

В.В. Драгобецький, проф., д-р техн. наук, **А.А. Черниш**, канд. техн. наук,
Д.В. Молоштан, канд. техн. наук

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
м. Кременчук, Україна*

e-mail: vldrag@kdu.edu.ua, chernyshkrnu@gmail.com, moloshtandima@gmail.com

Підвищення експлуатаційної надійності та захищеності екіпажу спеціального броневих автомобілю для розмінувальних команд

У наданому дослідженні розглянуто і визначено напрямки розвитку теорії і практики проектування, виробництва та випробування військової броньованої техніки здатної виконувати функціональні задачі з транспортування вибухових речовин та боєприпасів у зони мінування та з зон розмінування. Балістична стійкість елементів бронезахисту розрахована шляхом формулювання та рішення задачі лінійного програмування з урахуванням обмежень пікових значень тиску у відсіках екіпажу, відколеного руйнування, виникнення тріщин. Запропонована математична модель, що враховує динамічну поведінку шаруватих елементів, дію ударних хвиль за броньованою преградою.

броньована техніка, транспортування вибухових речовин, бронезахист, броньована преграда

Постановка проблеми. Військові формування збройних сил України виконують значну кількість бойових завдань в умовах вогневої протидії супротивника. Різні модифікації транспортних засобів військового призначення знаходяться на озброєнні збройних сил України. Багатоцільові броньовані колісні машини підвищеної прохідності здатні виконувати завдання з вогневої підтримки, перевезення особистого складу, транспортування вантажів та обладнання до району бойових дій, проведення тактичних операцій військовими підрозділами. Перелік модельного ряду спеціалізованих броньованих машин включає «броньовані тачанки» - пікапи, транспортні машини для прикордонних військ, бронетранспортери, броньовані вантажівки, операційні модулі польового шпиталю, мобільні штабні пункти та ін. Однак слід визначити що в умовах сучасності, враховуючи наявність воєнного стану, військові підрозділи що виконують бойові задачі з мінування і розмінування місцевості не оснащені спеціалізованою броньованою технікою функціональне призначення якої – це транспортування у райони мінування та евакуація з районів розмінування вибухових речовин, мін, снарядів та бомб, що не здетонували і не вибухнули. В умовах мирного часу цієї потреби не існувало. Необхідно було тільки дотримуватись правил з перевезення вибухових речовин та засобів підірвання. Для перевезення вибухових речовин і пристроїв, в умовах необхідності подолання мінно-вибухових загороджень і застосування противником сучасної зброї необхідне створення спеціалізованої броньованої техніки. Тобто на сьогоднішній день гостро поставлена проблема розробки і виготовлення транспортних засобів з підвищеною мінною та балістичною стійкістю.

Результати попередніх досліджень надають практичні напрямки формування концептуальних проектів зразків транспортних засобів для безпечного виконання завдань, що до мінування та знешкодження вибухонебезпечних предметів. Виробництво закордонних та вітчизняних аналогів такої техніки недостатньо, особливо

в умовах військового стану. Крім того їх вартість дуже висока. Тому розробка, удосконалення та створення таких транспортних засобів потрібно починати з наукових досліджень. Практична значимість результатів досліджень також пов'язана зі значним збереженням матеріальних та людських ресурсів, сприяє підвищенню ефективності виконання бойових задач транспортування.

Проблема розвитку теорії і практики створення військової броньованої техніки здатної виконувати необхідні технічні, практичні бойові і функціональні задачі з транспортування є актуальною і потрібною в умовах сучасності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методологія воєнно-наукових досліджень для забезпечення ефективного комплексу проектно-дослідних робіт прийняття технічних рішень надано у роботах М. Єрмакова, М. Миронюка, Д. Гриба [1, 2].

Концептуальна стадія при створенні зразка військової техніки починається з аналізу та фіксування протиріччя між потрібними та наявними функціональними можливостями, які має існуючий зразок, розглядаємого виду, що є на озброєнні, бажано країн НАТО. Формування технічного завдання та синтез і проектування зразка, у нашому дослідженні транспортного засобу, здійснюється шляхом реалізації принципу, що виражається у формі критерію «цільовий ефект – витрати – реалізованість».

У роботах [3], [4], [5], [6] проведена комплексна порівняльна оцінка зразків озброєння та військової техніки. Розроблена методика порівняльної оцінки тактико-техніко-економічних показників однотипних зразків озброєння та військової техніки. Дослідження [3], [4], [5], [6] доповнюють принцип створення зразків військової техніки на завершальній концептуальній стадії критерієм «– вартість – ресурс». Об'єднавши ці критерії отримуємо узагальнюючий у вигляді «цільовий ефект – технічна досконалість – вартість-час (витрати) – ресурс». Більш доцільно замість поняття «цільовий ефект» використовувати термін цільова віддача.

Методика оцінювання стану живучості військових потенційно небезпечних об'єктів, у тому числі вибухопожежонебезпечних боєприпасів, вибухових речовин і засобів підірвання надана у роботі [7]. У роботі надано найбільш важливі показники і відповідні критерії, що характеризують рівень живучості та вибухопожежобезпеки при зберіганні боєприпасів та вибухових речовин. Зокрема наступні можливо адаптувати до вимог транспортних засобів, що використовуються для доставки та евакуації вибухонебезпечних об'єктів, а саме: забезпеченість засобами пожежогасіння; оснащеність автоматичними пристроями пожежогасіння; стан тари; наявність систем попереднього виявлення небезпечних ситуацій; забезпеченість блискавкозахистними пристроями; наявність останнього пункту маловірогідна.

Проведені дослідження та отримані результати з протимінної стійкості багатоцільового тактичного автомобіля з використанням методів числового моделювання. Також виявлені слабкі елементи конструкції до дії сучасного вибухового навантаження [8], [9], [10]. Ці дослідження корисні для оцінки протимінної стійкості і не враховують дію ударних хвиль, що розповсюджуються через елементи конструкції на екіпаж та вибухонебезпечний вантаж. Запропонована математична модель не враховує динамічну поведінку шаруватих елементів конструкції при вибуховому навантаженні, дію ударних хвиль за броньованою преградою і можливість відкольного руйнування металевих елементів конструкції. Дослідження не розглядають динамічну поведінку конструкції при раптовій детонації вибухівки у відсіку для її транспортування.

