

Способ последовательного энергетического обнаружения радиосигналов при априорной неопределенности их длительности

Г.В. Певцов, А.Я. Яцуценко, Д.В. Карлов, М.Ф. Пичугин., Ю.В. Трофименко, И.М. Пичугин, А.Д. Карлов, М.В. Борцова

Рассматривается способ энергетического обнаружения радиосигналов при априорной неопределенности их длительности и ее оценивание. При этом используются последовательно интервалы анализа разной длительности и осуществляется проверка величины энергетического отношения правдоподобия, где суммарная энергия радиосигнала и внутреннего шума к усредненной энергии шума превышает пороги обнаружения для разных интервалов анализа и по количеству превышений определяется их длительность.

Ключевые слова: энергетическое обнаружение, оценивание длительности немодулированного радиосигнала.

A method for sequential energy detection of radio-signals in conditions of their duration a priory uncertainty

G. Pevtsov, A. Yatsutsenko, D. Karlov, M. Pitchugin, Yu. Trofimenko, I. Pitchugin, A. Karlov, M. Bortsova

A method for energy detection of radio-signals in conditions of their duration a priory uncertainty and the duration estimation are considered. The method implies the usage of sequential analyses intervals of various durations and verification of the level of energy likelihood ratio where the total energy of radio-signal and internal noise to the averaged noise energy exceeds detection thresholds for various analysis intervals. On the base of the excesses quantity their duration is defined.

Key words: energy detection, radio-signal duration estimation.

УДК 623.4

О.С. Петрученко

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ТИСК БРОНІ НА ОБ'ЄКТ ЗАХИСТУ ПРИ ДІЇ КУЛЬ ЧИ ОСКОЛКІВ ЗА НЕЛІНІЙНОСТІ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІДКРІПЛЮЮЧОГО ШАРУ

Сформульована задача ударної проникаючої взаємодії кулі чи осколка з плоским листом броні, підкріпленої матеріалом з нелінійними пружними властивостями. На основі наближеного розв'язку проведено дослідження залежності тиску броні на об'єкт захисту від характеру нелінійності пружного підкріплюючого матеріалу. Встановлено, зокрема, що за степеневій нелінійності закону пружності підкріплюючого матеріалу збільшенню показника степеня відповідає зниження сили тиску броні на об'єкт захисту.

Ключові слова: пружний матеріал, куля, броня, тиск, об'єкт захисту.

Вступ. Актуальність теми та мета роботи

Проблема захисту від ураження виникла тоді, коли людина була втягнута у різного роду військові конфлікти. Ураження завдаються не тільки кулями, а й осколками, уламками каміння чи будівельних матеріалів. Ці предмети завдають серйозних ран відкритим ділянкам тіла людини. Сьогодні в якості індивідуального захисту людини використовують бронежилет, який, навіть низьких класів захисту, зменшує вражаючу дію елементів ураження [3-5]. Однак бронежилет не забезпечує абсолютного захисту. Його принцип дії базується на зменшенні кінетичної енергії кулі або осколка захисною пластиною, яка виготовлена з високоякісного металу [6-7]. Це досягається підвищенням запасу міцності броні за рахунок твердості матеріалу і його в'язкості та стовщенням захисної пластини.

Найбільш небезпечним для захисту об'єкта є ударна взаємодія вражаючого елемента (кулі) з

плоскою бронепластиною при перпендикулярності напрямку швидкості кулі до неї.

Крім того, під час зіткнення вражаючого об'єкта з бронепластиною виникає ударне навантаження на об'єкт захисту [8]. Його величина є достатньо великою і викликає надмірні пошкодження об'єкта. Таким чином завдання зменшення вказаного навантаження є актуальним на сьогоднішній день.

У випадку пробиття захисної пластини можливе утворення дрібних уламків, які можуть завдати пошкодження об'єкту захисту.

Останнім двом факторам розробники бронежилетів приділяють меншу увагу. Тому в роботі головна увага приділяється впливу пружного чи в'язкопружного підкріплення пластини бронежилета на величину ударного навантаження. Для цього пропонується використовувати захисні пластини з «пружинною бронєю». Такою «пружиною» може служити шар з підвищеною пружністю.

