

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

Норми сейсмічної безпеки при проведенні вибухових робіт на кар'єрах

На підставі аналізу експериментальних даних розглянуто схему поширення сейсмічних хвиль у реальних шахтах та різні існуючі методи розрахунків сейсмобезопасних та безпечних масових відстаней в цих специфічних обставинах вибухових робіт. Використання національних стандартів (кодексів) вибухової сейсмічної безпеки США, Австралії, Німеччини, Швейцарії та інших. Проаналізовано ступінь відповідності закону подібності між сейсмічним ефектом вибухів при різних масах вибухових речовин. Результати статистичного та графічного аналізу методів обробки та подання експериментальних даних сейсмічного ефекту як миттєвої та короткочасної вибухової роботи вибухових зарядів. Встановлено, що як ступінь дотримання закону подібності, так і точності розрахункових параметрів сейсмічних хвиль з формулою М. А. Садовського, що є основою формули для Кодексу 4704: 2008 Український Стандарт, дає найкращі результати у порівнянні з аналогічними залежностями в іноземних країнах. Показано, що параметри сейсмічної хвилі, які розраховуються за формулою Бюро гірничих робіт на відстанях епіцентрів США, що перевищують 800 метрів, в півтора рази більші, ніж дані з фактичних значень за Добрянським вапняковим кар'єром. Доведено, що використання закону подібності у термінах Добрянського вапнякового кар'єру дозволяє більш точно визначити рівень сейсмічної небезпеки та більш обґрунтовано прогнозувати результат сейсмічного ефекту від вибухових робіт, а закон є ефективним для моделювання вибухів заряду в дослідженні. Ефективність вибухових робіт на гірничодобувних підприємствах багато в чому визначається станом законодавчої та процесуальної документації. Відомо, що основними нормативними документами, що регулюють проведення вибухових робіт, є "Правила безпеки поводження з вибуховими матеріалами для промислового використання" та державними стандартами України. Реалізація цих правил в нашій державі є обов'язковою для всіх міністерств, відомств, підприємств та організацій, які займаються вибуховими операціями. У інших країнах, таких як США, Австралія, Німеччина, Швейцарія, також існують стандарти сейсмічної безпеки при виконанні техногенних вибухів. Об'єднання цих правил, в тому числі в Україні, полягає в тому, що сейсмічний вибух критеріїв оцінки для захисту будівель - швидкість і частота коливань.

Ключові слова: норми сейсмобезпеки будівель і споруд; сейсмічний ефект вибуху; закон динамічної подібності; швидкість зміщення часток ґрунту; приведена відстань.

Вступ. Ефективність підричних робіт на гірничодобувних підприємствах у значній мірі визначається станом нормативно-правової і методичної документації. Відомо, що основними нормативними документами (НД), які регламентують ведення підричних робіт є «Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення» (п.6.9) та Державні стандарти України [1-5]. Виконання цих НД в нашій Державі є обов'язковим для всіх міністерств, відомств, підприємств і організацій, які займаються підричними роботами. В інших державах, таких як США, Австралія, Німеччина, Швейцарія також існують норми сейсмічної безпеки при виконанні техногенних вибухів. Об'єднуючим цих норм, в т.ч. Держави України є те, що критеріями оцінки сейсмобезпеки вибуху для охоронних будівель є швидкості коливань та її частота рис.1.

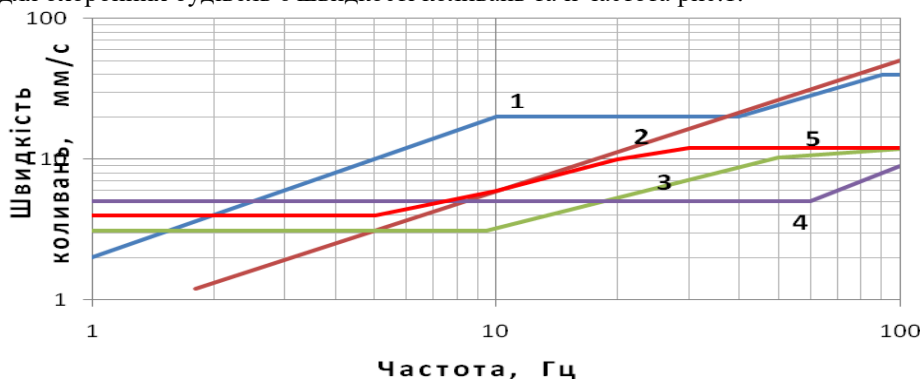


Рис. 1. Національні норми сейсмобезпеки при проведенні вибухових робіт. Графіки допустимих норм: 1 – США; 2 – Австралія; 3 – DIN 4150 (Німеччина); 4 – Швейцарія, 5 – ДСТУ 4704-2008 (Україна)

Варто зазначити, що наведені на рисунку 1. графіки допустимих норм різняться один від одного. Це в першу чергу пов'язано з тим, яку методику оцінювання сейсмічної небезпеки при вибухах застосовували розробники цих норм. З метою в'яснення цього протиріччя у подальшому проведемо експериментальні дослідження сейсмічного ефекту вибуху у кар'єрах для визначення збіжності цих даних з існуючими нормами.

Мета дослідження. Метою статті – є оцінка сейсмічної небезпеки при виконанні масових вибухів на кар'єрі по існуючим методикам в т.ч. приведених на рис.1 та дослідження придатності їх закону подібності Ньютона для пружних сил, запропонована М. О. Садовським порівняно з розрахунками існуючих залежностей інших дослідників при визначенні безпечних сейсмовибухових хвиль для забезпечення сейсмостійкості будівель і споруд.

Викладення основних матеріалів дослідження. Існуючі методи оцінки сейсмічної небезпеки при вибухах передбачають встановлення основних закономірностей зміни інтенсивності коливань ґрунту в залежності від величини зарядів, що підриваються, відстаней, властивостей порід та інших факторів таким чином, щоб існувала подібність між сейсмічним ефектом миттєвих вибухів з різною масою вибухової речовини (ВР).

