

12. To he mechanism of destruction of rock functional elements of the diamond composite materials / E.P. Vinogradova // Rock cutting and metalworking tools - machinery and technology of its manufacture and use: Sat. scientific work. – K.: IMS of V.N. Bakul, National Academy of Sciences of Ukraine, 2011. – Vol. 14. – P. 14–24.

13. Geometric parameters of fragment of products destruction of hard and brittle superhard materials diamond tool /A.P. Vinogradova // Theoretical and experimental research in the technology of modern materials and engineering: Coll. scientific work – Lutsk LNTU – 2013. – Vol. 4. – P. 45–52.

14. The area of indenter introduction in a rock block at its destruction by diamond tool / E.P. Vinogradova, N.V. Zuevskaya, V.G. Kravets // 11 School Geomechanics: Coll. scientific. work.– Gliwice–Ustron, Poland 2013. – 13 p.

15. Pat. IPC Ukraine E21V 10/48. Diamond drill bit / A.L.Maystrenko, I.A. Sveshnikov, R.K. Bogdanov, O.M. Isonkin, O.P. Vinogradova, P.G. Lyudvychenko. – № 47 724; stated 17.07.09; publ. 25.02.2010, Bull. № 4.

16. Pat. for the invention. Ukraine. IPC G 01N 3/48, 10/46 E21V The method of assessing the performance tool for breaking brittle, elastic-brittle hard and superhard materials / O.P. Vinogradova. – № 105 966; stated 19.12. 12; publ. 10.07.14, Bull. № 13.

17. Huang H. Intrinsic length scales in tool-rock interaction International journal of geomechanics / H. Huang, E. Detournay // January/February 2008. – P. 39–44.

Стаття надійшла 17.04.2015.

УДК 622.235

ВЗАЄМОДІЯ СЕЙСМОВИБУХОВИХ ХВИЛЬ З ҐРУНТОВИМ МАСИВОМ ПРИ МИТТЄВОМУ ТА КОРОТКОУПОВІЛЬНЕНОМУ ПІДРИВАННІ

Н. С. Ремез, В. В. Вапнічна

Національний технічний університет України «КПІ»

вул. Борщагівська, 115/3, м. Київ, 03056, Україна.

E-mail: viktorija0203@yandex.ru

Д. А. Ремез

Інститут гідромеханіки НАН України

вул. Желябова, 8/4, м. Київ, 03680, Україна.

E-mail: Nataly.Remez@gmail.com

С. О. Крайчук

Рівненський державний гуманітарний університет

вул. Салютна, 13, м. Київ, 04111, Україна.

В статті розглянуто методику розрахунку хвильових процесів в ґрунтовому масиві при миттєвому та короткоуповільненому підриванні системи циліндричних зарядів. Розглянуто вплив інтервалів уповільнення та розосередження зарядів на параметри сейсмовибухових хвиль.

Ключові слова: сейсмовибухова хвиля, короткоуповільнене підривання, математичне моделювання.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН С ГРУНТОВЫМ
МАССИВОМ ПРИ МГНОВЕННОМ И КОРОТКОЗАМЕДЛЕННОМ
ВЗРЫВАНИИ**

Н. С. Ремез, В. В. Вапничная

Национальный технический университет Украины «КПИ»

ул. Борщаговская, 115/3, г. Киев, 03056, Украина.

E-mail: viktorija0203@yandex.ru

Д. А. Ремез

Институт гидромеханики НАН Украины

ул. Желябова, 8/4, г. Киев, 03680, Украина.

E-mail: Nataly.Remez@gmail.com

С. О. Крайчук

Ровенский государственный гуманитарный университет

ул. Салютная, 13, г. Киев, 04111, Украина.

В статье рассмотрена методика расчета волновых процессов в грунтовом массиве при мгновенном и короткозамедленном подрывании системы цилиндрических зарядов. Рассмотрено влияние интервалов замедления и рассредоточения зарядов на параметры сейсмозрывных волн.

