою рівняння регресії, отриманого на основі ортогонального планування побудовано поверхню відгуку і лінії рівня (див. презентаційні матеріали).

За результатами параметричного синтезу ЕПЕ встановлено, що для круглого профілю при відношенні діаметра до товщини стінки в діапазоні до 50 ($d/b < 50$) деформація відбувається вісесиметрично з колом в основі, тоді як при $d/b > 80$ циліндр деформується невісесиметрично з трикутником в основі. Результати моделювання підтвердились натурним експериментом (рис. 14).



Рис. 14. Характер деформації ЕПЕ в залежності від співвідношення діаметра профілю до товщини його стінки (d/b): а - вісесиметричний. б - невісесиметричний

З використанням розробленої методики обґрунтування раціональних параметрів конструкції протимінного сидіння проведено порівняння рівня локального захисту та прогнозування ймовірності травмування екіпажу при підриві перспективного зразка ББМ для ЗС України з застосуванням енергопоглинаючого та штатного сидіння. На прикладі числової моделі підриву БТА "КОЗАК-2" (рис. 15) на зарядах ВР різної маси, проведено вибір раціональних параметрів ЕПЕ протимінного сидіння відповідно до розробленого алгоритму і отриманого в плані експерименту рівняння регресії. Порівняння результатів двох варіантів показали, що за допомогою розробленої методики можна зменшити навантаження екіпажу з 62g до 12g, тобто в 5 разів

порівняно з штатним сидінням, що зводить до мінімуму ймовірність травмування екіпажу (рис. 16).

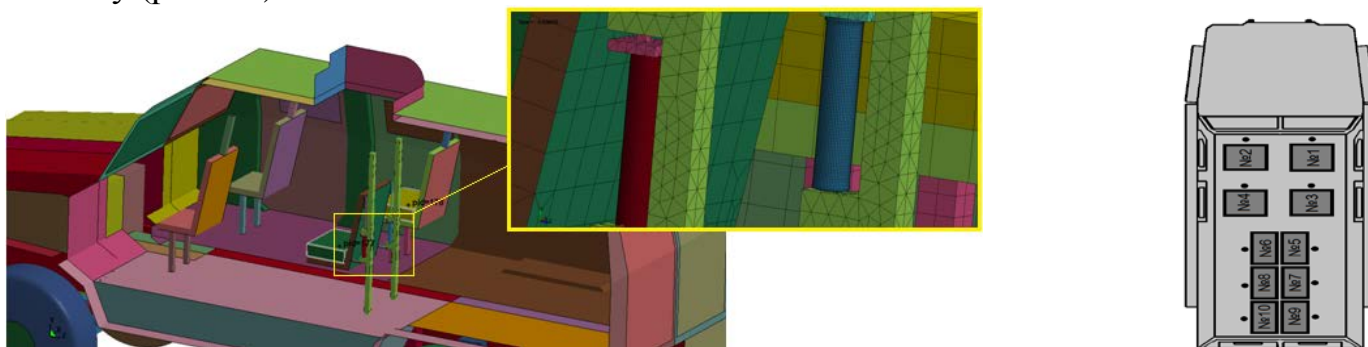


Рис.15. Скінечно-елементна модель енергопоглинаючого сидіння та схема їх нумерування

