

## *Development of Useful Mineral Deposits*

---

**The research methodology** includes methods of analytical calculations and geometric surveys, geomechanical analysis of the change of the stress state relative to structural disturbances of rocky ledges of different heights and lithological composition; the substantiation of the simulation model for the distribution of the elastic waves in anisotropic crystalline medium and the formation of waveguides in it; statistical analysis of mine surveying observations and mathematical methods for processing the results of experimental and industrial tests. Spatial-mathematical methods of solving problems and comparative estimations of their results are used.

**Findings.** The peculiarities and conditions of realization in the iron-ore quarry of symmetric blasting of rocks with complex regular structure with combined well-borne charges of modern explosives are investigated. The choice of directions of formation in the network of explosive wells of their location is substantiated. Using mathematical and simulation modeling, the peculiarities of formation of contours in the rock massif of maximum and minimum stressed zones around well boreholes depending on the physical and mechanical and structural characteristics of rocks as well as relative masses of various types of explosives in the combined charge are determined.

**The originality.** The scientific novelty consists in formulating the author's idea of symmetric blasting of the rock massif, differentiated by the explosion-rich, and analytical substantiation of the parameters of objects and processes for the effective implementation of developments in the production practice of the mining and concentrating mills' quarries.

**Practical implications.** The practical significance of the research is to develop a new effective way of undermining the rock massif in the open pit of the mining and processing plants and to substantiate the parameters of the technology for implementing the method, which reduces the specific costs of explosive materials and increases the profit of the GOK.

**Keywords:** *rock massif, explosive destruction, quarry, explosive waves, anisotropy of rocks, symmetrical action of well boreholes.*

УДК 622.271:504.062

© Б.Ю. Собко, О.В. Ложніков

### **СИСТЕМАТИЗАЦІЯ КАР'ЄРІВ НЕРУДНИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН УКРАЇНИ ПРИДАТНИХ ДО БЕЗВИБУХОВОЇ РОЗРОБКИ**

© B. Sobko, O. Lozhnikov

### **SYSTEMATIZATION OF NON-ORE MINERAL QUARRIES OF UKRAINE SUITABLE TO NON-BLASTING MINING**

**Мета.** Розробити систематизацію кар'єрів нерудних корисних копалин придатних для безвибухової підготовки міцної гірської маси до виймання на основі аналізу науково-дослідних і практичних досягнень в галузі відкритої розробки.

**Методика дослідження.** Під час виконання досліджень використовувався метод аналізу і систематизації при виборі критерію впливу геологічних параметрів родовища і технологічних параметрів кар'єра на технологію безвибухової підготовки міцних гірських порід до виймання.

**Результати дослідження** полягають в розробленій систематизації кар'єрів нерудних корисних копалин придатних до безвибухової підготовки міцних гірських порід відповідно до продуктивності кар'єра і потужності залягання пласта корисної копалини. Визначено основні кар'єри з видобутку нерудних корисних копалин в Україні, придатних до безвибухової розробки міцних порід. Розроблено рекомендації щодо використання техніки і технології безвибухової розробки в залежності виробничої потужності кар'єру.

**Наукова новизна.** Виконані дослідження дозволяють встановити зв'язок гірничо-геологічних параметрів родовища корисних копалин і виробничої потужності кар'єру з видом гірничого устаткування, яке може бути застосовано для безвибухової підготовки міцних гірських порід до виймання, при розробці родовищ нерудних корисних копалин.

**Практичне значення.** Отримані результати досліджень при обробці статистичних даних параметрів роботи кар'єра і залягання пласта корисної копалини дозволили встановити продуктивність обладнання для безвибухової підготовки міцних порід до виймання. Спрогнозовано кількість кар'єрів з видобутку нерудних корисних копалин, придатних для безвибухової підготовки міцних порід до виймання. Встановлено перспективи застосування безвибухових технологій на існуючих кар'єрах і карераї, що проектуються. Встановлено основні види корисних копалин, які можуть розроблятися із застосуванням безвибухових технологій при відкритих гірничих роботах.