В Україні і в країнах СНД використовується закон динамічної подібності Ньютона для пружних сил, запропонований М.О. Садовським. Згідно з цим законом масштабний коефіцієнт для відстані і маси заряду визначається рівнянням

$$\alpha = E^{-1/3}, \quad (1)$$

де E – енергія коливання ґрунту.

Відомо, що енергія коливання часток ґрунту прямо пропорційна енергії заряду, яка в свою чергу пропорційна масі заряду Q , тому формулу (1) можна представити в наступному вигляді:

$$\alpha = Q^{-1/3} K_i. \quad (2)$$

Для визначення параметрів сейсмовибухових хвиль (СВХ) залежно від маси заряду ВР і відстані до місця вибуху (r) використовується приведена маса заряду або наведена відстань, що визначаються як

$$\bar{Q} = \frac{Q^{1/3}}{r}, \text{ кг}^{1/3}/\text{м} \quad \text{и} \quad \bar{r} = \frac{r}{Q^{1/3}}, \text{ м/кг}^{1/3}, \quad (3)$$

а основний параметр безпеки будівель і споруд СВХ, допустима максимальна швидкість зсуву ґрунту в їх основі, визначається залежністю типу

$$U\partial = K \left(\frac{r}{Q^{1/3}} \right)^{-n}, \quad (4)$$

де K і n – коефіцієнти, залежні від умов провадження вибуху та поширення СВХ.

З формули (4) слідує, що при двох вибухах реєструється одна і та ж величина швидкості коливання часток ґрунту, якщо відстань від заряду до точки спостереження (об'єкта, що охороняється) при другому вибуху в стільки разів більше, ніж при першому, у скільки маса радіусу другого заряду більше першого.

Формула (4) в країнах СНД і на території України покладена в основу ДСТУ 4704: 2008 з успіхом використовується не тільки для зосереджених зарядів, але і для розосереджених. Проте деякі дослідники в друкованих роботах [6-9, 13-35] або в дискусіях висловлюють сумніви у використанні закону подібності М.О. Садовського і посилаються на залежності параметрів СВХ від відстані та маси заряду, застосовувані в інших країнах, зокрема на формулу Гірничого бюро США (рис. 1, графік допустимих норм-1). При цьому ніякого аналізу формул зарубіжних країн не наводиться, тож автори даної роботи вирішили проаналізувати використовувані залежності зазначеного типу на відповідність їх закону подібності.

Для визначення максимальної амплітуди пружних хвиль на «стандартних» наносах при загальній масі ВР від 450 до 4500 кг і відстані від 150 до 1800 м. Гірниче бюро США рекомендує формулу (5)

$$A = \frac{c^{2/3}}{100} (0,07 \cdot e^{-0,00143d} + 0,001), \quad (5)$$

де A – максимальна амплітуда в дюймах; C – миттєво вибухаюча маса заряду ВР у фунтах; d – відстань у футах.

При використанні формули (5) вплив маси заряду і відстані на інтенсивність сейсмічних хвиль розглядається окремо. Подібні формули застосовуються в таких країнах світу як Австралія, Німеччина, Швейцарія (рис.1, графіки допустимих норм-2,3,4-відповідно) Японія, Польща. В інших формулах, наприклад в формулі М. О. Садовського, вказані параметри пов'язані між собою (3).

Для виявлення можливостей формули (5) порівняємо результати обчислення з її допомогою параметрів СВХ з експериментальними даними. В якості останніх використовуємо значення зміщення

часток ґрунту на денній поверхні при п'яти короткосповільнених вибухах (КСВ) зарядів ВР № 4, 5, 8–10, одержаних в умовах Добрянського вапнякового кар'єру. Максимальні маси зарядів в одній групі відповідно номерам вибухів становили 309, 440, 228, 426, 372 кг. Характеристики параметрів буровибухових робіт, приведені в табл. 1

Для запису параметрів СВХ від цих масових вибухів, використовувалась апаратура: сейсмоприймачі – СМ-3 і СМ-3В, реєстратор – аналогово-цифровий перетворювач АЦП-440 і ПК типу ноутбук. Під час запису параметрів СВХ, які виникали від дії масових вибухів, сейсмоприймачі встановлювались на території з наносним шаром, що складається з м'яких порід, становив 5–10 м, профіль вимірів – від 150 до 1720 м. Всі сейсмоприймачі встановлювались на ґрунті.

Таблиця 1

Характеристика буровибухових робіт

Показники	Демне – Добрянський кар'єр вапняку	
	Вибух № 4	Вибух № 5
Корисна копалина	Вапняк літотамнієвий	
Об'ємна маса, т/м ³	2,2	
Швидкість розповсюдження хвиль, м/с		
поздовжня	3040	
поперечна	1740	
поверхнева	970	
Вологість, %	11	
Горизонт блоків, м	287,0	292,0
призначення	розрихлення	розрихлення
Тип ВР	ігданіт	ігданіт
Діаметр свердловини, мм	160	160
Кількість свердловин	52	28
Сітка свердловин, м	4,5x4,5	4,8x4,8
ЛНО по П, м	5,3	5,3
Глибина свердловини, м	6,8	13,5-14,5
Об'єм підірваної гірничої маси, м.куб.	6600	8300
Питомі витрати ВР, кг/м.куб	0,61	0,68
Кількість ступеней сповільнення	52	28 28x40 мс
Кількість рядів	4	28
Схема КСП	діагоналями посвердловинно	рядами посвердловинна
Сповільнювачі УНС-ПА, мс	25	25
Сповільнювачі УНС-С, мс	450 - 21	450 - 16
Маса заряду в одній групі, кг	310	618
Загальна маса зарядів, кг	4024,8	1488
Час ініціювання всього блоку, мс	325	350
Маса зарядів ВР, яка ініціює за 1-ну мс, кг/мс	12,4	12

