

УДК 52.1

О.В. Серпухов

Факультет військової підготовки НТУ «ХПІ», Харків

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗМІНУВАННЯ ОБ'ЄМНИМ ВИБУХОМ**

В роботі запропонована математична модель, що дозволяє розрахувати тиск від ударної хвилі, що діє на міну, яка знаходиться під маскуючим шаром. Наведено результати числового моделювання ширини смуги розмінування від вибуху об'ємних зарядів.

**Ключові слова:** ударна хвиля, мінно-вибухові загородження.

**Вступ**

Для самостійного перетинання мінно-вибухових загороджень бронетанковими підрозділами передбачено дообладнання танків тралами. А це не задовольняє повною мірою потребу у самостійному виконанні бронетанковими підрозділами задачі інженерного забезпечення з розмінування ділянок місцевості, що призводить до значного обмеження їх тактичної самостійності.

В роботі [1] запропоновано новий спосіб розмінування мінних полів бронетанковою технікою з формуванням детонаційно-здатної паливно-повітряної суміші у струмені відпрацьованих газів танка. Цей метод є найбільш безпечним, має високу продуктивність та відносно низьку собівартість.

**Основний розділ**

Застосування розрахункових методів значно зменшує витрати, що пов'язані з практичною реалізацією нового способу розмінування. Для розрахунку ширини смуги розмінування за новим способом необхідно створення математичної моделі, що дозволяє визначити тиск від ударної хвилі, що діє на міну, яка знаходиться під маскуючим шаром.

**Особливості моделювання дії ударної хвилі на міну, що знаходиться під маскуючим шаром**

$$\frac{\partial p u}{\partial t} + \frac{\partial (P + \rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial p u v}{\partial y} + \frac{\partial p u w}{\partial z} = -k \cdot \rho \cdot u \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial p v}{\partial t} + \frac{\partial p v u}{\partial x} + \frac{\partial (P + \rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial p v w}{\partial z} = -g - k \cdot \rho \cdot v \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial p w}{\partial t} + \frac{\partial p w u}{\partial x} + \frac{\partial p w v}{\partial y} + \frac{\partial (P + \rho w^2)}{\partial z} = -k \cdot \rho \cdot w \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}, \quad (3)$$

де  $t$  – час;  $u, v, w$  – проекції вектора швидкості на осі;  $P, \rho$  – тиск і густина;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $k$  – коефіцієнт опору середовища.

У разі розповсюдження ударної хвилі у відкритому просторі коефіцієнт опору середовища прирівнюється до нуля. При попаданні ударної хвилі в пористе середовище даний коефіцієнт зростає, набу-

ваючи чисельних значень в діапазоні від 0 до 1. При цьому для кожного типу середовища потрібне експериментальне визначення цього коефіцієнта. Наприклад, встановлено, що в лісовому фітоценозі у вигляді густого молодого хвойного лісу  $k = 0,7$ .

Враховуючи більш високу густину маскуючого шару, в розрахунках, що приводяться нижче, для дано-

го середовища враховувалися у вигляді: пористість ґрунту призводить до того, що під впливом ударної хвилі відбувається його ущільнення. Як вказується в роботі [2], «ущільнення ґрунту, що відбувається внаслідок ліквідації його пористості, відбувається навіть при порівняно невисокому тиску (для типових ґрунтів)».

Для моделювання взаємодії ударної хвилі з квазітвердим пористим середовищем, яким в даній задачі виступає маскуючий шар ґрунту, в роботі [3] запропоновано врахувати силу опору середовища. В результаті під час розрахунку розповсюдження ударної хвилі через це середовище, в диференціальних рівняннях закону збереження імпульсу властивості цього середовища враховувалися у вигляді:

го шару прийнято  $k = 0,9$ .

На підставі вищевикладеного прийнято, що розрахункова область з одного боку обмежується непроникною поверхнею, що є в реальних умовах поверхнею ґрунту і міни. Маскуючий шар в цьому випадку можна задати у вигляді шару розрахункових осередків з підвищеним опором до газодинамічної течії.

