

В.В. Бойко, д.т.н., проф.
А.О. Кузьменко, к.т.н.
О.М. Чала, к.т.н.
Т.В. Хлевнюк, к.т.н.
Д.В. Хлевнюк, аспір.
 Інститут гідромеханіки НАНУ

ДІЯ ВИБУХУ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ЗАРЯДУ В СКЕЛЬНИХ ҐРУНТАХ

Вибухові роботи (ВР) в промисловості, в т.ч. у гірничій справі при видобутку корисних копалин, проводяться в основному з використанням свердловинних зарядів, які системно розподіляються на блоці, що підривається, по окремим групам. Останні вибухають за схемою короткосповільненого підривання (КСП) через визначені проміжки часу, які приймаються не меншими ніж 20 мс. Таким чином, сейсмічний ефект вибуху групи зарядів, що складається з окремих свердловинних зарядів і яка фактично є групою розосереджених зарядів, визначається за формулою зосередженого заряду. Розосереджені заряди ефективно використовуються при проходці траншей у гірничій справі, утворенні екранів і щілин біля охоронних об'єктів. Тільки цей спосіб ведення вибухових робіт дозволяє визначити сейсмічний ефект при переході з одного діаметру заряду на інший, а також визначити фактично здетоновану кількість зарядів в одній групі, яка може відрізнятись від розрахованої у проекті буровибухових робіт (БВР).

В роботі проаналізовано фізичну суть процесів, що відбуваються при одночасному підриві розосереджених зарядів. Досліджений ефект направленості сейсмічної дії вибуху розосереджених зарядів відносно лінії розташування зарядів. Отримана узагальнена залежність швидкості зміщення ґрунту від параметрів вибуху і епіцентральної відстані. Показано на конкретних прикладах, що розосереджені заряди, що підриваються одночасно, є основним ланцюгом у системі кар'єрних масових вибухів при видобуванні корисних копалин.

Ключові слова: сейсмічні коливання; кількість зарядів; взаємодія зарядів; відстані між зарядами; коефіцієнти сейсмічності і затухання інтенсивності хвиль; одиничний заряд; зосереджений і розосереджений заряди; зсув фаз; ефективний заряд.

Вступ. Сейсмічний ефект при масових вибухах (МВ) сьогодні розраховується в залежності не від загальної маси зарядів, а від маси окремої групи свердловинних зарядів, що є максимальною по масі вибухової речовини (група розосереджених зарядів), і для цього використовується формула академіка М.О. Садовського для зосередженого заряду. Створене положення, можливо, пояснюється малочисельними дослідженнями сейсмічного ефекту розосередженого заряду [1, 2, 6–15], відсутністю нормативної документації з цього питання.

Відмітимо, що якщо при веденні вибухових робіт для визначення масової швидкості використовується сейсмометрична апаратура, то одержані дані по інтенсивності коливань від дії розосередженого заряду можливо використовувати у формулі М.О. Садовського і на її основі розрахувати, наприклад, допустиму масу заряду або сейсмобезпечну відстань. При цьому коефіцієнти K і n будуть іншими ніж у формулі розосередженого заряду. Але це все при наявності вимірних даних параметрів сейсмовибухових хвиль (СВХ), наприклад, швидкості коливань ґрунту U^{CM}/c . У випадку, коли виміряні дані відсутні, а потрібно проектувати вибухові роботи на іншому горизонті, або навіть на новому родовищі, де невідомі коефіцієнти K і n , то для визначення сейсмічного ефекту без допомоги властивостей розосередженого заряду не обійтись.

Мета роботи. Дослідження особливостей сейсмічної дії вибуху розосередженого заряду і обґрунтування використання узагальноючої залежності інтенсивності СВХ від параметрів вибуху.

Викладення матеріалу досліджень. З метою вивчення сейсмічного ефекту вибуху розосереджених зарядів були проведені спеціальні експериментальні дослідження з використанням сейсмометричної апаратури для вимірів параметрів СВХ, результати яких лягли в основу визначення ефективного заряду Q_{ef} , що характеризує кожний окремий заряд Q_1 виходом енергії в загальний хвильовий процес при вибуху ряду розосереджених зарядів [3, 4]. Найбільше значення Q_{ef} буде в тому випадку, коли заряди у ряду не взаємодіють між собою. Це виникає, якщо не поєднуються їх непружні зони коливань ґрунту, тобто на відстані між зарядами $a = 2r_n$ (r_n – зона непружних коливань ґрунту). При цій умові $Q_{ef} = Q_1$. При зближенні зарядів значення Q_{ef} зменшується і при $a = 0$ окремі заряди змикаються в один зосереджений заряд $Q = N \times Q_1$ (N – число зарядів у ряду) [5].

