

них матриць, що вказують на кількість кроків довжин очисного вибою та швидкостей його посування. Визначені рівняння, дають можливість з високим ступенем збіжності встановлювати стан гірського масиву і деформаційні характеристики бічних порід. Ступінь достовірності отриманих результатів залежить від кількості введених до рівняння статистичних даних гірничо-геологічної будови масиву та параметрів техніко-технологічної ситуації очисного вибою.

Список літератури

1. Фисенко Л.Г. Некоторые вопросы сдвижения горных пород при разработке глубоких горизонтов угольных шахт // Исследования проявления горного давления на глубоких горизонтах.-Л.: Недра, 1971. – С. 337-346.
2. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов.- М.: Недра, 1980. – 360 с.
- 3.Савостьянов О.В., Клочков В.Г. Керування станом масиву гірських порід. Навчальний посібник. – К.: НМК ВО, 1992. – 276с.
- 4.Савостьянов А.В. Управление состоянием массива горных пород. ДГИ. – Д.: 1984. – 164 с. – Деп. в УкрНИИТИ 1984, № 383Ук-84.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бузилом В.І.
Надійшла до редакції 10.11.10*

УДК 624.159.1 +539.3

© Н.В.Зуєвська

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИБУХОВОГО АРМУВАННЯ ПРОСАДНОГО ҐРУНТУ ЖОРСТКИМ ЗАПОВНЮВАЧЕМ

Розглянуто математичне моделювання процесу армування просадних лесових ґрунтів шляхом впровадження в них твердого матеріалу (щебеню) за допомогою енергії вибуху.

Рассмотрено математическое моделирование процесса армирования просадочных лесовых ґрунтов путем внедрения в них твердого материала (щебня) с помощью энергии взрыва.

The mathematical simulation is considered process of reinforcing of settlement loess soils by introduction in them of hard material (crushed stone) by energy of explosion.

Задачі з дослідження особливостей взаємодії проникаючого тіла і природного середовища часто виникають на практиці. Теорія удару з великими швидкостями вперше була розроблена К.П. Станюковичем, Х.А. Рахматулліним, Зелдовичем і Райзером [1 - 3]. Цій темі присвячені численні дослідження [4,5], де приймаються різні гіпотези про взаємодіючі об'єкти.

В роботі розглядається математична модель проникнення щебеню в ґрунтовий масив при динамічному впливі на нього вибуху циліндричного заряду ВР (рис 1), що дозволяє описувати напружено-деформований стан ґрунту і частинок щебеню при різних фізико-механічних і геометричних параметрах аналізованих об'єктів.

При цьому процес розбивається на два етапи. На першому етапі розглядається рух частинок щебеню і продуктів вибуху при миттєвій хвильовій детонації. На другому досліджується процес руху щебеню та ґрунту.

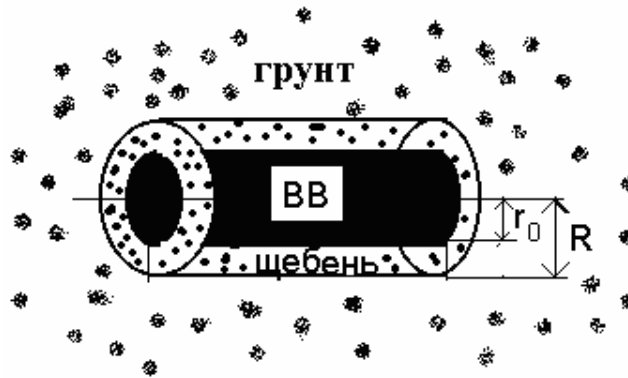


Рис. 1. Циліндричний заряд хімічної вибухової речовини (ВР), поміщеної в порожнину, заповнену щебенем, розташовану в ґрунтовому масиві

Постановка задачі про метання щебеню в ґрунт за допомогою вибуху циліндричного заряду ВР здійснювалася наступним чином. Щоб виключити вплив кінців заряду і нерадіальність розльоту продуктів детонації, заряд вважався нескінченним, а детонація - миттєвою. Після вибуху заряду ВР продукти детонації (ПД) розширюються і захоплюють за собою частки щебеню, прискорюючи і прогріваючи їх до високої температури. Після того як продукти вибуху досягають кордону з ґрунтом, виникає відображена ударна хвиля, яка призводить до гальмування частинок. Ступінь гальмування визначається параметрами відбитої хвилі і частинок щебеню. Очевидно, що більш дрібні частинки повинні відчувати більш сильне гальмування.