**Ключові слова:** відкриті гірничі роботи, систематизація, безвибухова підготовка, міцні породи

**Актуальність роботи.** Видобуток корисних копалин є однією з найбільш вагомих складових розвитку економіки держави за рахунок сталого забезпечення промисловості мінеральною сировиною. Оскільки Україна має до 5 % світових запасів корисних копалин, які знаходяться у близько 20 000 родовищах і їх проявах, з яких на сьогодні 9 000 є економічно доцільними до освоєння, перехід на нові екологічнобезпечні технології видобутку корисних копалин є запорукою сталого функціонування гірничовидобувних регіонів і країни в цілому.

Розробка нерудних родовищ корисних копалин на сьогодні супроводжується буровибуховими роботами для підготовки міцної гірської маси до виймання. З практики відкритих гірничих робіт відомо, що нерудні корисні копалини з міцністю від 20 МПа потребують додаткової підготовки з руйнування для підвищення ефективності виймально-навантажувальних робіт. На практиці поширено обирають буровибухові способи підготовки міцних порід через низьку собівартість, велику продуктивність кар'єру, можливість підготовки до виймання порід будь якої міцності. З іншого боку буровибухові роботи мають ряд суттєвих недоліків, до яких можна віднести: сейсмічний вплив на верхні шари літосфери, викиди пилу та газів у атмосферу, шум, вібрація, некерований розліт кусків гірничої маси та ін.

У зв'язку із цим постає актуальне питання застосування нових способів та засобів підготовки міцної гірської маси до виймання, з урахуванням зменшення негативного впливу гірничих робіт на екологічний стан довкілля і підвищення

ресурсозбереження на основі систематизації кар'єрів нерудних корисних копалин придатних до безвибухової розробки.

**Аналіз стану вирішення проблеми.** Питання ефективного переходу з буровибухової на безвибухову підготовку міцних гірських порід має на меті зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, зменшення шкідливих факторів шуму і пилу, зменшення кількості ланцюгів у технологічному процесі видобутку і переробці корисних копалин, за рахунок відсутності процесів буровибухових робіт і необхідності додаткового подрібнення породи. Реалізація зазначених цілей може бути досягнута шляхом розробки і впровадження концепції використання безвибухових технологій підготовки гірського масиву до виймання на кар'єрах з видобутку нерудної сировини.

Проблемами вдосконалення технологій ресурсозбереження при розробці нерудних корисних копалин займалися відомі вітчизняні та закордонні вчені: К. Дребенштедт [1], М. Карду [2], В. Муртхи [3], В. Симоненко [4], М. Тюленев [5] та ін.

Аналіз результатів науково-дослідних робіт з питань застосування безвибухових способів підготовки гірської маси до виймання показав, що відсутня чітка систематизація кар'єрів нерудних корисних копалин придатних до безвибухової розробки з урахуванням їх продуктивності і потужності покладу.

Розробка систематизації за наведеними вище параметрами дозволить у подальшому вирішити науково-практичну задачу зі створення методики вибору необхідного типу гірничого обладнання і безвибухової технології підготовки міцної гірської маси до виймання, відповідно до гірничо-геологічних умов залягання родовища і вимог до необхідної фракційності товарної продукції, що видобувається на кар'єрі.

#### **Матеріал і результати досліджень.**

Для розробки систематизації кар'єрів нерудних корисних копалин, придатних до безвибухової розробки в Україні виконано перелік науково-дослідних робіт зі встановлення актуальності переходу з традиційних до інноваційних способів підготовки міцної гірської маси до виймання.

Аналіз продуктивності кар'єрів з видобутку нерудної сировини протягом 2014 – 2018 років показує значне зниження показників видобутку корисної копалини. Основною причиною цих наслідків є втрата контролю над значними покладами нерудної сировини, що видобувалася на сході країни та в АР Крим.