Виклад основного матеріалу

Розглядається задача взаємодії кулі (осколка) із захисною конструкцією, яка складається з бронепластини, підкріпленої шаром пружного матеріалу до нерухомої поверхні. Куля (осколок) вдаряє об денну поверхню бронепластини під кутом 90° до неї (рис. 1). Такий випадок удару є найбільш небезпечним для захисної конструкції. Будемо розглядати механічну систему куля – бронепластина – підпружинюючий шар за одномірного руху, перпендикулярного до поверхонь конструкції. Напрямок осі Ox , вздовж якої відбувається рух, вибираємо згідно з напрямком руху кулі. Розрізняємо просторову систему координат (вісь Ox_1) і пов'язану з бронелистом (вісь Ox_2). Прийmemo, що закон пружності для підпружинюючого шару має вигляд $F_{np} = cx^\alpha$, де c – модуль жорсткості підпружинюючого шару, x – його абсолютна деформація, $\alpha > 0$. При $\alpha = 1$ цей закон переходить у лінійний закон Гука.

Вважається, що початкова кінетична енергія кулі достатня для проникнення у бронепластину. Матеріал броні має достатні пластичні властивості, так що проникнення (пробій пластины) кулею у перешкоду відбувається за механізмом вибивання корка або пластичного розширення отвору у ній. Як і інші дослідники, нехтуємо енергією ударних хвиль, які виникають при ударі кулі об перешкоду. Енергію деформації броні враховуємо інтегрально роботою, виконаною силою опору броні проникненню кулі. За такого наближення отримуємо систему диференціальних рівнянь для системи куля – твердий шар – пружний шар.

Постановка задачі

Розглядувана механічна система (рис. 1) має два ступені вільності. За узагальнені координати вибираємо: x_1 – координату кулі відносно рухомої системи координат, початок якої закріпленій на передній поверхні AB тіла, x_2 – координату передньої поверхні AB тіла відносно нерухомої системи координат Oxz .

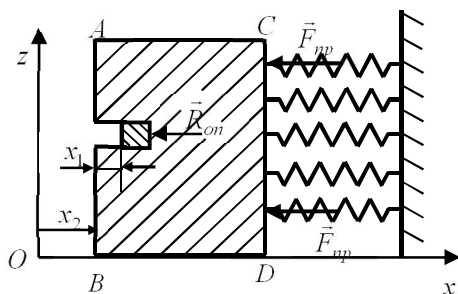


Рис. 1. Схематичне зображення руху кулі відносно підпружиненого тіла

Рух механічної системи опишемо рівняннями Лагранжа другого роду [1]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_{q_i}, \quad (i=1,2), \quad (1)$$

де T – кінетична енергія механічної системи;

q_i ($i=1,2$) – узагальнені координати,

Q_{q_i} – узагальнена сила по q_i координаті.

Кінетична енергія механічної системи складається з кінетичних енергій кулі і тіла.

При визначенні кінетичної енергії кулі будемо враховувати лише ту частину кінетичної енергії кулі, яка виникає внаслідок її поступального руху, оскільки кінетична енергія обертального руху кулі є значно меншою величиною.

Вважаємо, що куля здійснює поступальний рух. Абсолютна швидкість кулі дорівнює сумі швидкості тіла і швидкості кулі відносно цього тіла [1-2], тому кінетична енергія кулі описується залежністю

$$T_1 = \frac{m_1(\dot{x}_1 + \dot{x}_2)^2}{2}. \quad (2)$$

Оскільки тіло здійснює поступальний рух, то його кінетична енергія дорівнює

$$T_2 = \frac{m_2 \dot{x}_2^2}{2}. \quad (3)$$

Отже, кінетична енергія механічної системи дорівнює

$$T = \frac{m_1(\dot{x}_1 + \dot{x}_2)^2}{2} + \frac{m_2 \dot{x}_2^2}{2}. \quad (4)$$

Враховуючи, що $q_1 = x_1$ і $q_2 = x_2$ та (4), ліві частини рівняння Лагранжа (1) набудуть вигляду

$$\frac{\partial T}{\partial x_1} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_1(\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2) \text{ і}$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_2} \right) = m_1(\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2) + m_2 \ddot{x}_2. \quad (5)$$

Узагальнена сила по координаті x_1 дорівнює

$$Q_{x_1} = -R_{on}, \quad (6)$$

де R_{on} – сила опору, яку чинить матеріал, з якого виготовлено тіло, руху кулі всередині нього.

