

УДК 623.438

Л.С. Давидовський, С.П. Бісик

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України

АНАЛІЗ МЕХАНОГЕНЕЗУ ТРАВМУВАННЯ ЕКІПАЖУ БОЙОВИХ БРОНЬОВАНИХ МАШИН ПРИ ПІДРИВІ НА МІННО-ВИБУХОВИХ ПРИСТРОЯХ

У статті представлено аналіз механогенезу та патофізіології травмування екіпажу бойової броньованої машини при підриві на мінно-вибуховому пристрої. Проведені дослідження виділяють основні види травмування організму людини при дії вибухових навантажень на конструкцію бойової броньованої машини та можуть бути вихідними даними для формулювання вимог та визначення напрямів розвитку комплексної системи пасивного протимінного захисту та розроблення загального критерію травмування організму людини при підриві зразка з метою підвищення його протимінної стійкості. Крім того у статті розглянуто основні часткові критерії стійкості організму людини до екстремальних навантажень.

Ключові слова: протимінна стійкість, вибухове навантаження, травмування вибухом, поперековий відділ хребта, критерії травмування.

Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз проведення Антитерористичної операції (АТО) на території Донецької та Луганської областей України свідчить про те, що безпосередній вогневий контакт воюючих сторін зводиться до мінімуму. В таких умовах широко застосовуються міни та саморобні вибухові пристрої (далі – мінно-вибухові пристрої (МВП)). Згідно з аналізом санітарних втрат потерпілі від вибуху МВП, у ході проведення АТО, стали займати одне з основних місць. На основі результатів аналізу бойових уражень бойових броньованих машин (БМ) та їх екіпажів від МВП у збройних конфліктах останніх десятиліть спостерігається прогресивна тенденція застосування цих засобів [1, 2]. Проведені експертні дослідження [4] також показують, що основною загрозою (рис. 1) є можливість підриву БМ на МВП. Як наслідок, основною сформованою експертами вимогою до БМ на перспективу до 2023 р. є критичність формування та виконання вимог зі стійкості до уражаючих факторів підриву МВП (рис. 2).

Збільшення випадків застосування МВП вимагає впровадження заходів з підвищення захисту від дії їх уражаючих факторів. Але в концепції побудови системи протимінного захисту вітчизняних БМ присутня істотна прогалина, що значно знижує можливість ефективного підвищення протимінної стійкості (ПМС), а саме – значно спрощені дані про фізіологічні можливості організму людини, як механічної системи, щодо переносимості екстремальних навантажень, які діють на неї під час підриву БМ на МВП.

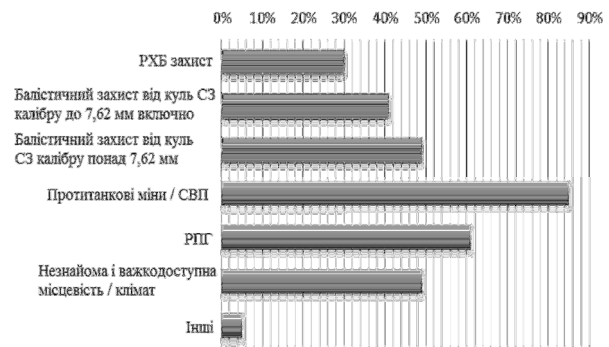


Рис. 1. Загрози для БМ, що визначені експертним опитуванням

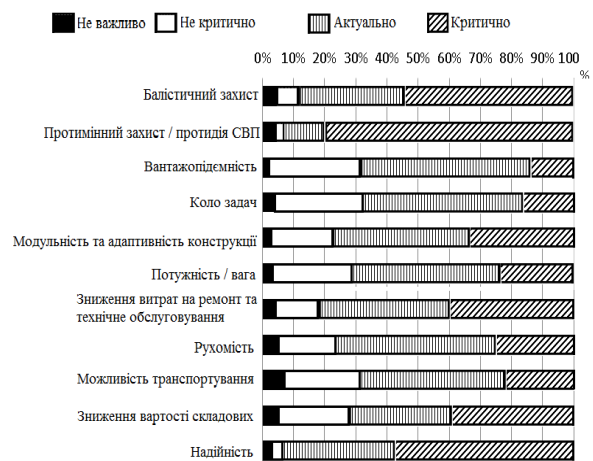


Рис. 2. Основні вимоги до БМ та актуальність їх виконання в конструкції БМ за думкою експертів до 2023 року

У погодженні про стандартизацію STANAG 4569 [3] визначені рівні захисту БМ від вибуху мін з різними тротильовими еквівалентами.