Ключевые слова: сейсмозрывная волна, короткозамедленное взрывание, математическое моделирование.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. У зв'язку зі збільшенням об'ємів проведення гірничих робіт та наближенням кар'єрних полів до охоронних об'єктів на практиці гостро постає питання про сейсмобезпеку цих об'єктів. Така ситуація ставить перед науковцями одночасно дві пріоритетні задачі – забезпечення якісного подрібнення гірської маси та сейсмічної безпеки охоронних об'єктів під час проведення вибухових робіт.

Існуючі методики оцінки сейсмічної безпеки проведення вибухових робіт мають ряд недоліків. Експериментальні методики затратні і ефективні лише для конкретних умов. Найбільш часто застосовувані розрахункові методики базуються на уточнені формули М.А. Садовського різними коефіцієнтами або прив'язкою їх до паспортних фізико-механічних констант ґрунтів. Ще одним недоліком розрахункових методик є те, що ця формула базується на принципі геометричної та енергетичної подібності і справедлива для вибуху одиночного зосередженого заряду, що призводить до недостовірної кількісної оцінки сейсмобезпечних параметрів проведення вибухових робіт, тому що на практиці найчастіше застосовують системи циліндричних зарядів. Розрахункові методики для масових вибухів також базуються на цій формулі і тому мають ті ж недоліки. Тому дослідження параметрів сейсмовибухових хвиль, що впливають на сейсмостійкість охоронних об'єктів під час вибухів групи циліндричних зарядів з врахуванням умов проведення вибухових робіт та фізико-механічних властивостей ґрунтів є актуальною науково - практичною задачею.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. В роботі проведено чисельне моделювання дії вибуху групи зарядів циліндричної симетрії в гірському масиві. Задача вирішується в два етапи. На першому етапі розглядається осесиметричне деформування і руйнування ґрунтового масиву під дією вибуху одиночного заряду. Покладається, що у ґрунтовому масиві, вдалині від вільної поверхні розташований циліндричний заряд ВР нескінченної довжини радіусом r_0 , що детонує миттєво. У результаті миттєвого впливу цього тиску на контактну границю розділу "продукти детонації – ґрунт" в ґрунті поширюється ударна хвиля, контактна границя розширюється, а до осі заряду рухається хвиля розрідження. При цьому по всьому об'єму заряду встановлюється однаково високий тиск P_n , а щільність продуктів детонації (ПД) ρ_n дорівнює початковій щільності вибухової речовини (ВР).

Продукти детонації та ґрунт вивчаються в рамках механіки суцільного середовища. Їх рух описуються законами збереження імпульсу, маси й внутрішньої енергії, які для випадку осової симетрії мають вигляд [1]:

$$\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{\tau_{rz}}{r} = \rho \frac{du}{dt}, \quad u = \frac{dz}{dt}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial r} + \frac{\sigma_{zz} - \sigma_{\theta\theta}}{r} = \rho \frac{dw}{dt}, \quad w = \frac{dr}{dt}, \quad (2)$$

$$\frac{1}{V} \frac{dV}{dt} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{w}{r}, \quad (3)$$

$$\sigma_{zz} = S_{zz} - P, \quad \sigma_{rr} = S_{rr} - P, \quad \sigma_{\theta\theta} = S_{\theta\theta} - P; \quad (4)$$

$$P = \frac{1}{3}(\sigma_{rr} + \sigma_{\theta\theta} + \sigma_{zz}); \quad V = \frac{\rho_0}{\rho}, \quad (5)$$

де z, r – координати; t – час; $\sigma_{rr}, \sigma_{\theta\theta}, \sigma_{zz}$ – нормальне напруження; τ_{rz} – дотичне напруження; $S_{zz}, S_{rr}, S_{\theta\theta}$ – компоненти девіатора тензора напружень; P – середній гідростатичний тиск; ρ – щільність; u, w – компоненти швидкості; V – питомий об'єм.

Приймається, що розширення ПД відбувається по двочленній ізоентропі, рівняння якої запропоновано в [2]:

$$P = A\rho^n + B\rho^{\gamma+1}, \quad (6)$$

де A, B, n, γ – константи для певної ВР.