При виконанні аналізу показників роботи кар'єрів з видобутку нерудних корисних копалин, придатних до безвибухової розробки в Україні, за основний критерій прийнято річну продуктивність гірничовидобувних підприємств.

До основних кар'єрів з видобутку нерудних корисних копалин при виконанні досліджень було віднесено кар'єри з видобутку вапняку, гіпсу, крейди і доломіту. Родовища солі, бокситів, кам'яного вугілля до аналізу не включено, оскільки видобуток на них, як правило, відбувається підземним способом.

Результати аналізу, видобутку сировини на кар'єрах нерудних матеріалів наведено на рис. 1.

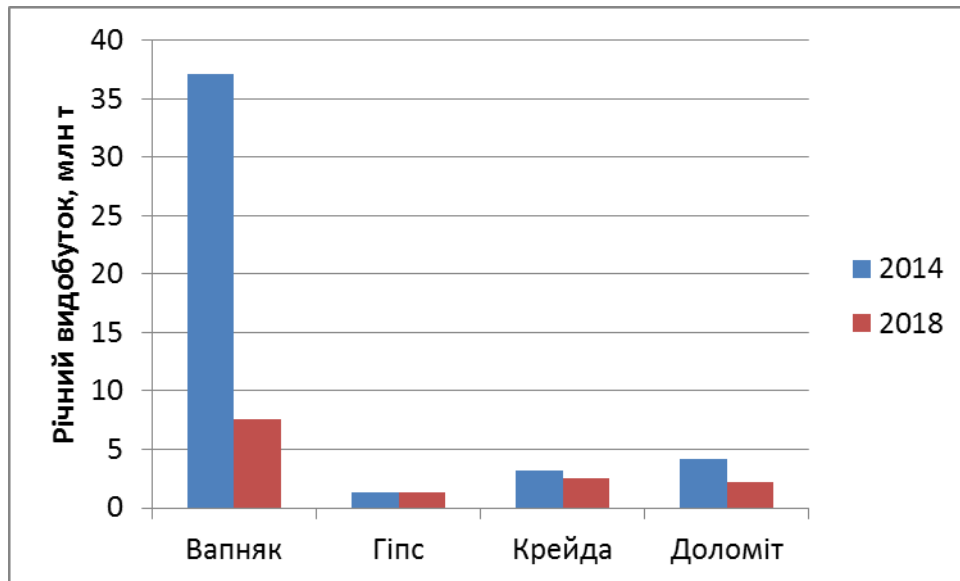


Рис. 1. Річний видобуток корисних копалин на кар'єрах нерудних матеріалів у 2014 і 2018 роках

Як видно з рис. 1, суттєве зниження річного видобутку відбулося при розробці майже усіх видів корисних копалин. Однак найбільше зниження зафіксовано при видобутку вапняку. Окрім того що ця корисна копалина, є однією з важливіших складових при виготовленні будівельних матеріалів, вона ще виступає незамінною складовою у металургійній промисловості.

Аналіз річного видобутку нерудних корисних копалин дозволяє встановити, що причиною такого суттєвого зниження показників продуктивності є зменшення кількості кар'єрів, на яких відбувається видобуток корисних копалин (рис. 2).