Однак у відкритій літературі відсутні дані про об'єктивну оцінку ймовірності мінно-вибухового травмування екіпажу ББМ, конструкція якої витримає вибух, без пробиття броні.

Вибухові навантаження, що діють на екіпаж при підриві ББМ на мінах, відносяться до маловивчених. Проведення в цьому напрямі досліджень є високоартістним та порівняно рідкісним, тому підготовка до них супроводжується ретельним вибором і перевіркою вимірювальної апаратури. Крім того, методика проведення самих випробувань будується так, щоб отримати максимум інформації про величини показників вибухових навантажень, імпульсних прискорень та частоти вібрацій, так як такі випробування через неможливість відтворення їх при повторних дослідженнях стають в своєму роді єдиними [5].

Рівень ПМС ББМ і сама методика випробувань повинні базуватись на оцінці ймовірності та ступеня травмування людини, але характер пошкоджень організму при підриві ББМ на МВП має комбінований і широкий характер травмування [6]. Це робить практично неможливим забезпечення відсутності травмування екіпажу при підриві за рахунок реалізації певних технічних рішень. Тому підвищення ПМС зводиться не до показника абсолютної безпеки та неушкодження екіпажу, а до мінімізації впливу уражаючих факторів, таких як: сили, моменти прискорення та сповільнення, що діють на людину при вибухових навантаженнях. Отже, необхідно визначити, які частини тіла людини зазнають основних травмувань при підриві ББМ на МВП, що дозволить уточнити вимоги та напрями розвитку комплексної системи пасивного протимінного захисту й сприятиме розробленню загального критерію травмування організму людини при підриві зразка з метою підвищення його протимінної стійкості. Тобто, за наявності комплексного характеру травмування необхідно визначити комплексний критерій травмування, що показуватиме здатність організму людини зазнавати вибухові навантаження із заданою ймовірністю отримання травми.

Метою роботи є аналіз патофізіології та механогенезу травмування екіпажу при підриві ББМ на МВП для формулювання вимог та визначення напрямів розвитку комплексної системи пасивного протимінного захисту та розроблення загального критерію травмування організму людини при підриві зразка з метою підвищення його протимінної стійкості.

Виклад основного матеріалу

На сьогодні глибокі дослідження витривалості людським організмом ударних навантажень проведено в автомобільній промисловості. Основні параметри травмобезпеки визначені у методиках EURONCAP

(європейський комітет по випробуванню на пасивну безпеку нових автомобілів) [7]. Але характер травмування людини при ударах автомобіля в перешкоду суттєво відрізняється від тих пошкоджень, які отримує екіпаж ББМ при підриві на МВП. В першому випадку на людину діють переважно фронтальні та бокові навантаження, а в другому – високошвидкісні вертикальні, викликані ударною хвилею [6]. Окрім цього, має місце комбінований характер впливу уражаючих факторів вибуху на членів екіпажу – відбувається руйнування ділянок тіла або відриву сегментів кінцівок, що поєднуються з різними по механогенезу пошкодженнями (відкриті і закриті травми, осколкові поранення), термічними (опіки) і хімічними (токсичні продукти) ураженнями [8]. В залежності від характеру травми та механізму пошкодження вибухові травми можна розділити на 4 групи: первинні, вторинні, третинні та четвертинні (табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація вибухових травм в залежності від механізму травмування

Вид травми та уражаючі фактори, що її спричинили	Клінічні наслідки
<u>Первинна</u> - вибухова ударна хвиля	Деформація та пошкодження м'яких тканин, зміщення внутрішніх органів з слабкою фіксацією, переломи через бризантний ефект, пошкодження органів слуху, легень та шлунково-кишкового відділу
<u>Вторинна</u> - осколки від продуктів детонації, фрагменти скла та елементи внутрішнього обладнання	Проникаючі поранення обличчя, грудної клітки, легень, черевної порожнини, м'яких тканин; переломи кінцівок від прямого впливу фрагментів
<u>Третинна</u> - локальна деформація конструкції ББМ та її загальні прискорення	Переломи нижніх кінцівок (особливо п'яткових ділянок та гомілкових кісток), пошкодження тазового відділу та хребта, черепно-мозкова травма
<u>Четвертинна</u> - термічні пошкодження та токсичне отруєння	Опіки тіла різних ступенів тяжкості та дихальних шляхів; токсичне отруєння окисом вуглецю та окисом азоту (CO ₂ , CO, NO, HCN)

Характер та тяжкість поранення при заброньовій дії МВП залежить від факту пробиття чи непробиття конструкції ББМ [6]. Певний тип ББМ проектується з урахуванням загроз, що на нього впливатимуть. Тому цілісність корпусу ББМ приймається обов'язковою умовою при проведенні оцінки ефективності конструктивних заходів зі зменшення уражаючих факторів, що діють на організм людини. Крім того, обов'язкове збереження цілісності корпусу прийнято у вимогах [3].