Для ґрунтів застосовується модель твердого пористого багатокомпонентного в'язкопластичного середовища з постійним коефіцієнтом в'язкості [3–5], рівняння динамічного об'ємного навантаження і розвантаження якого встановлюють зв'язок між тиском P , об'ємною деформацією ε та їх похідними за часом:

$$\dot{\varepsilon} = \phi(P, \varepsilon) \dot{P} - \frac{\alpha_1 \lambda(P, \varepsilon)}{\eta} \psi(P, \varepsilon). \quad (7)$$

Функції, що входять у рівняння (7) різні для навантаження і розвантаження і визначаються згідно з [3–5].

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Умовою пластичності ґрунту є модифікована умова Мізеса-Боткіна [6, 7].
Початкові умови задачі наступні:

$$u = 0, w = 0, P = P_n, \rho = \rho_n \quad \text{при} \quad z < l, r < r_0, \quad (8)$$

$$u = 0, w = 0, P = P_0, \rho = \rho_0 \quad \text{при} \quad z > l, r > r_0. \quad (9)$$

Граничні умови мають вигляд:

$$u_{\text{ПД}} = u_{\text{ГР}}, P_{\text{ПД}} = P_{\text{ГР}}, \rho_{\text{ПД}} \neq \rho_{\text{ГР}} \quad \text{при} \quad z = l, \quad (10)$$

$$w_{\text{ПД}} = w_{\text{ГР}}, P_{\text{ПД}} = P_{\text{ГР}}, \rho_{\text{ПД}} \neq \rho_{\text{ГР}} \quad \text{при} \quad r = r_0. \quad (11)$$

Індекси «ПД» і «ГР» означають продукти детонації і ґрунт відповідно.

Для розв'язування поставленої задачі застосовувався метод кінцевих різниць з використанням кінцево-різницевої схеми типу «хрест» [8–9].

Розрахунки проводились для суглинку і глини. Радіус заряду становив $r_0 = 0,1$ м. В якості ВР був обраний литий тротил.

В результаті обчислень отримані масиви даних у вигляді основних параметрів вибухових хвиль (тиск, об'ємна деформація, напруження, швидкість, час приходу імпульсу в точку, час приходу максимального значення імпульсу, час закінчення дії імпульсу в даній точці) в залежності від часу та відносної відстані.

На рис. 1 в напівлогарифмічній шкалі представлені залежності нормальних σ_r , осьових σ_z та тангенціальних σ_θ напружень від відстані під час вибуху циліндричного заряду в суглинку та глині. З рис. 1 можемо спостерігати, що значення максимальних напружень швидше спадають у суглинку в порівнянні з глиною. Так максимальне нормальне напруження досягає значення 10^7 на 20 відносних радіусах в суглинку і на 36,5 в глині. Також можна відмітити більшу різницю між значеннями нормального та тангенціального напруження в суглинках ніж в глині.

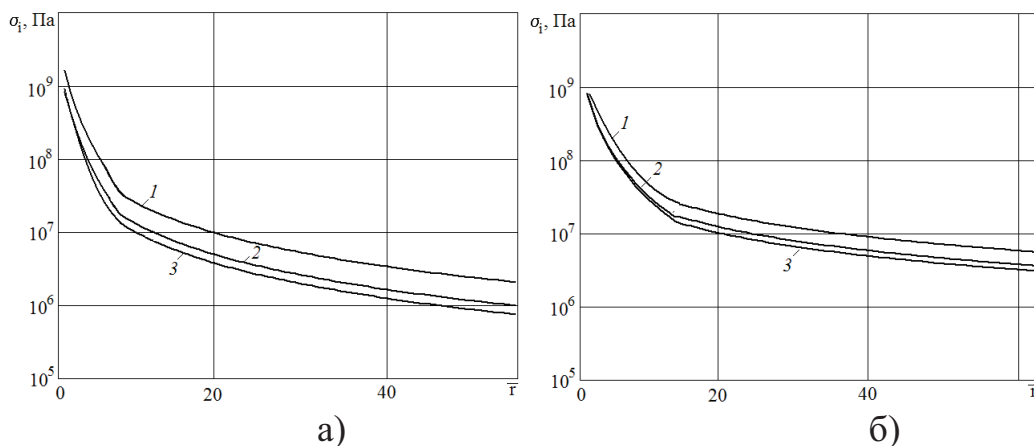


Рисунок 1 – Залежності напружень 1 – σ_r , 2 – σ_θ , 3 – σ_z ґрунту від відносної відстані під час вибуху циліндричного заряду в суглинку (а) та глині (б)