**Начальні умови моделювання.**

Вважалось, що формування паливно-повітряного заряду відбувається у циліндроподібних оболонках. В реальних умовах створення об'ємного заряду може здійснюватися на місцевості, яка має рослинний покрив великої висоти. В результаті між зарядом і поверхнею землі виникне повітряний прошарок, який приведе до істотного ослаблення ударної дії вибухової хвилі на земну поверхню, з відповідним зменшенням ефективності розмінування. Тому пропонується розташовувати об'ємний шланговий заряд в колях, які утворюються в сліді танка. Слід зазначити, що таке розташування призводить до розподілу енергії заряду уздовж земної поверхні, і, відповідно, до збільшення ударної дії на цю поверхню. Оскільки на танках типу Т-64 відстань між гусеницями складає 2,7 м, то ця величина була узята як відстань між осями зарядів (рис. 1). При цьому, заряд розташовується безпосередньо на поверхні ґрунту.

Для проведення розрахунків тиску, що реалізується від вибуху на міну, розташовану в ґрунті, необхідно знати глибину  $h$  її залягання. Згідно з роботою [2], протипіхотна міна типу ПМН встановлюється в лунку і покривається маскувальним шаром ґрунту заввишки 1 – 2 см. У зимових умовах при глибині снігу більше 10 см протипіхотна міна встановлюється на утрамбований сніг з маскуючим шаром не більше, ніж 5 см.

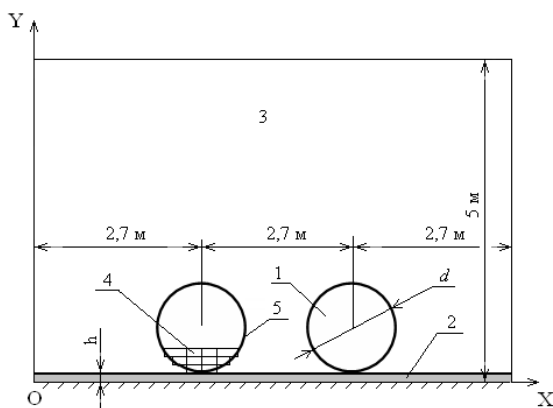


Рис. 1. Розташування об'ємних шлангових зарядів в розрахунковій області: 1 – продукти детонації; 2 – шар ґрунту; 3 – повітря; 4 – розрахунковий осередок; 5 – початкова межа розташування продуктів детонації,  $h$  – товщина шару ґрунту;  $d$  – початковий діаметр заряду

**Результати числового моделювання ударної дії на міни, що розташовані в ґрунті.**

Внаслідок вибуху циліндрового заряду протягом подальшого розширення продуктів детонації спостерігається посилення тиску на земній поверхні, що викликане процесом відбиття ударної хвилі від твердої поверхні ґрунту (рис. 2).

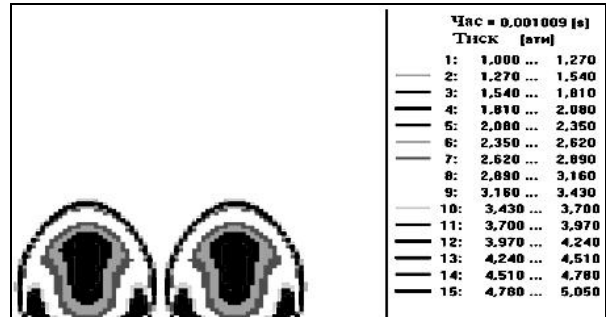


Рис. 2. Поле тиску в поперечному перетині 2-х об'ємно-шлангових зарядів, одержане на момент часу 0,001 с від початку вибуху

Даний процес посилює ефективність вибухового розмінування. Через 2,5 мс від початку розльоту продуктів вибуху відбувається взаємодія ударних хвиль, з відповідним збільшенням тиску в місці зіткнення (рис. 3). Даний процес забезпечує збільшення амплітуди тиску, діючого на ґрунт між зарядами, тобто посилює ударну дію вибуху на непротраєну смугу. На цей момент часу в епіцентрах вибуху тиск тільки в 1,5 рази перевищує тиск зовнішнього середовища. Обмеження розповсюдження ударної хвилі земною поверхнею також продовжує забезпечувати більш підвищені значення тиску у фронті хвилі.

