

УДК 629.4.027

В. П. Пісарєв

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПІДРИВУ БОЙОВОЇ КОЛІСНОЇ МАШИНИ У ВИПАДКУ НАЇЗДУ НА МІНУ

Запропонована математична модель підриву бойової колісної машини у випадку наїзду на міну, проведені чисельними методами розрахунки її відповідності уявленням про реакцію об'єкта досліджень на імпульсну дію ударної хвилі.

К л ю ч о в і с л о в а: бойова колісна машина, математична модель підриву на міні, прискорення, заряд.

Постановка проблеми. На сьогодні недостатньо уваги приділено математичному забезпеченню розв'язування задач стійкості та рівня ураженості елементів конструкції і екіпажу у випадку підриву на мінах, інших вибухових пристроях при застосуванні спеціальної техніки внутрішніх військ у процесі виконання службово-бойових завдань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найбільш актуальних сьогодні є задача протимінного захисту. Більшість нападів на транспортні колони супроводжується підривом транспортних засобів на мінах і фугасах, після чого відкривають вогонь по зупинених машинах. Втрати особового складу від застосування вибухових пристроїв можна порівняти з втратами від обстрілу зі стрілецької зброї.

Номенклатура машин з підвищеним протимінним захистом розширюється. У більшості випадків мова йде про бойові колісні машини та машини на спеціально розроблених або суттєво модифікованих шасі. Актуальними є також роботи з “локального” і “капсульного” захисту звичайних транспортних засобів підвищеної прохідності [1].

Найбільш критичним напрямком короткочасних перевантажень, діючих на людину при підриві, вважається вертикаль “голова – таз” [1].

Метою статті є доведення до наукової спільноти результатів роботи з моделювання робочих процесів у системі “транспортний засіб – середовище” у випадку підриву на вибуховому пристрої при наїзді на нього.

Виклад основного матеріалу. Розв'язування задачі захисту, як під час створення, так і модернізації машини, потребує з'ясування рівня перевантажень (прискорень) у місцях розташування членів екіпажу в процесі порівняльного аналізу реакції на підрив різних об'єктів досліджень (з різними конструктивними параметрами). Відомо, що рівень прискорень залежить від багатьох факторів, зокрема від величини заряду в тротиловому еквіваленті, місця заряду у момент підриву (під якимось з коліс, під корпусом машини і т. ін.), а також від конструкції машини, її масових, геометричних, жорсткісних, демпферних параметрів.

Розглянемо розв'язування цієї задачі шляхом чисельного експерименту на прикладі підриву на міні БТР з колісною формулою 8×8, компоновкою і параметрами, близькими до БТР60, БТР70, БТР80.

Очевидно, що математична модель об'єкта дослідження повинна включати не менше трьох узагальнюючих по корпусу машини (вертикальні лінійні переміщення центра мас корпусу машини, поздовжньо-кутові, поперечно-кутові корпусу) та вісім узагальнюючих координат вертикальних переміщень непідресорених мас (за кількістю коліс машини). Це дозволяє врахувати вплив інерційних якостей вищезазначених елементів машини та пружних і демпферних якостей ходової частини з певною конструкцією направляючих пристроїв. Окреме питання у розв'язуванні задачі – моделювання збурюючого фактора (ударної хвилі при підриві).

Система диференціальних рівнянь математичної моделі розширена, порівняно з наведеною у [2], за кількістю узагальнюючих координат і додатковим збурюючим фактором $y(t)$ та має такий вигляд:

© В. П. Пісарєв

$$\begin{aligned}
 M \cdot \ddot{z} &= \sum_{i=1}^4 P_{zpi} - \sum_{i=1}^4 NP_{zpi} - G; \\
 I_y \cdot \ddot{\alpha} &= \left(\sum_{i=1}^4 P_{zpi} + \sum_{i=1}^4 NP_{zpi} \right) \cdot l_i; \\
 m_1 \cdot \ddot{z}_1 &= P_{zn1} - G_1 - P_{zp1} + y(t); \\
 m_2 \cdot \ddot{z}_2 &= P_{zn2} - G_2 - P_{zp2}; \\
 m_3 \cdot \ddot{z}_3 &= P_{zn3} - G_3 - P_{zp3}; \\
 m_4 \cdot \ddot{z}_4 &= P_{zn4} - G_4 - P_{zp4}; \\
 Nm_1 \cdot N\ddot{z}_1 &= NP_{zn1} - NG_1 - NP_{zp1}; \\
 Nm_2 \cdot N\ddot{z}_2 &= NP_{zn2} - NG_2 - NP_{zp1}; \\
 Nm_3 \cdot N\ddot{z}_3 &= NP_{zn3} - NG_3 - NP_{zp1}; \\
 Nm_4 \cdot N\ddot{z}_4 &= NP_{zn4} - NG_4 - NP_{zp1}; \\
 I_x \cdot \ddot{\psi} &= \left(\sum_{i=1}^4 P_{zpi} + \sum_{i=1}^4 NP_{zpi} \right) \cdot L_i,
 \end{aligned}$$

де M , G , I_y , I_x – маса, вага та моменти інерції підресореного корпусу відносно поперечної OY і поздовжньої OX осі системи координат $OXYZ$ з началом O у центрі мас; \ddot{z} ; $\ddot{z}_1 \dots \ddot{z}_4$ – лінійні прискорення в напрямку осі OZ центра мас корпусу та коліс 1, 2, 3, 4 по ходу машини; $\ddot{\alpha}$, $\ddot{\psi}$ – кутові прискорення корпусу машини відносно поперечної OY і поздовжньої OX осей відповідно; P_{zpi} – зусилля між колесом і корпусом машини, обумовлене дією пружних і демпферних сил підвіски; l_i – відстані у напрямку осі OX від центра маси підресореного корпусу до осі i -го колеса (вздовж машини); L_i – відстані у напрямку осі OY від центра маси підресореного корпусу до i -го колеса (поперек машини); m_i , G_i – маса та вага непідресорених частин підвіски; P_{zni} – зусилля між опорною поверхнею і колесом i -ї підвіски; $y(t)$ – сила від дії ударної хвилі при підриві міни під першим по ходу колесом лівого борту машини.

Літерою N у диференціальних рівняннях позначені сили на правому по ходу борту машини.

Силу $y(t)$ представимо (за аналогією з теорією вільних загасаючих механічних коливань одномасової системи з в'язким демпфіруванням – за експоненціальною залежністю [3] і з застосуванням залежностей для надлишкового тиску на фронті ударної хвилі і часу дії цього тиску для нерухомої перепони [4; 5]) у вигляді $y(t) = STP \cdot A_{yd}(t) \cdot e^{-n \cdot 2\pi \cdot (\frac{t}{\tau})}$, трансформували залежності для параметрів надлишкового тиску від ударної хвилі для нерухомої перепони з урахуванням рухомості перепони.

Значення параметра $A_{yd}(t)$ надлишкового тиску (для першого по ходу машини колеса лівого борту) представимо залежністю $A_{yd}(t) = 10^6 \cdot \frac{Qz}{\sqrt{(Rz + z_1(t))^3}}$, де Rz – відстань заряду від рухомої перепони на початку підриву; $z_1(t)$ – переміщення колеса у процесі підриву.

Значення параметра τ (часу дії надлишкового тиску на поверхні рухомої перепони) представимо залежністю $\tau = 0,0015 \cdot \sqrt{Rz + z_1(t)} \cdot \sqrt[3]{Qz}$, де Qz – маса заряду вибухової речовини у тротиловому еквіваленті; STP – площа рухомої перепони, на яку діє надлишковий тиск; n – безрозмірний показник загасання за термінологією теорії механічних коливань ($n > 1$ – загасання сильне, $n < 1$ – загасання слабке, $n = 1$ – загасання критичне) [3].

У процесі чисельного експерименту як приклад досліджено вплив величини заряду міни у тротиловому еквіваленті на величину прискорень $aVOD$ на місці водія при підриві на міні під першим по ходу руху лівим колесом (місце водія розташоване близько до цього колеса). При цьому прийнято,

що вся енергія заряду підриву прикладена тільки до колеса у зоні контакту з міною і витрачена для надання руху елементам конструкції машини.