Показники	Демне – Добрянський кар'єр вапняку		
	Вибух №8	Вибух №9	Вибух № 10
Горизонт блоків, м	287,0		292,0
призначення	розрихлення	розрихлення	
Тип ВР	ігданіт		ігданіт
Діаметр свердловини, мм	160		160
Кількість свердловин	52		28
Сітка свердловин, м	4,5x4,5		4,8x4,8
ЛНО по П, м	5,3		5,3
Глибина свердловини, м	6,8		13,5-14,5
Об'єм підірваної гірничої маси, м.куб.	6600		8300
Питомі витрати ВР, кг/м.куб	0,61		0,68
Кількість ступеней сповільнення	52		28 28x40 мс
Кількість рядів	4		28
Схема КСП	діагоналями посвердловинно	рядами посвердловинна	
Сповільнювачі УНС-ПА, мс	25		25
Сповільнювачі УНС-С, мс	450 - 21		450 - 16
Маса заряду в одній групі, кг	310		618
Загальна маса зарядів, кг	4024,8		1488
Час ініціювання всього блоку, мс	325	350	
Маса зарядів ВР, яка ініціює за 1-ну мс, кг/мс	12,4	12	

Результати вимірювання параметрів СВХ за допомогою стандартної сейсмоапаратури при вище вказаних вибухах наведено на рис. 2, а у вигляді залежності зміщення ґрунту (А, мм) від відстані (r, м), яка апроксимується формулою

$$A = 97r^{-1,17}; \quad \alpha = -0,976. \quad (6)$$

Показником якості експериментального матеріалу, тобто сукупності значень експериментальних точок щодо середнього їх показника, є коефіцієнт варіації

$$K_g = \frac{\sigma_n \cdot 100}{K_{cp}}, \quad \% , \quad (7)$$

де σ_n – середньоквадратичне відхилення всієї сукупності; K_{cp} – середнє арифметичне коефіцієнта К у формулі (4) або (5).

Мінімальне значення коефіцієнта K_{cp} відповідає більш якісному представленню фізичного процесу.

Коефіцієнт варіації для залежності (6) становить 18,6 %, що є задовільним показником для досліджень в масивах гірських порід. У справжніх дослідженнях цей результат був досягнутий завдяки постійності фізико-механічних властивостей ґрунту та встановлення сейсмоприймачів.

На рисунку 2, б представлена залежність зміщення часток ґрунту, розрахована за формулою Гірничого бюро США (5) з використанням характеристик параметрів вищевказаних масових вибухів. Для узгодження умов підривання зазначених зарядів і можливості формули (5) ми скористалися рекомендаціями розробників формули (5) і відповідно до потужності наносів збільшили коефіцієнт К формули (5) в 1,95 рази.

