

УДК 531.66

МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ ВИСОКОШВИДКІСНОГО УДАРНИКА З ЗАХИСНИМИ ПЕРЕШКОДАМИ

А.В. Ковтун,кандидат технічних наук, доцент¹**В.О. Табуненко,**кандидат технічних наук, доцент¹**С.І. Нестеренко,**кандидат технічних наук, доцент²

¹Національна академія Національної охорони України,
Харків, майдан Захисників України 3, м. Харків, 61001

²Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, вулиця Чкалова 17, м. Харків, 61070

DOI: 10.32347/2410-2547.2019.102.207-219

В даній роботі розглянуто процес взаємодії високошвидкісного ударника з захисними перешкодами традиційного та нового типів. Досліджено механізм пробивання захисних перешкод. Наведені формули для визначення глибини проникнення ударника в захисну перешкоду традиційного типу. Запропоновані моделі визначення глибини проникнення ударника в перешкоду у вигляді набору порожнистих циліндрів. Наведені результати розрахунків та порівняння їх з результатами експериментів. Подальші дослідження пов'язані з врахуванням порушення конструктивної цілісності кулі зі сталевим сердечником і свинцевої оболонки, можливість якої необхідно враховувати при проектуванні захисних конструкцій.

Ключові слова: модель, броньовий захист, високошвидкісний ударник, захисна перешкода, деформація, порожстий циліндр.

Постановка проблеми. Не зважаючи на розробку зброї на нових фізичних принципах, на озброєнні сучасних армій знаходяться удосконалені традиційні види засобів ураження військ противника, що, в свою чергу, викликає продовження розробок сучасних засобів броньового захисту.

Сучасні засоби захисту мають шарувату конструкцію. Одним з шарів засобів захисту є стійка до високоенергетичному удару тканина, іншим, шар, що амортизує дію вражаючих елементів. Однак, основний удар високошвидкісних вражаючих елементів сприймають жорсткі пластини.

У зв'язку зі складністю фізичних процесів, що відбуваються при ударній дії в конструкції засобів захисту, розробка задовільних математичних моделей, які враховують хоча б основні характерні риси процесів, що розглядаються, представляє складну проблему, рішення якої поки отримано лише для найбільш простих випадків.

Тому актуальними залишаються задачі розробки сучасних засобів броньового захисту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі, найбільша увага приділяється визначенню потрібної товщини захисної перешкоди [1-5]. При цьому наголошується, що при взаємодії ударника з перешкодою з малими швидкостями інерційні сили дуже малі в порівнянні з характеристиками міцності елементів. Деформування охоплює всю

конструкцію і в основному носить пружний характер. При середніх швидкостях удару сили інерції можна порівняти зі статичним опором проникненню, деформування носить локальний характер і характеризується високими значеннями пластичної деформації і її швидкості. При високих швидкостях удару переважаючими стають інерційні сили, теча матеріалу взаємодіючих елементів наближається до гідродинамічної.

Практика застосування зброї показує, що процеси, які проходять при пробиванні перешкод, відрізняються великим різноманіттям і залежать від багатьох факторів. Основними з них є: швидкість і напрямок удару, розміри і форма ударників, конструкція і технологія виготовлення захисних засобів, фізичні і механічні властивості матеріалів ударників і захисних перешкод. Якісний аналіз, що проведений в роботі [6], показав, що одним з найбільш важливих з практичної точки зору і в той же час найбільш складним і слабо вивченим, залишається процес проникання ударників в перешкоди кінцевої товщі в діапазоні швидкостей взаємодії 500-2000 м/с. В цьому діапазоні швидкостей необхідно враховувати спротив деформуванню, який обумовлено багатьма нелінійними ефектами, пов'язаними з деформаційним і швидкісним зміцненням, фазовими перетвореннями, локалізацією деформації, пошкодженням і руйнуванням матеріалу перешкоди.

Достовірність прогнозу результатів ударної взаємодії ударника з перешкодою підвищується порівнянням результатів аналітичного і чисельного моделювання, а також даними натурних випробувань. За результатами такого порівняння уточнюються методики моделювання, моделі поведінки матеріалу та взаємодії елементів. Комплексне експериментально-розрахункове дослідження особливостей взаємодії ударників з перешкодами є найважливішою умовою надійного прогнозу результатів взаємодії елементів і може суттєво підвищити ефективність розробок конструктивних рішень. Така схема досліджень (вивчення поведінки елементів конструкцій при реальних умовах динамічного навантаження, чисельне і експериментальне моделювання) дозволяє створювати основи для розробки та обґрунтування рекомендацій по раціональному конструюванню, і вибору матеріалів, їх структурного стану, що забезпечує підвищення ефективності їх використання в конструкціях.

Різними дослідниками були отримані різні емпіричні формули, що враховують основні параметри удару [1] (формули Петрі, Нобіле, Сіаччі і Круппа, Гавра, Томпсона, Девіса, Березанська та ін.), засновані на експериментальних даних, отриманих при обстрілі листів броні при різних умовах, що звужує їх область застосування.