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

На рис. 2 приведені залежності часу приходу імпульсу (2) та часу приходу максимального значення імпульсу (1) в певну точку середовища від відстані під час вибуху циліндричного заряду в суглинку (а) та глині (б). З аналізу рисунку слідує, що хвильові процеси в глині відбуваються на порядок швидше, ніж в суглинку.

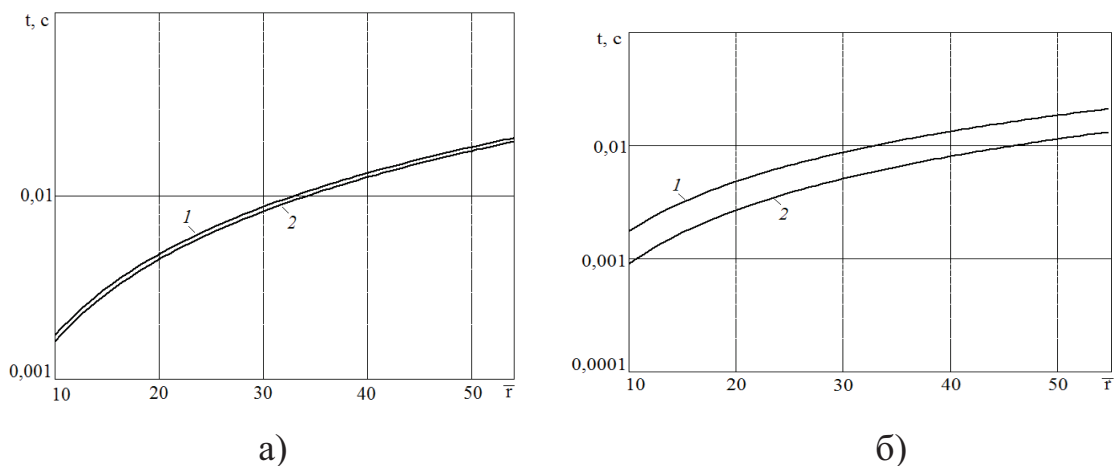


Рисунок 2 – Залежності часу приходу імпульсу (2) та часу приходу максимального значення імпульсу (1) в певну точку середовища від відносної відстані під час вибуху циліндричного заряду в суглинку (а) та глині (б)

Залежності максимальних швидкостей U_{\max} середовища від відстані під час вибуху циліндричного заряду в глині (1) та суглинку (2) зображені на рис. 3.

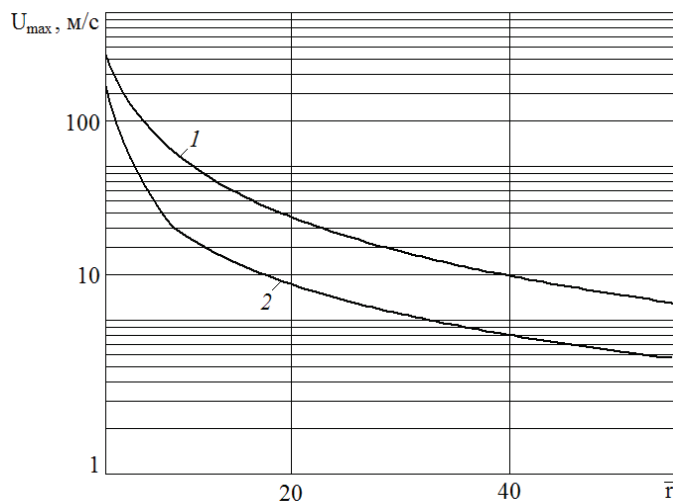


Рисунок 3 – Залежності максимальних швидкостей U_{\max} середовища від відносної відстані під час вибуху циліндричного заряду в глині (1) та суглинку (2)