Узагальнена сила по координаті x_2 дорівнює

$$Q_{x_2} = -F_{np}, \quad (7)$$

де $F_{np} = cx_2^\alpha$ – сила пружності, обумовлена стиском пружного шару, c – сумарна жорсткість пружного шару, x_2 – величина стиску шару, $\alpha = const$ – коефіцієнт нелінійності.

Із врахуванням співвідношень (1), (5) – (7) рух механічної системи описується системою диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned} m_1(\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2) &= -R_{on}; \\ m_1(\dot{x}_1 + \dot{x}_2) + m_2\dot{x}_2 &= -F_{np}. \end{aligned} \quad (8)$$

З системи рівнянь (8) отримаємо, що

$$m_2\ddot{x}_2 = R_{on} - F_{np}$$

і враховуючи співвідношення $F_{np} = c x_2^\alpha$, запишемо

$$m_2\ddot{x}_2 = R_{on} - c x_2^\alpha. \quad (9)$$

Використовуючи залежність $\ddot{x}_2 = \dot{x}_2 \frac{d\dot{x}_2}{dx_2}$,

рівняння (9) набуде вигляду

$$\dot{x}_2 \frac{d\dot{x}_2}{dx_2} = \frac{R_{on}}{m_2} - \frac{c}{m_2} x_2^\alpha.$$

Відокремлюючи в цьому рівнянні змінні та інтегруючи, отримаємо

$$\frac{\dot{x}_2^2}{2} = \frac{R_{on}}{m_2} x_2 - \frac{c}{m_2} \frac{x_2^{\alpha+1}}{\alpha+1} + C_1.$$

Сталу інтегрування C_1 визначаємо з початкових умов

$$\dot{x}_2(0) = 0 \text{ і } x_2(0) = 0.$$

Тоді $C_1 = 0$ і зміна швидкості тіла описується рівнянням

$$\dot{x}_2(t) = \sqrt{\frac{2R_{on}}{m_2} x_2 - \frac{2c}{m_2} \frac{x_2^{\alpha+1}}{\alpha+1}}. \quad (10)$$

Залежність (10) перепишемо у вигляді

$$\frac{dx_2}{dt} = \sqrt{\frac{2R_{on}}{m_2} x_2 - \frac{2c}{m_2} \frac{x_2^{\alpha+1}}{\alpha+1}}.$$

Відокремлюючи змінні та інтегруючи, отримаємо закон руху тіла у вигляді

$$t = \int_0^{x_2} \frac{dx}{\sqrt{\frac{2R_{on}}{m_2} x - \frac{2c}{m_2} \frac{x^{\alpha+1}}{\alpha+1}}}. \quad (11)$$

З першого рівняння системи рівнянь (8) запишемо, що

$$\ddot{x}_1 = -\frac{R_{on}}{m_1} - \ddot{x}_2. \quad (12)$$

Інтегруючи це рівняння та враховуючи (10), отримаємо вираз

$$\dot{x}_1(t) = -\frac{R_{on}}{m_1} t - \sqrt{\frac{2R_{on}}{m_2} x_2 - \frac{2c}{m_2} \frac{x_2^{\alpha+1}}{\alpha+1}} + C_2.$$

Сталу величину C_2 визначаємо з початкових умов $x_2(0) = 0$ і $\dot{x}_1(0) = V_{10}$, тому $C_2 = V_{10}$. Отже, закон руху кулі відносно тіла описується залежністю

$$\dot{x}_1(t) = -\frac{R_{on}}{m_1} t - \sqrt{\frac{2R_{on}}{m_2} x_2 - \frac{2c}{m_2} \frac{x_2^{\alpha+1}}{\alpha+1}} + V_{10}. \quad (13)$$

Інтегруючи рівняння (12) двічі, отримаємо залежності

$$\dot{x}_1(t) = -\frac{R_{on}}{m_1} t - \dot{x}_2(t) + C_3 \text{ і}$$

$$x_1(t) = -\frac{R_{on} t^2}{2m_1} - x_2(t) + C_3 t + C_4.$$

Значення сталих величин C_3 і C_4 визначаємо, враховуючи сукупність початкових умов

$$\dot{x}_2(0) = 0, \quad x_2(0) = 0, \quad \dot{x}_1(0) = V_{10} \text{ і } x_1(0) = 0,$$

тоді $C_3 = V_{10}$ і $C_4 = 0$.