При цьому, в більшості досліджень звертається увага на механічні характеристики матеріалів і, в набагато меншому ступені, оцінюються конструктивні параметри перешкод. Загальним у відомих дослідженнях є те, що захисна перешкода представлена у вигляді пластини (набору пластин), тоді як одна із складових частин стрілецької зброї являє собою механічну систему, що складається з ударника (кулі) і стволу (оболонки).

Наведені дані свідчать про те, що теорія механічного взаємодії ударників з перешкодами різних видів не отримала свого повного завершення, процеси, що відбуваються при ударній взаємодії елементів механічних систем до кінця не вивчені, а застосовувані моделі і методи розрахунків залежать від необхідної точності отриманих результатів, при цьому не оцінюються конструктивні параметри перешкод. Подальше вдосконалення засобів індивідуального бронезахисту може бути досягнуто шляхом застосування оптимального поєднання нових матеріалів і сучасних конструктивно-схемних рішень.

Науковою основою досліджень процесу пробивання перешкод високошвидкісними ударниками є: теорії пружності, пластичності і міцності матеріалів, теоретичні основи забезпечення живучості особового складу підрозділів при веденні бойових дій, теорія надійності зразків озброєння, математичне моделювання, математичне планування експериментів.

Мета статті - дослідити процес взаємодії високошвидкісного ударника із захисною перешкодою традиційного типу та перешкодою у вигляді набору пустотілих циліндрів.

Основний матеріал. Процес проникнення ударника в традиційні захисні перешкоди об'єднує кілька фізичних механізмів. В цьому випадку присутні як стадія пов'язана з розсуванням матеріалу перешкоди, так і стадія вибивання пробки (відкол).

При ударі ударника по перешкоді традиційного типу (пластині) в ній виникає кілька типів хвиль збурень, що поширюються з різними швидкостями [1]. Ці збурення викликають в конструкції складний напружений стан, інтенсивність якого швидко знижується з часом (рис. 1).

Початкова стадія проникнення ударника в перешкоду визначається моментом часу, в перебігу якого ударник проникне в перешкоду на глибину близько двох своїх діаметрів. Протягом цього періоду для недеформованого ударника з конусоподібною головною частиною змінюється характер руху і напружено-деформований стан матеріалу перешкоди, а зусилля проникнення досягає сталого значення, відмінного від зусилля в поверхневих шарах. (В разі взаємодії ударника з порівняно міцною перешкодою на початковому етапі відбувається інтенсивне деформування головної частини ударника і утворення її нової форми).

Після досягнення деякої критичної глибини проникнення розмір кратера перестає змінюватися і починає формуватися основний канал каверни. Кінцевою стадією пробивання перешкоди вважається частина процесу пробивання, яка починається з моменту наближення ударника до

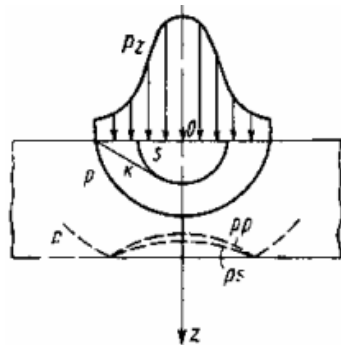


Рис. 1. Картина поширення хвиль напружень в перешкоді при ударі

тильної поверхні перешкоди на деяку критичну відстань і закінчується виходом ударника з перешкоди. Досягнення зазначеної відстані, пов'язане з виходом на тильну поверхню зони пластичності, викликає зміну напружено-деформованого стану взаємодіючих елементів.

При наближенні ударника до тильної поверхні перешкоди, в ній виникає зона розтягуючих радіальних і тангенціальних напружень у вигляді розширюваної конічної воронки. В результаті дії цих напружень в матеріалі можуть виникнути пошкодження або тріщини. Подальший рух ударника призводить до вилому частини матеріалу перешкоди (рис. 2).

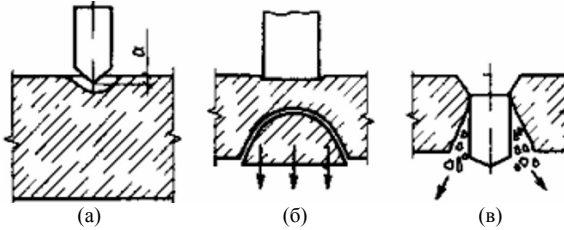


Рис. 2. Процес проникнення ударника в перешкоду

Дослідження процесу ударної взаємодії ударників з захисними перешкодами традиційного типу. Не дивлячись на те, що в наш час швидко розвиваються аналітичні та чисельні методи дослідження процесів проникання ударників в захисні перешкоди, емпіричні моделі все ж залишаються найбільш розповсюдженими.

При такому підході до рішення задач пробивання ударником захисних перешкод, звичайно зосереджують увагу на якому-небудь одному, найбільш важливому аспекті задачі. При цьому вводяться припущення, що облегшують отримання рішення в замкнутому вигляді. В основному ці методи розробляються з припущенням, що ударник є недеформованим. Основою служать закон збереження енергії або закон збереження кількості руху. Практично всі методи вимагають введення емпіричних констант. Тому для оцінки можливості застосування тієї чи іншої моделі проникання, необхідно провести її критичний аналіз і порівняння, отриманих на її основі результатів, з відомими представленнями про досліджуване явище. В роботі [6] відмічається, що емпіричні підходи до аналізу процесів проникання і пробивання відрізняються великою різнобарвністю, і для їх коректного використання необхідно виділити основні обмеження і накреслити область їх застосування.