На другому етапі рішення задачі про хвильову взаємодію групи циліндричних зарядів під час вибуху в ґрунтовому масиві використовувались залежності параметрів СВХ (напружень, швидкостей, часу початку, максимального, часу закінчення дії імпульсу в даній точці ґрунту) від відносної відстані, отримані в результаті чисельного рішення раніше і представлені у вигляді функціональних залежностей.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Далі, основувшись на принципі суперпозиції вибухових хвиль від окремих зарядів при групових вибухах, були розраховані поля напружень та швидкостей. Розраховувались варіанти для одного, двох та трьох циліндричних зарядів розміщених на відстані $10 r_0$, $20 r_0$, $30 r_0$. При цьому приймалось, що маса двох і трьох зарядів рівнялась масі одиночного заряду.

На рис. 4 представлені ізосейми швидкостей U_x (м/с) (а) та ізобари напружень σ_x (МПа) (б) в момент часу $t = 0.005$ одного зосередженого заряду, двох, трьох зарядів з рівною сумарною масою з відстанню між зарядами рівною $a = 20r_0$. З рисунку видно, що в початковий момент часу за рахунок розосередження заряду, зменшується поширення хвилі по осі x для розосередженого заряду в порівнянні з вибухом одного зосередженого. Ізосейми являються витягнутими по осі y зі збільшенням кількості зарядів.

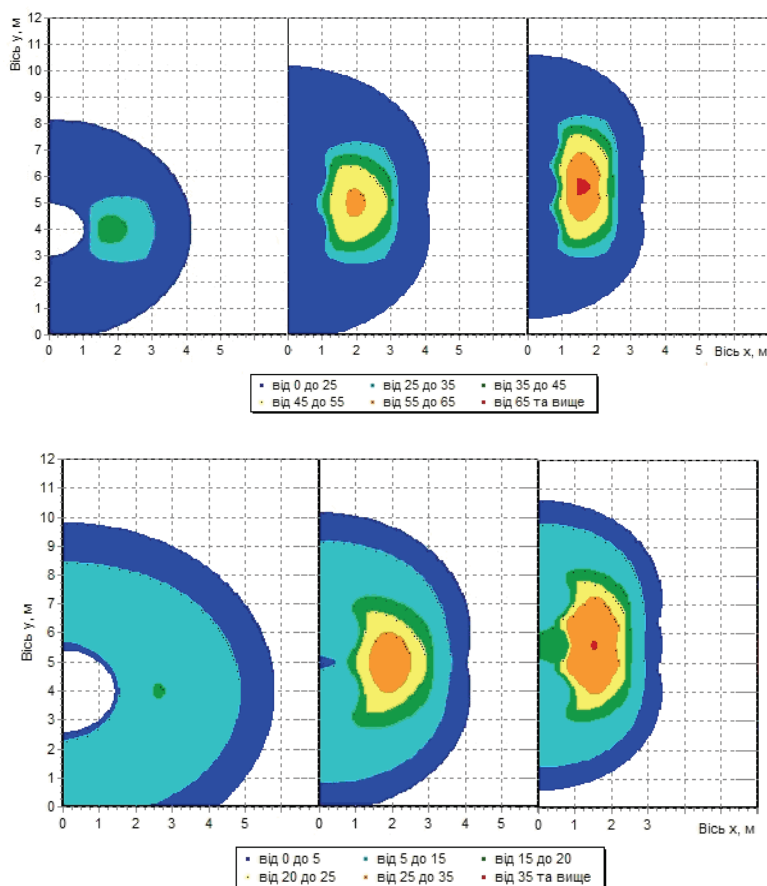


Рисунок 4 – Ізосейми швидкостей U_x (м/с) та та ізобари напружень σ_x (МПа) при $t = 0.005$ при вибуху одного зосередженого заряду, двох, трьох зарядів з рівною сумарною масою ($a = 20r_0$)

Якщо порівняти максимальні значення швидкості (табл. 1), що досягаються в даний момент часу, то видно, що найменша швидкість частинок досягається під час вибуху одного зосередженого заряду. З розосередженням заряду максимальне значення швидкості збільшується в 1,48 рази для двох зарядів та 1,76 разів для трьох зарядів. Аналогічна картина в хвильовій взаємодії зарядів просліджується і для напружень.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Таблиця 1 – Максимальні значення швидкостей та напружень для зосередженого та розосередженого заряду