При умові збереження цілісності корпусу основним уражаючим фактором підриву ББМ є отриманий імпульс від вибуху МВП, що спричиняє

виникнення різких прискорень конструкції БМ внаслідок її руху по вертикалі та удару після приземлення чи перевертання та локальні деформації конструкції, що призводить до травмування членів екіпажу [9] (рис. 3).

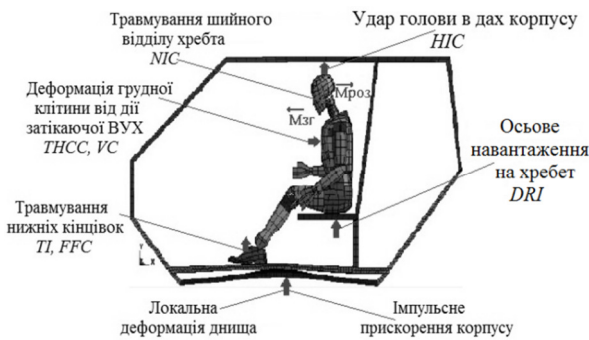


Рис. 3. Уражаючі фактори, що впливають на екіпаж БМ при підриві на МВП за умови збереження цілісності корпусу, та можливі види травмування

Отже, при умові збереження цілісності корпусу БМ можна допустити, що термічні пошкодження та токсичне отруєння членів екіпажу будуть малоімовірними.

Організм людини являє собою складну механічну систему, в якій виділяють чотири частини, що реагують на дію імпульсного прискорення незалежно одна від одної: дорсальну, торакальну, абдомінальну та кінцівки (рис. 4) [6].

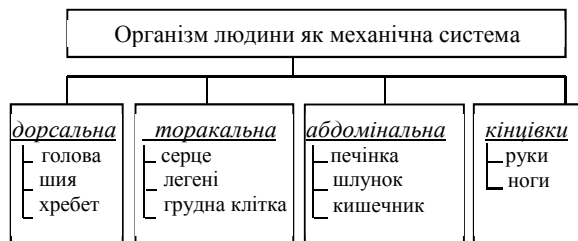


Рис. 4. Умовний розділ організму людини

При дії імпульсних прискорень тіло людини і його частини зміщуються відносно сидіння, з можливим вторинним зіткненням з перешкодами. Великому ризику піддаються голова і кінцівки, так як ці частини тіла мають більше ступенів свободи на відміну від тулуба, рух якого обмежений конструкцією сидіння.

При оцінці безпеки екіпажу БМ критерій травмування голови є одним з основних, так як в головному мозку знаходяться життєво важливі центри, що керують системами дихання, кровообігу, регулюють роботу серця та інших органів людини [10]. При ударі головою залежно від величини швидкості, що втрачається при ударі, відбувається деформація або руйнування основи черепа з відповідним впливом на структуру мозку і нерви, які проходять через основу черепа. Тому при ударі головою об деталі корпусу

величина швидкості, втраченої при ударі, при якій відбувається втрата свідомості, складає 3 м/с. А згідно з правилами ЄЕК ООН та кривою Уейт-Стейта, допустимими для голови людини є перевантаження у 80 g, що діють не довше ніж 3 мс [6], або 150 g протягом 2 мс [10].

При контакті голови з елементами корпусу обчислюється критерій травмування голови НІС (Head Injury Criterion). Він використовується як один з основних показників безпеки транспортного засобу для голови людини і фактично показує «дозу поглиненого сповільнення». Сутність НІС полягає у визначенні максимального інтеграла сповільнення на ділянці найбільших значень прискорень. При підриві на БМ діють лінійні, вертикальні, знакозмінні прискорення, в результаті чого можливі декілька ударів головою, тоді НІС обчислюється для кожного удару окремо. Порядок обчислення НІС та криві ризику наведені у роботі [12].

Контакт голови з жорсткою конструкцією даху може призвести до пікових навантажень в шії, які є небезпечними для життя і повинні бути попередженими. В момент впливу на людину вибухового імпульсу, що діє у вертикальній площині, тіло нахилиється вперед, але його рух обмежується ременями безпеки. Тоді під дією інерційних навантажень відбувається кивок голови і на шію діє сила, що визначається добутком маси голови на її прискорення. Ця сила створює моменти, які виникають між кожним з семи хребців шийного відділу (від С1 до Т1), що є серйозним ризиком паралічу або й смерті людини. Момент згинання вперед між шийними хребцями не повинен перевищувати 190 Нм [10], а при розгинанні назад – 57 Нм [12] (рис. 3).