Отже, закон руху кулі відносно тіла матиме вигляд

$$x_1(t) = -\frac{R_{on} t^2}{2m_1} - x_2(t) + V_{10} t. \quad (14)$$

Швидкість кулі відносно нерухомої системи координат визначається з допомогою формули

$$V_{кулі}(t) = \dot{x}_1(t) + \dot{x}_2(t)$$

і враховуючи (10) і (13), отримаємо, що абсолютна швидкість кулі дорівнює

$$V_{кулі}(t) = V_{10} - \frac{R_{on}}{m_1} t. \quad (15)$$

Тривалість руху кулі в тілі визначаємо з рівняння

$$V_{10} t_k - \frac{R_{on} t_k^2}{2m_1} - x_2(t_k) = l_2, \quad (16)$$

де l_2 – товщина тіла.

Для визначення величини максимального стиску пружного шару, який прикріплений до бронепластины, використаємо теорему про зміну кінетичної енергії матеріальної точки [2]

$$T_k - T_0 = \sum A_i. \quad (17)$$

Робота, яку виконують сили, прикладені до тіла, обумовлена лише стисанням пружного шару і тому

$$\sum A_i = - \int_{x_{2к}}^{x_{\max}} c x_2^\alpha dx_2 = - \frac{c (x_{\max}^{\alpha+1} - x_{2к}^{\alpha+1})}{\alpha+1}, \quad (18)$$

Враховуючи, що кінетична енергія тіла, коли буде максимальний стиск пружного шару, дорівнює нулевій, тобто $T_k = 0$, і кінетична енергія тіла в момент вильоту кулі з тіла дорівнює

$$T_0 = \frac{m_2 (\dot{x}_2(t_k))^2}{2},$$

рівняння (17) набуде вигляду

$$-\frac{m_2(\dot{x}_2(t_k))^2}{2} = -\frac{c(x_{абс}^{\alpha+1} - x_{2k}^{\alpha+1})}{\alpha+1}. \quad (19)$$

Розв'язуючи це рівняння відносно невідомої величини $x_{абс}$, отримаємо, що

$$x_{абс} = \left(x_{2k}^{\alpha+1} + \frac{m_2(\alpha+1)(\dot{x}_2(t_k))^2}{2c} \right)^{\frac{1}{\alpha+1}}. \quad (20)$$

Отже, максимальна величина тиску пружного шару на нерухому поверхню дорівнює

$$F_{тиску} = c \left(x_{2k}^{\alpha+1} + \frac{m_2(\alpha+1)(\dot{x}_2(t_k))^2}{2c} \right)^{\frac{\alpha}{\alpha+1}}, \quad (21)$$

де $x_{2k} = x_2(t_k)$ – переміщення тіла і $\dot{x}_2(t_k)$ – його швидкість в момент вильоту з нього кулі.

Визначимо числові значення тривалості руху t_k кулі в тілі, швидкість кулі V_{1k} після вильоту з тіла,

швидкість тіла \dot{x}_{2k} після вильоту з нього кулі, шлях x_{2k} , який пройде тіло за час t_k , величину абсолютної деформації пружного шару $x_{абс}$ та силу тиску $F_{тиску}$ його на нерухому поверхню, при наступних значеннях: $m_1 = 0,0096$ кг, $V_{10} = 700$ м/с, $R_{оп} = 40000$ н, $m_2 = 0,5$ кг і $l_2 = 0,03$ м.

Аналізуючи результати таблиць 1, 2 і 3, можна стверджувати, що вплив жорсткості пружного шару c на швидкість вильоту кулі V_{1k} з тіла, швидкість тіла \dot{x}_{2k} і шлях, пройдений тілом x_{2k} за час t_k , є несуттєвим. Однак зі збільшенням жорсткості пружного шару величина його абсолютної деформації $x_{абс}$ зменшується, а величина сили тиску $F_{тиску}$ на нерухому поверхню зростає.