Кількість зарядів, шт.	Уповільнення, мс	Відстань між зарядами, радіусів заряду ($r_0=0,1$ м)	U_x , м/с	σ_x , МПа
1	-	-	37,65	15,04
2	0	20	55,79	26,58
3	0	20	66,33	35,02

В даний момент часу збільшення максимальних значень напружень, що досягаються під час вибуху, для двох зарядів в порівнянні з одним зосередженим становить 1,77 разів, для трьох зарядів – 2,33 рази. Такий теоретично встановлений ефект збільшення значень масової швидкості з розосередженням зарядів підтверджується експериментальними даними [10].

Для визначення оптимального інтервалу уповільнення були досліджені поля напружень та швидкостей під час вибуху одного зосередженого заряду, двох зарядів, що підриваються миттєво та двох зарядів, що підриваються з уповільненням 5 мс та 20 мс, які представлені на рис. 5, а також залежності максимальних напружень та швидкостей від часу.

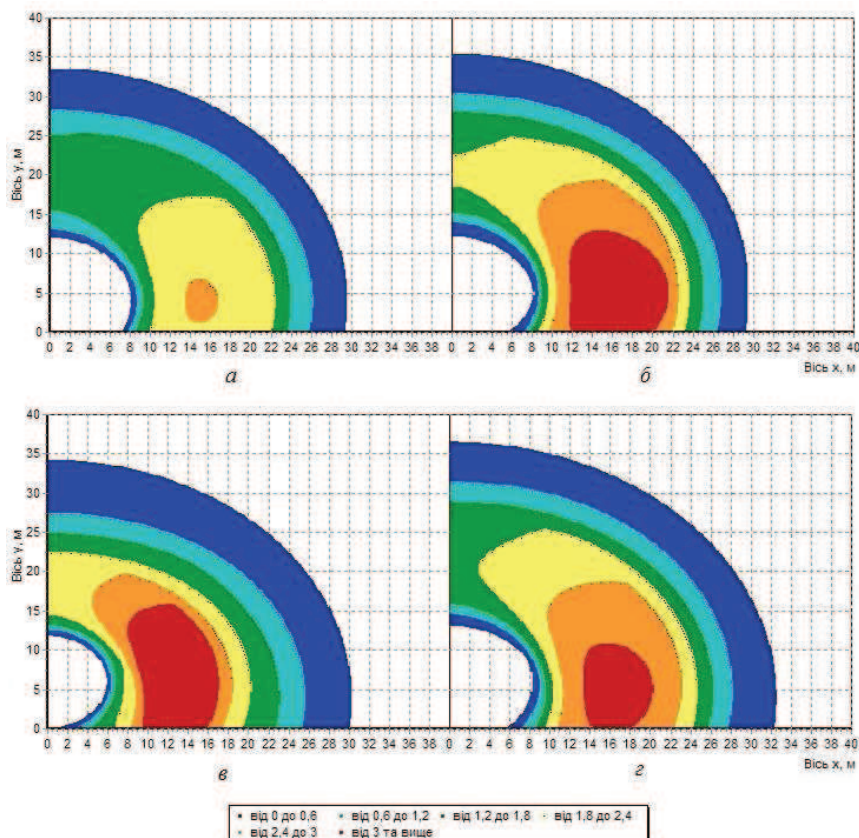


Рисунок 5 – Ізосейси швидкостей U_x (м/с) та та ізобари напружень σ_x (МПа) під час вибуху одного зосередженого заряду (а), двох зарядів без уповільнення (б), двох зарядів з уповільненням 5 мс (в), та двох зарядів з уповільненням 20 мс (г)