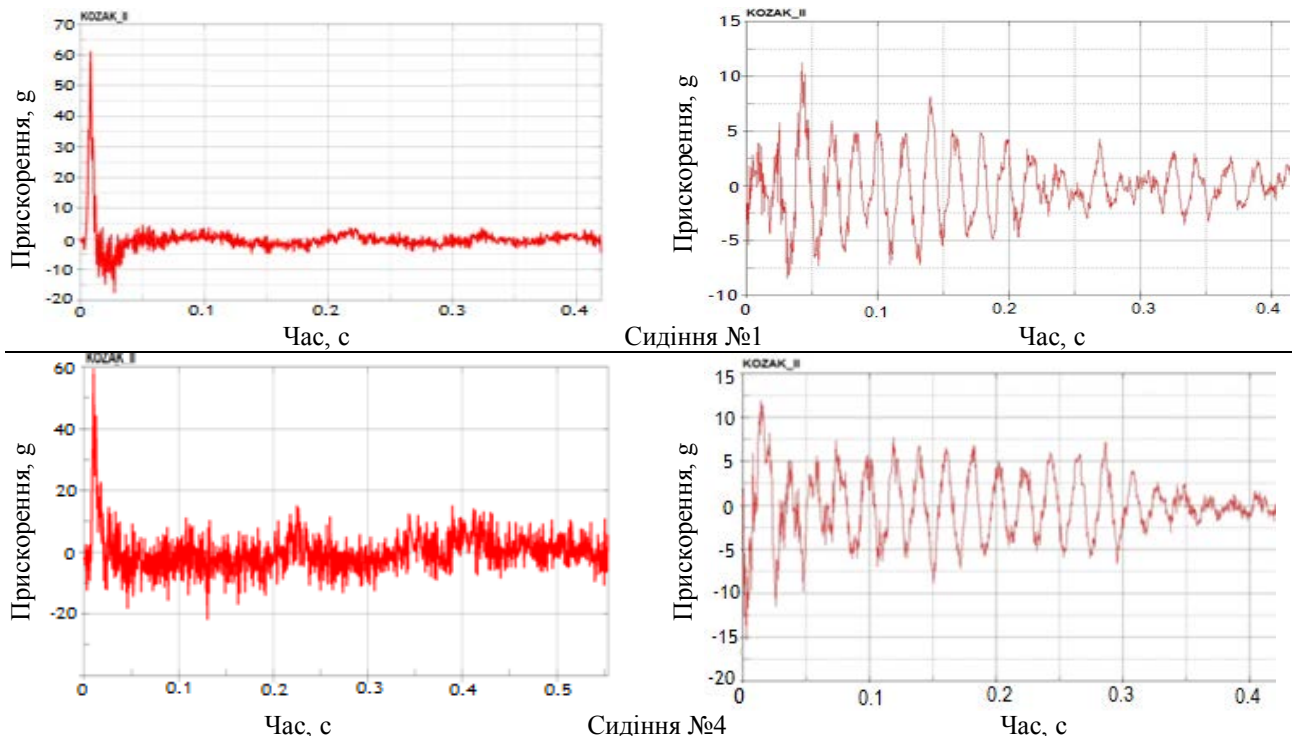
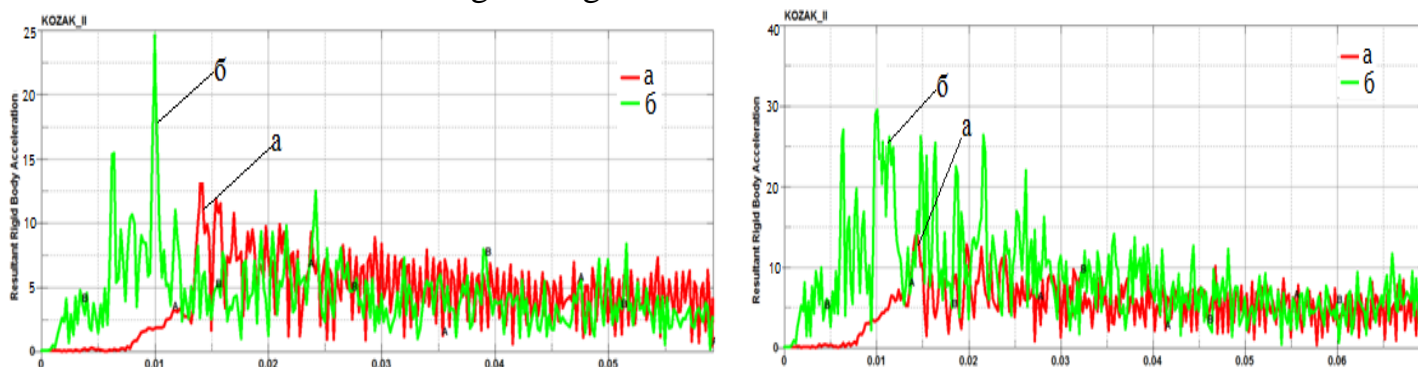


Рис. 16. Значення прискорень на сидіннях №1 та №4: ліворуч – штатний варіант сидіння; праворуч – конструкції сидіння з енергопоглинаючим елементом

На прикладі БТА "КОЗАК-2" показано, що за рахунок підсилення слабких місць в конструкції, виявлених при моделюванні підриву заряду ВР масою 8 кг та з застосуванням розробленого алгоритму вибору раціональних параметрів ЕПЕ, вдалося зменшити навантаження з 90g до 13g.



