

1. Крысин Р. С., Новинский В. В. Закономерности распределения размеров кусков в развале горной массы // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво": НТУУ "КПІ". – 2002. – Вип. 6. – С. 21–30.

2. Барон Л. И. Кусковатость пород и методы ее измерения. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 124 с.

УДК 622.235

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ТА МІЦНІСНИХ ФАКТОРІВ НА РУХ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ ЗАРЯДУ ВИБУХОВОЇ РЕЧОВИНИ

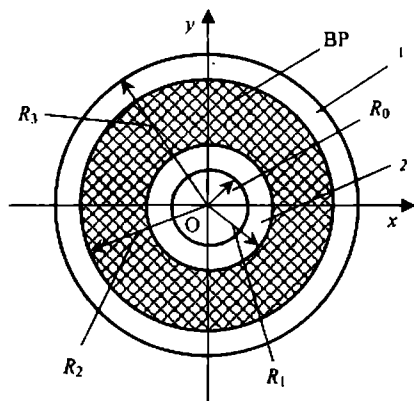
***В. Г. Кравець, докт. техн. наук, О. О. Фролов, канд. техн. наук (НТУУ "КПІ"),
П. З. Луговий, докт. техн. наук (ІМ НАН України),
А. З. Маргарян, інж. (ДержНІХП, м. Шостка)***

Рассмотрено влияние параметров конструкции цилиндрической оболочки заряда взрывчатого вещества, физико-механических характеристик материала оболочки и свойств взрывчатого вещества на процесс движения оболочки.

Розширення та стиснення оболонок зарядів вибухової речовини (ВР) під дією продуктів детонації ВР використовується при зварюванні вибухом, штампуванні, обтисканні капсул з різними матеріалами тощо. Приклади розв'язання подібних задач для випадку циліндричної симетрії в одномірному наближенні наведено в [1, 3, 4].

При виробництві та збиранні системи оболонка–ВР виникають певні технологічні похибки, які призводять до відхилення руху оболонок від ідеальної осі. Міра впливу похибок залежить як від виду, величини і характеру розподілення останніх, так і від параметрів конструкції – товщини стінок, фізико-механічних характеристик матеріалу оболонок, властивостей ВР тощо. Для обґрунтування вимог до рівня точності виготовлення системи оболонка–ВР необхідно оцінити міру впливу різних видів відхилення на рух оболонок. Розглянемо це на прикладі розв'язання в плоскій постановці задачі про динамічне деформування системи, яка складається з двох нескінченно довгих пружнопластичних циліндричних оболонок, простір між якими заповнений ВР (рис. 1). При цьому враховуємо такі технологічні похибки, як неоднакова щільність ВР по коловій координаті, різна товщина стінок внутрішньої та зовнішньої оболонок, неспіввісність внутрішньої та зовнішньої оболонок або різна товщина шару ВР, а також комбінацію вищевказаних факторів. Вважаємо, що різна товщина заряду ВР і стінок внутрішньої та зовнішньої оболонок зумовлена неспіввісністю внутрішньої та зовнішньої оболонок. В

цьому випадку процес деформування буде симетричним відносно площини $x = 0$ (рисунок). Це припущення спрощує розрахунки і дозволяє отримати основні кількісні та якісні показники процесу динамічного деформування оболонок. Запропонована методика розрахунку може використовуватися у випадку довільного розподілення технологічних похибок в залежності від просторових координат.



Параметри системи оболонка-ВР: 1 – зовнішня оболонка; 2 – внутрішня оболонка; R_0 – внутрішній радіус внутрішньої оболонки; R_1 – зовнішній радіус внутрішньої оболонки; R_2 – внутрішній радіус зовнішньої оболонки; R_3 – зовнішній радіус зовнішньої оболонки

Система рівнянь, яка описує рух пружнопластичних циліндричних оболонок під дією продуктів детонації ВР, має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{\partial v_i}{\partial x_i} &= 0; \\ \rho \frac{dv_i}{dt} &= \frac{\partial S_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\partial P}{\partial x_i}; \\ \rho \frac{dE}{dt} &= S_{ij} \epsilon_{ij} + \frac{P}{\rho} \frac{d\rho}{dt}; \\ P &= P(\rho, E); \\ S_{ij} &= \sigma_{ij} + \delta_{ij} P. \end{aligned} \quad (1)$$

Фізичні співвідношення подані у формі Прандлє-Рейсса при умові текучості Мізеса:

$$\begin{cases} 2G\left(\epsilon_{ij} - \frac{1}{3}e_{\alpha\alpha}\delta_{ij}\right) = \frac{DS_{ij}}{Dt} + \lambda S_{ij}; \\ S_{ij} = \frac{2}{3}\sigma^2, \end{cases} \quad (2)$$

де x_i – координати; t – час; ρ – поточна щільність; v_i – компоненти вектора швидкості; S_{ij} – компоненти девіатора напружень; E – питома внутрішня енергія; ϵ_{ij} – компоненти девіатора швидкостей деформації; σ_{ij} – компоненти тензора напружень; e_{ij} – компоненти тензора швидкостей деформації; G – модуль зсуву; σ – межа текучості; λ – параметр; P – тиск; δ_{ij} – символ Кронекера; $\frac{DS_{ij}}{Dt}$ – похідна за Яуманом.

