

В.І. Симоненко, А.В. Павличенко, О.В. Черняєв, Л.С. Гриценко

## ЕКОЛОГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ В УМОВАХ ЗМЕНШЕНОЇ САНІТАРНО-ЗАХИСНОЇ ЗОНИ

*Досліджено екологічні та технологічні аспекти розробки нерудних родовищ корисних копалин в умовах зменшеної санітарно-захисної зони. Удосконалено технологічні схеми розробки родовищ скельних і напівскельних корисних копалин. Впровадження удосконалених технологічних схем дозволить мінімізувати вплив кар'єрів на екологічний стан прилеглих територій.*

---

### ЭКОЛОГОСБЕРИГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ УМЕНЬШЕННОЙ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ

*Исследованы экологические и технологические аспекты разработки нерудных месторождений полезных ископаемых в условиях уменьшенной санитарно-защитной зоны. Усовершенствованы технологические схемы разработки месторождений скальных и полускальных полезных ископаемых. Внедрение усовершенствованных технологических схем позволит минимизировать влияние карьеров на экологическое состояние прилегающих территорий.*

---

### ECOLOGICALLY-SAVING TECHNOLOGIES OF FIELD DEVELOPMENT IN CONDITIONS OF REDUCED SANITARY PROTECTION ZONE

*Environmental and technological aspects of development of non-metallic mineral deposits in conditions of reduced sanitary protection zone are researched. Technological schemes of deposits development of rock and semi-rock minerals are improved. Introduction of improved technological schemes will allow minimizing the impact of open pits on the ecological state of the surrounding area.*

---

#### ВСТУП

На території України виявлено понад 1300 родовищ твердих нерудних корисних копалин, які розташовані на території 23 областей та АР Крим. Найбільш поширеними є такі корисні копалини: вапняки, доломіти, графітові руди, граніти, мігматити, сієніти, гранодіоріти, піщаники, діорити, гнейси, базальти, кварцити динасові, андезити, пігматити, талько-магнезити, мергелясті опоковидні відкладення, амфі-

боліти, мармуризовані гіпси, порфірити, габро- та лабродарити, діабазы, туфи та ін. У більшості випадків вони застосовуються для виробництва різноманітної продукції для будівельної галузі, в першу чергу, щебеню, буту та піщаної фракції [1].

Враховуючи те, що розробка родовищ виконується з вибуховим подрібненням масивів та наступного виймання, перевезення і переробки сипучої маси, до технології видобутку і переробки корисних копалин висуваються відповідні вимоги й

обмеження. Вони пов'язані з забрудненням навколишнього середовища шкідливими пилогазовими викидами гірничодобувних виробництв. Тому Державними санітарними правилами [2] визначено наступні вимоги: промислові й інші об'єкти, які є джерелами забруднення навколишнього середовища хімічними, фізичними та біологічними факторами при неможливості створення безвідходних технологій повинні відокремлюватися від житлової забудови, ділянок громадських установ, будинків і споруд та інших територій суспільного користування санітарно-захисними зонами (СЗЗ). На зовнішній межі СЗЗ у напрямку до забудови чи територій, які охороняються, концентрації та рівні шкідливих факторів не повинні перевищувати їх гігієнічні нормативи – граничнодопустимі концентрації (ГДК) та гранично допустимі рівні (ГДР). Якщо розробка родовищ ведеться з вибуховим подрібненням і розпушенням гірських порід, то розмір СЗЗ для таких підприємств становить 1500 м [2].

У результаті досліджень [3] встановлено, що понад 35% усіх корисних копалин розташовано в межах зазначеної СЗЗ: від 300 – 350 до 1200 – 1500 м відносно населених пунктів та інших об'єктів і територій громадського суспільного призначення. При цьому 261 родовище (80%) знаходиться в експлуатації. Безпечна розробка цих нерудних родовищ можлива лише за умови, що на межі житлових забудов забруднюючі чинники від виробничої діяльності кар'єрів не перевищуватимуть ГДК та ГДР. Отже, виникає потреба в застосуванні екологобезпечних технологій видобутку й переробки мінеральної сировини, що можливо лише після розробки відповідних технологічних схем відпрацювання родовищ.

Аналіз сучасних технологій відкритої розробки подібних родовищ виявив, що мінімізація викидів забруднюючих речовин на кар'єрі може бути досягнена при застосуванні комплексів обладнання з конвеєрною доставкою гірничої маси, переробкою її на готову продукцію безпосередньо в кар'єрному просторі на модульних дробильно-сортувальних установках (МДСУ).