Розліт продуктів детонації повинен описуватися стандартними рівняннями динаміки суцільного середовища, що стискається. Ці рівняння у формі законів збереження маси, імпульсу і енергії для випадку циліндричної симетрії мають вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho x) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u x) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u x) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u^2 x + p x) = p, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho x \left(E + \frac{u^2}{2} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho u x \left(E + \frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} \right) \right) = 0, \quad (3)$$

де ρ , u , E , p - щільність, швидкість, внутрішня енергія і тиск газу; x - просторова координата; t - час.

Рівнянням стану ПД є рівняння стану ідеального газу

$$p = \rho R T \quad (4)$$

де R - універсальна газова стала; T - температура газу.

Система рівнянь (1) - (4) є замкнутою системою для визначення термодинамічних величин ПД. Для чисельного розв'язання поставленої задачі використовувалася неявна різницева схема "предиктор-коректор", стійка при будь-якому відношенні $\Delta t / \Delta h$ [6,7].

Використовувана різницева схема вимагає запису рівнянь руху суцільного середовища в характеристичній формі, яка для випадку циліндричної симетрії має вигляд:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{\rho c} \frac{\partial p}{\partial t}\right) + (u + c) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho c} \frac{\partial p}{\partial x}\right) = -\frac{uc}{x} \quad (5)$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{1}{\rho c} \frac{\partial p}{\partial t}\right) + (u - c) \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{\rho c} \frac{\partial p}{\partial x}\right) = \frac{uc}{x} \quad (6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

де c - швидкість звуку; S - ентропія.

Вважається, що всі частки щебеню під дією продуктів вибуху, що розширюються, рухаються компактною зоною, тобто що параметри і координати всіх частинок близькі між собою, і їх можна описати параметрами однієї "міченої" частинки з даного шару.

Рівняння руху міченої частинки має вигляд:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1}{2} \pi r^2 \rho_2 C_s |u - v| (u - v) \quad (8)$$

де m - маса частинки; x - просторова координата частинки; t - час; r - радіус частинки; C_s - коефіцієнт опору; ρ_2 - щільність матеріалу частинки; u - швидкість ПД; v - швидкість частки щебеню.

Враховуючи, що для маси і швидкості частки маємо вираз

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_2, \quad \frac{dx}{dt} = v \quad (9)$$

Отримаємо рівняння, що визначає швидкість частки від часу:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{3 \rho_2 C_s |u - v|}{8 r \rho_2} \quad (10)$$

де C_s - коефіцієнт опору, що залежить від числа Рейнольдса частинки.

В розрахунках приймалося, що діаметр заряду ВР становив $d_0 = 0,04$ м, діаметр свердловини складав $d_{\text{св}} = 0,250$ м. Як ВР використовувався амоніт № 6ЖВ. Детонаційні характеристики амоніту № 6ЖВ наступні: $P_n = 3.248 \cdot 10^9$ Па; $\rho_n = 1000$ кг/м³; $D_0 = 4340$ м/с; $Q = 1030$ ккал/кг; $\gamma = 1,25$.

Фізико-механічні характеристики щебеню: $\rho_0 = 1800$ кг/м³ - щільність при атмосферному тиску; $\rho = 1900$ кг/м³ - щільність матеріалу частинок. Діаметр частинок щебеню приймався рівним 20 і 40 мм. Відзначимо, що при діаметрі частинки щебеню рівному 20 мм, по радіусу порожнини міститься 5 - 6 частинок, а при діаметрі рівному 40 мм - 3 частинки, відповідно.

На рис. 2 наведені профілі швидкості в системі «ПД - щебінь» в різні моменти часу при вибуху циліндричного заряду амоніту № 6ЖВ. По осі ординат відкладені значення функції в системі СІ, а по осі абсцис - відстань від осі заряду до кордону свердловини з ґрунтом.