В практиці переважає емпіричний підхід, який дозволяє на основі статистичної обробки експериментальних даних отримати прості і достатньо надійні розрахункові залежності.

Різними дослідниками були отримані різні емпіричні формули, що враховують основні параметри удару. Одна з відомих залежностей для визначення глибини впровадження ударника h в перешкоду, має вид [1]:

$$h = 10k\lambda \frac{G}{d^2} V_0, \quad (1)$$

де k - коефіцієнт, що характеризує фізико-механічні властивості перешкоди; λ - коефіцієнт, що залежить від форми головної частини ударника; G - вага ударника; d - діаметр ударника; V_0 - швидкість ударника.

В Національному оборонному дослідницькому комітеті США отримані, на основі аналізу результатів проведення великої кількості експериментів, наступні формули [1]:

$$h = \sqrt{4k\lambda Gd \left(\frac{V_0}{1000d}\right)^{1,8}} \quad \text{для } \frac{h}{d} \leq 2, \quad (2)$$

$$h = \left[k\lambda G \left(\frac{V_0}{1000d}\right)^{1,8} \right] + d \quad \text{для } \frac{h}{d} \geq 2. \quad (3)$$

Загальним недоліком наведених формул є грубе врахування властивостей перешкоди (пластини) єдиним коефіцієнтом. У всіх наведених формулах не витримується співвідношення розмірностей, у цих співвідношеннях відсутня фізична основа.

Більш точною є формула Томсона. Згідно з нею, повна енергія, поглинена пластиною в процесі її пластичної деформації при розширенні отвору, визначається наступним чином:

$$E_{\Sigma} = \pi R^2 h \left(\frac{1}{2} \sigma + \rho \left(\frac{V \cdot R}{L} \right) \right), \quad (4)$$

де R – калібр кулі, м; h – товщина шару перешкоди, що пробивається, м; $[\sigma]$ – граничне напруження конструкції, МПа; ρ – щільність матеріалу перешкоди, кг/м³; V – швидкість кулі, м/с; L – довжина кулі, м. Звідки:

$$h = \frac{E_{\Sigma}}{\pi R^2 \left[\frac{1}{2} \sigma + \rho \left(\frac{V \cdot R}{L} \right) \right]}. \quad (5)$$

За допомогою залежності (5) проведемо розрахунок товщини наскрізного пробивання металеві перешкоди зі сталі, сталюю кулею $R=0,00273$ м, що рухається зі швидкістю $V=600$ м/с; $L=0,012$ м; у сталеву перешкоду з параметрами $\sigma=1200$ МПа; $\rho=7800$ кг/м³.

Вважаємо, що повна енергія, поглинена пластиною в процесі її пластичної деформації при розширенні отвору $E_{\Sigma}=2700$ Дж.

При цих вихідних даних отримаємо: $h=0,19$ м.

Найбільш повна картина протікання процесу проникнення ударника в захисну перешкоду з урахуванням в'язко пластичних ефектів, обумовлених високою швидкістю деформації, наведена в роботі [6]. В цій роботі отримано вираз для визначення глибини проникання ударника в в'язко пластичне середовище. Цей вираз має наступний вигляд:

$$h = \frac{d\rho V^2}{f_v} \left[1 - \frac{f_{st}}{f_v} \ln \left(1 + \frac{f_v}{f_{st}} \right) \right], \quad (6)$$

де d - діаметр ударника, м; ρ - щільність матеріалу ударника, кг/м³; f_{st} - твердість матеріалу перешкоди, Па; $f_v = \frac{\mu V}{d}$; μ - коефіцієнт в'язкості, Па·с.

За допомогою виразу (6) визначимо товщину наскрізного пробиття пластини із сталі кулею зі сталевим сердечником $d = 0,00545$ м, що рухається зі швидкістю $V = 600$ м/с; $\rho = 7800$ кг/м³; $f_{st} = 17 \cdot 10^8$ Па; $f_v = 1,8 \cdot 10^8$ Па.

Вважаємо, що повна енергія, поглинена пластиною $E_{\Sigma} = 2700$ Дж.

В результаті розрахунку отримаємо: $h = 0,08$ м.

Аналіз результатів розрахунків дозволяє зробити висновок про те, що характер пробивання залежить від ряду факторів і, в першу чергу, від швидкості в момент удару.

Експериментальні дослідження по пробиттю металевих пластин з автомата АК-74 (з відстані 10 м) показали, що глибина проникнення кулі в перешкоду із сталі 3, складає $h = 0.021 \pm 0.001$ м, $P = 0,95$ (рис. 3). При цьому, результати експериментальних досліджень не співпадають з результатами розрахунків, що виконані за відомими формулами.