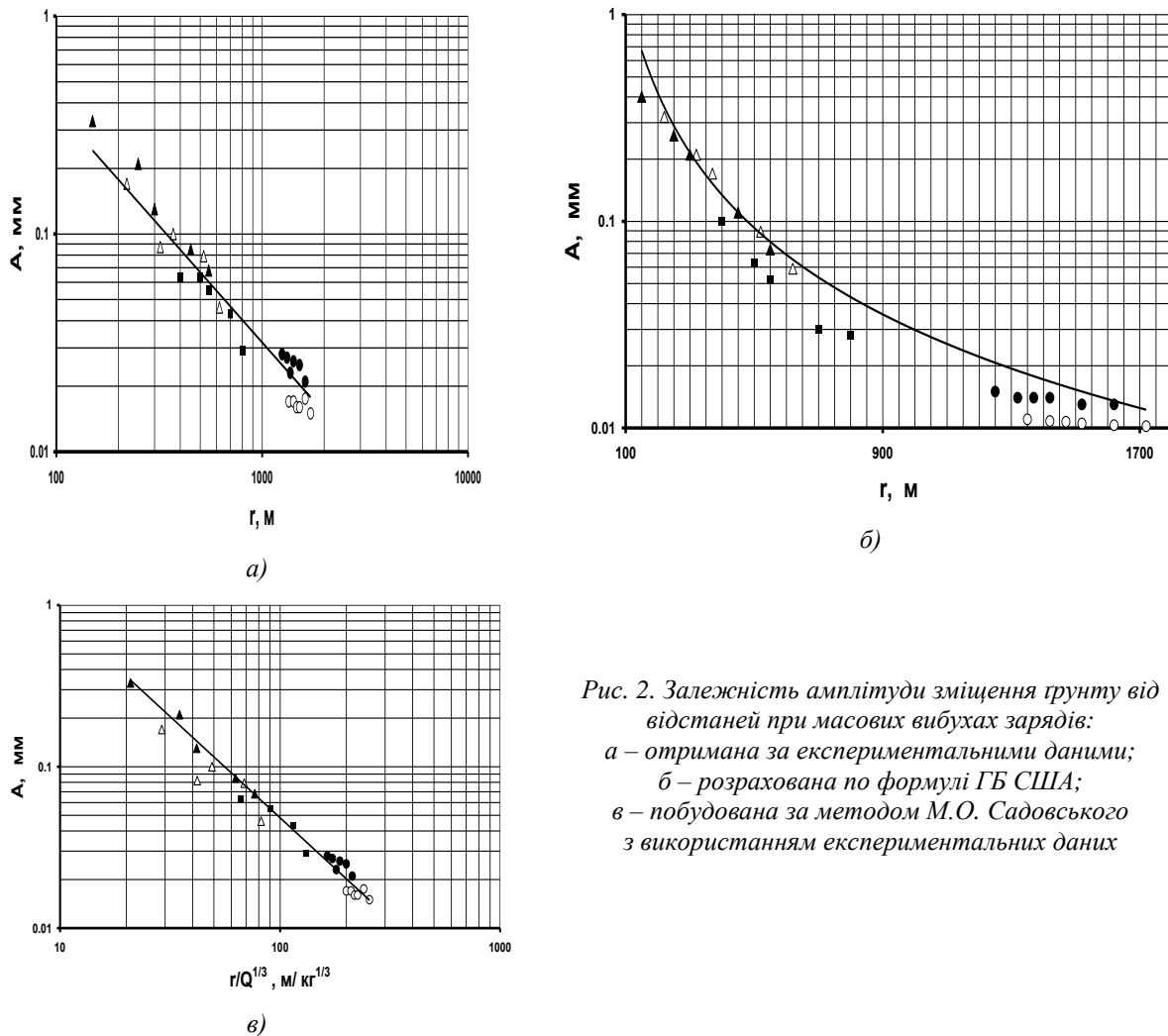


Рис. 2. Залежність амплітуди зміщення ґрунту від відстаней при масових вибухах зарядів:
 а – отримана за експериментальними даними;
 б – розрахована по формулі ГБ США;
 в – побудована за методом М.О. Садовського з використанням експериментальних даних

Порівняння експериментальних даних (рис. 2, а) і розрахункових (рис.1, б) показує, що останні не відповідають першим. Так, починаючи з відстаней від місця вибуху, що становлять менше 500 м, розрахункові значення зсувів часток ґрунту збільшуються в порівнянні з експериментальними в 1,25 рази, далі зменшуються, і на відстанях 800-1500 м ця різниця становить 1,6–1,8 рази. Крім того, формула (5) не відповідає стандартній формі експоненційної регресії, вона не вирівнюється і не перетворюється в лінійну емпіричну формулу, з якою можна було б легко працювати при виконанні інженерних розрахунків.

На рисунку 2, в представлена залежність зміщення ґрунту від наведеної відстані ($K_b = 14,4\%$), розрахована за методом, розробленим М. О. Садовським (4), яка апроксимується формулою

$$A = 10 \left(r / Q^{1/3} \right)^{-1.17} ; r = -0.985 \cdot \quad (8)$$

З аналізу залежностей, представлених на рис. 2, ясно, що залежність, заснована на концепції М. О. Садовського (рис. 2, в), найбільш зручна і найкращим чином відповідає експериментальним даним.

Для перевірки дотримання закону подібності при використанні формули Гірничого бюро США (5) необхідно застосовувати систему координат - $(A/Q^{2/3}, r)$ і визначати коефіцієнт K_b .

Зазначені недоліки формули ГБ США, а також незручність її використання при визначенні сейсмобезпеки охоронюваних об'єктів призвели до того, що в США в даний час в промисловій сейсміці застосовується формула [10, 11]

$$U = K \left(r / \sqrt{Q} \right)^{-n} , \quad (9)$$

де U – швидкість зсуву, см/с; r – відстань від місця вибуху до точки спостереження, м; Q – маса заряду ВР, що підраивається одночасно кг; K і n – коефіцієнти умов проведення вибухових робіт і загасання сейсмічних коливань; r/\sqrt{Q} – наведена відстань, $m/kg^{1/2}$.

Залежності, подібні формулі (9), використовуються також в таких країнах, як Англія, Індія, Франція. У Швеції для визначення інтенсивності СВХ У. Лангефорсом розроблена формула [12]

$$U = K \sqrt{\frac{Q}{r^{3/2}}}, \quad (10)$$

де співвідношення $Q/r^{3/2}$ називається сейсмічним рівнем і у вигляді відповідних таблиць використовується при проектуванні вибухових робіт.

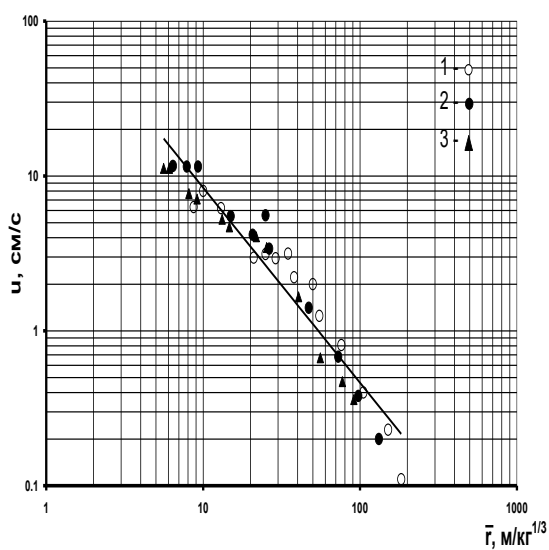
Для виявлення ступеня дотримання закону подібності при використанні формул (4), (9), (10) проведемо порівняння з допомогою коефіцієнта варіації результатів експериментальних досліджень дії вибухів трьох зарядів різної маси в м'яких ґрунтах, проведених в однакових умовах і представлених в таблиці 2.

Таблиця 2

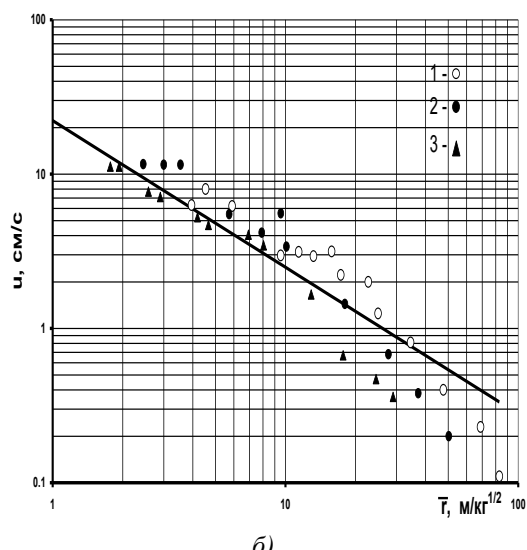
Швидкості зміщення часток ґрунту в поверхневій хвилі при вибухах зосереджених зарядів