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Поля напружень та швидкостей розраховувались для відстані $200r_0$ в різні моменти часу, які відповідали моменту приходу імпульсу від останнього детонуючого заряду. Для миттєвого підривання одного заряду цей момент часу становить $t = 0,0677$, двох зарядів – $t = 0,1202$, двох зарядів з уповільненням 20 мс $t = 0,1352$ с, для часу сповільнення 60 мс – $t = 0,1752$ с. З аналізу приведених даних, слідує, що максимальні значення напружень та швидкостей спостерігаються під час вибуху двох зарядів з уповільненням 5 мс. Співвідношення збільшення максимальних напружень відповідно становлять: для двох зарядів без уповільнення – в 1,38 рази, для двох зарядів з уповільненням 5 мс – 2,68 рази, для двох зарядів з уповільненням 20 мс – 1,3 рази. Таким чином, можемо спостерігати, що для кожних конкретних умов вибуху існує раціональний інтервал уповільнення, який сприяє ефективному подрібненню гірської маси та одночасному зменшенню сейсмічного ефекту вибуху.

Якщо порівняти максимальні значення швидкості (табл. 2), що досягаються в даний момент часу, то видно, що найменша швидкість частинок досягається під час вибуху одиночного заряду. З розосередженням заряду максимальне значення швидкості збільшується в 1,8 разів для двох зарядів з відстанню 10 радіусів зарядів між ними та в 1,48 рази для відстані 20 радіусів між зарядами та 1,15 разів для відстані 30 радіусів. Однак, для відстаней між зарядами, і більше $30r_0$ значення масової швидкості під час вибуху двох зарядів наближується до значення під час вибуху одиночного заряду еквівалентної маси.

При збільшенні відстані між зарядами спостерігається відсутність взаємодії між зарядами і виникають зони, в яких гірська маса залишається не подрібненою. Таким чином, для кожного ґрунтового середовища та типу ВВ ВР існують оптимальні відстані між зарядами, які дозволяють оптимально подрібнити гірську породу та знизити сейсмічний ефект.

Таблиця 2 – Максимальні значення швидкостей та напружень

Кількість зарядів, шт	Відстань між зарядами, радіусів заряду ($r_0=0,1$ м)	U_{\max} , м/с	$\sigma_{r_{\max}}$, МПа
1	-	37,65	15,04
2	10	69,45	29,13
2	20	55,79	26,58
2	30	43,43	23,28

ВИСНОВКИ. Таким чином розроблена математична модель, алгоритм і програма для чисельного розв'язку задачі про взаємодію хвиль в ґрунтовому масиві під час вибуху одного і групи циліндричних зарядів ВР з врахуванням хвильових процесів в ПД, детонаційних характеристик ВР, фізико-механічних характеристик ґрунтового масиву та умов підривання. Досліджені закономірності зміни

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

основних хвильових параметрів (напружень, швидкостей) в залежності від часу та відносної відстані під час вибуху групи циліндричних зарядів в ґрунтовому масиві за різних умов підривання (без уповільнення, з уповільненням, з врахуванням кількості зарядів та відстані між ними).

Вперше теоретично встановлено, що в ближній зоні вибуху найменша швидкість частинок досягається під час вибуху зосередженого заряду. З розосередженням заряду (збільшенням кількості зарядів при рівній сумарній масі) в ближній зоні вибуху значення напруження та швидкості зміщення частинок ґрунту збільшується. Встановлено, що в ближній і середній зоні дії вибуху збільшення інтервалу уповільнення призводить до зменшення результуючих імпульсів напружень і швидкостей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баум Ф.А. Физика взрыва / Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович и др. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
2. Каширский А.В., Орленко Л.П., Охитин В.Н. Влияние уравнения состояния на разлет продуктов детонации // Прикл. мех. и техн. физика. – 1973. – № 2. – С. 71–74.
3. Лучко И.А., Плаксий В.А., Ремез Н.С. Напряженно – деформированное состояние неводонасыщенного грунта при взрыве цилиндрического заряда // Взрыв в грунтах и скальных породах. – Киев: Наук. Думка, 1986. С. 3–6.
4. Лучко И.А., Плаксий В.А., Ремез Н.С. Цилиндрические взрывные волны в твердой многокомпонентной вязкопластической среде // Взрывное дело. – 1986. – № 88/45. – С. 28–36.
5. Цилиндрические взрывные волны в грунтах / А.А. Вовк, И.А. Лучко, Г.М. Ляхов и др. // Прикл. механика и техн. физика. – 1986. – № 4. – С. 100–105.
6. Григорян С.С. К решению задачи о подземном взрыве в мягких грунтах / С.С. Григорян // Прикл. математика и механика. – 1964. – №28. – Вып. 2. – С.1070 –1075.
7. Григорян С.С. Исследования по механике грунтов : автореф. дис. на соиск. ученой степени д-ра физ. мат. наук / Григорян С.С.; НИИ механики МГУ. – М., 1965. – 471 с.
8. Уилкинс М.Л. Расчет упруго – пластических течений / Уилкинс М.Л. // Вычислительные методы в гидродинамике. – М.: Мир, 1967. – С. 212–263.
9. Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач – М.: Мир, 1972. – 418 с.
10. Вовк А.А., Кузьменко А.А. Сейсмическое действие взрыва рассредоточенного заряда / А.А. Вовк, А.А. Кузьменко // Прикладная гидромеханика, 2001. – Том 3 (75), №2. – С. 5–9. – ISSN 1561-9087.