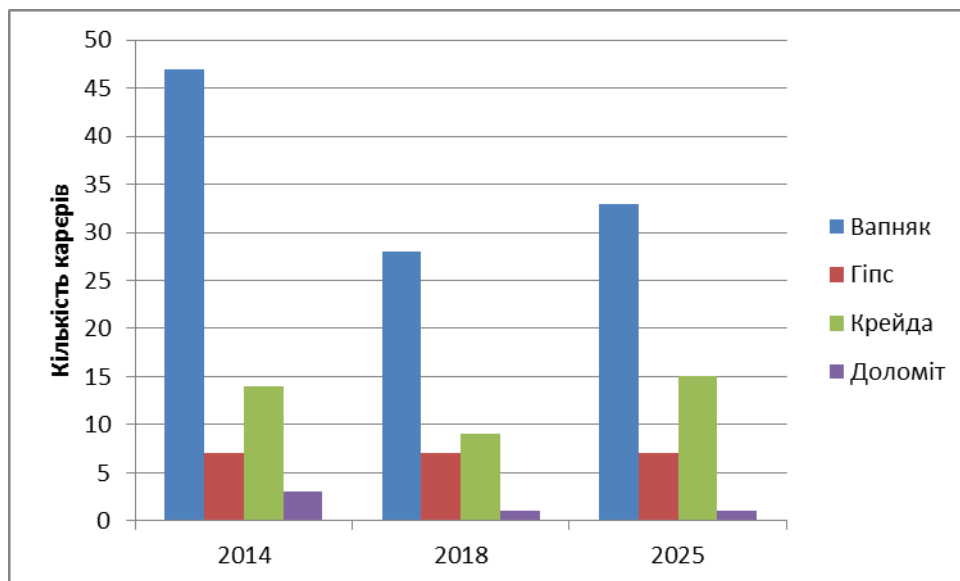


Рис. 2. Фактична і прогнозована кількість кар'єрів з видобутку нерудних корисних копалин, придатних до безвибухової підготовки

На рис. 2. представлено кількість кар'єрів, на яких здійснювався видобуток корисних копалин у 2014 р, у 2018 р. і прогнозована кількість кар'єрів, яка може бути залучена у розробку до 2025 р. Для розрахунку прогнозованої кількості кар'єрів, було залучено статистичні данні, які містять інформацію, про вже розвідані родовища, розробка яких має економічну доцільність [4].

Результати досліджень вказують, що приріст видобутку нерудної сировини може відбутися саме за рахунок збільшення кар'єрів з розробки вапняку і крейди. До того ж, саме ці корисні копалини мають найбільш сприятливі фізико-механічні властивості для розробки безвибуховим способом, як технікою циклічної, так і безперервної дії.

Відповідно до розподілення видобутку сировини на кар'єрах з розробки нерудних корисних копалин, придатних до безвибухової підготовки, визначено основні тенденції та зміни з видобутку вапняку, гіпсу, крейди, доломіту у часі (рис. 3).

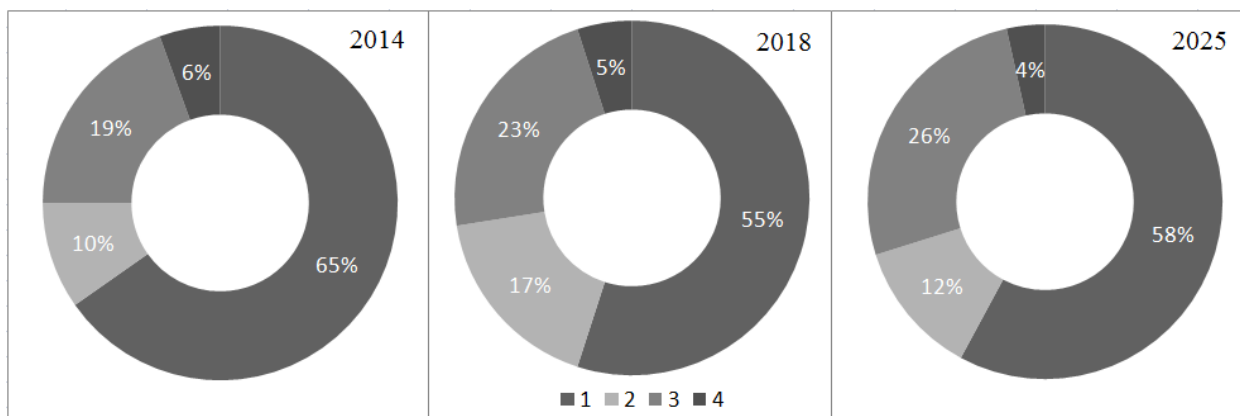


Рис. 3. Розподілення видобутку нерудних корисних копалин в Україні, придатних до безвибухового руйнування: 1 – вапняк, 2 – гіпс, 3 – крейда, 4 – доломіт

Як видно зі діаграми, представленої на рис. 3, найбільший видобуток нерудної корисної копалини буде відбуватися на кар'єрах з розробки вапняку. Прогнозований приріст може скласти 3%. Аналогічна ситуація відбувається і з видобутком крейди, проте видобуток гіпсу і доломіту в загальному обсязі знизиться, оскільки в розробку не будуть залучені нові родовища корисних копалин.