Ефективна маса (кг) одного окремого заряду у ряду розосереджених визначається по формулі:

$$Q_{\text{еф}} = Q_1 \left[\left(1 - \frac{1}{N_{\text{еф}}^b} \right) \cdot C + \frac{1}{N_{\text{еф}}^b} \right], \quad (1)$$

де Q_1 – фактична маса окремого заряду у ряду розосереджених зарядів, кг; $N_{\text{еф}}$ – кількість окремих зарядів, хвилі яких приймають участь у взаємодії зарядів; b – показник, що залежить від властивостей ґрунту через коефіцієнт затухання сейсмічної хвилі ($b = \frac{3}{n} - 1$); C – відносна відстань між окремими зарядами ($C = \frac{a}{2r_n}$).

Основні параметри ВР при підриві розосередженого заряду визначаються наступними формулами .

Швидкість зміщення часток ґрунту (см/с) :

$$U^{z,x} = K_c \cdot N_{\text{еф}}^{n/3} \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (2)$$

де K_c – коефіцієнт сейсмічності; $N_{\text{еф}}$ – кількість окремих розосереджених зарядів, які беруть участь у суперпозиції хвильових коливань; r – відстань від заряду по профілю поперек лінії розосереджених зарядів до точки спостереження, м.

Сейсмобезпечна відстань до охоронного об'єкту (м):

$$r_c = \left(\frac{K_c \cdot N_{\text{еф}}^{n/3}}{U_{\text{доп}}} \right)^{1/n} \cdot Q_{\text{еф}}^{1/3}, \quad (3)$$

де $U_{\text{доп}}$ – допустима швидкість зміщення ґрунту в основі охоронного об'єкту (см/с).

Сейсмобезпечна кількість окремих розосереджених зарядів:

$$N_{\text{еф}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{K_c} \right)^{3/n} \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{доп}}^{1/3}} \right)^3. \quad (4)$$

Сейсмічний ефект розосередженого заряду, що характеризується більшою інтенсивністю коливань ґрунту в порівнянні з підривом зосередженого заряду рівної загальної маси вибухової речовини, пояснюється наступним: чим більша площа поверхні зіткнення заряду з породним масивом, тим більше енергії від вибуху заряду вибухової речовини переходить в навколишнє середовище.

Порівняння сейсмічної дії зосередженого і розосередженого зарядів, відповідно до закону динамічної подібності для пружних сил, можна записати у вигляді наступної нерівності:

$$\sum_i^N Q_1^{1/3} > Q_3^{1/3}, \quad (5)$$

де N – кількість окремих розосереджених зарядів; Q_1 – маса окремого із числа розосереджених зарядів; Q_3 – маса зосередженого заряду.

Нерівність (5) також підтверджує сейсмічний ефект розосередженого заряду.

Результативні коливання, що виникають при підриві системи розосереджених зарядів, залежать від точки спостереження (ближня чи дальня зони вибуху), відстані між окремими зарядами, типу сейсмічної хвилі, властивостей ґрунтового масиву, інтервалу сповільнення. Останнє, в основному, відноситься до КСП окремих груп зарядів.

У загальному вигляді результативне коливання $x(t)$, що виникає при вибуху системи розосереджених зарядів, записується як:

$$x(t) = \sum_{i=1}^N A_i X_1(t - \Delta t_i + \varphi_i), \quad (6)$$

де A_i – амплітуда імпульсу $x_1(t)$ від i -го заряду чи групи зарядів ; N – кількість одиночних зарядів чи груп зарядів ; Δt_i – часовий зсув для i -тої хвилі; φ_i – фаза.

Величина Δt залежить від геометрії зарядів, порядку підривання відносно точки спостереження, наявності сповільнювачів:

$$\Delta t = t_3 + \frac{a}{D} - \frac{r_1 - r_2}{V}, \quad (7)$$

де t_3 – інтервал сповільнення, с ; a – відстань між зарядами, м; D – швидкість розповсюдження ініціюючого імпульсу, м/с ; r_1 і r_2 – відстань від точки спостереження до заряду, який підривається відповідно першим і другим, м; V – швидкість розповсюдження відповідної хвилі по ґрунтовому масиві, м/с.