Основними видами травм при збереженні цілісності корпусу є численні переломи кісток. В першу чергу вони виникають в нижніх кінцівках, так як вони знаходяться ближче до центру вибуху, ніж інші частини тіла

Травмування нижніх кінцівок, в залежності від складності перелому та механізму руйнування кісток, можуть бути різними. На основі аналізу рентгенограм потерпілих (рис. 5) у 62 послідовних випадках підриву БМ на МВП в Афганістані (США, 2001 р.) [8] травми нижніх кінцівок можна розділити на чотири види: первинна, вторинна, комбінована та третинна (табл. 2).

В роботі [12] визначено, що критична сила навантаження на гомілкову кістку, що виникає в результаті вибухової ударної хвилі, може досягати 5,4 кН, а при її збільшенні зростає ймовірність перелому кістки P , що визначається за виразом (1),

$$P = 1 - \left[\exp\left(-\frac{0,0348B + 0,415F}{5,13076}\right)^{7,42582} \right], \quad (1)$$

де B – вік людини, років; F – сила, що діє на велику гомілкову кістку, кН.



Рис. 5. Характерні рентгенограми ураження нижніх кінцівок членів екіпажу від підриву ББМ на МВП

Таблиця 2

Класифікація травм нижніх кінцівок в залежності від характеру уражаючих факторів

Вид травми та патофізіологія травмування кінцівок	Характеристики руйнування
Первинна ударна хвиля	Переломи стегнової та великої гомілкової кістки, деформація та пошкодження м'яких тканин
Вторинна прямий вплив предметів (інструменти, вузли, агрегати і т.д.), що приведені в рух ударною хвилею	Клиноподібні переломи, що є складними із осколками
Комбінована ударна хвиля в поєднанні з впливом елементів конструкції (первинні та вторинні фактори)	Травматична ампутація, значне пошкодження м'яких тканин та фрагментація кісток
Третинна потужний локальний імпульс	Роздроблення п'яти та стопи, спіральні переломи в результаті осьового навантаження та триточкового згину

Дослідження потерпілих у роботі [8] свідчить, що найчастіше при підриві ББМ на МВП у екіпажу спостерігаються третинні травми нижніх кінцівок. Там же й визначено, що переломи стопи і п'яти спостерігаються при досягненні значень імпульсного прискорення 10 м/с^2 і вище. Крім того, в результаті впливу цього імпульсного прискорення ноги рухаються вгору, тому переломи можуть спостерігатись і при ударі в елементи конструкції [12] (рис. 6).

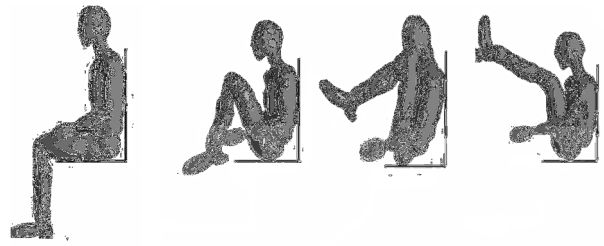


Рис. 6. Зміна положення ніг членів екіпажу ББМ при підриві на МВП

Хоча цілісність корпусу зберігається, та травми від ударної хвилі та надлишкового тиску ΔP мають місце. Генерована повітряна ударна хвиля, багаторазово відбита від стінок, і шуми високої інтенсивності спричиняють баротравму органів слуху. При досягненні $\Delta P = 35\text{--}45 \text{ кПа}$ відбувається розрив барабаних перетинок, а при ΔP близько $170\text{--}200 \text{ кПа}$ спостерігається пошкодження легень [6, 12].

Пошкодження (забій) серця, легень та частково печінки (рис.7 б) виникає внаслідок ударного стиснення між грудною стінкою, що рухається всередину, хребтом і діафрагмою, що піднімається вгору за рахунок таранної дії органів черевної порожнини, які стискаються через черевну стінку компресійною хвилею (рис.7 а).