Результати виконаних досліджень показують, що найбільш доцільним є розробка технологій безвибухового руйнування міцних порід саме на кар'єрах з видобутку вапняку і крейди, оскільки вони займають домінуючі позиції на ринках сировини серед кар'єрів нерудних матеріалів.

Встановлені результати також підтвердили доцільність подальших досліджень в галузі безвибухової розробки родовищ корисних копалин, а саме під час розробки систематизації кар'єрів з видобутку нерудних корисних копалин,

яка дозволить у подальшому полегшити вибір необхідної техніки і технології для підготовки міцних гірських порід до виймання.

При розробці систематизації кар'єрів з видобутку нерудних корисних копалин розглянуто два основних критерії, що впливають на вибір техніки і технології ведення гірничих робіт з використанням безвибухового руйнування міцних гірничих порід.

У якості першого критерію запропоновано прийняти продуктивність кар'єру, оскільки вона має безпосередній вплив на вибір техніки для виконання механічного руйнування масиву. Чим більше продуктивність кар'єру, тим більш потужною має бути техніка. У цьому контексті також має розглядатися питання залучення техніки безперервної дії.

За другим критерієм прийнято потужність пласта корисної копалини. Цей показник також є важливим оскільки, він є індикатором фізико-механічних властивостей гірських порід. Також він має безпосередній вплив на вибір технології розробки родовища корисних копалин. Саме від нього залежить вибір кінцевої глибини кар'єру і вибір місця розташування відвалів.

При виконанні досліджень для систематизації кар'єрів за річною продуктивністю було запропоновано поділити кар'єри з видобутку нерудних корисних копалин на чотири групи: малої продуктивності до 300 тис. т, середньої продуктивності 300 – 600 тис. т, великої продуктивності 600 – 1000 тис. т., надвеликої продуктивності більше 1 млн т на рік. Результати систематизації існуючих на сьогодні гірничовидобувних підприємств приведено у табл. 1.

Таблиця 1

Систематизація кар'єрів нерудних матеріалів, придатних для безвибухового руйнування міцних порід, за продуктивністю

Корисна копалина	Річна продуктивність кар'єру, тис. т.			
	до 300	300 – 600	600 – 1000	от 1000
Вапняк	13	5	5	2
Гіпс	6	1	-	-
Крейда	7	1	-	1
Доломіт	-	-	-	1

Як видно з табл. 1 значна кількість кар'єрів з видобутку нерудних корисних копалин, придатних до розробки безвибуховими способами мають продуктивність менш ніж 300 тис. т на рік (62 %), у той час як кількість кар'єрів з середньою продуктивністю складає усього 17 %, від загальної кількості. Кар'єри великої продуктивності займають 12 % від сукупного показника, а надвеликі кар'єри всього 9 %.

Відповідно до результатів досліджень виконаних у роботі [6], можна зробити висновки, що для розробки значної частини родовищ для руйнування міцних порід гірського масиву може бути застосована циклічна техніка. Серед на-

веденого устаткування для забезпечення річної продуктивності на кар'єрах невеликих розмірів може бути використано бульдозер-розпушувач, механічну лопата з ківшем активної дії, гідравлічний екскаватор з гідравлічним молотом, гідравлічний екскаватор з посиленням тиском на вибій, гідравлічний екскаватор з роторної фрезою, або гідравлічний екскаватор з зубом-розпушувачем.