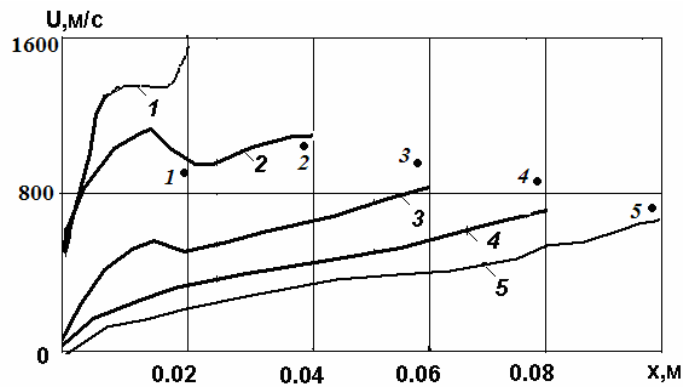


Рис.2. Розподіл швидкості під час вибуху циліндричного заряду амоніту № 6ЖВ в різні моменти часу: 1 - вихід ударної хвилі на межу «продукти детонації - щебінь»; 2, 3, 4, 5 - вихід хвилі на відповідну частку щебеню (діаметр частинки дорівнює 20 мм)

З рис. 2 видно, що частки щебеню, що безпосередньо примикають до ПД, набувають швидкість близько 1000 м/с. Далі ця швидкість зростає незначно, але починає перевищувати швидкість ПД. З аналізу залежностей також впливає, що при досягненні хвилею кордону зі щебенем відбувається стрибок швидкості, обумовлений виходом хвилі з менш щільного середовища в більш щільне середовище (ефект відбиття від твердої стінки). При цьому виникає відображена ударна хвиля, яка гальмує потік газу, що набігає. Фронт відбитої ударної хвилі рухається від контактного розриву «ПД - щебінь» до осі заряду зі змінною швидкістю, що є наслідком зміни набігаючого потоку газу. Область відбитої ударної хвилі істотно впливає на швидкість частинок щебеню, приводячи до їх різкого гальмування. Після проходження часткою щебеню зони відбитої ударної хвилі її швидкість зменшилася більш, ніж на 250 м/с.

На рис. 3 представлені профілі тиску за фронтом розширюються продуктів вибуху для розглянутого вище випадку.

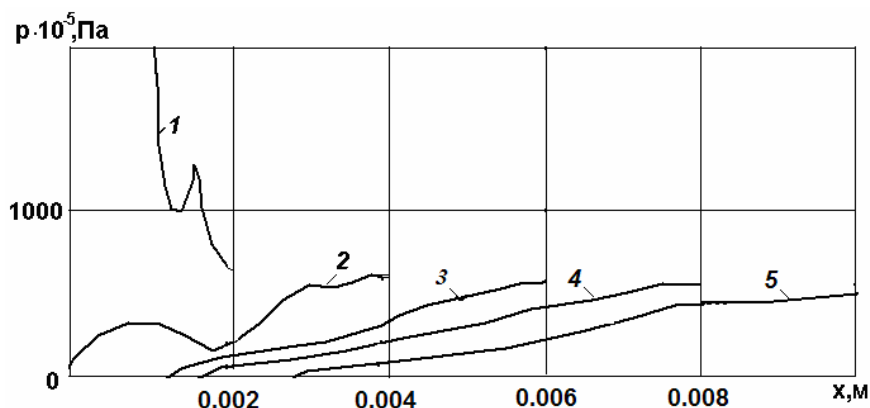


Рис. 3. Розподіл тиску при вибуху циліндричного заряду амоніту № 6ЖВ в різні моменти часу: 1 - вихід ударної хвилі на кордон «продукти детонації - щебінь»; 2, 3, 4, 5 - вихід хвилі на відповідну частку щебеню (діаметр частинки дорівнює 20 мм)

При порівнянні результатів чисельного розрахунку для тих же параметрів заряду та типу ВВ, але радіус частинок щебеню збільшено в 2 рази було встановлено, що хвильові процеси протікають за подібною схемою, але при

збільшенні діаметру частинок щебеню відбувається зниження швидкості на 400 м/с. Це пояснюється тим, що такі великі частки не встигають набрати достатньої швидкості в початковий момент руху, коли швидкість розльоту продуктів детонації найбільша. Очевидно, що зі збільшенням діаметра частинок щебеню буде відбуватися подальше зменшення визначальних параметрів руху.

Далі проводилися чисельні розрахунки з метою з'ясування впливу детонаційних характеристик ВР на процес руху системи «продукти детонації - щебінь». Для цього було проведено порівняння вибуху циліндричного заряду амоніту № 6ЖВ та для вибуху циліндричного заряду грамоніту 79/21. Інші параметри залишилися колишніми. Було встановлено, що основні закономірності розвитку хвильових процесів у системі «продукти детонації - щебінь» зберігаються, проте під час вибуху заряду грамоніту 79/21 відбувається зменшення швидкості їх підльоту до стінки порожнини на 350 м/с і тиску на $5 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