Спеціальний бронеавтомобіль для розмінувальних команд КОЗАК-5-ПМЛ є кращим аналогом при розробці нового транспортного засобу який здатний перевозити й

вибухові речовини. Автомобіль КОЗАК-5-ПМЛ призначений для транспортування боєприпасів, що не розірвалися, у місця їх утилізації. Спеціальні відсіки та конструкція, розрахована на раптову детонацію бойової частини, що транспортується та захист екіпажу рис 1.



Рисунок 1 – Спеціальні бронеавтомобілі для розмінувальних команд

Джерело: розроблено на підставі [12]

Традиційний процес проектування зразків нової техніки займає багато часу. В умовах воєнного стану домінуючим критерієм розробки є термін різноманітних етапів розробки. Частково значні витрати часу пов'язані з тим, що за для перевірки функціональних характеристик потрібне створення експериментального зразка і його випробування. В теперішній час в наслідок розвитку математичного апарату і комп'юторної техніки експериментальні методи дослідження процесів виготовлення деталей зразка техніки та його експлуатації, балістичної і протимінної стійкості, захищеності екіпажу і вантажу поступаються більш ефективним і менш витратним методам математичного моделювання.

Для визначення допустимих зовнішніх впливів (підриг на мінах, кульове та враження обламків) на вибухові системи потрібно визначити початковий, або ініціюючий, імпульс. Відомо [11], що вибухові перетворення можливо ініціювати нагріванням, механічним навантаженням ударом, тертям, збуджуванням за рахунок вибуху іншої вибухової речовини. Збуджування вибухового перетворення можливо електричним розрядом. В умовах транспортування вибухових речовин враження блискавкою, або при виникненні статичної електрики маловірогідні. Стосовно чутливості вибухових систем к тепловому впливу, то слід відзначити її залежність від температури спалаху вибухових систем, типу і критичної швидкості нагріву. Це довідкові дані і ними можливо користуватися при моделюванні процесів зовнішнього впливу.

Стосовно механічного впливу тертям, слід відзначити, що існують ефективні засоби протидії ковзанню та пересуванню предметів під час транспортування (силіконові килими і покриття).

При оцінці травмування екіпажу та водія в якості критерія доцільно використовувати критичний тиск (Δp_k), значення якого в залежності від імовірності летального випадку приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Критичний тиск травмування людини ударною хвилею

Імовірність летального випадку	0,99	0,75	0,5	0,25	0,1
(Δp_k)	500	370	320	280	250

Джерело: розроблено на підставі [8], [9]

Для транспортування мін та снарядів, що не розірвалися у місцях їх утилізації розроблено спеціальний бронеавтомобіль для розмінувальних команд. При проектуванні бронеавтомобілю, спеціальних відсіків, особливо підсиленої та нахиленої задньої стінки, що відхиляє ударну хвилю і захищає екіпаж у випадку детонації мін та снарядів, необхідно розрахувати балістичну стійкість відсіків.

Дія ударних хвиль та продуктів детонації на металеві конструкції, в тому числі корпус, днище, відсіки броньованої військової техніки досить широко відображено у науково періодичних виданнях [8], [9], [10]. Аналітичні рішення, пов'язані з суттєвим спрощенням рівнянь динамічної поведінки захисних броньованих елементів. Крім того діючий імпульс вважається миттєвим. В цьому випадку дія на броньований елемент обмежена тільки інерційним навантаженням. Це дозволяє отримати аналітичні рішення методом розділу змінних, за допомогою варіаційного принципу Лагранжа, а також з використанням рівнянь Лагранжа 2-го роду [12]. Більша точність та наближеність до фізико-механічних явищ при вибуховому навантаженні досягається при чисельному математичному моделюванні. Заслугує уваги робота [10] у якій розроблена модель дослідження параметрів ударно-хвильового навантаження металеві пластина з використанням методу скінчених елементів реалізованого в програмному комплексі. Ударно-хвильове навантаження задано у вигляді функції тиску від часу.

В роботі [12] визначено раціональне значення балістичної стійкості бронезахисної пластина методом лінійного програмування. Обмеження охоплюють значення тиску, яке не повинно перевищувати напруження пластичності захисної структури, напружень виникнення тріщин та відколу. Однак лінійна модель не дає можливість визначити заброньову дію на екіпаж. В цій же роботі наведено математичне моделювання динамічної поведінки елементів конструкції бронетранспорту при бойовому враженні. Для перевірки адекватності отриманих результатів були проведені випробування з підриву заряду вибухової речовини масою 6 кг, що розташований на поверхні броньованої пластина. Після підриву виконувались заміри прогинів та поперечних і повздовжніх деформацій. Експериментальні дані на 4...7 % відрізняються від теоретичних але умови експерименту не відповідають умовам навантаження на екіпаж. Пластина вільно розташована на поверхні пісчаного ґрунту, вимірювання тиску за перешкодою не виконувалась.

Таким чином існуючі теоретичні та експериментальні дослідження обмежені дослідженнями протимінної та балістичної стійкості. Розрахунки на раптову детонацію вибухівки, та на здатність елементів конструкції спеціалізованих броньованих автомобілів для розмінувальних команд не розглядалась. Слід також відзначити, що міни та снаряди розташовані у відсіку для вибухівки (контейнері). У існуючих дослідженнях захисна дія контейнеру не враховувалась..

Постановка завдання. Метою дослідження є розробка методу синтезу зразка транспортного засобу, що забезпечує безпечне транспортування боєприпасів та вибухових речовин в умовах вогневої протидії противника, на основі комплексу реалістичних математичних моделей впливу ударно-вибухових навантажень на елементи конструкції, екіпаж і вантаж.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Обґрунтування потреби у необхідності виробництва спеціалізованих транспортних засобів для транспортування боєприпасів та вибухових речовин. Формування фонду накопичених знань у даному напрямку досліджень.