Таблиця 1

Значення кінематичних і силових параметрів механічної системи, якщо куля пробиває тіло, при $\alpha = 2$

$c \left(\frac{H}{M} \right)$	$t_k (c)$	$V_{1k} \left(\frac{M}{c} \right)$	$\dot{x}_{2k} \left(\frac{M}{c} \right)$	$x_{2k} (M)$	$x_{2абс} (M)$	$F_{тиску} (H)$
40	0.00005064	489.005	4.098	0.000105	0.6803	18.5
400	0.00005064	489.004	4.098	0.000105	0.3158	39.9
4000	0.00005064	489.004	4.098	0.000105	0.1466	85.9
40000	0.00005064	489.004	4.098	0.000105	0.0680	185.1
400000	0.00005064	489.004	4.098	0.000105	0.0316	398.9
4000000	0.00005064	489.004	4.098	0.000105	0.0146	859.4

Таблиця 2

Значення кінематичних і силових параметрів механічної системи, якщо куля пробиває тіло, при $\alpha = 1$

$c \left(\frac{H}{M} \right)$	$t_k (c)$	$V_{1k} \left(\frac{M}{c} \right)$	$\dot{x}_{2k} \left(\frac{M}{c} \right)$	$x_{2k} (M)$	$x_{абс} (M)$	$F_{тиску} (H)$
40	0,000050775	488,44	4,06	0,0001	0,4541	18
400	0,000050775	488,44	4,06	0,0001	0,1436	57
4000	0,000050775	488,44	4,06	0,0001	0,0454	182
40000	0,000050775	488,44	4,06	0,0001	0,0144	574
400000	0,000050775	488,44	4,06	0,0001	0,0045	1816
4000000	0,000050774	488,44	4,06	0,0001	0,0014	5740

Таблиця 3

Значення кінематичних і силових параметрів механічної системи, якщо куля пробиває тіло, при $\alpha = 0,5$

$c \left(\frac{H}{M} \right)$	$t_k (c)$	$V_{1k} \left(\frac{M}{c} \right)$	$\dot{x}_{2k} \left(\frac{M}{c} \right)$	$x_{2k} (M)$	$x_{2абс} (M)$	$F_{тиску} (H)$
40	0.00005064	489.004	4.098	0.000105	0.2916	21.6
400	0.00005064	489.004	4.098	0.000105	0.0628	100.3
4000	0.00005064	4898.0	4.096	0.000105	0.0135	465.3
40000	0.00005064	489.007	4.077	0.000105	0.0029	2157
400000	0.00005063	489.035	3.889	0.000101	0.0006	9909
4000000	0.00005058	489.235	2.236	0.000072	0.0001	41007

Визначимо вплив наявності пружного шару на величину мінімальної товщини $l_{2\min}$ тіла, щоб куля

застрягла в ньому, та максимальну величину тиску пружного шару на нерухому поверхню.

Вважаємо, що куля спинилась на тилівій поверхні CD тіла, пройшовши всю його товщину l_2 . Оскільки куля зупинилась, то її швидкість відносно тіла дорівнює нулеві, тобто $\dot{x}_1(t_k) = 0$ і, враховуючи залежність (13), отримаємо рівняння для визначення проміжку часу t_k руху кулі, від її моменту торкання передньої поверхні AB тіла до зупинки на тилівій поверхні CD

$$V_{10} - \frac{R_{on}}{m_1} t - \sqrt{\frac{2R_{on}}{m_2} x_2 - \frac{2c}{m_2} \frac{x_2^{\alpha+1}}{\alpha+1}} = 0. \quad (22)$$

Підставивши значення t_k в рівняння (14), отримуємо залежність для визначення мінімальної товщини тіла, коли куля, пройшовши цей шлях, зупиниться на тилівій поверхні CD тіла

$$l_{2\min} = V_{10} t_k - \frac{R_{on} t_k^2}{2m_1} - x_2(t_k). \quad (23)$$

З рівняння (10) визначаємо величину швидкості руху тіла в момент зупинки кулі відносно нього

$$\dot{x}_2(t_k) = \sqrt{\frac{2R_{on}}{m_2} x_2(t_k) - \frac{2c}{m_2} \frac{x_2^{\alpha+1}(t_k)}{\alpha+1}}. \quad (24)$$

Величину максимального стиску пружного шару визначимо, використовуючи формулу (17), де

$$T_0 = \frac{(m_1 + m_2)(\dot{x}_2(t_k))^2}{2}.$$

Тоді величина максимального стиску пружного шару дорівнює

$$x_{abc} = \left(x_{2k}^{\alpha+1} + \frac{(m_1 + m_2)(\alpha + 1)(\dot{x}_2(t_k))^2}{2c} \right)^{\frac{1}{\alpha+1}}$$