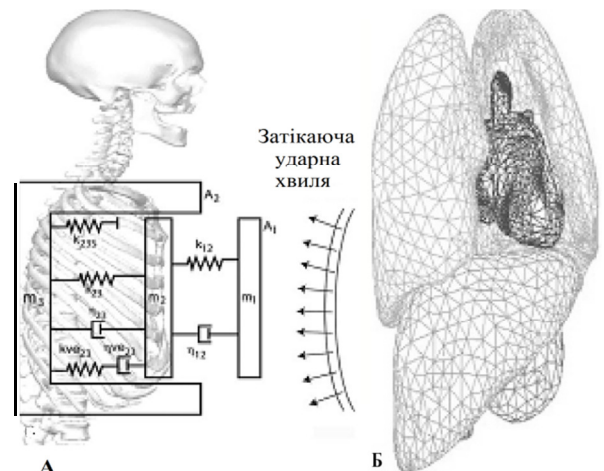


Рис. 7. Вплив затікаючої ударної хвилі в корпус ББМ на тіло людини:

а) механічна схема організму людини; б) скінченно-елементна модель внутрішніх органів людини

Реакція тіла людини на дію імпульсу УХ може бути у вигляді внутрішньосистемної деформації та зміщення органів. Такими являються внутрішні органи з слабкою фіксацією: перш за все – це серце, потім - легені та органи черевної порожнини.

Найбільш чутливими до надлишкового тиску УХ є органи (або системи), що містять повітря чи рідину. Тобто це органи торакальної та абдомінальної частини тіла. Серце і легені людини в середньому мають в своєму складі однакову кількість крові, по 530 г [10]. Але, за результатами досліджень [14], легені частіше інших органів піддаються деформації. Це зумовлено

тим, що тканина легень, на відміну від серця, печінки та нирок, є пористою, менш щільною та має більший об'єм, а відповідно й площу впливу. Початок тяжких травм легень проявляється при ΔP 400 кПа, а при ΔP 350-800 кПа з 50% ймовірністю спостерігається летальний випадок [6, 12]. Травма легень характеризується крововиливами (рис. 8) та забоями зі сторони дії УХ, а якщо вибух був потужний, то забої можуть спостерігатись з обох сторін [14]. У методиці EURONCAP впроваджено критерій травмування м'яких тканин VC (Viscous Criterion), порядок його визначення приведений у роботах [7, 12] та критерій травмування грудної клітки THCC (Thorax Compression Criterion), згідно з яким деформація грудної клітки не повинна перевищувати 50 мм.

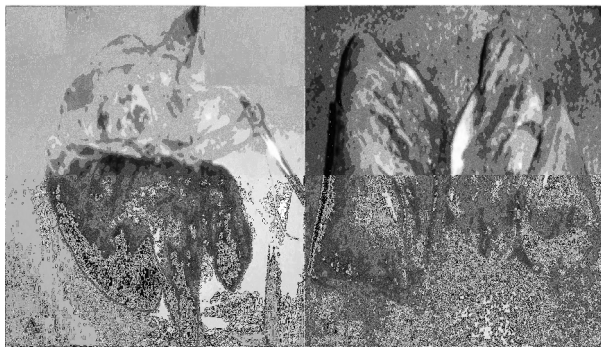


Рис. 8. Пошкодження легень вибуховою ударною хвилею:

а) експеримент проведений на свині, б) легені людини, що загинула від дії ударної хвилі

Пошкодження органів живота від дії вибухової хвилі спостерігаються значно рідше, ніж легень [6].

При підриві ББМ на МВП основним уражаючим фактором на членів екіпажу є імпульс ударного прискорення. Цей імпульс приводить у вертикальний рух таз (рис. 3) та викликає стиснення в поперековому відділі хребта, що може призвести до серйозних травм. Хоча таз теж може зазнати ушкодження через високі вертикальні навантаження, та з досвіду встановлено, що травми поперекового відділу є переважаючими [11, 13].

Оскільки запобігти всім можливим травмам екіпажу при підриві дуже складно, тому необхідно надати пріоритет тим частинам тіла, які є життєво необхідними і пошкодження яких призведе до смерті чи каліцтва. Так як хребет є одним з найбільш вразливих частин тіла членів екіпажу ББМ при підривах на МВП, в якості основного пропонується розглянути критерій травмування хребта [13].

Важливість недопущення травми хребта впливає з його основних функцій. Це надання жорсткості тілу, з'єднання грудних і тазових поясів та кріплення великої кількості м'язів. Крім того, хребет ділиться на 4 відділи: шийний з'єднує основу черепа з тілом, грудний забезпечує кріплення грудної клітки та захист її органів, а поперековий виконує несучу

функцію тіла [14]. Ще однією важливою функцією хребта є захист спинного мозку, а оскільки швидкість розповсюдження хвиль деформації у твердих кісткових тканинах найбільш висока, біомеханічні ефекти ударних прискорень перш за все реалізуються в опорних структурах і органах, тісно з ними зв'язаних, тобто спинному та головному мозку [6]. А якщо спинний мозок сильно стиснутий або пошкоджений, це може призвести до паралічу або летальності. Розглянувши основні функції хребта, проглядається його зв'язок з кожною з комплексу можливих травм екіпажу ББМ при підриві на МВП.