2. Розробка методу розрахунку балістичної протимінної стійкості елементів конструкції спеціалізованого транспортного засобу та екіпажу від вибухової дії вантажу (раптові детонації вибухівки).

3. Теоретична оцінка вибухової стійкості спеціальних відсіків та конструкції при раптовій детонації вибухівки, що транспортується у зону мінування. Важливим завданням є визначення умов безпечного транспортування вибухових систем під час транспортування та вогневої протидії ворога.

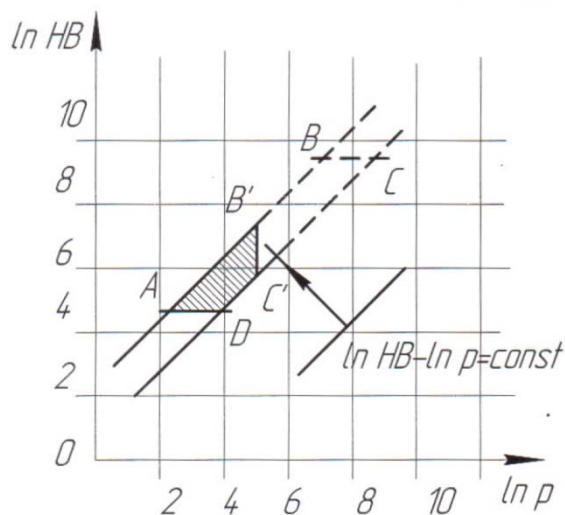
Виклад основного матеріалу. Розрахунок динамічної поведінки та здатність захисної перешкоди захистити екіпаж можливо виконувати з використанням методів

лінійного програмування і чисельного моделювання. У першому випадку необхідно до нерівностей, що обмежують амплітуду ударної хвилі, що діє за захисною преградою [12]. Нерівність має вигляд

$$\frac{\rho_m \cdot v \cdot D(\rho_m \cdot C_m - \rho_p \cdot C_p)}{\rho_m \cdot C_m + \rho_p \cdot C_p} < [p] \quad (1)$$

де ρ_m – щільність матеріалу перешкоди; v – масова швидкість ударної хвилі; D – швидкість ударної хвилі; C_m , C_p , ρ_p , – повздовжня швидкість звуку у металі і повітрі, щільність повітря; $[p]$ – допустиме зростання тиску.

Геометричне представлення задачі лінійного програмування буде мати вигляд



AB' – межа відколеного руйнування; B'C' – критичний тиск травмування людини;
C'D – обмеження на виникнення тріщин; AD – межа руйнування захисної броньованої пластини

Рисунок 2 – Геометричне представлення задачі лінійного програмування

Джерело: розроблено авторами

Моделювання реакції захисної броньованої плити на дію вибуху зарядів різної форми в металевому контейнері виконувалось в середовищі AnSYS AUTODYN, з урахуванням вимог STANAG 4569.

На основі геометричної моделі конструкції спеціалізованого броньованого автомобіля були проведені дослідження і створені кінцево-різницева та скінченно-елементна моделі (рис. 3). Визначено значення прискорення у відсіку екіпажу (рис. 4).

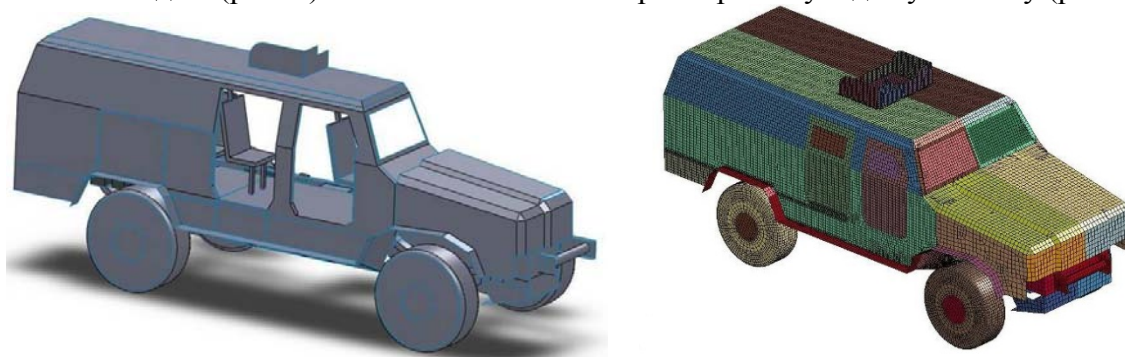


Рисунок 3 – Геометрична модель корпусу СБА Козак-001 та загальний вигляд SE-моделі зразка

Джерело: розроблено авторами

Скінченно-елементна модель (далі – СЕ-модель) утворена оболонковими елементами. Для зменшення машинного часу обчислення деталі конструкції, що зазнають значних пружно-пластичних деформацій розбиті на скінченні елементи менших розмірів. Так в нижній площині деталі днища, стінок днища, внутрішніх перегородок та захисної плити розбиті скінченними елементами з характерним розміром 0,01 м. Деталі даху та бортів розбиті на скінченні елементи з характерними розмірами 0,02-0,06 м.