У той час для надвеликих кар'єрів для забезпечення річної продуктивності з підготовки міцних гірських порід до виймання можна використовувати техніку безперервної дії, таку як фрезерний комбайн, або у деяких випадках за сприятливих фізико-механічних властивостей гірських порід роторний екскаватор з посиленням тиском на ґрунт.

Слід зазначити, що значним фактором впливу на вибір технології видобутку корисної копалини є потужність і геометрія її будови у геологічному масиві. Саме від цієї складової залежить розвиток і формування гірничотранспортної системи кар'єру, розкриття нових горизонтів, напрямок переміщення фронту гірничих робіт можливість формування внутрішніх відвалів та ін.

При систематизації кар'єрів нерудних корисних копалин, які можуть розроблятися з використанням безвибухових технологій підготовки міцних гірських порід до виймання було запропоновано чотири основні групи кар'єрів за потужністю. Перша група це кар'єри малої потужності до 20 м, до другої групи кар'єрів середньої потужності запропоновано віднести кар'єри з потужністю корисної копалини 20 – 50 м, до кар'єрів зі значною потужністю корисних копалин – 50 – 100 м, до надпотужних кар'єрів з видобутку нерудних корисних копалин, міцні породи яких можуть розроблятися безвибуховим способом, пропонується віднести кар'єри з потужністю корисної копалини більше 100 м.

Систематизація кар'єрів з видобутку нерудних корисних копалин за потужністю, міцні породи яких можуть розроблятися безвибуховим способом, наведена у табл. 2.

Таблиця 2

Систематизація кар'єрів нерудних матеріалів, придатних для безвибухового руйнування міцних порід, за потужністю корисної копалини

Корисна копалина	Потужність корисної копалини			
	до 20 м	20 – 50 м	50 – 100 м	от 100 м
Вапняк	-	13	10	2
Гіпс	-	6	1	-
Крейда	1	4	4	-
Доломіт	-	-	-	1

Як видно з табл. 2, майже 55 % відсотків кар'єрів, на яких розробляються родовища нерудних матеріалів, придатних для безвибухового руйнування міцних порід, відносяться до другої групи з середньою потужністю корисної копалини. На другому місті іде група кар'єрів зі значною потужністю корисних ко-

палин 36 %. До надпотужних кар'єрів можна віднести лише 7 % зазначених родовищ, у той час як родовища нерудних матеріалів потужністю до 20 м, економічно розробляти лише на одному кар'єрі.

**Висновки.** Встановлено перспективні родовища корисних копалин до розробки із застосуванням безвибухового способу руйнування міцних порід. Результати досліджень дозволяють рекомендувати необхідне гірниче обладнання для безвибухової підготовки в залежності від виробничої потужності кар'єру. Розроблено прогноз, щодо залучення перспективних кар'єрів нерудної сировини у експлуатацію, на яких може використовуватися устаткування для безвибухової підготовки до виймання міцних гірських порід. Виконані дослідження дозволили розробити систематизацію кар'єрів нерудних корисних копалин придатних до безвибухової підготовки міцних корисних копалин до виймання, за продуктивністю. Запропоновано систематизацію кар'єрів нерудних матеріалів, придатних для безвибухового руйнування міцних порід, за потужністю корисної копалини.

#### Перелік посилань

1. Drebenstedt C. (2014) The Responsible Mining Concept—Contributions on the Interface between Science and Practical Needs. *Mine Planning and Equipment Selection*. – Springer, Cham.
2. Origliasso, C., Cardu, M., & Kecojevic, V. (2014). Surface miners: evaluation of the production rate and cutting performance based on rock properties and specific energy. *Rock mechanics and rock engineering*, 47(2).
3. Prakash, A., Singh, K. B., & Murthy, V. M. (2017). Power rating of surface miners in relation to rock mass conditions: Some field studies in Indian mines. *NexGen Technologies for Mining and Fuel Industries (Volume I and II)*, 49.
4. Симоненко В.И. (2004). Разработка энергосберегающей технологии добычи скальных нерудных полезных ископаемых Украины.: Дис. док. техн. наук: 05.15.03. – Днепропетровск.
5. Tyulenev, M. A., Zhironkin, S. A., & Garina, E. A. (2016). The method of coal losses reducing at mining by shovels. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 7(4).
6. Собко Б.Ю., Ложніков О.В., Волченко Д.С. (2018). Досягнення науки в галузі застосування технологій безвибухової розробки нерудних корисних копалин відкритим способом. *Збірник наукових праць НГУ. № 54*.