Результати чисельного розрахунку хвильових процесів у лесовидному суглинку при проникненні щебеню з різним вмістом компонентів. Фізико - механічні характеристики ґрунту наступні [8]: $\rho_{20} = 1000 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{30} = 2650 \text{ кг/м}^3$; $c_{20} = 1500 \text{ м/с}$, $c_{30} = 4500 \text{ м/с}$; $\gamma_2 = 7$; $\gamma_3 = 4$; $\rho_0 c_S^2 = 3 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $\rho_0 c_D^2 = 3.67 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $\rho_0 c_{SR}^2 = 3 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $m = 3$; $k = -1.2 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $\gamma_S = 4$; $\gamma_D = 6$; $\gamma_{SR} = 8$; $\eta_D = 2000 \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\alpha_1 = 0,1 \dots 0,4$; $\alpha_2 = 1 - (\alpha_1 + \alpha_2)$; $\alpha_3 = 0,6$; $y_0 = 0,9 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $\tau = 5 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $\tau = 12 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

При проникненні частинок щебеню в ґрунт за останнім починає поширюватися ударна хвиля. На рис. 4 показані залежності радіальних напружень ґрунту від відстані.

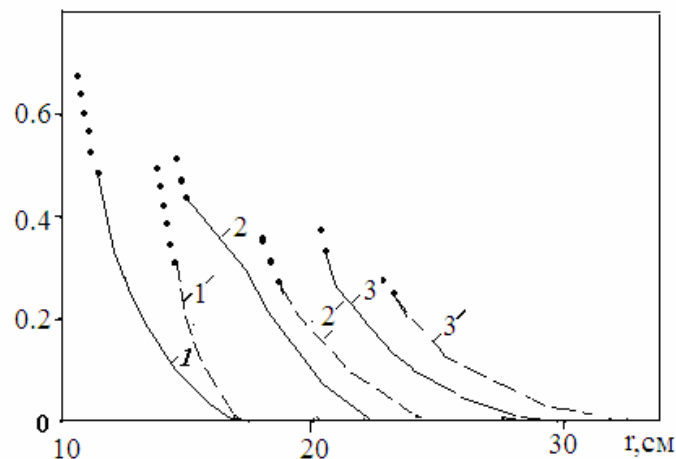


Рис. 4. Залежність радіальних напружень ґрунту від відстані при вибуху заряду амоніту № 6ЖВ при різних діаметрах частинок щебеню: 1, 1' - $R=20 \text{ мм}$, 2, 2' - $R=40 \text{ мм}$, 3, 3' - $R=70 \text{ мм}$. Суцільні лінії відповідають ґрунту з $\alpha_1 = 0,1$; штрихові - $\alpha_1 = 0,3$; чорні точки - частинкам щебеню.

З малюнка видно, що в початковий момент часу при ударі щебеню о ґрунт відбувається генерації ударної хвилі. Для одних і тих же діаметрів частинок щебеню великі значення радіальних напружень досягаються в ґрунті з меншим вмістом порового простору, тобто з більшою щільністю. Це пояснюється тим,

що в такому середовищі дисипативні втрати при поширенні хвилі, пов'язані з в'язкими властивостями, менше, ніж у більш пористому середовищі.

На поверхні частинок максимальні нормальні напруги більше, ніж у ґрунті, і чим пізніше частка потрапляє в ґрунт, тим більше у неї напругу. Це пояснюється тим, що при впливі продуктів детонації на щебінь, частинки, які знаходяться ближче до газової порожнини, отримують значний початковий тиск. При збільшенні діаметра частинок відбувається падіння напруги як в ґрунті, так і на самі частки, що є закономірним, тому що більші частки при впливі на них тиску з боку продуктів детонації спочатку отримали менший тиск. Однак великі частинки, маючи велику інерцію, проникають в ґрунт на великі відстані: для частинок діаметром 20 мм - це відстань становить 12 - 15 см, для 40 мм - 16 - 40 см, для 70 мм - 23 - 25 см. Але у відносних відстанях частки діаметром 20 мм проникнуть в ґрунт на глибину, рівну $6 - 7,5 R$, частинки діаметром 40 мм на $4 - 5 R$, частинки діаметром 70 мм - на $3 - 4,5 R$.