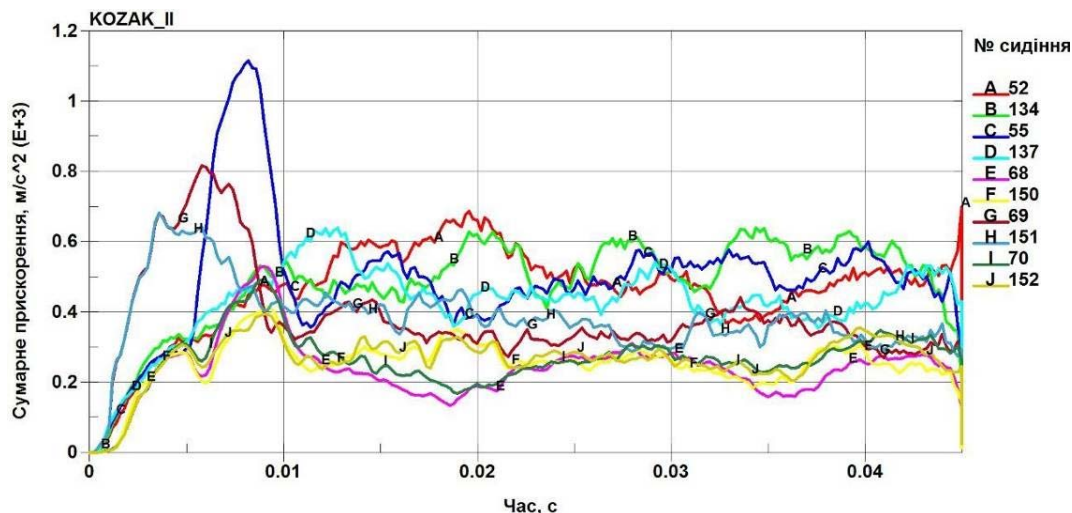


Рисунок 4 – Значення прискорень у відсіку екіпажу

Джерело: розроблено авторами

Схему розміщення вибухової речовини (ВР) в металевому контейнері та локалізацію точок детонації заряду наведено на рисунку 5. Фізико-механічні властивості бронеплити: модуль пружності 210 ГПа, коефіцієнт Пуассона 0,28, межа текучості 950 МПа, межа міцності 1250 МПа, подовження 9 %, щільність 7838 кг/м³.

Для експерименту було обрано заряд ВР масою 15 кг, розміщений на відстані 0,4 та 0,7 м від броньованої плити.

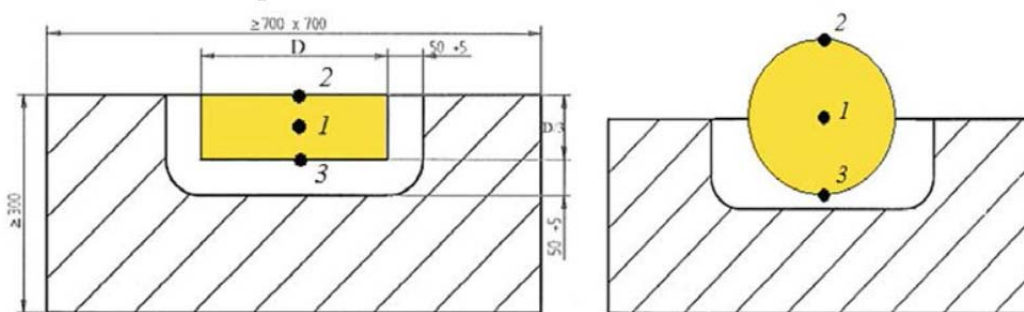


Рисунок 5 – Схема розміщення заряду ВР у металевому контейнері та локалізація осередків детонації

Джерело: розроблено авторами

Застосовані явні методи чисельного інтегрування системи рівнянь механіки суцільних середовищ. Процес детонації чисельно описується загальною системою диференціальних рівнянь. Рівняння складаються із законів збереження маси, імпульсу, енергії, додаткових рівнянь речових моделей вибухової речовини, повітря, матеріалу кузова та контейнера. В цьому дослідженні – продукти детонації і повітря в достатній мірі моделюються за допомогою рівняння стану (equation of state, EOS) яке виражає відношення між тиском p , питомим об'ємом V і питомою енергією e . Додаткові

рівняння необхідні для моделювання твердих тіл (у представленому дослідженні – матеріалу кузова), так як тверді речовини володіють опором зсуву.

Ця чисельна модель, на відміну від існуючих, враховує взаємодію ударної хвилі та металу контейнера, щоб можна було оцінити його вплив на реакцію бронеплити на вибух зарядів ВР різної геометрії.

Чисельна модель включає область повітря, вибухової речовини, броньованої плити та металевго контейнера.

Для опису поведінки броньованої плити та металевго контейнера в чисельному моделюванні була застосована Модель Каупера–Саймондса [9].

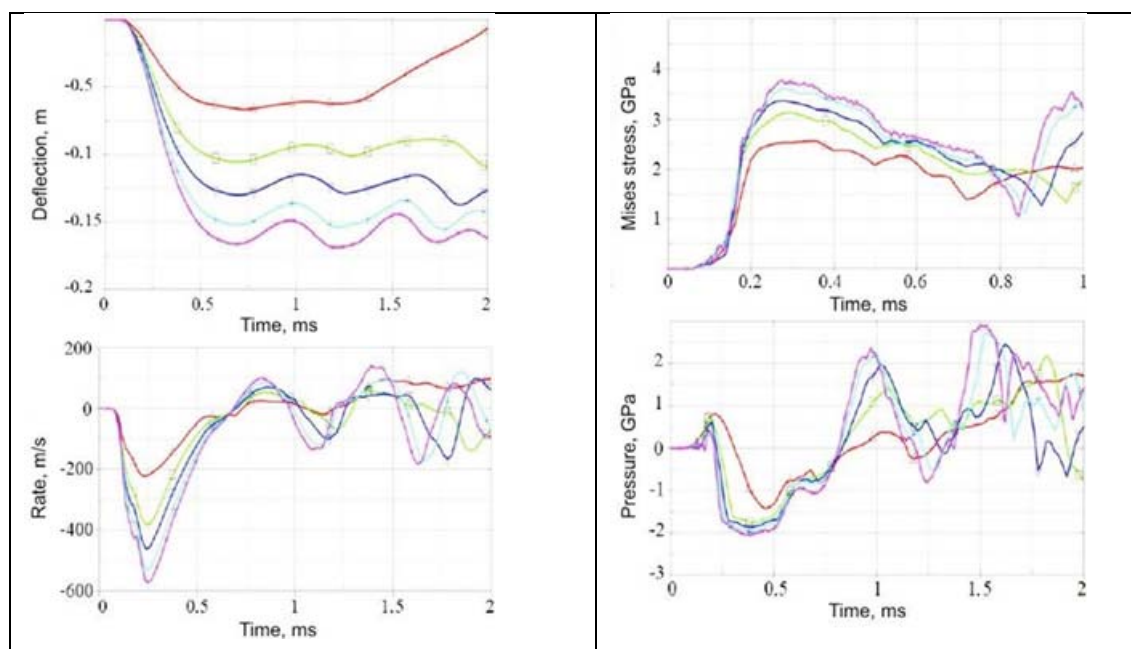
Таблиця 3 – Маса зарядів тротилу та їх геометрія

Вибуховий заряд вага, кг	Діаметр, м	Циліндричний заряд висота, м	Сферичний заряд радіус, м
3	0,100	0,05858	0,07602
6	0,125	0,74990	0,09578
8	0,135	0,08572	0,10542
10	0,145	0,09288	0,11356
11,5	0,150	0,09981	0,11898
15	0,170	0,10136	0,13000

Джерело: розроблено на підставі [9]

Швидкість пластичних деформацій визначали як різницю між швидкостями повної та пружної деформацій.