Одним з найбільш часто використовуваних критеріїв для оцінки травмування хребта при вертикальних навантаженнях є DRI (Dynamic Response Index) - індекс динамічної реакції вздовж вертикальної осі [11-13]. Для визначення DRI (2) хребет людини представляється у вигляді механічної системи (рис. 9), що складається з маси, демпфера і пружного елемента.

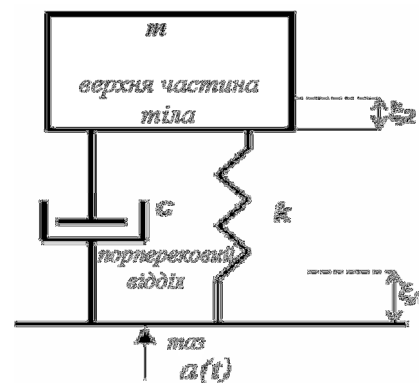


Рис. 9. Механічна система, еквівалентна хребту людини

$$DRI = \frac{\omega^2 \delta_{\max}}{g}, \quad (2)$$

де DRI – індекс динамічної реакції; δ_{\max} – відносне переміщення при максимальному значенні $a(t)$; g – прискорення вільного падіння.

Тоді рух цієї системи описується рівнянням (3) [12]

$$a(t) = \frac{d^2 \delta}{dt^2} + 2\zeta \omega \frac{d\delta}{dt} + \omega^2 \delta, \quad (3)$$

де $a(t)$ – вертикальне прискорення; $\delta = \xi_1 - \xi_2$ – відносне переміщення системи (стиснення хребта); $\zeta = \frac{\tilde{n}}{2m\omega}$ – коефіцієнт демпфування; $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ – частота тіла людини приймається 52,9 рад/с (8,4 Гц); значення $\zeta = 0,224$ [12], середня маса верхньої частини тіла – $m = 34,51$ кг, $k = 9,66E+4$ Н/м, $c = 818,1$ Нс/м [14].

Максимально допустиме значення $DRI \leq 17,7$, а максимальне стиснення, виміряне між тазом і поперековим відділом хребта, допускається 6672 Н, а якщо навантаження діє в інтервалі 30 мс, то це значення не повинне перевищувати 3800 Н [12] (рис. 10).

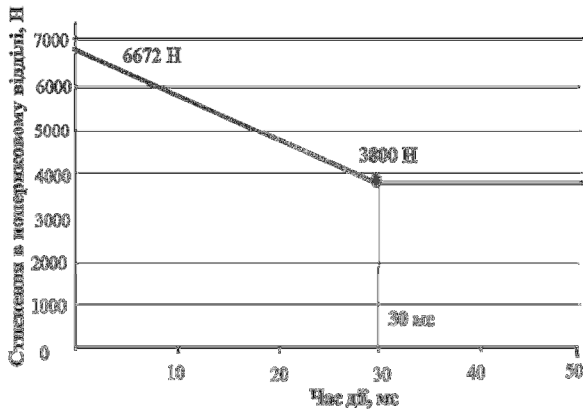


Рис. 10. Залежність сили стиснення в поперековому відділі від часу дії навантаження

Значення DRI, як і сила стиснення в поперековому відділі, безпосередньо залежить від часу дії навантаження [15] (рис. 10).

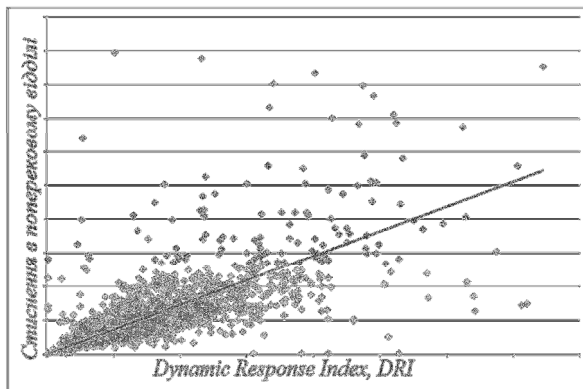


Рис. 11. Залежність DRI від поперекового навантаження

На рис.11 видно, що DRI змінюється пропорційно з поперековим навантаженням, це підтверджується результатами практичних випробувань (близько 1200 випадків), наведеними у роботі [15].

Крім того, у роботі [13] наведені дані експерименту, які свідчать, що при локальному навантаженні максимальна сила стиснення в поперековому відділі досягається приблизно через 18-20 мс (рис. 12 а, 13), а при глобальному, приблизно через 40-60 мс (рис. 12 б, 13).