Результуюче прискорення на сидінні №1

Результуюче прискорення на сидінні №4

Рис. 17. Значення прискорення на сидінні №1 та №4 при підриві БТА "КОЗАК-2" на заряді ВР масою 8 кг в ТНТ: а – з ініціаторами деформації ЕПЕ; б – без ініціаторів деформації ЕПЕ.

Зменшити пікове навантаження спрацювання вдалося за умови застосування в ЕПЕ ініціаторів деформації, при цьому значення прискорення на сидінні №1 і №4

становило 13g і 14g, що відповідає ймовірності травмування хребта людини менше 10%. Отже, обґрунтування раціональних параметрів конструкції протимінних сидінь БМ з застосуванням запропонованого методичного апарату дозволяє забезпечити необхідний рівень захисту екіпажів вітчизняних БМ, що відповідає сучасному рівню розвитку світових аналогів в частині протимінного захисту.

ВИСНОВКИ

В науковій роботі вирішене актуальне і важливе науково-практичне завдання, яке полягає у розробці методики обґрунтування раціональних параметрів конструкції протимінного сидіння БМ. Розроблені математичні моделі, типова методика та алгоритм оптимізації параметрів енергопоглинаючого сидіння БМ є досягненням поставленої мети роботи. Окрім визначеної у вступі реферату наукової новизни, отримані основні наукові та практичні результати полягають у наступному:

1. Обґрунтовано необхідність вдосконалення науково-методичного апарату щодо підвищення локального захисту екіпажу БМ при підриві на МВП.

2. Розроблено геометричну 3D модель конструкції протимінного енергопоглинаючого сидіння, яка може встановлюватись в новітні зразки БМ, а також передбачає можливість монтажу в існуючі зразки при їх модернізації.

3. Розроблена математична модель з використанням явної постановки методу скінченних елементів, реалізована в програмному комплексі LS DYNA дозволяє оцінити динамічну реакцію системи "людина-сидіння", враховувати тип, форму, кількість ВР, функцію дисипації енергії вибуху конструкцією БМ, виявити місця акумуляції УХ та концентрації полів напружень на корпусі та вжити заходів щодо їх підсилення на етапі проектування.

4. Розроблено науково-методичний апарат, який базується на апробованих та верифікованих натурним підривом моделях, на основі якого проведено порівняння ймовірності та ступеню травмування екіпажу БТА "КОЗАК" при підриві на зарядах ВР різної маси з використанням штатного сидіння та конструкції енергопоглинаючого сидіння. Ефективність запропонованого варіанту сидіння по відношенню до штатного підтвердилась зменшенням навантаження екіпажу з 62g до 12g та з 90g до 13g.

5. Економічний ефект від впровадження результатів наукової роботи у розробку та виробництво БТА "КОЗАК" оцінений підприємством-виробником НВО "Практика" у суму **1 млн.136 тис. грн.** Це кошти, які вдалося заощадити на попередню оцінку протимінної стійкості дослідних зразків при підготовці до державних випробувань та виготовлення їх масово-габаритних макетів.

6. Застосування розробленого науково-методичного апарату є ефективним інструментом при підвищенні локального захисту екіпажу БМ при підривах на МВП і являється типовим для такого класу машин, і вже був успішно застосований при теоретичній оцінці ПМЗ новітніх вітчизняних зразків БМ "Тритон", "Варта", "Барс-8", KrAZ Spartan, KrAZ Shrek на етапі їх проектування та при модернізації "БТР-60".

7. Соціальний ефект. Дослідження спрямовані на запобігання загибелі та каліцтва військовослужбовців і забезпечення збереження їх життя та здоров'я, що являється одним з найважливіших факторів для суспільства.

Отримані в науковій роботі результати, застосовуються на підприємствах, що спеціалізуються на виробництві та модернізації БМ.