Застосування рівняння стану продуктів детонації дозволило визначити параметри моделі пластини та заряду ВР (рис. 6) [13].



(Δ) маса вибухової речовини 3 кг, (□) 6 кг, (▼) 8 кг, (+) 10 кг і (×) 11,5 кг

Рисунок 6 – Параметри в центральному елементі скінченно-елементної моделі пластини та циліндричного заряду, розміщеного у металевих контейнерах

Джерело: розроблено авторами

Розташування вузлових точок контролю прогинів досліджуваної пластини задавалося шляхом створення нових систем координат, розташованих послідовно зі зміщенням на 125 мм відносно вихідної системи координат, яка знаходилася у лівому нижньому куті верхньої площини досліджуваної пластини. У отриманих системах координат задавалися п'ятнадцять точок проб (рис. 7), у яких вимірювалися осьові переміщення пластини внаслідок деформації під дією вибухового навантаження. У крайових точках проб А–F переміщення пластини вимірювалися відносно вихідної системи координат, тоді як у груп точок 1–3, 4–6, 7–9 переміщення вимірювалися відносно утворених ліній А–В, С–D та Е–F відповідно.

Загальна картина деформацій системи та деформації досліджуваної пластини у вертикальному напрямку (вісь Y) представлені на рис. 7. Вектори напрямку та інтенсивності деформацій досліджуваної пластини наведені на рис. 8.

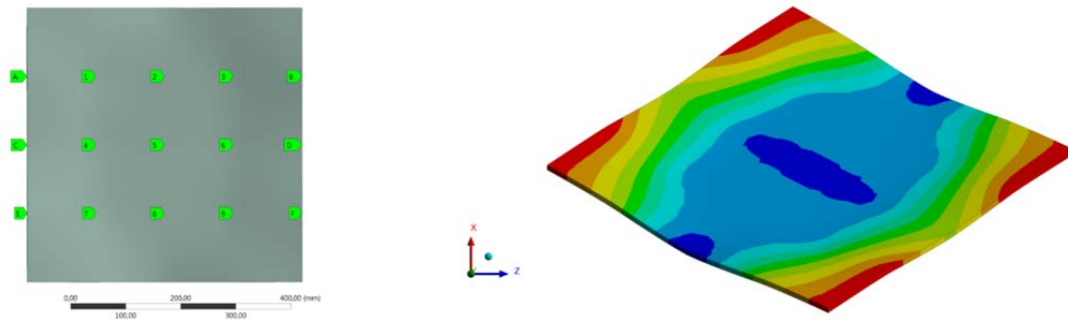


Рисунок 7 – Розташування точок проб на поверхні та епіюра деформацій досліджуваної пластини
Джерело: розроблено авторами

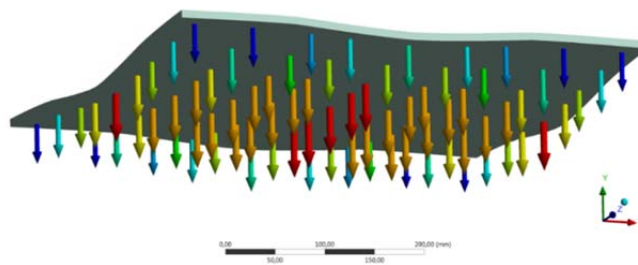


Рисунок 8 – Вектори напрямку й інтенсивності деформацій пластини
Джерело: розроблено авторами

Отримані величини переміщень вузлових та крайових точок, величини переміщень контрольних точок та динаміки їх зміни, отримані шляхом числового моделювання вибухового навантаження пластини наведені на рис. 9

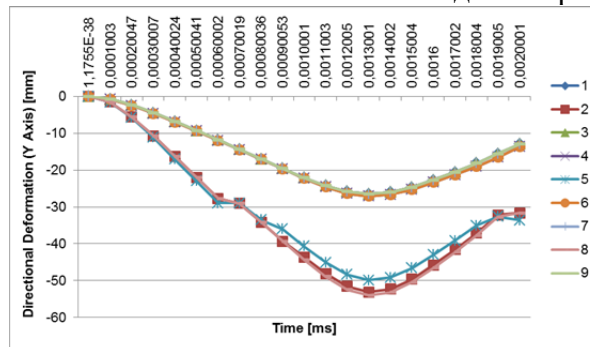
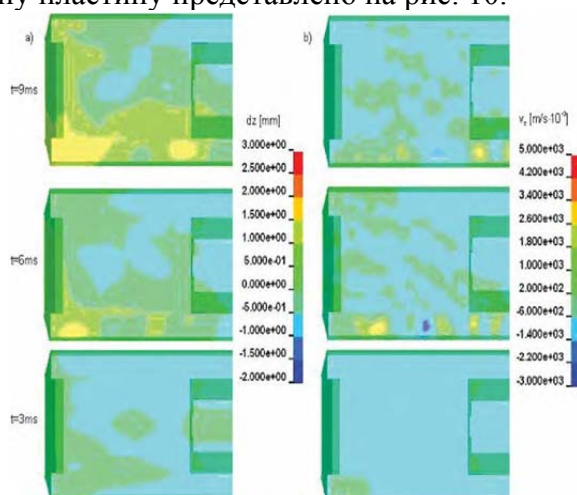


Рисунок 9 – Динаміка зміни величин переміщень вузлових точок досліджуваної пластини, отримана у AUTODYN

Джерело: розроблено авторами

Комп'юторне моделювання складової дії вибухової хвилі від вибуху міни або СВП на захисну броньовану пластину представлено на рис. 10.