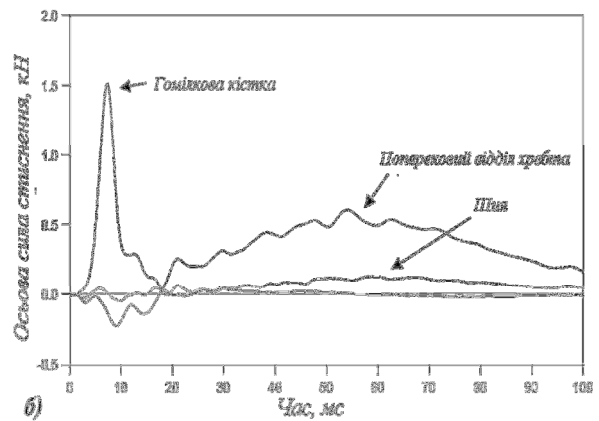
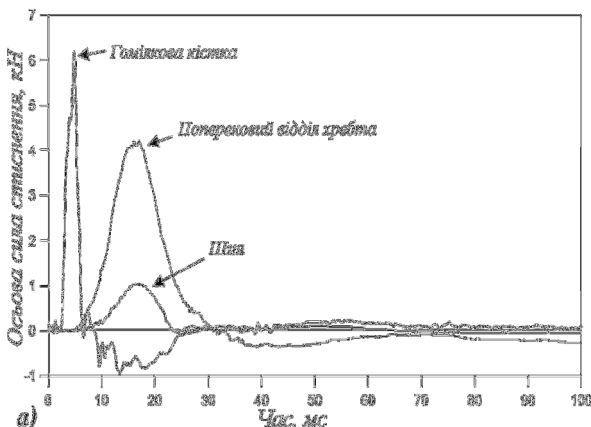


Рис. 12. Осьова сила стиснення в гомілковій кістці, поперековому відділі хребта і ший при навантаженні від вибуху міни під БМБ:

а) локальна, б) глобальна

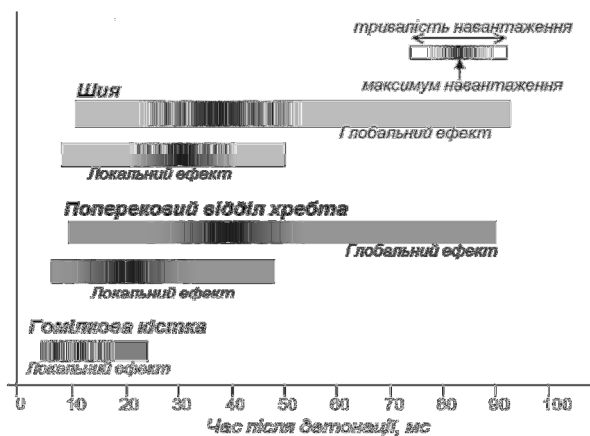


Рис. 13. Інтервали навантаження тіла людини після детонації МВП

Отже, з рис. 12 і рис. 13 видно, що зі збільшенням проміжку часу від моменту підриву МВП до моменту передачі максимального імпульсу на поперековий відділ хребта, значення навантажень та наслідки стають менш серйозними.

Висновки

Проведені дослідження виділяють основні види травмування організму людини при дії вибухових навантажень на конструкцію БМБ та можуть бути вихідними даними для формулювання вимог та визначення напрямів розвитку комплексної системи пасивного протимінного захисту та розроблення загального критерію травмування організму людини при підриві зразка з метою підвищення його протимінної стійкості.

За результатами аналізу встановлено, що за умови збереження цілісності корпусу при підриві на МВП, основними видами травмування організму людини є травмування хребта та нижньої частини ноги. Крім того у статті розглянуто основні часткові критерії стійкості організму людини до екстремальних навантажень.

Впровадження нових заходів з метою підвищення ПМС зразків БМБ повинно базуватися на використанні даних про витривалість організму людини ударних навантажень.

На основі отриманих даних одним із перспективних напрямів зменшення травмування організму людини при підриві БМ є застосування енергопоглинаючих протимінних сидінь. Такий захід дозволить значно знизити імовірність травмування членів екіпажу внаслідок підриву БМ на МВП за рахунок поглинання енергії конструкцією сидіння, вибору оптимальної пози людини, надійному фіксуванню тулуба, голови та ніг. При цьому важливим фактором, що впливає на ефективність протимінного сидіння, є обґрунтування конструкції та його раціональних параметрів, що є напрямом подальших досліджень.