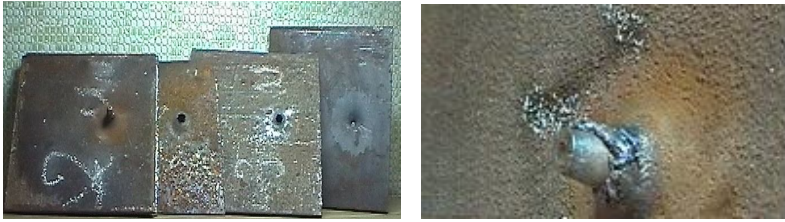


Рис. 3. Результати експериментальних досліджень по пробиттю металевих пластин з матеріалу Ст.3

Визначення глибини проникнення ударника в захисну перешкоду у вигляді набору пустотілих циліндрів.

Характер проникання ударника в перешкоду може змінитися, якщо ударник і перешкода будуть представляти вкладену конструкцію [7]. Розглянемо процес взаємодії ударника з перешкодою у вигляді набору пустотілих циліндрів, що мають верхню частину, яка розширюється, і циліндричну частину з діаметром меншим діаметра ударника (кулі) рис. 4.

При контакті ударника із зовнішнім шаром перешкоди, за рахунок наявності верхньої частини, що розширюється, ударник попадає в пустотілий циліндр, який щільно облягає бокову поверхню ударника, який рухається вздовж циліндра, що створює спротив його руху.

При контакті ударника із зовнішнім шаром перешкоди, за рахунок наявності верхньої частини, що розширюється, ударник попадає в пустотілий циліндр, який щільно облягає бокову поверхню ударника, який рухається вздовж циліндра, що

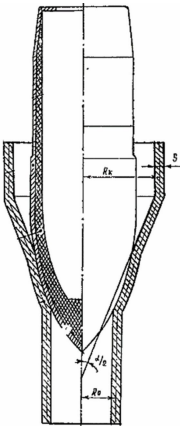


Рис. 4. Схема взаємодії кулі з пустотілим циліндром

створює спротив його руху. При русі ударника в циліндрі проходить перетворення кінетичної енергії ударника в енергію деформації циліндра та здійснення роботи по переборі сили тертя.

Визначимо глибину проникання ударника в циліндр для різних моделей ударної взаємодії таких конструкцій.

Для визначення глибини проникання ударника в циліндр використаємо рішення задачі Ламе [8-11].

Для випадку, коли товстостінний циліндр знаходиться тільки під дією внутрішнього тиску $p_B = p$, зовнішній тиск $p_H = 0$, радіальні σ_r і тангенціальні σ_θ напруження визначаються за формулами [11]:

$$\sigma_r = \frac{p_B \cdot r_B^2}{r_H^2 - r_B^2} \cdot \left(1 - \frac{r_H^2}{r^2}\right), \quad \sigma_\theta = \frac{p_B \cdot r_B^2}{r_H^2 - r_B^2} \cdot \left(1 + \frac{r_H^2}{r^2}\right), \quad (7)$$

де r_B - внутрішній радіус циліндра, r_H - зовнішній радіус циліндра, r - поточний радіус циліндра.

При $r = r_H$ $\sigma_r = 0$, а при $r = r_B$ $\sigma_r = -p$.

$$\sigma_\theta = \frac{p \cdot r_B^2}{r_H^2 - r_B^2} \cdot \left(1 + \frac{r_H^2}{r^2}\right), \quad (8)$$

$$\text{При } r = r_B \quad \sigma_\theta = \frac{p \cdot (r_B^2 + r_H^2)}{r_H^2 - r_B^2}, \quad \text{а при } r = r_H \quad \sigma_\theta = \frac{2 \cdot p \cdot r_B^2}{r_H^2 - r_B^2}. \quad (9)$$

При виконанні розрахунків за 3-ю теорією міцності [11]:

$$\sigma_\theta = \frac{2 \cdot p \cdot r_H^2}{r_H^2 - r_B^2} \leq [\sigma], \quad (10)$$

де $[\sigma]$ - гранична міцність матеріалу циліндра.

Граничне значення внутрішнього тиску $p_{\text{гран}}$, при умові, що $r_H \rightarrow \infty$:

$$p_{\text{гран}} = \frac{[\sigma]}{2}. \quad (11)$$

Силу, під дією якої куля буде рухатися вздовж внутрішньої поверхні циліндра, визначимо за допомогою формули [11]:

$$F = f \cdot p_K \cdot \pi \cdot D \cdot l, \quad (12)$$

де f - коефіцієнт тертя між кулею і внутрішньою поверхнею циліндра; p_K - контактний тиск, Па; D - внутрішній діаметр циліндра, м; l - довжина кулі, м.

$$p_K = \frac{\delta \cdot E}{2 \cdot D}, \quad (13)$$

де δ - натяг, м; E - модуль пружності, Па.

Глибину проникнення кулі в циліндр визначимо за виразом:

$$h = \frac{E_\Sigma}{F}. \quad (14)$$

За допомогою залежностей (12-14) проведемо розрахунок шляху проникнення кулі в циліндр зі сталі, стальна куля $D = 0,005$ м, що рухається

зі швидкістю $V=600$ м/с; $L=0,02$ м; $\delta=0,0002$ м, $f=0,3$, у сталеву перешкоду з параметрами $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа, $[\sigma]=1,6 \cdot 10^5$ МПа.

Вважаємо, що повна енергія, поглинена циліндром в процесі його деформації при розширенні отвору $E_{\Sigma}=2700$ Дж.