#### АННОТАЦІЯ

**Цель.** Разработать систематизацию карьеров нерудных полезных ископаемых пригодных для безвзрывной подготовки крепкой горной массы к выемке на основе анализа научно-исследовательских и практических достижений в области открытой разработки.

**Методика исследования.** Во время выполнения исследований применялся метод анализа и систематизации при выборе критерия влияния геологических параметров месторождения и технологических параметров карьера на технологию безвзрывной подготовки крепких горных пород к выемке.

**Результаты исследования** заключаются в разработанной систематизации карьеров нерудных полезных ископаемых пригодных к безвзрывной подготовке крепких горных пород по производительности карьера и мощности залегания пласта полезного ископаемого. Определены основные карьеры по добыче нерудных полезных ископаемых в Украине, пригодных для



безвзрывной разработке. Разработаны рекомендации относительно использования техники и технологии безвзрывной разработки в зависимости производственной мощности карьера.

**Научная новизна.** Выполненные исследования позволяют установить связь горно-геологических параметров месторождения полезных ископаемых и производственной мощности карьера с видом горного оборудования применяемого для безвзрывной подготовки крепких горных пород к выемке, при разработке месторождений нерудных полезных ископаемых.

**Практическое значение.** Полученные результаты исследований при обработке статистических данных параметров работы карьера и залегания пласта полезного ископаемого позволили установить производительность оборудования для безвзрывной подготовки крепких пород к выемке. Спрогнозировано количество карьеров по добыче нерудных полезных ископаемых, пригодных для безвзрывной подготовки к выемке. Установлены перспективы применения безвзрывных технологий на существующих и проектируемых карьерах. Установлены основные виды полезных ископаемых, которые могут разрабатываться с применением безвзрывных технологий при открытых горных работах.

**Ключевые слова:** *открытые горные работы, систематизация, безвзрывная подготовка, крепкие породы*

### **ABSTRACT**

**Purpose.** To develop the systematization of nonmetallic minerals quarries suitable for non-explosive preparation of hard rock mass to the excavation on the basis of analysis of scientific and research and practical achievements in the field of surface mining.

**The methods.** During the implementation of the research, a method of analysis and systematization were used to select the criterion for the effect of the deposit geological parameters and the technological parameters of the quarry on the technology for the non-blasting preparation of hard rock to the excavation.

**Findings.** The results of the study consist in the developed systematization of nonmetallic minerals quarries suitable for the non-explosive preparation of hard rock for the productivity of the quarry and the bed thickness of the mineral. The main quarries for extraction of nonmetallic minerals in Ukraine, suitable for non-explosive development, are determined. Recommendations are developed regarding the use of equipment and technology of non-blasting development in dependence on the production capacity of the quarry.

**The originality.** The carried out researches allow to establish connection between the mining and geological parameters of the mineral deposit and the production capacity of the quarry with the type of mining equipment used for the non-blasting preparation of hard rock to the excavation, while developing deposits of non-metallic minerals.

**Practical implications.** The received results of researches at processing of statistical data of parameters of quarry exploitation and occurrence of a mineral bed layer allow to establish productivity of the equipment for non-blasting preparation of hard rock to excavation. The number of quarries for extraction of nonmetallic minerals, suitable for non-blasting preparation for excavation, has been predicted. Prospects for the application of non-blasting technologies on existing and planned quarries have been established. The main types of minerals that can be developed using non-blasting technologies at the surface mining are established.

**Keywords:** *surface mining, systematization, non-blasting, hard rocks*