Вихідні значення параметрів: $M = 10378$ кг; $m_{1,2,3,4} = 277,25$ кг; $J_y = 3,977 \times 10^4$ кг·м²; $J_x = 3,674 \times 10^3$ кг·м²; $l_1 = l_4 = 2,2$ м; $l_2 = l_3 = 0,85$ м; $L_{1,2,3,4} = 1,19$ м; $L_v = 2,5$ м (відстань місця водія від центра мас по осі OX); $L_{vp} = 1,0$ м (відстань місця водія від центра мас по осі OY); пружна характеристика підвіски наведена на рис. 2.

Деякі результати розрахунків за прискореннями $aVOD$ на місці водія, отримані із застосуванням чисельного методу Рунге-Кута, зі змінним шагом, наведені на рис. 1. У процесі чисельного експерименту змінювалась величина Qz заряду.

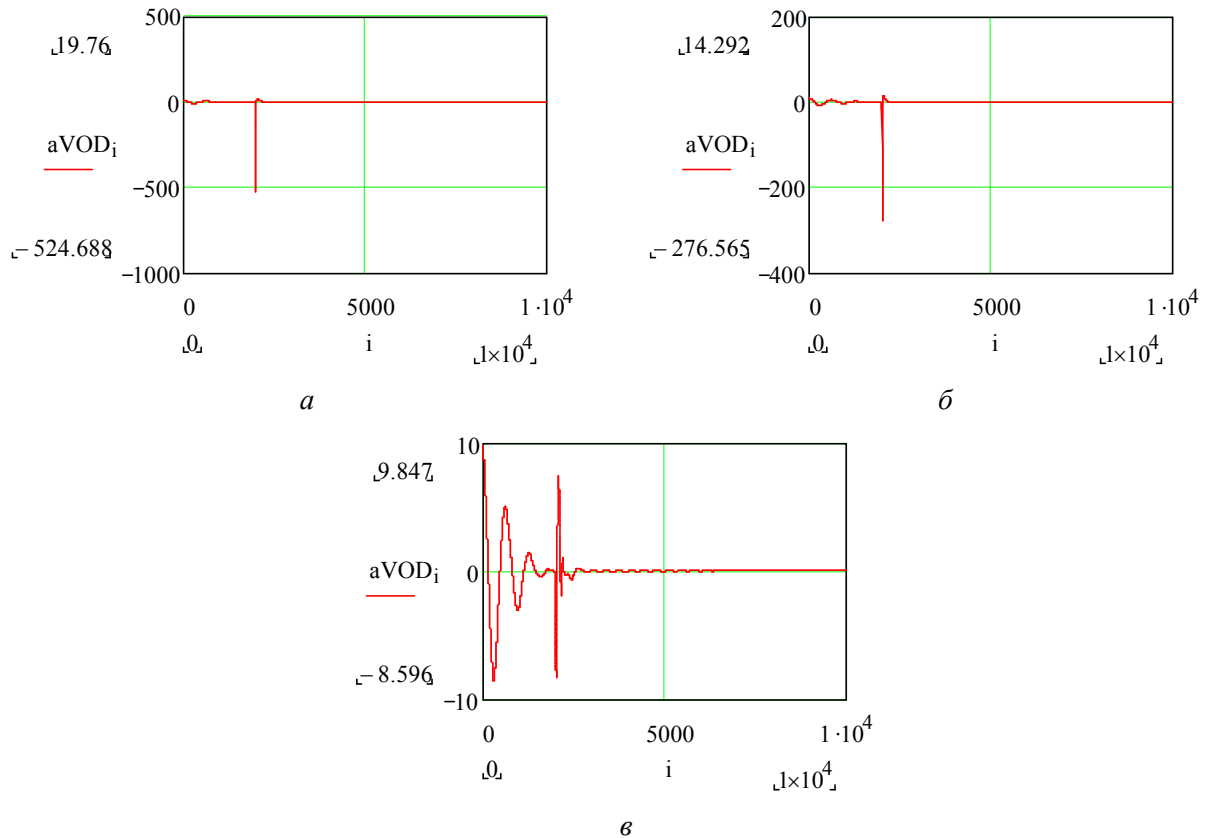


Рис. 1. Результати розрахунків прискорення $aVOD$ на місці водія, м/с² ($i/10^3$ – час, с): а – прискорення $Qz=3,5$ кг; б – прискорення $Qz=2,5$ кг; в – прискорення $Qz=1,5$ кг