Маса заряду, 122 кг	Відстань, м	43	50	65	105	125	145	174	190	250	275	380	525	758	913
	Швидкість зміщення, см/с	6,3	8,0	6,2	3,0	3,13	3,0	3,15	2,22	2,0	1,25	0,81	0,4	0,23	0,11
Маса заряду, 336 кг	Відстань, м	45	55	65	105	145	175	185	330	508	683	923	-	-	-
	Швидкість зміщення, см/с	11,6	11,5	11,5	5,5	4,17	5,57	3,39	1,41	0,68	0,38	0,2	-	-	-
Маса заряду, 963 кг	Відстань, м	55	60	80	90	130	145	215	250	400	550	760	900	-	-
	Швидкість зміщення, см/с	11,23	11,23	7,7	7,1	5,26	4,69	4,05	3,45	1,66	0,67	0,47	0,36	-	-

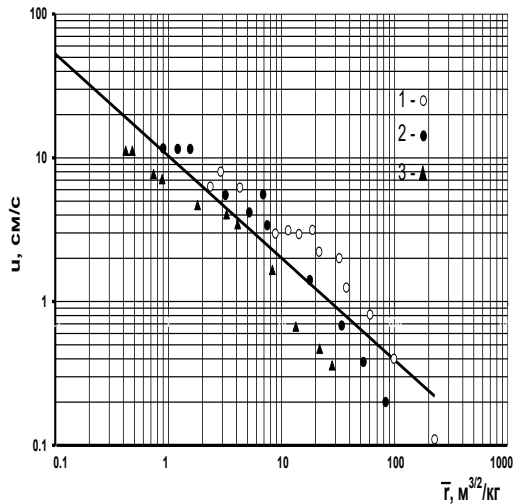
На рисунку 3 наведено залежності швидкості зсуву ґрунту на денній поверхні при вибухах зарядів ВР, представлених в табл. 1, від наведених відстаней, відповідних формулі М. О. Садовського (а), США (б), Швеції (в). Статистичний аналіз цих залежностей показав, що коефіцієнт K_v має значення 34 %, 41 %, 49 % відповідно залежностям рис. 3, а, 3, б, 3, в, тобто найкраща ступінь дотримання закону подібності спостерігається при використанні формули М. О. Садовського (країни СНД). Тут необхідно відзначити той факт, що експериментальний матеріал типу $U = f(r)$ (див. табл. 1) по окремим даним вибухів був невисокої якості. Коефіцієнт K_v для вибухів зарядів масою 122, 336 і 963 кг мав значення 33 %, 32,6 %, 26,3 % відповідно, тому і підсумкові значення K_v виявилися високими.



а)



б)



в)

Рис. 3. Залежності швидкості зсуву ґрунту на денній поверхні при вибухах зарядів (табл. 1) від наведених відстаней за формулами: а – М. О. Садовського; б – Гірничого бюро США; в – У. Лангефорса)

Проаналізуємо ступінь дотримання закону подібності при короткосповільненому підриванні на прикладі сейсмічних коливань ґрунту при веденні вибухових робіт у Щирецькому кар'єрі гіпсу в 2010 р.

На рис. 4 наведені залежності швидкості зсуву ґрунту від відстані при миттєво підриваємих зарядах в групах масою 762 кг (1) і 118 кг (2), на рис. 4 – залежності швидкості зсуву ґрунту під час вибухів цих же зарядів від наведених відстаней $m/kg^{1/3}$ (1), $m/kg^{1/2}$ (2) і $m^{3/2}/kg$ (3), які є складовою частиною формул країн СНД, США і Швеції відповідно.

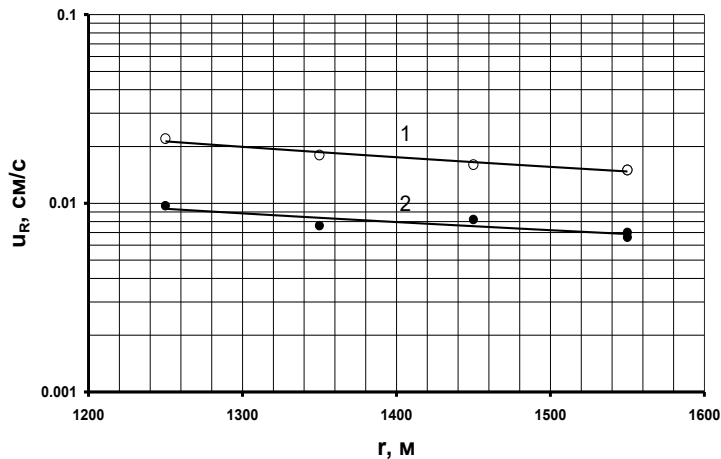


Рис. 4. Залежності швидкості зсуву ґрунту від відстані в умовах короткосповільненого підривання при масі ВР в одній групі 762 кг (1) і 118 кг (2)

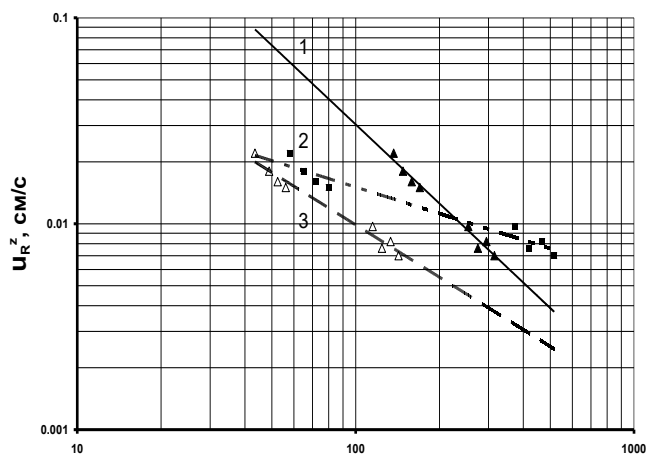


Рис. 5. Залежності швидкості зсуву ґрунту від приведених відстаней: $m/kg^{1/3}$ (1), $m/kg^{1/2}$ (2), $m^{3/2}/kg$ (3) при вибухах зарядів

Статистичний аналіз залежностей, представлених на рис. 5, показав, що закон подібності найкращим чином дотримується при використанні формули М. О. Садовського ($K_B = 5,6 \%$; при використанні формул США і Швеції $K_B = 8,0 \%$ і $9,3 \%$).