В ближній зоні вибуху до епіцентральної відстаней $r \leq 2l$ (l – довжина лінії розосередження зарядів, м) параметри хвиль від кожної свердловини будуть різні. В цьому випадку амплітуду і зсув фаз визначають окремо для кожної свердловини і розрахунок сумарної швидкості зміщення ведуть по схемі, показаній на рисунку 1.

Максимальна сумарна амплітуда швидкості зміщення знаходиться в межах першого напівперіоду хвилі від ближнього свердловинного заряду, тобто в межах відрізка часу $1/2 T$ (T – період коливання хвилі, що розглядається). У розрахунок приймаються тільки хвилі від вибухів свердловинних зарядів, зсув фаз яких не перевищують 90° . Ці умови є методом визначення кількості розосереджених зарядів, які утворюють сумарне хвильове поле шляхом інтерференції хвиль, що виникають при вибухах окремих

зарядів. Інструментом для вказаного визначення кількості ефективних зарядів, які можуть приймати участь у суперпозиції хвиль при миттєвому підриванні, може бути формула для зсуву фаз у ближній зоні:

$$\varphi = \frac{360^\circ \cdot a}{D \cdot T} \pm \frac{360^\circ (r_{i+1} - r_i)}{V \cdot T} \leq 90^\circ. \quad (8)$$

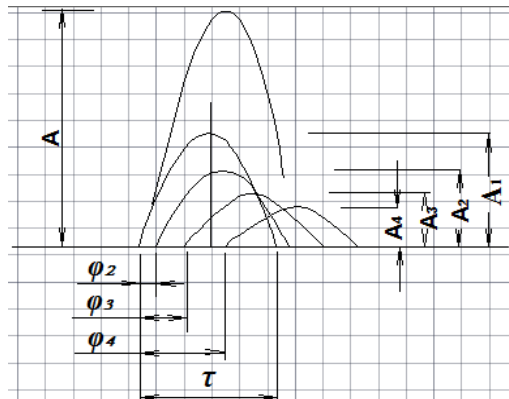


Рис. 1 Схема визначення сумарної амплітуди коливань поздовжніх хвиль групи розосереджених зарядів

Формула (8) є підтвердженням того, що сумарне хвильове поле утворюється шляхом інтерференції хвиль, які утворюються при вибухах окремих свердловинних зарядів. При цьому в кожний момент часу в амплітуду коливань вносить вклад не весь ряд розосереджених зарядів, а обмежене число одиночних зарядів, хвилі від яких приходять одночасно чи зі зсувом $\Delta t < \tau_t(\tau_t - \text{фаза стиснення сейсмічної хвилі})$.

Необхідно відмітити, що при формуванні сумарного хвильового поля при вибухах в скельних чи м'яких ґрунтах може мати місце різна ситуація, що пов'язана з часовими затримками при проходженні відстані між окремими зарядами. Ці затримки у м'яких ґрунтах по величині можуть бути на рівні інтервалів сповільнення (T_3). При значних відстанях між окремими розосередженими зарядами часові затримки виникають при проходженні ініціюючих імпульсів по хвилеводах. Проілюструємо сказане на прикладах.

При КСП в міцних гранітах ($V_p \geq 4500 - 5000$ м/с) величина $\Delta r/V_p \leq 1$ мс, величина $a/D \approx 3-1$ мс в залежності від типу хвилеводу ($D \approx 2100 - 6000$ м/с) і для сейсмічних хвиль вираз (9) можна записати приблизно $\Delta t = \Delta t$. При миттєвому підриванні розосереджених зарядів коливання ґрунту на великих відстанях можливо вважати єдиним імпульсом, а сумарне хвильове поле утворюється при умові

$$(N - 1)\Delta t \leq T/4. \quad (9)$$

Зовсім інша ситуація має місце при формуванні сумарного поля сейсмічних хвиль при вибухах у м'яких ґрунтах. Наприклад, у лісі швидкість поздовжніх хвиль 300-500 м/с. При цьому відношення $\Delta t/V_p$ досягає 10-20 мс, тобто значень, що близькі до інтервалу сповільнення.