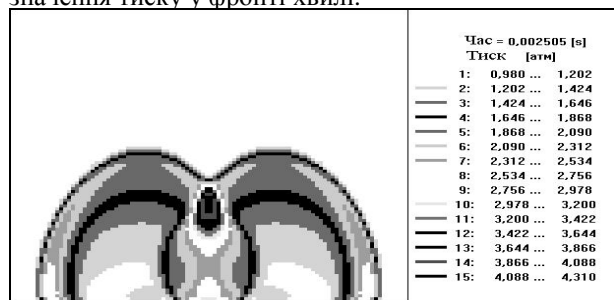


Рис. 3. Поле тиску в поперечному перетині 2-х об'ємно-шлангових зарядів, одержане на момент часу 0,0025 с від початку вибуху

За результатами моделювання спостерігається інша картина розподілу термогазодинамічних параметрів за фронтом ударної хвилі. Як відомо, у фронті ударної хвилі відбувається скачок тиску, а за фронтом сильної ударної хвилі тиск, щільність та температура поступово зменшуються. Відсутність скачку тиску, температури та щільності у передньому фронті, які явно виділяються, пов'язані з розрахунковим методом, що використовує інтегрування. Це

призводить до згладжування цих скачків в процесі розрахунку.

На момент часу 1 мс густина зменшується приблизно на 65 % від початкової, а через 2,5 мс розширення – на 75% (рис. 4). Процес відбиття ударної хвилі супроводжується не тільки зростанням тиску і температури у точках відбиття, але й густини. А зростання густини забезпечує підвищення імпульсу тиску на земну поверхню, тобто сприяє підвищенню ефективності ударної дії для забезпечення вибухового розмінування.



Рис. 4. Поле густини в поперечному перетині 2-х об'ємно-шлангових зарядів, що одержане на момент часу 0,0025 с від початку вибуху

Оцінка максимальних значень тиску, який досягається в осередках з підвищеним опором середовища, що моделює ослаблення ударної хвилі за маскуючим шаром ґрунту, показує, що в результаті вибуху двох об'ємних шлангових зарядів діаметром по 1 м можливе створення суцільної смуги розмінування шириною 5 ÷ 6 м. При цьому вважається, що спрацювання міни здійснюється від тиску в діапазоні 0,2 ÷ 0,3 МПа.

## ВИСНОВКИ

Розроблена математична модель, що дозволяє визначити тиск від ударної хвилі, що діє на міну, яка знаходиться під маскуючим шаром. Покриття, що маскує міну, можливо розглядалося як багатофазне середовище, що складається з твердих часток ґрунту та порожнин між частками, що заповнені повітрям. Тому моделювання розповсюдження ударної хвилі у шарі ґрунту, що маскує міну, здійснено через урахування сили опору середовища.

За результатами числового моделювання встановлено, що в результаті вибуху двох об'ємних шлангових зарядів діаметром по 1 м, що розташовані безпосередньо над ділянкою розмінування та відстань між осями зарядів дорівнює 2,7 м, можливе створення суцільної смуги розмінування шириною 5 ÷ 6 м.

## Список літератури

1. *Технические средства разминирования минных полей взрывным способом* / А.В. Серпухов, А.Н. Сиротенко, О.В. Стаховський [та ін.] // *Механіка та машинобудування*. – 2007. – №1. – С. 48-55.
2. *Руководство по устройству и преодолению инженерных заграждений*. – М.: Воениздат.: Министерство обороны СССР, 1986. – 416 с. (Нормативный документ Министерства обороны. Руководство).
3. Гришин А.М. *Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними: монография* / А.М. Гришин. – Новосибирск: Наука. сиб. отд. ние, 1992. – 408 с.

Надійшла до редколегії 18.11.2010

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук, співробітник І.Б. Чепков, ЦНДІ ОБТ ЗС України, Київ.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМИНИРОВАНИЯ ОБЪЕМНЫМ ВЗРЫВОМ

О.В. Серпухов

*В работе предложена математическая модель, которая позволяет рассчитать давление от ударной волны, действующей на мину, которая находится под маскирующим слоем. Приведены результаты числового моделирования ширины полосы разминирования от взрыва объемных зарядов.*

**Ключевые слова:** ударная волна, минно-взрывные заграждения.

## MATHEMATICAL DESIGN OF THE MINE CLEARING A BY VOLUME EXPLOSION

O.V. Serpukhov

*A mathematical model which allows to expect pressure from a shock wave is offered in work, operating on a mine which is under a masking layer. The results of numerical design of width of bar of the mine clearing from the explosion of by volume charges are resulted.*

**Keywords:** shock wave, mine-explosive barrages.