Рациональним рішенням також є застосування фронтальних колісних навантажувачів як виймально-транспортного обладнання. В таких технологічних схемах відкритої розробки нерудних родовищ подібними навантажувачами заміняють ресурсовитратну екскаваторно-автомобільну ланку кар'єрного комплексу обладнання. При цьому досягається не лише зменшення енергетичних витрат, а й зменшення обсягів викидів пилу та газів в атмосферу.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для підвищення рівня екологічної безпеки при розробці нерудних родовищ корисних копалин визначено техніко-економічну й екологічну ефективність наступних технологічних схем [3 – 7]:

*Варіант 1.* Колісний навантажувач чи кар'єрний екскаватор завантажує у вибої корисну копалину в автосамоскиди, якими гірнична маса доставляється на борт кар'єру до стаціонарного дробильно-сортувального заводу.

*Варіант 2.* Колісний навантажувач після набору корисної копалини у вибої доставляє сировину до бункера МДСУ, який розміщено на площадці середнього видобувного горизонту. Після переробки в кар'єрі сировини й отримання фракцій готової продукції вона завантажується колісними навантажувачами в автосамоскиди, які перевозять готову продукцію на поверхневий склад, або ж безпосередньо до споживачів.

*Варіант 3.* Колісний навантажувач набирає корисну копалину у вибої уступу, перевозить її до мобільного дробильного вузла (МДВ), який розташовують неподалік на робочій площадці добувного уступу (бажано найнижчого в групі крутого шару). Після подрібнення твердих порід у МДВ гірнична маса подається стрічковими конвеєрами до поверхневого сортувального вузла, де здійснюється остаточне виділення фракцій.

*Варіант 4.* У вибоях добувних уступів гірничу масу розробляють кар'єрними екскаваторами або ж колісними навантажувачами. Порода відвантажується в автосамоскиди та ними доставляється на нижній горизонт (дно) кар'єру до розташованого тут МДСУ. Після переробки сировини та виділення фракції в кар'єрі на МДСУ готова продукція пофракційно подається на систему стрічкових конвеєрів (завантажувальний, підймальний, магістральний) і ними доставляється до поверхневого складу готової продукції, з якого здійснюється відвантаження фракцій споживачам.

Технологічна схема за *варіантом 1* розглядалася, як найбільш розповсюджена (класична) на діючих нерудних кар'єрах

для порівняння з іншими (*варіанти 2, 3, 4*). Згідно з результатами оцінки даних схем за виробничими (термін прохідки розкривних траншей на нижні горизонти) та економічними (питомі гірничо-капітальні вкладення й експлуатаційні витрати на 1 м<sup>3</sup> видобутої корисної копалини) критеріями переваги мають технологічні схеми за *варіантами 2 і 3*. Майже співрозмірний з ними при різниці в 3 – 5% *варіант 4* [3].

Узагальнені результати обстеження 261 нерудного родовища за такими показниками, як площа кар'єрного поля, глибина відробки покладів мінеральної сировини, виробнича потужність, потужність товщі порід розкриву та середні коефіцієнти розкриву наведено в табл. 1.

УСЕРЕДНЕНІ ПАРАМЕТРИ БАЗОВИХ НЕРУДНИХ КАР'ЄРІВ УКРАЇНИ

Таблиця 1

Параметр	Найменування кар'єрів за систематизацією			
	великої площі, глибини	середньої площі		малої площі, середньої глибини
		глибини	середньої глибини	
	типи кар'єрів			
	I	II	III	IV
Розміри кар'єрного поля, м:				
– довжина;	1387	767	740	460
– ширина;	800	546	435	250
– глибина	260	205	155	130
Виробнича потужність, тис. м <sup>3</sup> /рік:				
– корисна копалина;	1350	750	550	130
– розкривні породи, в т.ч.:	350	400	100	50
– м'які;	255	312	107	43
– скельні	95	57	24	7
Потужність товщі покриву, м:				
– скельних порід;	25	18	11	12,9
– м'яких порід	до 16	до 12	до 9	до 7
Середній коефіцієнт розкриву, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,52	0,37	0,29	0,41
Термін служби, роки	106	33	30	28

Примітка: \*приведена максимальна глибина, на яку можливо відробляти кар'єрне поле за технічними та технологічними можливостями

При систематизації вищезазначених кар'єрів виконано їх ранжування за відстанню між межами кар'єрного поля та житловою забудовою й громадськими об'єктами на прилеглих до кар'єру територій. Ця відстань якраз і визначає розміри