Таким чином миттєвий вибух розосереджених зарядів подібний короткосповільненому по характеру формування сумарного хвильового поля, інтенсивність якого визначається інтерференційним ефектом, і не може бути зведений до вибуху зосередженого еквівалентного заряду.

У дальній зоні вибуху амплітуда, період і зсув фаз від кожного свердловинного заряду будуть приблизно однаковими і тому тут використовується принцип суперпозиції, у відповідності якому збурення від окремих джерел розповсюджуються незалежно і складаються лінійно у точці спостереження.

Для прогнозування величини швидкості коливань ґрунту при вибухах розосереджених зарядів були розроблені інженерні формули (2) і (3), які враховують властивості гірничого масиву, відстані і взаємодію між окремими зарядами.

Миттєве підривання лінійно-розосереджених зарядів показало значну направленість випромінювання СВХ з максимальним сейсмічним ефектом по профілю поперек лінії зарядів у порівнянні з сейсмічним ефектом по профілю вздовж лінії зарядів. Експериментальні дослідження показали, що інтенсивність сейсмічних хвиль в напрямку вздовж лінії зарядів у ближній зоні вибуху у деяких випадках була не набагато більше, як при вибуху одного заряду. Направленість випромінювання простежувалась до відстані, що перевищувала в десятки разів лінійні розміри розосередженого заряду в залежності від його характеристики і властивостей гірничого масиву.

В умовах проведення МВ у кар'єрах такі фактори, як неоднорідність порід підриваємого блоку, відмінності умов підривання, взаємодія суміжних груп зарядів і розкид часу спрацювання сповільнювачів, мають випадкову природу і ведуть до часового зсуву між хвилями.

Дані фактори чинять визначений вплив на амплітудо-частотний склад сумарних коливань при КСП, котрі оцінюються з допомогою теорії випадкових процесів, що розподіляються по нормальному закону.

Аналіз результатів досліджень показує, що випадковий розкид часу спрацювання сповільнювачів послаблює високочастотні складові коливань, а на розкид амплітуд чинить менший вплив.

В більшості випадків при вибухах систем зарядів закономірності у змінах сейсмоколивань визначаються регулярними факторами, а не випадковими. Однак врахування випадкових розкидів дозволяє уточнити оцінки параметрів сумарних коливань.

Допускаючи часові показники приходу хвиль нормально розподіленими, незалежними, випадковими величинами з дисперсією σ_t^2 , а спектр одиночних хвиль вузькополосними з частотою максимуму f_m , можна, використовуючи теорію випадкових процесів, одержати наступний вираз для амплітуди сумарних коливань:

$$A_N = A_1 \sqrt{N \{1 + (N - 1) \exp[-(2\pi f_m \sigma_t^2)]\}} \quad (10)$$

Експериментальні дослідження особливостей сейсмічного ефекту (скельні ґрунти). При вибуху розосередженого заряду у скельних ґрунтах всі особливості сейсмічного ефекту вибуху розосередженого заряду у м'яких ґрунтах [5] спостерігаються і в цих умовах.

В якості прикладу розглянемо сейсмічну дію масового вибуху (МВ) у кар'єрі при розробці гранітного родовища Віри.

В таблиці 1 представлені характеристики МВ, а в таблиці 2 – результати вимірів параметрів СВХ при МВ № 2–4. На рисунку 2 – залежності масової швидкості коливань цих же вибухів від епіцентральної відстаней. Нумерація експериментальних точок у таблицях і на рисунку співпадають.

Таблиця 1

Характеристики масових вибухів

№ вибуху	Кількість зарядів у групі, N	Довжина заряду, l, м	Маса одного заряду, Q, кг	Відстань між зарядами, a, м	Розташування сейсмовимірювального профілю відносно лінії заряду
2	4	13,5	180,0	3,8	поперек
3	4	7,0	84,2	3,5	поперек
4	5	6,8*	82*	2,5*	уздовж