**INTERACTION OF SEISMIC EXPLOSIVE WAVES WITH GROUND
MASSIF AT AN INSTANTANEOUS AND KOROTKOZAMEDLENNOM
EXPLOSING**

N. Remez, V. Vapnichna

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»
vul. Borshchagovskaya, 115/3, Kiev, 03056, Ukraine. E-mail: viktorija0203@yandex.ru

D. Remez

Institute of hydromechanics of National academy of sciences
vul. Zhelyabova, 8/4, Kyiv, 03680, Ukraine. E-mail: Nataly.Remez@gmail.com

S. Kraichuk

PSC «Experimental technology of explosive works»
vul. Saliutna, 13, Kyiv, 03056, Ukraine.

The paper presents a method of calculating the wave processes in ground massif at an instantaneous and short delayed explosion the cylindrical charge system. Influence of intervals of deceleration and dispersal of charges on the parameters of seismic explosive is considered.

Key words: seismic explosive wave, short delayed explosion, mathematical simulation.

REFERENCES

1. Baum, F.A., Orlenko, L.P., Stanyukovich, K.P. (1975), *Fizika vzryva* [Explosion physics], Nauka, Moscow, Russia.
2. Kashirskiy, A.V., Orlenko, L.P., Okhitin, V.N.(1973) «The impact on the expansion of the equation of state of detonation products», *Applied Mechanics and Technical Physics*, no 2, pp. 71–74.
3. Luchko, I.A., Plaksiy, V.A., Remez, N.S. (1986) «Stress - strain state of not saturated soil during the explosion of a cylindrical charge» *Explosion in soils and rocks*, Naukova dumka, pp. 3–6.
4. Luchko, I.A., Plaksiy, V.A., Remez, N.S. (1986) «The cylindrical shock waves in multicomponent solid viscoplastic medium», *Explosion business*, no 88/45, pp. 28–36.
5. Vovk, A.A., Luchko, I.A., Lyakhov, G.M. et.al. (1986) «The cylindrical shock waves in soils» *Applied Mechanics and Technical Physics*, no 4, pp. 100–105.
6. Grigoryan, S.S. (1964) «To solve the problem of an underground explosion in soft soil», *Applied Mathematics and Mechanics*, no. 28 (2), pp.1070 –1075.
7. Grigoryan S.S. (1965) «Research on Soil Mechanics» Thesis abstract for Dr.Sc. (Fis.Math.), Research Institute of Mechanics of Moscow State University, Moscow, Russia.
8. Uilkins, M.L. (1967) «Calculation of elastic-plastic flows» *Computational methods in hydrodynamics*, pp. 212–263.
9. Rikhtmayyer, R., Morton, K. (1972), *Raznostnyye metody resheniya krayevykh zadach* [Difference methods for solving boundary value problems], Mir, Moscow, Russia.
10. Vovk, A.A., Kuz'menko, A.A. (2001) «The seismic effects of the explosion of dispersed charge», *Applied Hydromechanics*, Vol 3 (75), no 2, pp. 5–9. – ISSN 1561-9087.

Стаття надійшла 12.05.2015.