При цих вихідних даних, отримаємо: $h=0,006$ м.

Але при цьому, умова (10) не виконується. Напруження

$$\sigma_{\theta} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа} \geq [\sigma].$$

Експериментальні дослідження по пробиттю перешкоди у вигляді пустотілих циліндрів з автомата АК-74 (з відстані 10 м) показали, що при проникненні кулі в циліндр, циліндр повздовжне розривався. Результати експериментів наведені на рис. 5.

Експериментальні дослідження підтверджують, що міцність циліндра, що працює при внутрішньому тиску, зі збільшенням товщини стінки зростає тільки до певної межі, оскільки навіть при нескінченно великому зовнішньому радіусі внутрішній тиск в циліндрі не може перевищувати певної величини. Виходячи з розрахунку на міцність по напрузці, що допускається, і відповідно до третьої теорією міцності будь-яке збільшення товщини стінки циліндра не дозволить йому утримувати тиск більше, ніж визначений за виразом (10).

Тому матеріал зовнішніх шарів циліндра використовується неефективно. Розвантажити внутрішні шари можна за рахунок більш інтенсивного навантаження зовнішніх шарів. Для цього циліндр потрібно виконати складовим, надівши один циліндр на інший з натягом. У таких циліндрах величина граничного внутрішнього тиску може бути значно більше, ніж в цілісному циліндрі. При посадці одного циліндра на інший з натягом окружні напруження у внутрішньому циліндрі стають стискаючими, а в зовнішньому – розтягуючими (рис. 6).



Рис. 5. Результати експериментальних досліджень по пробиттю перешкоди у вигляді пустотілих циліндрів

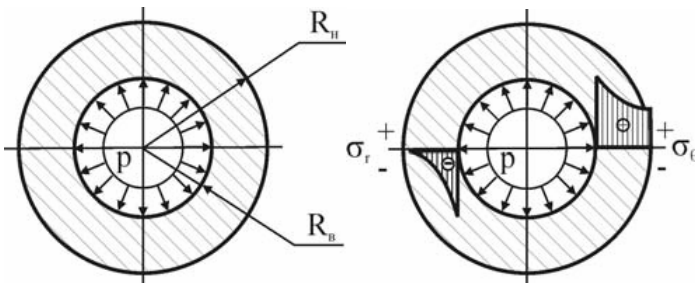


Рис. 6. Скріплені циліндри

Для визначення глибини проникання ударника в циліндр використаємо рішення задачі Гадоліна [11].

При навантаженні складеного циліндра внутрішнім тиском обидві його частини будуть працювати як одне ціле і в складеному циліндрі виникнуть напруження, які повинні бути алгебраїчно підсумовані з попередніми напруженнями натягу. У внутрішніх, найбільш напружених точках робочі напруження і напруження натягу мають різні знаки. Таким чином, сумарне напруження знижується і складовий циліндр здатний витримати більший тиск. Однак внаслідок натягу збільшуються напруження в зоні контакту у зовнішнього циліндра. Тому натяг δ повинен підбиратися для заданого робочого тиску p так, щоб була забезпечена міцність не тільки внутрішнього, а й зовнішнього циліндра.

Після посадки одного циліндра на інший зовнішній радіус внутрішнього циліндра і внутрішній радіус зовнішнього стають однаковими, а сума абсолютних величин радіальних переміщень обох циліндрів по радіусу поверхні контакту під дією контактного тиску дорівнює половині натягу.

Контактний тиск буде зовнішнім для внутрішнього циліндра і внутрішнім для зовнішнього циліндра.

У відповідності з третьою теорією міцності еквівалентні напруження у складовому циліндрі визначаються наступним чином [11]:

$$\sigma_{\text{ЕКВ}} = p \cdot \frac{2 \cdot r_{\text{H}_2}^2}{r_{\text{H}_2}^2 - r_{\text{H}_1}^2} \left[1 - \frac{1}{\frac{r_{\text{H}_2}^2}{r_{\text{H}_2}^2 - r_{\text{H}_1}^2} + \frac{r_{\text{H}_1}^2}{r_{\text{H}_1}^2 - r_{\text{B}_1}^2}} \right], \quad (15)$$

де $r_{\text{B}_1}^2$ - внутрішній радіус внутрішнього циліндра, $r_{\text{H}_1}^2$ - зовнішній радіус внутрішнього циліндра, $r_{\text{H}_2}^2$ - зовнішній радіус зовнішнього циліндра.

Умовам Гадоліна відповідають наступні значення натягу та контактного тиску [11]:

$$\delta = \frac{2 \cdot p \cdot r_{\text{H}_1}}{E}. \quad (16)$$

$$p_{\text{К}} = \frac{\delta \cdot E}{4 \cdot r_{\text{H}_1}^3} \frac{(r_{\text{H}_1}^2 - r_{\text{B}_1}^2) \cdot (r_{\text{H}_2}^2 - r_{\text{H}_1}^2)}{r_{\text{H}_2}^2 - r_{\text{B}_1}^2}. \quad (17)$$

За допомогою залежностей (12), (14)-(17) проведемо розрахунок шляху інпроникнення сталюї кулі $D=0,00545$ м, що рухається зі швидкістю $V=600$ м/с; $L=0,02$ м; у сталевий складений циліндр з параметрами $r_{\text{B}_1} = 0,0025$ м, $r_{\text{H}_1} = 0,0035$ м, $r_{\text{H}_2} = 0,005$ м, $\delta = 0,0005$ м, $f=0,3$, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, $[\sigma] = 1,6 \cdot 10^5$ МПа (рис. 7).