Список літератури

1. *Боевое применение вооружения и военной техники в горно-пустынной местности Афганистана.* – М.: Воениздат, 1990. – 231 с.
2. Бісик С.П. Дослідження конструкції захисного протимінного екрана / Бісик С.П. // Військово-технічний збірник. – №12/2015. – Львів: АСВ, 2015. – С. 110-117.
3. STANAG 4569 edition 1, "Protection levels for occupants of logistic and light armored vehicles", NSA/0533-LAND/4569.
4. *Summary of global armoured vehicle market report 2013* [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://www.defenceiq.com/armouredvehicles/articles/summary-of-global-armoured-vehicle-market-report-2/&mac=DFIQ_OI_Featured_2011&utm_source=defenceiq.pdf.
5. *Виброударные воздействия на экипажи танков и БМП / Н.И. Бурлаченко, Г.С. Жартовский, Е.К. Потемкин, Р.Д. Тетельбаум, В.М. Фролов.* – М.: ЦНИИ информации, 1981. – 200 с.
6. *Военно-полевая хирургия: учебник.- 2-е изд.,изм. и доп./ под ред. Е.К. Гуманенко.* – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 768 с.
7. *Критерії оцінювання аварійних ударних навантажень тіла людини під час ДТП / В.М. Козут, О.М. Григорішин [у др.] // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту, 2013.– №2.– С. 29-39.*
8. Ramasamy A. *In-vehicle extremity injuries from improvised explosive devices: current and future foci* / A. Ramasamy, N. Newell et al. // *Philosophical transactions of the royal society B.* – 2011. – P. 160-170.
9. Ramasamy A. *Evaluating the effect of vehicle modification in reducing injuries from landmine blasts. An analysis of 2212 incidents and its application for humanitarian purposes* / A. Ramasamy, Adam M. Hill et al. // *Accident Analysis and Prevention* 43. – 2011. – P. 1878-1886.
10. Рабинович Б.А. *Безопасность человека при ускорениях. (Биомеханический анализ).* – М., 2007. – 208 с.
11. *Reduction of Acceleration Induced Injuries from Mine Blasts under Infantry Vehicles* [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ase.uc.edu/~atabiei/pdfs/J.pdf>
12. Критерії травмування організму людини при ударному та вибуховому навантаженні / [С.П. Бісик, Л.С. Давидовський, В.Р. Схабицький] // *Системи озброєння і військова техніка. Щоквартальний науковий журнал.* – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2015.– №1(41).– С.153-159.
13. RTO-TR-HFM-090 (2007), *Test Methodology for Protection of Vehicle Occupants against Anti-Vehicular Landmine Effects, Final Report of the NATO Research and Technology Organisation (RTO) Human Factor and Medicine Panel (HFM) Task Group TG-025, Published April.*
14. *Explosion and blast-related injuries : effects of explosion and blast from military operations and acts of terrorism / editors, Nabil M. Elsayed, James Atkins.* - Academic press is an imprint of Elsevier, 2008. – 380 p.
15. *Comparing the Use of Dynamic Response Index (DRI) and Lumbar Load as Relevant Spinal Injury Metrics* [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a591409.pdf.

Рецензент: д.т.н., с.н.с. О.М. Купріненко, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ.

Анализ механогенеза травмирования экипажа при подрыве боевых бронированных машин на минно-взрывных устройствах

Л.С. Давыдовский, С.П. Бисык

В статье представлен анализ механогенеза и патофизиологии травмирования экипажа боевой бронированной машины при подрыве на минно-взрывном устройстве. Проведенные исследования выделяют основные виды травм организма человека при воздействии взрывных нагрузок на конструкцию боевой бронированной машины и могут быть исходными данными для формулировки требований и определения направлений развития комплексной системы пассивной противоминной защиты и разработки общего критерия травмирования организма человека при подрыве образца с целью повышения его противоминной стойкости. Кроме того, в статье рассмотрены основные частичные критерии устойчивости организма человека к экстремальным нагрузкам.

Ключевые слова: противоминная стойкость, взрывные нагрузки, травмы взрывом, поясничный отдел позвоночника, критерии травмирования.

Analysis of the crew injury mechanogenesis at armored combat vehicles blast on mine-explosive devices

L. Davydovskiy, S. Bisyk

The article present mechanogenesis and pathophysiology of injury crew of armored combat vehicles at undermining at mine-explosive devices. The study distinguish the main types of injury to the human body when exposed to explosive loads a design armored combat vehicles and can output data to formulate requirements and identify complex system of passive antimine protection and development of common criteria injury to the human body at undermining the sample in order to increase its stability Mine . Also in the article the basic criteria for partial resistance of the human body to extreme stress.

Key words: mine stability, explosive load, blast injury, lumbar spine injury criteria