У табл. 2 представлені результати обчислення швидкості зсуву ґрунту на денній поверхні на відстані 400 м від вибухів зарядів (див. табл. 1) за формулами, що застосовуються в країнах СНД, США, Швеції. За контрольний результат взята швидкість зсуву, розрахована за формулою $U = f(r)$, де використані експериментальні значення швидкості зсуву і абсолютна відстань (див. табл. 1). Аналіз даних таблиці 3 показує, що розрахунки швидкості зсуву за формулою СНД відрізняються від контрольних значень на 1–16 %, за формулою США – 12–57 %, за формулою Швеції – 16–84 %.

Таблиця 3

Швидкості зміщення часток ґрунту на денній поверхні (см / с), розраховані по аналізованих формулах

Маса заряду, кг	Тип залежності, використовуваної для розрахунку			
	$U = f(r)$	$U = f(r / Q^{1/2})$	$U = f(r / Q^{1/2})$	$U = f(r / Q^{3/2})$
122	0,65	0,60	0,73	0,53
336	0,93	0,94	1,18	1,08
963	1,24	1,44	1,95	2,29

Висновки.

1. Результати статистичних і графічних аналізів методів обробки та подання експериментальних матеріалів із сейсмічного ефекту як миттєвого, так і уповільненого вибуху зарядів ВР показали, що як за ступенем дотримання закону подібності, так і по точності обчислення параметрів СВХ формула М. О. Садовського (4) (рис.1, графік допустимих норм-5), яка діє на території України і покладена в основу ДСТУ 4704: 2008 та застосовується в країнах СНД, дає найкращі результати в порівнянні з аналогічними залежностями в країнах далекого зарубіжжя.

2. Аналітичні розрахунки показали, що при кількісному визначенні параметрів сейсмічних хвиль формула М. О. Садовського дає результати, які мають найтісніший контакт фактичним значенням.

3. Параметри СВХ, розраховані за формулою Гірничого бюро США (5) та рис.1, графік допустимих норм-1, на епіцентральных відстанях, що перевищують 800 м, в півтора і більше рази відрізняються від фактичних значень.

4. Використання закону подібності в умовах Добрянського вапнякового кар'єру, дозволяє більш точно визначити рівень сейсмічної небезпеки і більш обґрунтовано прогнозувати результат сейсмоефекту при вибухових роботах, а також ефективно використовувати моделювання зарядів при дослідних роботах.

Список використаної літератури:

1. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки : ДСТУ 4704:2008. – вид. офіц. – [Чинний від 15.09.2008]. – Київ : ДП «Кривбасстандартметрологія» : ДП «НДГРІ», 2008. – 11 с. – (Національний стандарт України).
2. Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення : НПАОП О.00-1.66-13. – К. : ДП «Редакція журналу «Охорона праці», 2013. – 359 с.
3. Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні. – Х. : ТОВ Вид-во «Лідер», 2013. – 120 с.
4. Проведення промислових вибухів. Норми сейсмічної безпеки : ДСТУ 4704:2008 / В.В. Бойко, В.С. Воротеляк, Г.А. Воротеляк, А.О. Кузьменко та ін.. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 11 с. – (Національний стандарт України).
5. Вибухи промислові. Методи визначення фактичної сейсмостійкості будівель і споруд : ДСТУ 7116:2009 / В.В. Бойко, В.С. Воротеляк, Г.А. Воротеляк, А.О. Кузьменко. – К. : Держспоживстандарт України, 2010. – 6 с. – (Національний стандарт України).
6. Грибанова Л.П. Исследование параметров взрывов и сейсмобезопасных расстояний на карьерах Кривбасса : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Л.П. Грибанова. – М. : ИФЗ АН СССР, 1975. – 27 с.
7. Сергийчук А.Г. Исследование сейсмических колебаний при короткозамедленном взрывании и разработка методов сейсмобезопасного производства крупномасштабных взрывов в карьерах Кривбасса : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Г. Сергийчук. – Днепропетровск : ИГТМ АН УССР, 1970. – 26 с.
8. Гаврик В.А. Районирование карьеров по сейсмобезопасной массе зарядов ВВ при их короткозамедленном взрывании / В.А. Гаврик и др. – Кривой Рог : НИИГРИ, 1987. – 8 с.
9. Оника С.Г. Прогноз и управление сейсмикой массовых взрывов на железорудных карьерах при их приближении к охраняемым объектам : дис. ... д-ра техн. наук / С.Г. Оника. – Кривой Рог : КТУ, 1996. – 407 с.
10. Thoenen J.R. Seismic Effects of Quarry Blasting / J.R. Thoenen, S.L. Windes // U.S. Bureau of Mines. – Washington : Government Printing Office, 1942. – Bulletin 442.
11. Барон В.Л. Техника и технология взрывных работ в США / В.Л. Барон и др. – М. : Недра, 1989. – 376 с.
12. Густафсон Р. Шведская техника взрывных работ / Р.Густафсон. – М. : Недра, 1977. – 264 с.
13. Бойко В.В. Проблеми сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України : монографія / В.В. Бойко. – К. : ТОВ «Видавництво Сталь», 2012. – 234 с.