Вважаємо, що повна енергія, поглинена складеним циліндром в процесі його деформації при

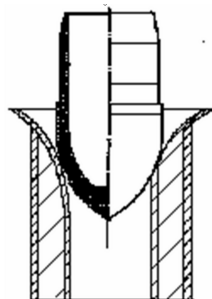


Рис. 7. Схема взаємодії кулі із складеним циліндром

розширенні отвору $E_{\Sigma} = 2700$ Дж.

При цих вихідних даних, отримаємо: $h=0,06$ м.

При цьому, умова (10) виконується (напруження

$$\sigma_{\theta} = 0,85 \cdot 10^4 \text{ МПа} \leq [\sigma]).$$

Висновки

1. Досліджено процес взаємодії високошвидкісного ударника (кулі) із захисними перешкодами традиційного типу та у вигляді набору пустотілих циліндрів (одиначного та скріпленого).

2. Запропонована модель визначення глибини проникання високошвидкісного ударника (кулі) в пустотілі циліндри (одиначний та скріплений).

3. Проведені розрахунки глибини проникання кулі зі сталевим сердечником із автомата Калашникова (АК-74) в сталеву пластину та в сталеві циліндри (одиначний та скріплений). Результати розрахунків перевірені за допомогою натурних експериментів.

4. Подальше вдосконалення засобів індивідуального бронезахисту може бути досягнуто шляхом застосування оптимального поєднання нових матеріалів і сучасних конструктивно-схемних рішень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. *Попов Н.Н.* Расчет конструкций на динамические и специальные нагрузки. / Н.Н. Попов, Б.С. Расторгуев, А.В. Забегаяев – М.: Высшая школа, 1992. – 320 с.
2. *Калашников В.В.* Исследование влияния конструкции пули на процесс пробивания стальной преграды / В.В. Калашников, С.Е. Алексенцева // Машиностроение. Вестник Самарского Государственного Технического Университета. СЕР. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ -2009.-№2(24). – с.60–68.
3. *Механика разрушения и прочность материалов. Справочное пособие.* /Под общей ред. Панасюка В.В. – К.: Наукова думка, 1988. –435 с.
4. *Аптуков В.Н.* Проникание: механические аспекты и математическое моделирование / В.Н. Аптуков // Проблемы прочности. –1990. – N 2. – С.60–68.
5. *Астанин В.В.* Особенности деформирования и разрушения преград при взаимодействии по нормали со стальным ударником / Астанин В.В., Галиев Ш.У., Иващенко К.Б.// Проблемы прочности. –1988.–№12. –С.52–57.
6. *Харченко В.В.* Модели процессов высокоскоростного деформирования материалов с учетом вязкопластических эффектов / В.В. Харченко.– Киев:НАНУ, ИПП, 1999.–280 с.
7. Патент № 20386. Украина, МКИ F 41Н1/02 Противопульная защитная одежда: /В.Ф. Греков, А.В. Ковтун, С.И. Нестеренко, В.А. Неделько; заявитель и патентообладатель Ковтун А.В.-N 93101170/21; Заявлено 15.07.97; Опубл.27.02.98 Бюл. № 1. – 6 с.
8. *Сопrotивление материалов* / Под ред. Г. С. Писаренко – Изд. 5-е. – Київ:Вишшашк., 1986. – 775 с.
9. *Тимошенко С.П.* Сопrotивление материалов: В 2 т. – Изд. 2-е. – М.:Наука, 1965. – Т: 1. Элементарная теория и задачи. – 364 с.
10. *Феодосьев В. И.* Сопrotивление материалов. – М.: Изд-во МГТУ,2000. – 591 с.
11. *Практические расчеты на прочность конструктивных элементов. Ч. I.* / А. Г. Дибир, О. В. Макаров, Н. И. Пекельный, Г. И. Юдин, М. Н. Гребенников. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм.ун-т «Харьковский авиац. институт», 2007. – 102 с.

REFERENCES

1. *Popov N.N.* Raschet konstruktсий na dinamicheskiye I spetsial'nyye nagruzki (Calculation of structures for dynamic and special loads) / N.N. Popov, B.S. Rastorguyev, A.V. Zabegayev – M.: Vysshayashkola, 1992. – 320 s.
2. *Kalashnikov V.V.* Issledovaniye vliyaniya konstruktсий puli na protsess probivaniya stal'noy pregrady (Study of the influence of the bullet design on the process of punching steel barriers) /