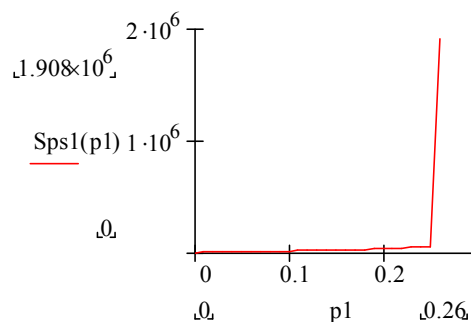


Рис. 2. Пружна характеристика підвіски ($p1$ – хід підвіски, м; $Sps1$ – зусилля на колесі, Н)

З рис. 1 видно, що величина Qz заряду суттєво по-різному впливає на величину $aVOD$, не зважаючи на те, що у процесі дослідження заряд змінюється з однаковим шагом, рівним 1,0 кг. Якщо при зменшенні заряду з 3,5 до 2,5 кг (у 1,4 разу) прискорення зменшуються у 1,897 разу, то при зменшенні заряду з 2,5 до 1,5 кг (у 1,66 разу) прискорення зменшуються у 32,17 разу. Причиною

цього є стан пружного упору (обмежувача ходу підвіски). При виході упору з ладу у випадку перевищення його допустимої деформації (перевищення відповідного допустимого ходу підвіски, що має місце при підриві на мінах із зарядом 3,5...4,5 кг), жорсткість взаємодії підвіски з корпусом машини різко зростає і, як наслідок, значно збільшується зусилля Sp_{c1} (див. рис. 2). При підриві на міні з зарядом 1,5 кг упор з ладу не виходить і прискорення значно менші, тому що жорсткість підвіски за пружною характеристикою також значно менша.

Зауважимо, що певною мірою (щодо порядку чисельних значень як орієнтира у першому наближенні при розробленні математичної моделі) здобуті теоретичним шляхом результати співвідносяться з результатами натурних експериментальних досліджень, проведених у Росії у 2012 році [1], при підриві броньованого кунга СБА-60. У випадку підриву під геометричним центром кунга заряду 6,0 кг у тротиловому еквіваленті значення короткочасного перевантаження по вертикальній осі на підлозі кунга склало 906,4g (8887,2 м/с²), а на рамі крісла 86,4g (846,72 м/с²).

Висновки

1. Запропонована математична модель реакції бойової колісної машини на імпульсне (короткочасне) зусилля, що діє на об'єкт дослідження при підриві на міні, якісно відповідає результатам сучасних теоретичних і експериментальних досліджень цих процесів у межах проведених розрахунків.

2. Застосування розробленої математичної моделі дозволяє отримати оцінку реакції об'єкта у разі підриву на міні для порівняльного аналізу різних за параметрами об'єктів.

Список використаних джерел

1. Федосеев, С. Специальные, бронированные, транспортные [Текст] / С. Федосеев // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. – М. : Техинформ, 2012. – С. 2–7.

2. Пісарєв, В. П. Можливості транспортного засобу з гальмування за відсутністю пробою підвіски [Текст] / В. П. Пісарєв // Вісник НТУ "ХП": зб. наук. пр. – Х. : НТУ "ХП", 2011. – № 56. – С. 29–33. – (Тематичний випуск "Автомобіле- і тракторобудування").

3. Цзе, Ф. С. Механические колебания [Текст] / Ф. С. Цзе, И. Е. Морзе, Р. Т. Хинкл. – М. : Машиностроение, 1966. – 507 с.

4. Покровский, Г. И. Взрыв и его применение [Текст] / Г. И. Покровский. – М. : Воениздат, 1960. – 67 с.

5. Покровский, Г. И. Взрыв [Текст] / Г. И. Покровский. – Изд. 4. – М. : Надра, 1980. – 192 с.

Стаття надійшла до редакції 08.02.2013 р.