(а) – вертикальна складова переміщення; (б) – вертикальна складова швидкості

Рисунок 10 – Складові елементів захисної пластини внаслідок підриву міни вагою 2 кг. Міна була розташована у контейнері для перевезення боєприпасів

Джерело: розроблено авторами

Важливим критерієм, що визначає достовірність результатів, отриманих розрахунковим шляхом, та адекватність складеної математичної моделі реальному процесу, є відповідність отриманих розрахункових результатів даним, отриманим у результаті експериментальних випробувань.

Вимірювальне обладнання надано в табл. 4.

Таблиця 4 – Вимірювальне обладнання та устаткування

№ з/п	Тип обладнання	Найменування
1	Акселерометри	KISTLER 8081K1, 2 шт. (рис. 4.6, 4.7)
2	Підсилювач сигналів акселерометрів	KISTLER 561T, 2 шт.
3	Осцилограф	DATAMAN 570.
4	Осцилограф	BORDO B421
5	Датчик тиску	KISTLER 601H (рис. 4.8)
6	Підсилювач сигналів датчика тиску	KISTLER 5007 (рис. 4.9)
7	Вибухова речовина	Тротил
8	Комплект кабелів (подовжувачів) для підключення апаратури реєстрації	Коаксіальний кабель РК-50, 1 к-т.
9	Ноутбук з програмним забезпеченням для обробки даних з датчиків	Sony VAIO VGN-AR41SR

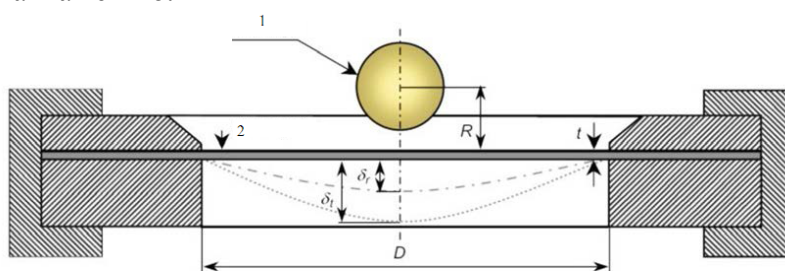
Джерело: розроблено авторами

Для експериментальних досліджень використовувалась сталеві пластина з матеріалу Guardian 500 товщиною 8 мм та розміром 500×500 мм (рис. 11).



Рисунок 11 – Розташування вузлових точок контролю прогинів досліджуваної пластини
Джерело: розроблено авторами

Пластина розташовувалась у дослідному пристрою (рис. 12) і піддавалася вибуховому навантаженню.

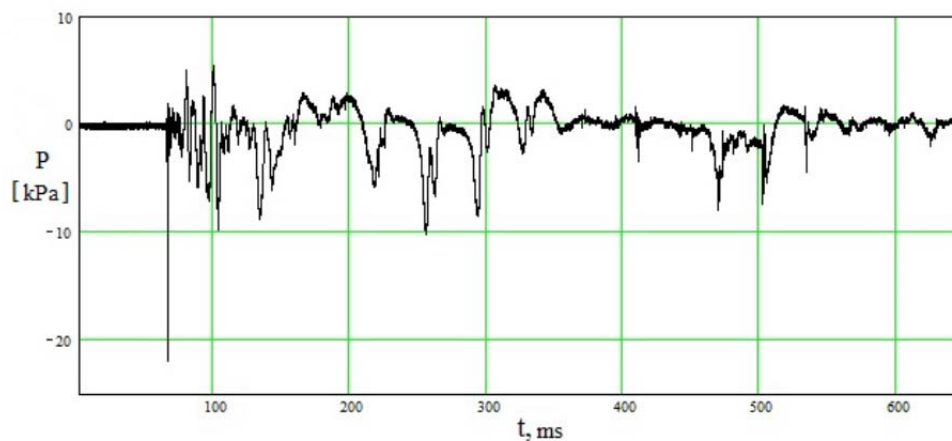


R – відстань до заряду вибухової речовини; t – товщина броньової плити; D – діаметр броньового листа;
 δ – максимальний динамічний прогин; δ_r – залишковий прогин;
1 – заряд вибухової речовини; 2 – броньована пластина

Рисунок 12 – Схема дослідної установки

Джерело: розроблено авторами

Результати випробувань – результати отриманих даних значення тиску при підриві заряду у відсіку для перевезення боєприпасів рис. 13.



Смуга частот 0 - 47 кГц. Пікові значення тиску 5.5 кПа.

Рисунок 13 – Покази датчика тиску під час вибуху заряду під днищем
Джерело: розроблено авторами

Результати отриманих даних значення прискорення манекену в районі тазу при підриві заряду під днищем зразка надані на рис. 14.

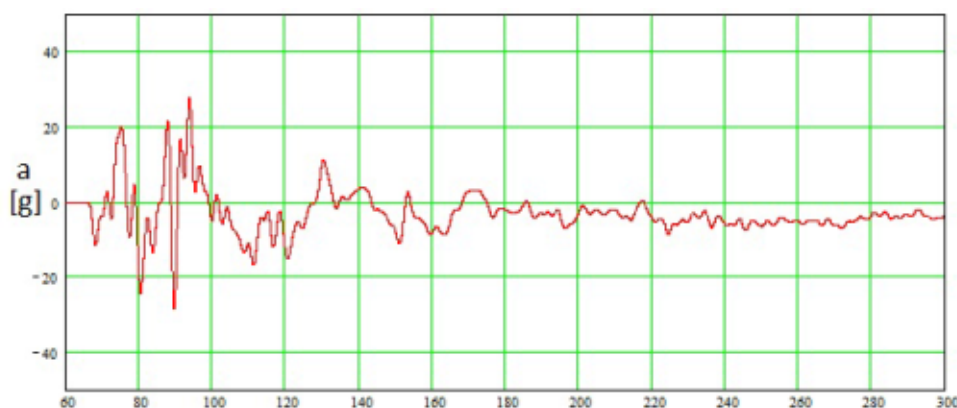


Рисунок 14 – Прискорення манекена в районі тазу (верхня осцилограма) і збільшена в масштабі 60-120 мс (нижня осцилограма) при підриві заряду під днищем. Смуга частот 0 - 330 Гц. З отриманої осцилограми видно, що максимальне прискорення: - 28,5g (час дії 1,8 мс) і 27,5g (час дії 4,5 мс)
Джерело: розроблено авторами