- V.V. Kalashnikov, S.Ye. Aleksentseva // Mashinostroyeniye. Vestnik Samarskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. SER. TEKHNIЧЕСKIYE NAUKI -2009. - №2(24). – s.60–68.
3. Mekhanika razrusheniya i prochnost' materialov (Fracture mechanics and strength of materials). Spravochnoye posobiye. /Pod obshechey red. Panasyuka V.V. – K.: Naukova dumka, 1988. –435 s.
 4. Aptukov V.N. Pronikaniye: mekhanicheskiye aspekty i matematicheskoye modelirovaniye (Penetration: mechanical aspects and mathematical modeling) / V.N. Aptukov // Problemy prochnosti. –1990.- N 2. – s.60–68.
 5. Astanin V.V. Osobennosti deformirovaniya i razrusheniya pregrad pri vzaimodeystvii po normali so stal'nym udarnikom (Features of deformation and destruction of barriers in the interaction along the normal with a steel drummer) / Astanin V.V., GaliyevSH.U.,Ivashchenko K.B.// Problemyprochnosti. – 1988. – №12. – s.52–57.
 6. Kharchenko V.V. Modeli protsessov vysokoskorostnogo deformirovaniya materialov s uchetom vyazkoplachesticheskikh effektov (Models of processes of high-speed deformation of materials taking into account viscoplastic effects) / V.V. Kharchenko. – Kiyev: NANU, IPP, 1999. –280 s.
 7. Patent № 20386. Ukraina, MKI F 41H1/02 Protivopul'naya zashchitnaya odezhda: (Bulletproof protective clothing:) /V.F. Grekov, A.V. Kovtun, S.I. Nesterenko, V.A. Nedel'ko; zayavitel' ipatentoobladatel' Kovtun A.V.-N 93101170/21; Zayavleno 15.07.97; Opubl.27.02.98 Byul. № 1– 6 s.
 8. Soprotivleniye materialov (Strength of Materials) / Pod red. G.S. Pisarenko – Izd. 5-ye. – Kiyv: Vishchashk., 1986. – 775 s.
 9. Timoshenko S.P. Soprotivleniye materialov (Strength of Materials) V 2 t. – Izd. 2-ye. – M.: Nauka, 1965. – T. 1. Elementarnaya teoriya i zadachi. – 364 s.
 10. Feodos'yev V.I. Soprotivleniye materialov (Strength of Materials) – M.: Izd-vo MGTU, 2000. – 591 s.
 11. Prakticheskiye raschety na prochnost' konstruktivnykh elementov (Practical calculations of the strength of structural elements). CH. I. / A.G. Dibir, O.V. Makarov, N.I. Pekel'nyy, G.I. Yudin, M.N. Grebennikov. – Ucheb. posobiye. – Khar'kov: Nats. aerokosm.un-t «Khar'kovskiy aviats. institut», 2007. – 102 s.

Стаття надійшла 11.04.2019

Kovtun A., Tabunenko V., Nesterenko S.

MODELS OF ENGAGEMENT BETWEEN A HIGH-SPEED FIRING PIN AND PROTECTIVE OBSTACLES

The article is devoted to the process of engagement of a high-speed firing pin and protective obstacles of both – traditional and new types. It analyzes the mechanism of punching the protective obstacles. The article presents the formulas of determining the depth of penetration of a firing pin into a protective obstacle of the traditional type. It proposes the models of determining the depth of penetration of a firing pin into an obstacle in the form of a set of empty cylinders. The article highlights the results of calculations and their comparing with the results of experiments. The author determines the further researches to be related to the violation of the structural integrity of the bullet with a steel core and a lead shell, the possibility of which must be taken into account while designing protective structures.

The scientific basis of the research of the process of breaking the obstacles by high-speed firing pins is based on the theory of elasticity, plasticity and strength of materials, the theoretical basis of ensuring the survivability of personnel in the process of carrying out combat operations, the theory of reliability of weapons, mathematical modeling, mathematical planning of experiments.

The aim of the article is to investigate the process of engagement between a high-speed firing pin and a protective obstacle of the traditional type and an obstacle in the form of a set of empty cylinders.

In the process of writing the article there was used the theory of the elastically deformed state of thick-walled membranes, the theory of the strength of thick-walled membranes and the method of Gadolin. The author has come to the following conclusions:

1. The article analyzed the process of engagement between high-speed firing pin (bullet) and protective obstacles of the traditional type and in the form of a set of empty cylinders (single and combined).

2. The article proposed the model for determining the depth of penetration of a high-speed firing pin (bullet) into empty cylinders (single and combined).

3. The article highlighted the results of calculations of the depth of penetration of a bullet with a steel core from a Kalashnikov (AK-74) gun-machine into a steel plate and steel cylinders (single and combined). The results of the calculations were verified using practical experiments.

4. The article set out that the further researches would be related to the violation of the structural integrity of the bullet with a steel core and a lead shell, the possibility of which would be taken into account in the process of designing protective structures.

Keywords: model, armor protection, high-speed firing pin, protective obstacle, deformation, empty cylinder.

Ковтун А.В., Табуненко В.О., Нестеренко С.І.

МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ ВИСОКОШВИДКІСНОГО УДАРНИКА З ЗАХИСНИМИ ПЕРЕШКОДАМИ

Розглянуто процес взаємодії високошвидкісного ударника з захисними перешкодами традиційного та нового типів. Досліджено механізм пробивання захисних перешкод. Наведені формули для визначення глибини проникнення ударника в захисну перешкоду традиційного типу. Запропоновані моделі визначення глибини проникнення ударника в перешкоду у вигляді набору пустотілих циліндрів. Наведені результати розрахунків та порівняння їх з результатами експериментів. Подальші дослідження пов'язані з врахуванням порушення конструктивної цілісності кулі зі сталевим сердечником і свинцевої оболонки, можливість якої необхідно враховувати при проектуванні захисних конструкцій.