і величину максимального тиску пружного шару на нерухому поверхню визначаємо з рівняння

$$F_{тиску} = c \left(x_{2k}^{\alpha+1} + \frac{(m_1 + m_2)(\alpha + 1)(\dot{x}_2(t_k))^2}{2c} \right)^{\frac{\alpha}{\alpha+1}}.$$

Визначимо числові значення тривалості руху t_k кулі в тілі до її зупинки відносно тіла, довжину шляху l_{1k} , який подолає куля за цей проміжок часу, швидкість тіла \dot{x}_{2k} в момент зупинки кулі, шлях x_{2k} , який пройде тіло за час t_k , величину абсолютної деформації пружин x_{abc} та силу максимального тиску $F_{тиску}$ пружного шару на нерухому поверхню, при наступних значеннях: $m_1 = 0,0096$ кг, $V_{10} = 700$ м/с, $R_{op} = 40000$ н і $m_2 = 0,5$ кг.

Таблиця 4

Значення кінематичних і силових параметрів механічної системи, якщо куля застрягає в тілі, при $\alpha = 2$

$c \left(\frac{H}{M} \right)$	$t_k (c)$	$l_{1k} (M)$	$\dot{x}_{2k} \left(\frac{M}{c} \right)$	$x_{2k} (M)$	$x_{2abc} (M)$	$F_{тиску} (H)$
40	0,0001648	0,05767	13,34	0,00111	1,503	90,43
400	0,0001648	0,05767	13,34	0,00111	0,698	194,8
4000	0,0001648	0,05767	13,34	0,00111	0,324	419,7
40000	0,0001648	0,05767	13,34	0,00111	0,150	904,3
400000	0,0001648	0,05767	13,34	0,00111	0,007	1948
4000000	0,0001648	0,05767	13,34	0,00111	0,0324	4197

Таблиця 5

Значення кінематичних і силових параметрів механічної системи, якщо куля застрягає в тілі, при $\alpha = 1$

$c \left(\frac{H}{M} \right)$	$t_k (c)$	$l_{1k} (M)$	$\dot{x}_{2k} \left(\frac{M}{c} \right)$	$x_{2k} (M)$	$x_{abc} (M)$	$F_{тиску} (H)$
40	0,0001648	0,05767	13,34	0,00111	1,505	60,21
400	0,0001648	0,05767	13,34	0,00111	0,4760	190,4
4000	0,0001648	0,05767	13,34	0,00111	0,1505	602,2
40000	0,0001648	0,05767	13,33	0,00111	0,0476	1904
400000	0,0001648	0,05767	13,29	0,00111	0,015	6016
4000000	0,0001649	0,05769	12,86	0,00109	0,0047	18867

Таблиця 6

Значення кінематичних і силових параметрів механічної системи, якщо куля застрягає в тілі, при $\alpha = 0,5$

$c \left(\frac{H}{M} \right)$	$t_k (c)$	$l_{1k} (M)$	$\dot{x}_{2k} \left(\frac{M}{c} \right)$	$x_{2k} (M)$	$x_{2abc} (M)$	$F_{тиску} (H)$
40	0,0001648	0,05767	13,34	0,00111	1,424	47,73
400	0,0001648	0,05767	13,33	0,00111	0,3068	221,6
4000	0,0001648	0,05767	13,31	0,00111	0,066	1028
40000	0,0001648	0,05768	13,12	0,00110	0,0141	4756
400000	0,0001653	0,05779	11,22	0,00099	0,0028	21332
4000000	0,0001479	0,05788	0,013	0,000225	0,000225	60009

Аналізуючи результати таблиць 4, 5 і 6, можна стверджувати, що вплив сумарної жорсткості пружин c на тривалість руху t_k кулі в тілі, пройдений нею шлях l_{1k} , до її зупинки відносно тіла, швидкість тіла \dot{x}_{2k} після зупинки кулі відносно нього, пройдений тілом шлях x_{2k} за проміжок часу t_k є несуттєвим. Однак, зі збільшенням жорсткості пружного шару c величина абсолютної деформації пружного шару $x_{абс}$ зменшується і його сила тиску $F_{тиску}$ на нерухому поверхню зростає.