* – середнє значення

Таблиця 2

Результати вимірів параметрів сейсмічних хвиль

№ вибуху	2				3				4			
Епіцентрально відстань, r, м	230	330	370	430	110	160	210	270	45	85	115	185
Масова швидкість ґрунту, U_S^z , см/с (експериментальні дані)	1,41	0,71	0,66	0,47	2,9	1,8	1,1	0,59	3,0	2,09	1,78	1,33
Залежність $U_S^z = f(r)$ за експериментальними даними	$U_S^z = 15,7 \cdot 10^3 \cdot r^{-1,71}$ $R = -0,993$				$U_S^z = 11,8 \cdot 10^3 \cdot r^{-1,75}$ $R = -0,988$				$U_S^z = 26,6 \cdot r^{-0,57}$ $R = -0,989$			
Залежність $U_S^z = f(r)$, розрахована по методу розосередженого заряду	$U = 15,3 \cdot 10^3 \cdot r^{-1,71}$				$U = 12,3 \cdot 10^3 \cdot r^{-1,75}$				$U = 34,8 \cdot r^{-0,63}$ $R = -0,979$			

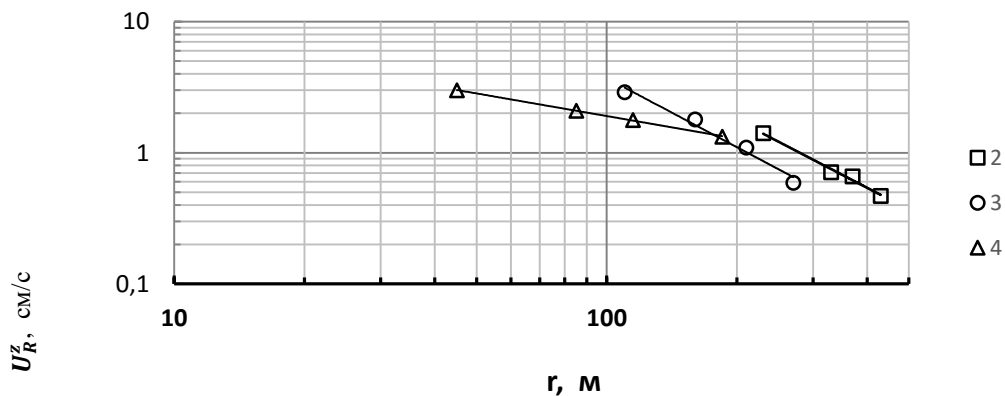


Рис. 2 Залежності швидкості зміщення ґрунту від відстані: 2 – вибух № 2; 3 – вибух № 3; 4 – вибух № 4. (табл. 2)

Аналіз результатів МВ дає право стверджувати, що всі вони по своїй суті – це розосереджені заряди, так як їхні параметри сейсмічних хвиль розраховуються по формулах розосередженого заряду з доволі високою точністю. Покажемо це на прикладі МВ № 3.

Визначаємо ефективний заряд:

$$Q_{\text{еф}} = 84,2 \left[\left(1 - \frac{1}{4^{0,71}} \right) \cdot C + \frac{1}{4^{0,71}} \right] = 84,2 \cdot 0,426 = 35,9 \text{ кг.} \quad (11)$$

Залежність швидкості зміщення ґрунту від приведеної до ефективної маси зарядів відстані для вибухів зарядів №1 може бути записано у вигляді двох варіантів:

$$U_S^Z = K_2 \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (12)$$

де $K_2 = K_C \cdot N^{n/3}$ (K_C – коефіцієнт сейсмічності),

$$U_S^Z = K_C \cdot \left(\frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3} \cdot N^{1/3}} \right)^{-n} \quad (13)$$

Використовуючи співвідношення $K_2/K_1 = (Q_{\text{еф}}^{1/3})^{-n}$, визначаємо коефіцієнт пропорційності:

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{K_2}{11,8 \cdot 10^3} = (35,9^{1/3})^{-1,75} = 0,124; \quad K_2 = 1468.$$

Визначаємо масову швидкість на відстані, наприклад, 160 м по формулі розосередженого заряду:

$$U_S^Z = 1468 \left(\frac{160}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-1,75} = 1,64 \text{ см/с.}$$

Визначаємо швидкість зміщення ґрунту в інших точках на відстанях, вказаних у таблиці 5, (вибух 3) і записуємо залежність:

$$U_S^Z = 12,3 \cdot 10^3 \cdot r^{-1,75}. \quad (14)$$

Аналогічні розрахунки по МВ № 2 робимо, використовуючи дані $Q_{\text{еф}} = 72,2$ кг; $K_2 = 1372$; $n = 1,71$. Масова швидкість на відстані, наприклад, 330 м по формулі розосередженого заряду буде:

$$U_S^Z = 1372 \left(\frac{330}{4,16} \right)^{-1,71} = 0,77 \text{ см/с.}$$

Залежність масової швидкості від відстані буде $U_S^Z = 15,3 \cdot 10^3 \cdot r^{-1,71}$.