Аналіз результатів показав наступне. Зростання тиску у внутрішньому об'ємі 5,5 кПа при підриві у відсіку для перевезення боєприпасів. Результати випробувань броньованого елемента конструкції та їх аналіз, відповідають вимогам технічного завдання.

Таким чином в результаті проведених досліджень отримані значення прогинів у контрольних точках, швидкості та прискорень. При цьому руйнування бронезахисної пластини зразка відсутнє. Напрямою подальших досліджень зразка є проведення натурних випробувань з оцінки протимінної стійкості окремих елементів його конструкції, моделей корпусу та повномасштабних випробувань зразка.

Таким чином, розроблена математична модель для числового рішення імпульсного вибухового навантаження дозволяє з високою точністю моделювати процес вибухового навантаження дослідної пластини та може застосовуватися для оцінки захищеності екіпажу.

Маса заряду вибухової речовини у моделі задавалася шляхом зміни розмірів і об'єму моделі заряду.

Висновки. Отримало подальший розвиток задача лінійного програмування для розрахунку балістичної стійкості елементів бронезахисту шляхом додавання рівняння, що обмежує пікові значення тиску у відсіку екіпажу.

У поданому дослідженні розглянуто і визначено напрямки розвитку теорії і практики проектування, виробництва та випробування військової броньованої техніки здатної виконувати функціональні задачі з транспортування вибухових речовин та боєприпасів у зони мінування та з зон розмінування.

Чисельний метод розрахунку у системі Ansys Auto Dyn уточнено та розширено завдяки врахуванню ударних хвиль, що розповсюджуються через елементи конструкції на екіпаж та вибухонебезпечний вантаж. Запропонована математична модель не врахувала динамічної поведінки шаруватих елементів конструкції при вибуховому навантаженні, дію ударних хвиль за броньованою преградою і можливість відкольного руйнування металевих елементів конструкції.

Комплекс експериментальних досліджень, що проведені з використанням сучасних вимірювальних засобів та розробленого експериментального обладнання

підтвердив достовірність та високу точність результатів. Межа похибок не перевищує $\pm 7\%$ результатів чисельного моделювання.

Список літератури

1. Єрмаков М.М., Миронюк М.Ю. Роль воєнно-наукових досліджень у формуванні концептуальних проектів перспективних зразків (комплексів, систем) озброєння та військової техніки.
2. Гриб Д.А., Демідов Б.О., Науменко М.В. Системна методологія обґрунтування, формування та реалізації оперативного-тактичних вимог до зразків (комплексів, систем) озброєння та військової техніки. *Наука і оборона*. 2011. №1. С 45-50.
3. Нор П.І., Гребеник О.М., Шарапа В.В., Почергін С.П. Оцінка техніко-економічного рівня спеціалізованих зразків військової автомобільної техніки. *Озброєння та військова техніка*. 2022. № 4, С. 29-34.
4. Нор П.І., Борохвостов І.В., Методика комплексної порівняльної оцінки зразків озброєння та військової техніки. *Озброєння та військова техніка*. 2016. № 3(11), С. 14-18.
5. Нор П.І., Кручинін С.І., Мельник О.Д., Єфіменко В.А., Методика оцінки технічного рівня зразків озброєння та військової техніки. *Зб. наук. пр. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ*. 2009. Вип. 22. С. 74-82.
6. Єфіменко В.А., Нор П.І., Гупало А.Ю. Основні технічні показники оцінки ефективності парків озброєння та військової техніки збройних сил. *Зб. наук. пр. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ*. 2012. Вип. 22. С. 87-98.
7. Мотковський А.С., Беспалов А.В., Климчук В.І. Обґрунтування рекомендацій що до підвищення пожежної безпеки в збройних силах як складової частини воєнної безпеки України. *Зб. наук. праць. Національний науково-дослідний центр оборонних технологій і воєнної безпеки України*. 2004. Вип. 3 (26) – С 141-149.
8. Бісик, С. П., Давидовських Л. С., Схабицький В. Р. Безпека життєдіяльності та ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій. *Системи озброєння і військова техніка*. 2015. № 1. С. 153–159.
9. Бісик С. П. Аналіз пріоритетних напрямків вдосконалення протимінного захисту бойових броньованих машин. *Збірник наук. праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ*. Вип. 19(41). К. : ЦНДІ ОВТ, 2011. С. 77–81.
10. Бісик, С. П., Корбач В. Г., Голуб В. А. Числове вирішення задачі ударно-хвильового навантаження пластини. *Військово-технічний збірник*. 2011. № 2(5). С. 3–6.
11. Соболев В.В., Чернай А.В., Чебенко В.М., Скобенко О.В. Способи ініціювання зарядів вибухових речовин: навчальний посібник. Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. 88 с.
12. Драгобецький В.В. Створення модельного ряду спеціалізованих броньованих машин. В.В. Драгобецький, І.М. Труніна, О.О. Шаповал, О.А. Гайворонський, Р.О. Кайдалов, О.М. Висоцький, В.І. Кривий, Д.М. Захаревич: монографія. Кременчук.: NOVABOOK. 2024. 168 с.
13. Коновал В.М. Оцінка характеру руйнування твердого середовища зарядами ВР змінної форми поперечного перерізу за різними умовами передачі енергії вибуху. *Вчені записи НТУ імені В.І. Вернадського. Серія Технічні науки*. 2022, Том 33 (72), № 2. С. 155-170.