Висновок

Аналізуючи результати значень таблиць 1–6, можна стверджувати, що збільшення показника α в нелінійній залежності між величиною сили пружності пружного шару та його деформацією супроводжується збільшенням величини абсолютної деформації пружного шару і зменшенням його тиску на нерухому поверхню.

Якщо підпружинення дозволяє жорсткому тілу здійснювати переміщення $x_{2k} + x_{2абс}$, то ця конструкція буде найбільш ефективною. У випадку неможливості тілу здійснити вказане переміщення сила тиску пружного шару на нерухому поверхню різко зростає, оскільки жорсткість конструкції збільшується. Якщо підпружинення дозволяє тілу здійснювати переміщення більш $x_{2k} + x_{2абс}$, то має місце зайве збільшення довжини зони підпружинення.

Список використаних джерел

1. Ціж Б.Р., Сокіл Б.І., Сокіл М.Б. Теоретична механіка: Підручник. – Львів: Сполом, 2008. – 159 с.
2. Божидарнік В.В., Величко Л. Методика розв'язування і збірник задач з теоретичної механіки. Навчальний посібник / Видання друге, доповнене, перероблене. – Луцьк: Надстир'я, 2007. – 504 с.
3. Семькин В.В. Средства индивидуальной бронезащиты: учебное пособие / В.В. Семькин. – М.: Московский университет МВД России, 2008. – 66 с.
4. Иванов А.М., Зарецкий В.В., Специальные средства индивидуальной бронезащиты и активной обороны. Техника и тактика их применения: Учебно-методическое пособие. – Калининград: Калининградский Юридический институт МВД России, 2009. – 52 с.
5. Галиновский А.Л., Колтаков В.И., Муляр С.Г. Анализ эффективности различных средств индивидуальной бронезащиты / Наука и образование: электронное научно-техническое издание – № 3. – 2012. – С. 1-12.
6. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / В.А. Григорян, И.Ф. Кобылкин, В.М. Маринин, Е.Н. Чистяков. – М.: Радио Софт, 2008.
7. Гаральд Иро. Класична механіка / Переклад з нім. Р. Гайда, Ю.-Л. Головач: В-во ЛНУ ім. І. Франка, 1999. – 464 с.
8. Андросук Д. Вогнепальні контузійні травми // Дмитро Андросук <http://www.medsanbat.info/download/Вогнепальна%20контузійна%20травма.pdf>
9. О.С. Петрученко, О.І. Хитряк, Л.Д. Величко // Зменшення ефективної дії кулі, осколка снаряду на об'єкт захисту. – Львів: АСВ. – № 12, 2015.

Рецензент: д.т.н., проф. І.В. Кузьо, кафедра «Механіки та автоматизації машинобудування» Національний університет «Львівська політехніка», Львів.

ДАВЛЕНИЕ БРОНИ НА ЗАЩИЩАЕМЫЙ ОБЪЕКТ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПУЛЬ ИЛИ ОСКОЛКОВ ПРИ НЕЛИНЕЙНОСТИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ПОДКРЕПЛЯЮЩЕГО СЛОЯ

О.С. Петрученко

Сформулирована задача ударного проникающего взаимодействия пули или осколка с плоским листом брони, подкрепленной материалом с нелинейно упругими свойствами. На основе приблизительного решения сформулированной задачи проведено исследование зависимости давления брони на защищаемый объект от характера нелинейности упругого подкрепляющего материала. В частности показано, что при степенной нелинейности закона упругости подкрепляющего материала увеличению показателя степени соответствует снижение силы давления на защищаемый объект.

Ключевые слова: упругий материал, нелинейность, пуля, броня, объект защиты.

ARMOR PRESSURE ON THE OBJECT OF PROTECTION DURING BULLET'S OR FRAGMENT'S IMPACT AT NONLINEARITY ELASTIC PROPERTIES OF REINFORCING LAYER

O. Petruchenko

Was formulated the problem of penetrating interaction between bullets (or fragments) and flat armor sheets backed by material with nonlinear elastic properties. Based on the approximate solution of the formulated problem was done a study of armor's pressure depending nonlinearity elastic properties of reinforcing layer. It is established that according a law of elasticity, nonlinearity of elasticity of reinforcing material meets reduce pressure forces on the object of armor protection.

Key words: elastic material, nonlinearity, bullet, armor, object protection.