Порівнюючи залежності швидкості зміщення ґрунту від відстані при вибухах, отримані на основі експериментальних даних і на основі розрахункових даних із формул розосереджених зарядів, були отримані різниці 3–4 %, тобто відмінності, що практично не впливають на кінцевий результат визначення масової швидкості. Це одна сторона досліджень, а інша сторона – це демонстрація того, що заряди при МВ у кар'єрах не якась невизначена зосереджена маса, а цілком пояснювана система розосередженого заряду.

Як видно із таблиці 1, характеристики МВ № 3 і № 4 мало чим відрізняються між собою, а способи вимірювання параметрів сейсмічних хвиль цих МВ відрізняються: при МВ № 3 виміри виконуються по профілю поперек лінії зарядів, а при МВ № 4 – уздовж. Ця відмінність дає можливість дослідити особливості розповсюдження СВХ в напрямку уздовж лінії зарядів при підірванні розосереджених зарядів в скельних ґрунтах.

Із рисунка 2 видно, що, починаючи з відстані $r = 2l$ (l – довжина лінії розосередження зарядів), звідки розповсюджується цілком сформована СВХ розосередженого заряду, інтенсивність коливань при вибуху № 4 на відстані $4l$ буде зумовлена дією маси вибухової речовини меншою одного заряду.

Швидкість зміщення ґрунту – 3 см/с. І тільки на відстані 178 м ($\approx 18l$) на ґрунтовий масив діють всі 5-ть підірваних зарядів і по інтенсивності коливань два профілі вирівнюються між собою.

Метод підрахунку інтенсивності коливань ґрунту по профілю уздовж лінії зарядів і кількості ефективних зарядів аналогічний методу, що був застосований при дослідженні особливостей сейсмічного ефекту при вибуху розосередженого заряду у м'яких ґрунтах [5].

Таким чином, дослідження показали, що по напрямку уздовж лінії зарядів у гранітному ґрунті у ближній зоні дії вибуху розосереджених зарядів ($r = (3 \div 4)l$) у коливальному процесі приймає участь один свердловинний заряд, а всі заряди групи, якщо дозволяє величина зсуву фаз між часом приходу у точку спостереження коливань від першого і крайнього зарядів, діють на масив ґрунту на відстані від 15 до $20l$ (залежно від умов підірвання).

Висновки.

1. Проаналізовано фізичну суть особливостей сейсмічної дії на ґрунтовий масив вибуху лінійного розосередженого заряду з урахуванням кількості взаємодіючих зарядів, відстаней між ними і типу хвильових коливань.

2. Визначені розміри зони незворотніх деформацій ґрунтів на основі внутрішньоструктурних змін ґрунту шляхом вивчення записів хвильових коливань ґрунту у ближній зоні вибуху, використання кількісних і конструктивних показників зарядів вибухової речовини.

3. Вивчені і узагальнені умови складання хвильових коливань на основі зсуву фаз хвиль, що прибувають у точку спостереження.

4. Отримана узагальнююча залежність швидкості зміщення ґрунту від параметрів вибуху розосередженого заряду і епіцентральної відстані на рівні інженерної формули.

5. Показано на конкретних прикладах, що розосереджені заряди є основним ланцюгом у системі кар'єрних масових вибухів.

Список використаної літератури:

1. Рулев Б.Г. О направленном сейсмическом действии рассредоточенных однорядных взрывов / Б.Г. Рулев, Д.А. Харим // Взрывное дело : науч.-техн. сб. – М. : Недра, 1968. – Вып. 64 / 21. – С. 211–231.
2. Гольдин С.В. Линейные преобразования сейсмических сигналов / С.В. Гольдин. – М. : Недра, 1974. – 352 с.
3. Бойко В.В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України : монографія / В.В. Бойко. – К. : ТОВ «Видавництво Сталь», 2012. – 184 с.
4. Кузьменко А.А. О количестве фактически взрывающихся зарядов в одной группе / А.А. Кузьменко, О.Н. Чала, Д.В. Хлевнюк // Вісник НТУУ «КПІ». Серія : Гірництво. – 2014. – Вип. 26. – С. 38–46.
5. Про сейсмічну дію вибуху розосередженого заряду / А.О. Кузьменко, О.М. Чала, Т.В. Хлевнюк, Д.В. Хлевнюк // Вісник НТУУ «КПІ». Серія : Гірництво. – 2016. – Вип. 31. – С. 25–35.
6. Коробійчук В.В. Дослідження шляхів мінімізації витрат при буровибуховому способі видобування блоків декоративного каменя / В.В. Коробійчук, Р.В. Соболевський, О.А. Зубченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир. – 2006. – № 4 (39). – С. 301–308.
7. Дослідження впливу буровибухових робіт на якість блочної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості / В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчаїшинський, О.О. Ремезова, Р.В. Соболевський, О.А. Зубченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир. – 2007. – № 3 (42). – С. 143–150.
8. Криворучко А.О. Визначення оптимального напрямку ведення гірничих робіт при видобуванні блоків з природного каменя / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, Р.В. Соболевський, О.В. Камських, І.В. Павлюк // Вісник Житомирського державного технологічного університету Серія: Технічні науки. – Житомир, 2016. – № 3 (78). – С. 150–163.
9. Криворучко А.О. Розробка узагальненої методики геометризації масивів природного каменя з метою отримання комплексної моделі родовища / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, С.С. Іськов // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2012. – № 4 (63). – С. 190–202.
10. Коробійчук В.В. Дослідження впливу характеристик гідроударних установок на їх продуктивність / В.В. Коробійчук, О.В. Мозговенко // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Серія: Технічні науки. – Житомир, 2009. – № 1 (48). – С. 201–205.
11. Коробійчук В.В. Геометризація супутньої корисної копалини в умовах Лезниківського родовища гранітів та гірничо-геометричний аналіз його показників / В.В. Коробійчук, О.О. Кісель, В.А. Стрїха // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування / Технічні науки. – 2012. – № 2 (58). – С. 175–184.
12. Криворучко А.О. Застосування інформаційно-коп'ютерних технологій для дослідження гірничо-екологічних особливостей родовищ рудних і нерудних корисних копалин / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, Ю.О. Подчаїшинський, О.О. Ремезова // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Серія: Технічні науки. – 2007. – №. 1 (40). – С. 186–195.
13. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / R.Sobolevskiy, V.Korobijchuk, S.Iskov, I.Pavliuk, A.Kryvoruchko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6 / 3 (84). – Pp. 32–40.
14. Закусило Р.В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.
15. Кравець В.Г. Фізичні процеси прикладної геодинаміки вибуху : монографія / В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук, В.В. Бойко. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 408 с.

References:

1. Rulev, B.G. and Harim, D.A. (1968), «O napravlenom sejsmicheskom dejstvii rassredotochennyh odnorjadnyh vzryvov», *Vzryvnoe delo*, nauch.-tehn. sb., Nedra, Moskva, Vol. 64 / 21, pp. 211–231.
2. Gol'din, S.V. (1974), *Linejnye preobrazovanija sejsmicheskikh signalov*, Nedra, Moskva, 352 p.
3. Bojko, V.V. (2012), *Problemy sejsmichnoi' bezpeky vybuhovoi' spravy u kar'jerah Ukra'ny*, monografija, TOV «Vydavnytvo Stal'», Kyi'v, 184 p.
4. Kuz'menko, A.A., Chalaja, O.N. and Hlevnjuk, D.V. (2014), «O kolichestve fakticheski vzryvajushhihsja zarjadov v odnoj gruppe», *Visnik NTUU «KPI»*, Serija *Girnictvo*, Vol. 26, pp. 38–46.
5. Kuz'menko, A.O., Chala, O.M., Hlevnjuk, T.V. and Hlevnjuk, D.V. (2016), «Pro sejsmichnu diju vybuhu rozoseredzhenogo zarjadu», *Visnyk NTUU «KPI»*, Serija *Girnytvo*, Vol. 31, pp. 25–35.
6. Korobijchuk, V.V., Sobolev'skyj, R.V. and Zubchenko, O.A. (2006), «Doslidzhennja shljahiv minimizacii' vytrat pry burovybuhovomu sposobi vydobuvannja blokiv dekoratyvnogo kamenja», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo univertsytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 4 (39), Zhytomyr, pp. 301–308.