Зазначену закономірність можна простежити і на рис. 5. де в логарифмічних координатах наведені залежності максимальної швидкості частинок щебеню в ґрунті з $\alpha_1 = 0,1$

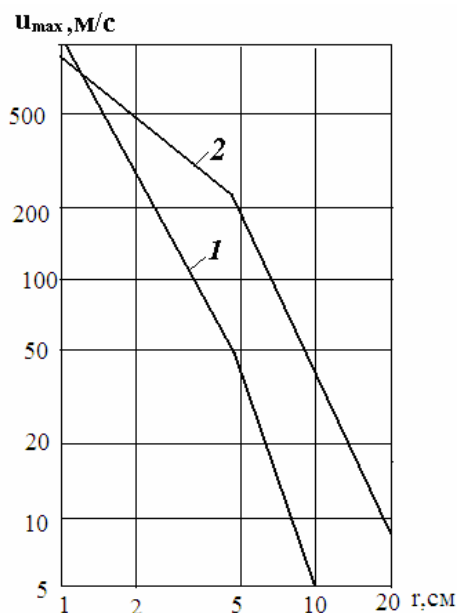


Рис. 5. Залежності максимальної швидкості частинок щебеню в ґрунті при проникненні частинок різного діаметра: 1 - $R = 20$ мм, 2 - $R = 40$ мм.

З аналізу малюнка слідує, що маючи велику початкову швидкість, частинки меншого діаметра швидше гальмуються, що призводить до зниження їх швидкості і, як наслідок, до зменшення їхньої глибини проникнення в ґрунт.

Висновки. В результаті математичного моделювання проникнення щебеню в ґрунтовий масив при динамічному впливі на нього вибуху циліндричного заряду ВР встановлено, що частинки щебеню меншого діаметру при впливі на них продуктів детонації розлітаються з більшою швидкістю і при більшому тиску в порівнянні з більш великими частками. Під час вибуху заряду амоніту № 6ЖВ ці параметри вище, ніж при вибуху грамоніту 79/21, який володіє меншими детонаційними характеристиками.

Для одних і тих же діаметрів частинок щебеню великі значення радіальних напружень досягаються в ґрунті з меншим вмістом порового простору, тобто з більшою щільністю.

При збільшенні діаметра частинок відбувається падіння напруги як в ґрунті, так і на самі частки, але великі частки проникають в ґрунт на великі відстані. Глибина проникнення для розглянутих діаметрів складає від 3 до 7,5 діаметрів.

При проникненні щебеню в ґрунт відбувається його ущільнення, причому на однакових відстанях великі значення об'ємної деформації досягаються в ґрунті з більшою вільною пористістю.

Список літератури

1. Зельдович Я.Б. Движение газа под действием кратковременного давления (удара) // Акустический журнал, № 1, вып. 28, 1956. – С. 31 -38.
2. Станкович К.П. Неустановившиеся движения сплошной среды. М.: «Наука», 1971. – 854 с.
3. Рахматуллин Х.А., Шапиро Г.С. распространение возмущений в нелинейной упругой среде // Изв.АН СССР,ОТН, №2, 68, 1955. – С. 23 – 31.
4. Александров Е.В., Соколинский В.Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. М.: Наука, 1969. – 200с.
5. Сагомоян А.Я. Проникание. М.: Из-во Моск. ун-та, 1974.
6. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1989. - 543 с.
7. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989. – 256 с.
8. Механический эффект взрыва в грунтах / Лучко И.А., Плаксий В.А., Ремез Н.С. и др. – Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Соболевим В.В.
Надійшла до редакції 10.11.10*

УДК 622.235.67:504.3

© В.В. Марченко, Я.Я. Лебедев, Г.П. Кривцун

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІНОСУ ШКІДЛИВИХ ДОМІШОК З ПІДІРВАНОЇ ГІРСЬКОЇ МАСИ В АТМОСФЕРУ РОБОЧИХ ПЛОЩАДОК КАР'ЄРУ

Приведены результаты исследований процесса накопления вредных примесей в свободном пространстве взорванной горной массы и выноса их в атмосферу рабочих площадок карьера.

Приведені результати досліджень процесу накопичення шкідливих домішок в вільному просторі підірваної гірської маси і виносу їх в атмосферу робочих площадок кар'єру.

The results of researches of process are resulted accumulation of harmful admixtures in free space of the mountain mass and bearing-out of them blown up in the atmosphere of working grounds of quarry.

Вступ. Одним з головних напрямків технічного прогресу в гірничодобувній промисловості є переважний розвиток відкритого способу розробки родовищ. Завдяки розвинутій індустріальній базі України і значним запасам корисних копалин, розташованих на незначних глибинах, цим способом у даний час видобувається більш 75% від загального обсягу твердої мінеральної сировини, споживаної промисловістю.