Систему рівнянь, яка описує рух продуктів детонації, можна отримати з (1) і (2), якщо нехтувати в них міцнісними ефектами. Рівняння стану для оболонок використовувалися у формі Осборна [2], для продуктів детонації – у вигляді політропи Ландау–Станюковича [1].

За початкові умови приймається незбуджений стан для матеріалу оболонок і розподілення параметрів при миттєвій деформації для газу. Граничні умови: на зовнішній поверхні системи оболонок (рисунок) – вільна границя, на лінії $x = 0$ (площина симетрії) – умова ковзання вздовж жорсткої стінки, на контактній границі між продуктами детонації і оболонками – умова непротікання. Для малих значень збуджувачих факторів можна нехтувати проковзуванням газу по оболонці. Задача розв'язувалася з використанням явної скінченнорізницевої схеми типу “хрест” [5].

Розглянемо два випадки для зовнішньої оболонки, виготовленої з пружнопластичного матеріалу (поліетилену високого тиску) з такими фізико-механічними характеристиками: щільність $\rho = 1,05 \cdot 10^3$ кг/м³; коефіцієнт пружності $E = 0,22 \cdot 10^{10}$ Па; коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,45$; об'ємний модуль $K = 3,3 \cdot 10^9$ Па.

У першому випадку $R_0 = R_1 = 2,7$ см; $R_2 = 3,4$ см; $R_3 = 3,6$ см (див. рисунок). Таким чином, товщина циліндричної поліетиленової оболонки $H = 0,2$ см, товщина шару ВР – 0,7 см. Якщо за ВР прийняти гексоген, для якого критичний діаметр дорівнює 1...1,5 мм, щільність ВР $\rho = 1,72 \cdot 10^3$ кг/м³, швидкість детонації $D = 8600$ м/с, то тиск при вибуху, який діє на внутрішню поверхню оболонки, матиме максимальне значення $P_{\max} = 3 \cdot 10^{10}$ Па.

Оскільки $\mu = 0,45$, то для оболонки можна використовувати модель ідеальної нестисненої рідини.

Швидкість розльоту оболонки визначається з залежності руху зовнішньої оболонки від часу. Згідно з проведеними розрахунками, середня швидкість розльоту оболонки дорівнює 1360 м/с.

У другому випадку параметри оболонки такі: $R_0 = R_1 = 0$; $R_2 = 1,0$ см; $R_3 = 3,4$ см. Вибухова речовина представлена пилоповітряною сумішшю з гексогену, щільність якої $\rho = 10,35$ кг/м³, швидкість детонації $D = 1800$ м/с. В

цьому разі внутрішнє навантаження на циліндричну поліетиленову оболонку при поширенні хвилі детонації по пилоповітряній суміші з гексогену визначається з [1]. Максимальний внутрішній тиск дорівнює $P_{\max} = 7,89 \cdot 10^6$ Па.

Згідно з розрахунками максимальні колові напруження, які виникають в стінці поліетиленової циліндричної оболонки, не перевищують $7,2 \cdot 10^6$ Па, а радіальні переміщення стінок оболонки становлять не більше 0,1 мм. Таким чином, матеріал оболонки отримає лише невеликі залишкові деформації, а сама оболонка може бути використана як хвилевід в осьовому напрямку для підтримання достатньо потужного детонаційного імпульсу.

1. Баум Ф. А., Орленко Л. П., Станюкович К. П. и др. Физика взрыва. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

2. Высокоскоростные ударные явления. – М.: Мир, 1973. – 536 с.

3. Луговой П. З., Мукоид В. П., Мейш В. Ф. Динамика оболочечных конструкций при взрывных нагрузках. – К.: Наук. думка, 1991. – 280 с.

4. Одинцов В. А., Селиванов В. В., Чудов Л. А. Расширение толстостенной цилиндрической оболочки под действием взрывной нагрузки // Изв. АН СССР. – М.: МТТ. – 1975. – № 5. – С. 161–168.

5. Уилкинс М. Л. Расчет упругопластического течения // Вычислительные методы в гидродинамике. – М.: Мир, 1967. – 211 с.

УДК 534.1:539.3

ЗАЛЕЖНІСТЬ КРИТИЧНИХ ШВИДКОСТЕЙ ВИБУХОВИХ РУХОМИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВІД ХАРАКТЕРУ ОРТОТРОПІЇ МАТЕРІАЛУ ОБСАДНИХ ТРУБ

*П. З. Луговий, докт. техн. наук (ІМ НАН України),
М. О. Лисюк, канд. техн. наук (ННДІОП)*

Рассмотрена зависимость критических скоростей взрывных подвижных нагрузок от характера ортотропии материала обсадных труб. Для исследования влияния скорости нагружения на прогиб трубы вводится коэффициент динамичности. Выполнен сравнительный расчетный анализ критических скоростей и прогибов для изотропных и ортотропных труб разной степени перфорации и сделан вывод о влиянии ортотропии обсадных труб на размеры зон их возможного разрушения под действием взрывных нагрузок, распространяющихся с критической скоростью.

З літературних даних про спорудження та експлуатацію геотехнологічних свердловин відомо, що практично всі труби мають певний характер анізотропії [1]. На наш погляд, найширше застосування в геотехнології знаходять