зменшеної СЗЗ, якщо вона менша за нормативні 1500 м. У результаті ранжування [7] було виявлено, що близько 35% родовищ нерудної мінеральної сировини розташовано в межах зменшеної СЗЗ. При цьому найбільша їх кількість припадає на

родовища гранітів, гнейсів, мігматитів, андезитів і інших магматичних корисних копалин – вапняків, мергелів, гіпсів, які також розробляються для отримання бетонощелевеної продукції, 8,4% з яких мають зменшену СЗЗ. Понад 13 – 13,5% припадає на кар’єри крейди зміцнених вапняків, мергелястих відкладень, що розробляються для виробництва вапна, цементу та в’язучих сумішей із застосуванням буропідривних робіт «на струс» [1, 3]. При цьому в масиві розвиваються тріщини, але

розвал розпушених порід не утворюється, і тому викиди пилу і газів при такому способі розробки є мінімальні.

Відносно наведеної вище систематизації нерудних кар’єрів (табл. 1) в тих, що виділені до типу I з 35 зареєстрованих 21 кар’єр має зменшену СЗЗ (60%). При цьому найбільша їх кількість (42,8%) функціонує з розмірами зони від 1000 до 1500 м – 15 кар’єрів (табл. 2). Інша частина підприємств I типу має розміри СЗЗ до 300 та 300 – 500 м і розподіляється порівну – по 3 кар’єри (11,7%).

РЕЗУЛЬТАТИ РАНЖУВАННЯ (РОЗМЕЖУВАННЯ, СИСТЕМАТИЗАЦІЇ)  
 НЕРУДНИХ РОДОВИЩ ЗА РОЗМІРАМИ СЗЗ ЗАЛЕЖНО ВІД ТИПІВ КАР’ЄРІВ

Таблиця 2

Корисна копалина	Глибина, м	Кількість родовищ (кар’єрів)		
		зареєстровані	зі зменшеною СЗЗ	% від зареєстрованих
<b>Нерудні кар’єри і типу (глибокі, великої площі)</b>				
Граніти, гнейси, вапняки, кварцитовидний пісковик, доломіти	до 300	35	3	11,7
Граніти, вапняки, кварцитовидні та інші пісковики, доломіти	300 – 500	35	3	11,7
Вапняки мармуризовані, гнейси, граніти, доломіти, графіти, мергель	1000 – 1500	35	15	42,8
<b>Усього в групі</b>		35	21	60
<b>Нерудні кар’єри ii типу (глибокі, середньої площі)</b>				
Граніти, вапняки, мігматити, кварцитовидні пісковики	800 – 1000	20	3	15
<b>Усього в групі</b>		20	3	15
<b>Нерудні кар’єри iii типу (середньої глибини і площі)</b>				
Граніти, вапняки, андезити, діорити, кварцові моноцити, пісковики, гіпс, амфіболіти	до 300	99	5	5
	300 – 500	99	6	6
	500 – 800	99	1	1
	800 – 1000	99	10	10,1
	1000 – 1500	99	8	8
<b>Усього в групі</b>		99	30	30,3
<b>Нерудні кар’єри iv типу (середньої глибини, малої площі)</b>				
Граніти, ліпарити, вапняки, базальти, гранітовидні кварцдіорити, гіпси, пісковики, мергелі, сієніти	до 300	73	1	1,3
	300 – 500	73	8	11
	500 – 800	73	2	2,7
Граніти, гранодіорити, вапняки, андезити	800 – 1000	73	6	8,2
Граніти, вапняки мергелісті, діорити, сієніти	1000 – 1500	73	6	8,2
<b>Усього в групі</b>		73	23	31,5
<b>Усього серед зареєстрованих нерудних кар’єрів</b>		<b>227</b>	<b>77</b>	<b>34</b>

Примітка: З систематизованих нерудних кар’єрів виключені родовища крейди, мергелястої глини, при розробці яких вибухові роботи виконуються «на струс» для розвитку інтенсивної тріщинуватості [7].

Для кар'єрів II типу лише 3 з 20 досліджуваних родовищ розташовано в межах СЗЗ 800 – 1000 м (табл. 2). Щодо нерудних кар'єрів III-го і IV-го типів можна відмітити, що їх кількість зі зменшеною СЗЗ перевищує третину від розглянутих: відповідно 30,3 та 31,5%. З них на кар'єрах III-го типу 10,1% функціонують зі зменшеною СЗЗ у 800 – 1000 м і майже аналогічна кількість – 11% має зону до 300 та 300 – 500 м. В групі нерудних кар'єрів малої площі IV-го типу найбільша їх кількість знаходиться в зоні з розмірами 300 – 500 м (11%) та від 800 до 1000 м і від 1000 до 1500 м (по 8,2%).