Науковою основою досліджень процесу пробивання перешкод високошвидкісними ударниками є: теорія пружності, пластичності і міцності матеріалів, теоретичні основи забезпечення живучості особового складу підрозділів при веденні бойових дій, теорія надійності зразків озброєння, математичне моделювання, математичне планування експериментів.

Метою статті було дослідити процес взаємодії високошвидкісного ударника із захисною перешкодою традиційного типу та перешкодою у вигляді набору пустотілих циліндрів.

При написанні статті було використано теорія пружно-деформованого стану товстостінних оболонок, теорія міцності товстостінних оболонок, метод Гадоліна.

Зроблено висновки:

1. Досліджено процес взаємодії високошвидкісного ударника (кулі) із захисними перешкодами традиційного типу та у вигляді набору пустотілих циліндрів (одиначного та скріпленого).

2. Запропонована модель визначення глибини проникання високошвидкісного ударника (кулі) в пустотілі циліндри (одиначний та скріплений).

3. Проведені розрахунки глибини проникання кулі зі сталевим сердечником із автомата Калашникова (AK-74) в сталеву пластину та в сталеві циліндри (одиначний та скріплений). Результати розрахунків перевірені за допомогою натурних експериментів.

4. Подальші дослідження пов'язані з врахуванням порушення конструктивної цілісності кулі зі сталевим сердечником і свинцевої оболонки, можливість якої необхідно враховувати при проектуванні захисних конструкцій.

Ключові слова: модель, броньовий захист, високошвидкісний ударник, захисна перешкода, деформація, пустотілий циліндр.

Ковтун А.В., Табуненко В.А., Нестеренко С.И.

МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО УДАРНИКА С ЗАЩИТНЫМИ ПРЕПЯТСТВИЯМИ

В данной работе рассмотрен процесс взаимодействия высокоскоростного ударника с защитными препятствиями традиционного и нового типов. Исследован механизм пробивки защитных препятствий. Приведены формулы для определения глубины проникновения ударника в защитную преграду традиционного типа. Предложенные модели определения глубины проникновения ударника в препятствие в виде набора пустотелых цилиндров. Приведенные результаты расчетов и сравнения их с результатами экспериментов. При написании статьи были использованы теория напряженно-деформированного состояния толстостенных оболочек, теория прочности толстостенных оболочек, метод Гадолина. Дальнейшие исследования связаны с учетом нарушения конструктивной целостности пули со стальным сердечником и свинцовой оболочки, возможность которой необходимо учитывать при проектировании ограждающих конструкций.

Ключевые слова: модель, броневая защита, высокоскоростной ударник, защитное препятствие, деформация, пустотелый цилиндр.

УДК 531.66

Ковтун А.В., Табуненко В.О., Нестеренко С.І. Моделі взаємодії високошвидкісного ударника з захисними перешкодами / Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2019. – Вип. 102. – С. 207-219.

Іл. 7. Бібліогр. 11 назв.

UDC 531.66

Kovtun A., Tabunenko V., Nesterenko S. Models of engagement between a high-speed firing pin and protective obstacles / Strength of Materials and the Theory of Structures. – 2019. – Issue 102. – P. 207-219.

Fig. 7. Ref. 11 items.

УДК 531.66

Ковтун А.В., Табуненко В.А., Нестеренко С.І. Модели взаимодействия высокоскоростного ударника с защитными препятствиями/ Сопротивление материалов и теория сооружений: науч.-тех. сборн. – К.: КНУСА, 2019. – Вип. 102. – С. 207-219.

Іл. 7. Библиогр. 11 назв.

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри бойового та логістичного забезпечення Національної академії Національної гвардії України КОВТУН Анатолій Васильович.

Адреса робоча: 61001 Україна, м. Харків, майдан захисників України 3, НАНГУ, кафедра бойового та логістичного забезпечення, Ковтун Анатолій Васильович.

Мобільний тел.: +38(097) 708-04-41;

E-mail: kav-60@ukr.net

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8427-1005>

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник наукового центру Національної академії Національної гвардії України ТАБУНЕНКО Володимир Олександрович.

Адреса робоча: 61001 Україна, м. Харків, майдан захисників України 3, НАНГУ, старший науковий співробітник наукового центру Національної академії Національної гвардії України, Табуненко Володимир Олександрович.

Мобільний тел.: +38(097) 225-62-60;

E-mail: tabunenko55@ukr.net

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1347-5390>

Автор (науковий ступінь, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури Національного аерокосмічного університету ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», НЕСТЕРЕНКО Сергій Іванович.

Адреса робоча: 61070 Україна, м. Харків, вул. Чкалова, 17, НАУ «ХАІ», доцент кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури Національного аерокосмічного університету ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», НЕСТЕРЕНКО Сергій Іванович.

Мобільний тел.: +38(096) 965-59-33;

E-mail: nesterenko.geo@gmail.com