7. Korobijchuk, V.V., Podchashyns'kyj, Ju.O., Remezova, O.O., Sobolevs'kyj, R.V. and Zubchenko, O.A. (2007), «Doslidzhennja vplyvu burovybuhovyh robot na jakist' blochnoi' produkcii' kar'jeru na osnovi vyznachennja geometrychnyh harakterystyk i' trishhynuvatosti», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 3 (42), Zhytomyr, pp. 143–150.
8. Kryvoruchko, A.O., Korobiichuk, V.V., Sobolevs'kyj, R.V., Kams'kih, O.V. and Pavljuk, I.V. (2016), «Vyznachennja optimal'nogo naprjamku vedennja gimnychyh robot pry vydobuvanni blokiv z pryrodnoho kamenju», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 3 (78), Zhytomyr, pp. 150–163.
9. Kryvoruchko, A.O., Korobiichuk, V.V. and Is'kov, S.S. (2012), «Rozrobka uzagal'nenoi' metodyky geometryzacji' masyviv pryrodnoho kamenju z metoju otrymannja kompleksnoi' modeli rodovyshha», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 4 (63), Zhytomyr, pp. 190–202.
10. Korobiichuk, V.V. and Mozgoenko, O.V. (2009), «Doslidzhennja vplyvu harakterystyk gidroudarnyh ustanovok na i'h produktyvnist'», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (48), Zhytomyr, pp. 201–205.
11. Korobiichuk, V.V., Kysel, A.A. and Strikha, V.A. (2012), “Geometry`zaciya suputn`oyi kory`snoyi kopaly`ny` v umovax Lezny`kivs`kogo rodovy`shha granitiv ta gimny`cho-geometry`chny`j analiz jogo pokazny`kiv” [Geometrization related minerals in terms Leznykivskoho granite deposits and mining and geometrical analysis of its performance], *Proceedings of the National University of Water and Environment / Engineering*, № 2 (58), pp. 175–184
12. Kryvoruchko, A.O., Korobiichuk, V.V., Podchashyns'kyj, Ju.O. and Remezova, O.O. (2007), “Zastosuvannja informacijno-kop`juternyh tehnologij dlja doslidzhennja gimnycho-ekologichnyh osoblyvostej rodovyshh rudnyh i nerudnyh korysnyh kopalyn”, *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*. Serija: *Tehnichni nauky*, Vol. 1 (40), pp. 186–195.
13. Sobolevskyi, R., Korobiichuk, V., Iskov, S., Pavliuk, I. and Kryvoruchko, A. (2016), «Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6 / 3 (84), pp. 32–40.
14. Zakusylo, R.V., Kravec', V.G. and Korobijchuk, V.V. (2011), *Zasoby inicijuvannja promyslovyh zarjadiv vybuhovyh rehovyn*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 212 p.
15. Kravec', V.G., Korobijchuk, V.V. and Bojko, V.V. (2015), *Fizychni procesy prykladnoi' geodynamiky vybuhu*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 408 p.

БОЙКО Віктор Вікторович – доктор технічних наук, професор Інституту гідромеханіки НАН України.

Наукові інтереси:

– підвищення надійності оцінки сейсмобезпеки будівель та споруд при техногенних вибухах.

КУЗЬМЕНКО Анатолій Олександрович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту гідромеханіки НАН України.

Наукові інтереси:

– підвищення надійності оцінки сейсмобезпеки проведення техногенних вибухів.

ЧАЛА Ольга Миколаївна – кандидат технічних наук Інституту гідромеханіки НАН України.

Наукові інтереси:

– підвищення надійності оцінки сейсмобезпеки кар'єрних укосів при техногенних вибухах.

ХЛЕВНЮК Тамара Вікторівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту гідромеханіки НАН України.

Наукові інтереси:

– підвищення надійності оцінки сейсмобезпеки будівель та споруд при техногенних вибухах.

ХЛЕВНЮК Денис Вікторович – аспірант Інституту гідромеханіки НАН України.

Наукові інтереси:

– підвищення надійності оцінки сейсмобезпеки будівель та споруд при техногенних вибухах

Стаття надійшла до редакції 10.04.2017.