Серед 227 зареєстрованих нерудних кар'єрів, на яких підривання масивів виконується з метою подрібнення порід та забезпечення їх розвалу (в цьому випадку спостерігаються найбільші викиди пилу і газів в атмосферне повітря), 77 кар'єрів (34%) розташовані ближче ніж за 1500 м до житлових забудов та інших об'єктів (табл. 2). Серед них 9 кар'єрів з розмірами СЗЗ до 300 м (3,9%), 300 – 500 м – 17 кар'єрів (7,4%); 500 – 800 м – 3 кар'єри (1,3%); 800 – 1000 м – 19 кар'єрів (8,3%) і 1000 – 1500 м – 29 кар'єрів (12,7%). Отже найбільше кар'єрів розташовано в межах від 1000 до 1500 м.

Технологічні схеми за *варіантами 2 – 4* характеризуються зменшеними відстанями транспортування корисної копалини автосамоскидами, ніж у *варіанті 1*. Пилоутворення при переробці сировини на МДВ або МДСУ, які розташовані в кар'єрному просторі, локалізуються в ньому ж. У *варіантах 3 і 4* передбачено застосування екологобезпечних стрічкових конвеєрів для доставки готової продукції на поверхню.

Усі технологічні схеми *варіантів 1 – 4* передбачають ведення добувних робіт на суміжних 2 – 3 уступах по висоті борту. Виймання корисної копалини здійснюється у виїмковому крутому шарі [3, 6], який відпрацьовується від верхнього уступу кар'єру до нижнього поступово. Для розробки вибоїв добувних уступів передбачені кар'єрні екскаватори (*варіанти 1, 3*) та фронтальні колісні навантажувачі. При

цьому в *варіантах 2 і 4* колісні навантажувачі також доставляють породи від вибоїв до приймального бункера МДСУ і МДВ коли відстань транспортування не перевищує 900 – 1200 м. Завантаження гірничої маси та готової продукції в автосамоскиди може здійснюватися колісними навантажувачами.

Вибрані технологічні схеми повинні відповідати вимогам екологічної безпеки. Тому їх оцінку доцільно виконувати за екологічними критеріями, які можна розглядати з урахуванням мінімуму обсягів викидів шкідливих речовин (пилу, газів) в атмосферу. Максимальні концентрації забруднюючих речовин визначено для умов Чаплинського гранітного кар'єру, який працює за технологічною схемою *варіанта 1* зі зменшеною СЗЗ до 700 м. На межі даної зони зазначені концентрації в частках ГДК становлять: за пилом – 1,06 – 1,51; оксидом вуглецю – 0,78 – 0,89; двоокисом азоту – 1,23 – 1,81; вуглеводнями – 0,4 – 0,56; формальдегідом – 0,48 – 0,85; оксидом марганцю – 0,4 – 0,56. За цими даними можна констатувати, що найбільші за обсягами є валові викиди пилу неорганічного, оксиду вуглецю, двоокису азоту та вуглеводнів. Тому оцінку конкурентоспроможних технологічних схем достатньо проводити за обсягами викидів зазначених вище забруднюючих речовин. Результати розрахунків представлено на рис. 1.

Результати розрахунків свідчать про наступне:

1. Найменші обсяги викидів газоподібних речовин і пилу досягаються при реалізації технологічних схем за *варіантами 2 та 3*.

2. *Варіант 4* за обсягами викидів  $CO$ ,  $NO$ ,  $CH$  перевищує вищезазначені на 1,6 – 5%, при тому, що *варіант 1* має у 2,0 – 2,8 рази більші обсяги викидів.

3. Викиди пилу з вмістом  $SiO_2$  (рис. 1) найменші при реалізації технологічної схеми за *варіантом 3*.

4. У *варіантах 1 та 4* обсяги викидів пилу перевищують попередні на 21 – 40%, найбільш вагоме перевищення має місце на глибоких кар'єрах великої площі (тип I).