14. 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.
15. 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.
16. Хлевнюк Т.В. Сейсдобезпека будівель і споруд при виконанні вибухових робіт на кар'єрах / Т.В. Хлевнюк // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир, 2013. – № 1 (61). – С. 144–148.
17. Дія вибуху розосередженого заряду в скельних ґрунтах / В.В. Бойко, А.О. Кузьменко, О.М. Чала, Т.В. Хлевнюк, Д.В. Хлевнюк // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – Житомир, 2013. – № 1 (79). – С. 153–159.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. Криворучко А.О. Розробка узагальненої методики геометризації масивів природного каменя з метою отримання комплексної моделі родовища / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, С.С. Ісков // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2012. – № 4 (63). – С. 190–202.
22. 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.
23. 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. Стріха // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія : Технічні науки. – 2012. – № 2 (58). – С. 175–184.
24. Застосування інформаційно-комп'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.
25. Exploring the efficiency of applying fractal analysis for the process of decorative stone quality control / R.Sobolevskiy, V.Korobiichuk, S.Iskov, I.Pavliuk, A.Kryvoruchko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6 / 3 (84). – Pp. 32–40.
26. Закусило Р.В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія / Р.В. Закусило, В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук. – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 212 с.
27. Кравець В.Г. Фізичні процеси прикладної геодиніміки вибуху : монографія / В.Г. Кравець, В.В. Коробійчук, В.В. Бойко. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 408 с.
28. Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material / R.Sobolevskiy, N.Zuievskaya, V.Korobiichuk, O.Tolkach, V.Kotenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 5 / 3 (83). – Pp. 21–29.
29. Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing / V.Korobiichuk, V.Shamrai, O.Iziumova, O.Tolkach, R.Sobolevskiy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 4 / 5 (82). – Pp. 52–57.
30. The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods / I.Korobiichuk, V.Korobiichuk, M.Nowicki, V.Shamrai, G.Skyba, R.Szewczyk // Construction and Building Materials. – 2016, 1 July. – Vol. 114. – Pp. 241–247.
31. A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators / R.Sobolevskiy, O.Vaschuk, O.Tolkach, V.Korobiichuk, V.Levytskyi // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2017. – № 3 (3). – С. 54–67.
32. Korobiichuk V. Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures / V.Korobiichuk // International Conference on Systems, Control and Information Technologies 2016. – Springer International Publishing, 2016. – Pp. 653–658.
33. Павлуценко М.В. Аналіз техніко-економічних показників пересувних дробильно-сортувальних установок на щебених кар'єрах / М.В. Павлуценко, В.В. Коробійчук // Тези ІV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів». – 2017. – С. 48–49.

References:

1. Kryvbasstandartmetrologija, NDGRI (2008), DSTU 4704:2008: *Provedennja promyslovyh vybuhiv. Normy sejsmichnoi' bezpeky* [Conducted promises of vibuks. Norms of seismic security], nacional'nyj standart Ukraïny, oficijne vydannja, vid 15 veresnja, Kyi'v, Ukraine, 11 p.