References

1. Yermakov M.M., Myroniuk M.Iu. Rol voienno-naukovykh doslidzhen u formuvanni kontseptualnykh proiektiv perspektyvnykh zrazkiv (kompleksiv, system) ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky.
2. Hryb D.A., Demidov B.O., Naumenko M.V. Systemna metodolohiia obhruntuvannia, formuvannia ta realizatsii operatyvno-taktychnykh vymoh do zrazkiv (kompleksiv, system) ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. *Nauka i oborona*. 2011. №1. S 45-50.
3. Nor P.I., Hrebenyk O.M., Sharapa V.V., Pocherhin S.P. Otsinka tekhniko-ekonomichnoho rivnia spetsializovanykh zrazkiv viiskovoi avtomobilnoi tekhniky. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika*. 2022. № 4, S. 29-34.
4. Nor P.I., Borokhvostov I.V. Metodyka kompleksnoi porivnialnoi otsinky zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika*. 2016. № 3(11), S. 14-18.
5. Nor P.I., Kruchinin S.I., Melnyk O.D., Yefimenko V.A. Metodyka otsinky tekhnichnoho rivnia zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. *Zb. nauk. pr. Kyiv: TsNDI OVT ZSU*. 2009. Vyp. 22. S. 74-82.
6. Yefimenko V.A., Nor P.I., Hupalo A.Iu. Osnovni tekhnichni pokaznyky otsinky efektyvnosti parkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky zbroinykh syl. *Zb. nauk. pr. Kyiv: TsNDI OVT ZSU*. 2012. Vyp. 22. S. 87-98.
7. Motkovskiy A.S., Bepalov A.V., Klymchuk V.I. Obhruntuvannia rekomendatsii shcho do pidvyshchennia pozhezhoi bezpeky v zbroinykh sylakh yak skladovoi chastyny voiennoi bezpeky Ukrainy. *Zb. nauk. prats. Natsionalnyi naukovo-doslidnyi tsentr oboronnykh tekhnolohii i voiennoi bezpeky Ukrainy*. 2004. Vyp. 3 (26) – S 141-149.

8. Bisyk S. P., Davydovskiykh L. S., Skhabytskyi V. R. Bezpeka zhyttiediialnosti ta likvidatsiia naslidkiv nadzvychnykh sytuatsii. Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. 2015. № 1. S. 153–159.
9. Bisyk S. P. Analiz priorytetnykh napriamkiv vdoskonalennia protymynnoho zakhystu boiovykh broniovanykh mashyn. Zbirnyk nauk. prats TsNDI OVT ZSU. Vyp. 19(41). K. : TsNDI OVT, 2011. S. 77–81.
10. Bisyk S. P., Korbach V. H., Holub V. A. Chyslove vyrishennia zadachi udarno-khvylovoho navantazhennia plastyny. Viiskovo tekhnichniy zbirnyk. 2011. № 2(5). S. 3–6.
11. Soboliev V.V., Chernai A.V., Chebenko V.M., Skobenko O.V. Sposoby initsiiuvannia zariadiv vybukhovyykh rechovyn: navchalnyi posibnyk. D.: TOV «LizunovPres», 2013. 88 s.
12. Drahobetskyi V.V. Stvorennia modelnoho riadu spetsializovanykh broniovanykh mashyn. V.V. Drahobetskyi, I.M. Trunina, O.O. Shapoval, O.A. Haivoronskyi, R.O. Kaidalov, O.M. Vysotskyi, V.I. Kryvyi, D.M. Zakharevych: monohrafiia. Kremenchuk.: NOVABOOK. 2024. 168 c.
13. Konoval V.M. Otsinka kharakteru ruinovannia tverdoho seredovyshcha zariadamy VR zminnoi formy poperechnoho pererizu za riznymi umovamy peredachi enerhii vybukhu. Vcheni zapysky NTU imeni V.I. Vernadskoho. Serii Tekhnichni nauky. 2022, Tom 33 (72), № 2. S. 155-170.

Volodymyr Dragobetskii, Prof., Dr. tech. sci., **Andrii Chernysh**, PhD tech. sci., **Dmytro Moloshtan**, PhD tech. sci.
Kremenchuk National University named after Mykhailo Ostrogradskyi, Kremenchuk, Ukraine

Increasing the Operational Reliability and Crew Protection of a Special Armored Vehicle For Demining Teams

The purpose of the study is to develop a method for synthesizing a vehicle sample that ensures safe transportation of ammunition and explosives under conditions of enemy fire resistance, based on a set of realistic mathematical models of the impact of shock and explosive loads on structural elements, crew and cargo.

The presented study considers and identifies the directions for the development of the theory and practice of designing, manufacturing and testing military armored vehicles capable of performing functional tasks of transporting explosives and ammunition to and from minefields. The ballistic resistance of armor protection elements is calculated by formulating and solving a linear programming problem taking into account the limitations of peak pressure values in crew compartments, spallation destruction, and the occurrence of cracks. A mathematical model is proposed that takes into account the dynamic behavior of layered elements and the action of shock waves behind the armored barrier. The ballistic resistance of armor protection elements is calculated by formulating and solving a linear programming problem taking into account the limitations of peak pressure values in crew compartments, chipping failure, cracking, and destruction of the protective armored protective plate.

The numerical calculation method in the Ansys Auto DYN system has been refined and expanded by taking into account shock waves propagating through structural elements to the crew and explosive cargo. The proposed mathematical model takes into account the dynamic behavior of layered structural elements under explosive loading, the action of shock waves behind the armored barrier and the possibility of spallation destruction of metal structural elements. A set of experimental studies was conducted using modern measuring instruments of the developed experimental equipment, confirming the reliability and high accuracy. The error limit does not exceed $\pm 7\%$ of the results of numerical modeling.

armored vehicles, transportation of explosives, armor protection, armored barrier

Одержано (Received) 06.02.2026

Прорецензовано (Reviewed) 19.02.2026

Прийнято до друку (Approved) 24.02.2026