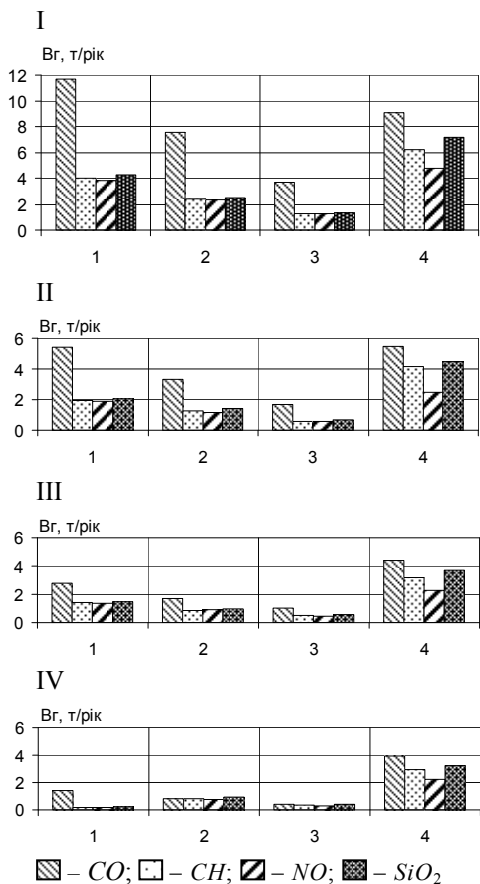


Рис. 1. Кількісні показники викидів шкідливих речовин (Bг, т/рік): I – IV – типи кар'єрів згідно системати зації; 1 – 4 – схеми розробки родовищ нерудних корисних копалин за варіантами

5. У варіантах 4 та 1, які характеризуються досить суттєвими відстанями автопробігу для доставки порід від вибоїв до ДСЗ, МДСУ, утворюються найбільші обсяги пилу.

6. З урахуванням висновків п.п. 1 – 5 з екологічних міркувань доцільно рекомендувати до застосування на діючих нерудних кар'єрах з видобутку твердих корисних копалин технологічні схеми за варіантами 3 і 2 з переважним застосуванням на внутрішньокар'єрних перевезеннях фронтальних колісних навантажувачів, їх же доцільно застосовувати у вибоях на вий-

мально-навантажувальних роботах.

7. Технологічна схема за варіантом 4 може застосовуватися переважно на кар'єрах середньої глибини малої та середньої площі (типи III і IV) при ефективній реалізації заходів з пилоподавлення.

8. На кар'єрах типів III і IV пило- та газовиділення за варіантом 4 найменше відрізняється від схем варіантів 2 і 3.

Аналогічні розрахунки виконано при розробці робочих проектів Ахтівського і Трикратського (Миколаївська обл.) та Одарівського (Запорізька обл.) родовищ твердих нерудних корисних копалин. На кар'єрах Ахтівського і Трикратського родовищ реалізована розробка їх за технологічною схемою варіанта 2, Одарівського родовища – варіанта 3 (рис. 2). Ці родовища розташовані поблизу населених пунктів. Перші два на відстані 400 і 500 м відповідно, а третє на відстані 300 м.

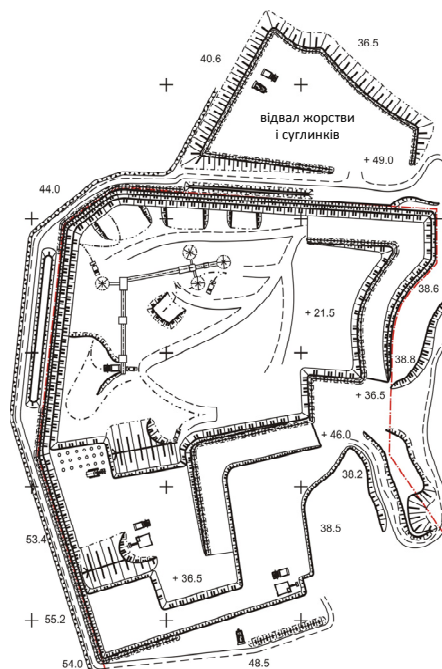


Рис. 2. Схема комплексу кар'єрного обладнання при розміщенні модульного дробильно-сортувального устаткування у кар'єрному просторі (на прикладі Ахтівського кар'єру)

У результаті розрахунків видно, що максимальні концентрації забруднюючих речовин на межі СЗЗ і житлової зони для досліджуваних кар'єрів на перевищують ГДК. Отже, перспективність впровадження на діючих вітчизняних нерудних кар'єрах твердих корисних копалин зі зменшеними розмірами СЗЗ технологічних схем розробки за *варіантами* 3 і 2 з урахуванням екологічних чинників безсумнівна.