2. «Pravyla bezpeky pid chas povodzhennja z vybuchovymy materialamy promyslovogo pryznachennja: NPAOP O.OO-1.66-13» (2013), *Redakcija zhurnala «Ohorona praci»*, Kyi'v, 359 p.
3. *Tehnichni pravyla vedennja vybuchovyh robot na dennij poverhni* (2013), Vyd-vo «Lider», Harkiv, 120 p.
4. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, Bojko, V.V., Voroteljak, V.Je., Voroteljak, G.A., Kuz'menko, A.O. and others (2009), *DSTU 4704:2008: Provedennja promyslovyh vybuhiv. Normy sejsmichnoi' bezpeky* [Carried out promises of vibuks. Norms of seismic security], nacional'nyj standart Ukrainy, Kyi'v, Ukraine, 11 p.
5. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, Bojko, V.V., Voroteljak, V.Je., Voroteljak, G.A. and Kuz'menko, A.O. (2010), *DSTU 7116:2009: Vybuhy promyslovi. Metody vyznachennja faktychnoi' sejsmostijkosti budivel' i sporud* [Industrial explosions. Methods of determining the actual seismic strength of buildings and structures], nacional'nyj standart Ukrainy, Kyi'v, 6 p.
6. Gribanova, L.P. (1975), *Issledovanie parametrov vzryvov i sejsmobeзопасnyh rasstojanij na kar'erah Krivbassa*, Abstract of Ph.D. diss., IFZ AN SSSR, Moskva, 27 p.
7. Sergijchuk, A.G. (1970), *Issledovanie sejsmicheskikh kolebanij pri korotkozamedlenom vzryvanii i razrabotka metodov sejsmobeзопасnogo proizvodstva krupnomasshtabnyh vzryvov v kar'erah Krivbassa*, Abstract of Ph.D. diss., IGTM AN USSR, Dnepropetrovsk, 26 p.
8. Gavrik, V.A. and others (1987), *Rajonirovanie kar'erov po sejsmobeзопасnoj masse zarjadov VV pri ih korotkozamedlenom vzryvanii*, NIIGRI, Krivoj Rog, 8 p.
9. Onika, S.G. (1996), *Prognoz i upravlenie sejsmikoj massovyh vzryvov na zhelezorudnyh kar'erah pri ih priblizhenii k ohranjaemym ob#ektam*, diss. of D. Tehn. Sc., KTU, Krivoj Rog, 407 p.
10. Thoenen, J.R. and Windes, S.L. (1942), «Seismic Effects of Quarry Blasting», *U.S. Bureau of Mines, Bulletin 442*, Government Printing Office, Washington.
11. Baron, V.L. and others (1989), *Tehnika i tehnologija vzryvnyh robot v SShA*, Nedra, Moskva, 376 p.
12. Gustafson, R. (1977), *Shvedskaja tehnika vzryvnyh robot*, Nedra, Moskva, 264 p.
13. Bojko, V.V. (2012), *Problemy sejsmichnoi' bezpeky vybuchovoi' spravy u kar'jerah Ukrainy*, monografija, Vydavnytvo Stal', Kyi'v, 234 p.
14. 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.
15. 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.
16. Hlevnjuk, T.V. (2013), «Sejsmobeзопасka budivel' i sporud pry vykonanni vybuchovyh robot na kar'jerah», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (61), Zhytomyr, pp. 144–148.
17. Bojko, V.V., Kuz'menko, A.O., Chala, O.M., Hlevnjuk, T.V. and Hlevnjuk, D.V. (2013), «Dija vybuhu rozoseredzhenogo zarjadu v skel'nyh g'runtah», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (79), Zhytomyr, pp. 153–159.
18. Korobijchuk, V.V., Sobolev'skyj, R.V. and Zubchenko, O.A. (2006), «Doslidzhennja shljahiv minimizacii' vytrat pry burovybuchovomu sposobi vydobuvannja blokiv dekoratyvnogo kamenja», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 4 (39), Zhytomyr, pp. 301–308.
19. Korobijchuk, V.V., Podchashyn'skyj, Ju.O., Remezova, O.O., Sobolev'skyj, R.V. and Zubchenko, O.A. (2007), «Doslidzhennja vplyvu burovybuchovyh robot na jakist' blochnoi' produkcii' kar'jeru na osnovi vyznachennja geometrychnykh charakterystyk i'i' trishhynuvatosti», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 3 (42), Zhytomyr, pp. 143–150.
20. Kryvoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V., Sobolev'skyj, R.V., Kams'kyh, O.V. and Pavljuk, I.V. (2016), «Vyznachennja optimal'nogo naprjamku vedennja girnychyh robot pry vydobuvanni blokiv z pryrodnogo kamenju», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 3 (78), Zhytomyr, pp. 150–163.
21. Kryvoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V. and Is'kov, S.S. (2012), «Rozrobka uzagal'nenoi' metodyky geometryzacii' masyviv pryrodnogo kamenju z metoju otrymannja kompleksnoi' modeli rodovyshha», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 4 (63), Zhytomyr, pp. 190–202.
22. Korobijchuk, V.V. and Mozgoenko, O.V. (2009), «Doslidzhennja vplyvu harakterystyk gidroudarnykh ustanovok na i'h produktyvnist'», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (48), Zhytomyr, pp. 201–205.
23. Korobijchuk, V.V., Kisljel', O.O. and Striha, V.A. (2012), «Geometryzacija suputn'oi' korysnoi' kopalyny v umovah Leznykivs'kogo rodovyshha granitiv ta girnycho-geometrychnyj analiz jogo pokaznykiv», *Visnyk Nacional'nogo universytetu vodnogo gospodarstva ta pryrodokorystuvannja*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 2 (58), pp. 175–184.
24. Kryvoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V., Podchashyn'skyj, Ju.O. and Remezova, O.O. (2007), «Zastosuvannja informacijno-kop'juternykh tehnologij dlja doslidzhennja girnycho-ekologichnykh osoblyvostej rodovyshh rudnyh i nerudnykh korysnykh kopalyn», *Visnyk Zhytomyr'skogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 1 (40), Zhytomyr, pp. 186–195.
25. Sobolev'skyi, 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.
26. Zakusylo, R.V., Kravec', V.G. and Korobijchuk, V.V. (2011), *Zasoby inicijuvannja promyslovyh zarjadiv vybuchovyh rehovyn*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 212 p.
27. Kravec', V.G., Korobijchuk, V.V. and Bojko, V.V. (2015), *Fizychni procesy prykladnoi' geodynamiky vybuhu*, monografija, ZhDTU, Zhytomyr, 408 p.

28. Sobolevskiy, R., Zuiavska, N., Korobiichuk, V., Tolkach, O. and Kotenko, V. (2016), «Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5 / 3 (83), pp. 21–29.
29. Korobiichuk, V., Shamrai, V., Iziumova, O., Tolkach, O. and Sobolevskiy, R. (2016), «Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4 / 5 (82), pp. 52–57.
30. Korobiichuk, I., Korobiichuk, V., Nowicki, M., Shamrai, V., Skyba, G. and Szewczyk, R. (2016), «The study of corrosion resistance of Pokostivskiy granodiorites after processing by various chemical and mechanical methods», *Construction and Building Materials*, from 1st July, Vol. 114, pp. 241–247.
31. Sobolevskiy, R., Vaschuk, O., Tolkach, O., Korobiichuk, V. and Levyskyi, V. (2017), «A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators», *Vostochno-Evropskyj zhurnal peredovykh tehnologij*, No. 3 (3), pp. 54–67.
32. Korobiichuk, V. (2016), «Study of Ultrasonic Characteristics of Ukraine Red Granites at Low Temperatures», *International Conference on Systems, Control and Information Technologies*, Springer International Publishing, pp. 653–658.
33. Pavlushhenko, M.V. and Korobijchuk, V.V. (2017), «Analiz tehniko-ekonomichnyh pokaznykiv peresuvnyh drobyl'no-sortoval'nyh ustanovok na shhebenevyh kar'jerah», *Tezy IV Vseukrai'ns'koi' naukovo-praktychnoi' konferencii' studentiv, aspirantiv ta molodyh vchenykh «Perspektyvy rozvytku girnychoi' spravy ta racional'nogo vykorystannja pryrodnyh resursiv»*, pp. 48–49.

Хлевнюк Денис Вікторович – аспірант Інституту гідромеханіки НАН України.

Наукові інтереси:

– підвищення надійності оцінки сейсмобезпеки будівель та споруд при проведенні короткосповільнених масових вибухів на кар'єрах.

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

Наукові інтереси:

– гірнича справа;
– промислова сейсмобезпека вибухів.

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

Наукові інтереси:

– підвищення надійності оцінки сейсмобезпеки проведення техногенних вибухів.

Стаття надійшла до редакції 06.11.2017.