Слід зазначити, що отримані результати досліджень базувалися на застосуванні передових сучасних технологій з використанням неелектричного ініціювання зарядів системами типу NONEL та їх вітчизняних аналогів, розосереджених зарядів інертними матеріалами і водою, при внутрішньо-свердловинному запиранні газів, що утворюються при нижньому ініціюванні розосереджених зарядів шляхом сповільнення інтервалів ініціювання, використанням емульсійних безтритилових вибухових речовин при масових підірваннях блоків корисної копалини [8 – 10].

## ВИСНОВКИ

1. Виконано обстеження та ранжування 261 нерудного родовища за такими показниками як: площа кар'єрного поля, глибина відробки покладів мінеральної сировини, виробнича потужність, потужність товщі порід розкриву та середні коефіцієнти розкриву, а також розміри санітарно-захисних зон.

2. Визначено основні технологічні й екологічні параметри ведення гірничих робіт і переробки мінеральної сировини в умовах зменшеної СЗЗ для систематизованих типових кар'єрів родовищ корисних копалин.

3. Удосконалено технологічні схеми розробки нерудних корисних копалин в умовах зменшених СЗЗ. Впровадження запропонованих схем дозволить зменшити рівні забруднення та трансформації компонентів навколишнього середовища, а також мінімізувати екологічні та техногенні ризики в гірничодобувних регіонах.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Строительные материалы Украины (обзор месторождений по областям) // (ред. кол. В.С. Попов, П.Т. Нацки, Г.Н. Калинин). – К.: Будівельник, 1964. – 319 с.

2. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів; Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.96 №173. – 84 с.

3. Розробити технологічні основи еколого- й енергозберігаючого виробництва при видобутку твердої нерудної сировини в межах санітарно-захисних зон: звіт з НДР (закл.) / НГУ; кер. В.І. Симоненко. – № ДР 011U000513. – Д., 2011. – 273 с.

4. Симоненко В.І. Оцінка технології відпрацювання нерудних кар'єрів з підтриманням безпеки в зменшеній санітарно-захисній зоні / В.І. Симоненко, Л.С. Гриценко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – № 1. – С. 80 – 85.

5. Технологічні параметри та схеми розробки при завершенні розкриття родовищ скельних будівельних матеріалів / Симоненко В.І., Кірнос В.Д., Мостица А.В. [и др.] // *Науковий вісник НГУ*. – 2010. – № 5. – С. 31 – 37.

6. Симоненко В.І. Екологически безопасные и энергосберегающие технологии разработки твердых нерудных полезных ископаемых / В.І. Симоненко, Л.С. Гриценко // *Экология и промышленность*. – 2011. – № 2. – С. 46 – 53.

7. Симоненко В.І. Систематизация гранитных и каменных карьеров для исследования ресурсосберегающих технологий их разработки / В.І. Симоненко, А.В. Черняев, А.В. Мостица // *Збірник наукових праць НГУ*. – Д., 2007. – № 27. – С. 47 – 51.

8. Гопанюк Д.Г. Способы уменьшения загрязнения окружающей природной среды от действия взрывных работ при разрушении горных пород / Д.Г. Гопанюк, В.Ю. Швеиц, С.В. Пацера // *Науковий вісник НГУ*. – 2005. – № 12. – С. 99 – 101.

9. Стрілець О.П. Дослідження ефективності дії вибуху свердловинного заряду при багатократному навантаженні гірського масиву по всій висоті уступу / О.П. Стрілець // Форум гірників: матеріали міжнар. конф. – Д.: НГУ, 2011. – С. 149 – 155.

10. Пути повышения экологической безопасности буровзрывных работ на карьерах по добыче строительных материалов / Холоденко Т.Ф., Устименко Е.Б., Подкаменная Л.И. [и др.] // Вісник Кременчуцького нац. ун-ту ім. М. Остроградського. – 2013. – № 6. – С. 165 – 171.

## ПРО АВТОРІВ

Симоненко Володимир Іванович – д.т.н., професор кафедри відкритих гірничих робіт, директор Інституту з проектування гірничих підприємств Національного гірничого університету.

Павличенко Артем Володимирович – к.б.н., доцент кафедри екології Національного гірничого університету.

Черняєв Олексій Валерійович – с.н.с. Інституту з проектування гірничих підприємств Національного гірничого університету.

Гриценко Леонід Сергійович – с.н.с. Інституту з проектування гірничих підприємств Національного гірничого університету.