

С.В. Яворська, інж.

Національний технічний університет України "КПІ"

**УЗАГАЛЬНЕННЯ ДОСВІДУ ТА ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ НЕВИБУХОВИХ РУЙНУЮЧИХ ЗАСОБІВ (НРЗ) ПРИ ВИДОБУВАННІ БЛОКІВ ПРИРОДНОГО ДЕКОРАТИВНО-ОБЛИЦЮВАЛЬНОГО КАМЕНЮ***(Представлено д.т.н., проф. Бакка М.Т.)*

*Узагальнений досвід використання невибухових руйнуючих засобів (НРЗ) вітчизняного і зарубіжного виробництва в кар'єрах з видобування блоків декоративного каменю. Наведені перспективи використання НРЗ. Виконано теоретичне узагальнення напрямків підвищення ефективності роботи НРЗ в різних умовах.*

Технологія використання невибухових руйнуючих засобів базується на дії значного тиску на стінки порожнини, що виникає внаслідок твердіння та розширення відповідних сумішей з подальшим розколюванням в належному напрямку. Цей ефект з давніх-давен використовували каменевидобувники, заповнюючи водою природні отвори та тріщини в зимовий період, що призводило до відокремлення необхідного моноліту від масиву. При цьому будь-якою мірою забезпечувалось направледе розколювання каменю. В подальший час стали застосовувати ефект розширення інших відповідних речовин, провідне місце серед яких належало негашеному вапну.

В каменоломнях для руйнування гірських порід в камені робили отвори діаметром 7–8 см, в які розміщували негашене вапно, вапно в подальшому заливали водою. Внаслідок протікання відповідної хімічної реакції за короткий термін часу в замкнутому об'ємі відбувалося виділення великої кількості газів, під дією яких і здійснювалось відокремлення моноліту від масиву.

В наступні роки відбувався бурхливий розвиток науки, що увінчався широким застосуванням вибухових речовин для руйнування гірських порід. Нині суттєво зросла потреба та вимоги до якості блоків. Тому зазначені фактори спонукали фахівців до розробки нових ефективніших за вибухові речовини засобів та методів видобування блоків із природного каменю. Одним із таких засобів, що задовольняє зазначені вимоги, є нові невибухові руйнуючі засоби (НРЗ), що виготовляються на основі негашеного вапна з використанням різноманітних добавок як пластифікатора та сповільнювача реакцій при розчині вапна з водою в співвідношенні відповідно 3:1.

НРЗ на основі негашеного вапна – це порошкоподібний матеріал, що пилить, – гіроскопічний, горючий, вибухобезпечний, володіє лужними властивостями, насипною об'ємною щільністю 1,2–1,3 т/м<sup>3</sup>, водопотребою 27 %, з можливим тиском, що розвивається до 50 МПа. При змішуванні порошку з водою утворюють робочу суміш, якою заповнюють штучно пробурені порожнини, де вона твердіє в результаті реакції гідратації, збільшуючи при цьому свій об'єм. Збільшення об'єму супроводжується розвитком значного тиску на стінки шпура (до 50 МПа), при цьому в породі виникають напруги, що перевищують межу міцності на розтяг. Внаслідок цього утворюється тріщина, ширина якої не перевищує 2–5 мм, в її напрямку утворюється площина оголення.

Вперше невибухові руйнуючі засоби під назвою "Bristar" були створені, досліджені та пройшли випробування в Японії, потім в США, а також країнах Європи. Серед композицій НРЗ, що розроблялися в колишньому СРСР виділяють три основні композиції. Їх основа – негашене вапно СаО, що в процесі гідратації переходить в гашене вапно Са(ОН)<sub>2</sub>. Реакція протікає протягом 8–24 год., результат дії якої суттєво залежить від температури та умов оточуючого середовища.

Майже 93 % складу НРЗ-1 – це вишпалене в спеціальних печах грубодисперсне вапно, решта складових представлена добавками: борна кислота, кальцинована сода, сульфатно-дріжджова бражка (СДБ). При змішуванні порошку з водою в пропорції 3:1 відповідно утворюється настоподібна маса, що збільшується вдвічі, утворюючи максимальний тиск в оточуючому порожнину середовищі 50 МПа. НРЗ-1 характеризується стабільністю

властивостей, тривалим терміном придатності. До педоліків слід віднести технологічну складність випалювання вапна, для виконання якого необхідним є будівництво спеціальних величезних печей та відповідні значні капітальні вкладення.

Інший склад НРЗ був розроблений у Львівському політехнічному інституті проф. Шининою Л.П. та інж. Якименко Я.Б. Його основний компонент – грубоздрібнене промислове вапно, що відповідає вимогам діючих стандартів. Для сповільнення гасіння вапна використовуються спеціальні добавки в таких кількостях: борна кислота – 1,0–1,25 %, кальцирована сода – 0,75–1 % та пластифікатор СДБ в кількості 0,3–0,4 % або сахароза – 0,05–0,1 %. Взаємодія цих компонентів з водою утворює комплексні сполуки, що сповільнюють швидкість гідратації оксиду кальцію, змінюють термін зхвачення та загустіння, пластифікують суспензію. Внаслідок цих процесів з початку простежується значне підвищення міцності утвореного вапнякового каменю, а потім – розширення, що призводить до виникнення напруги до 40 МПа. Приготування суміші відбувається механічним переміщуванням компонентів без випадіння. Головний недолік розглянутого НРЗ – нестабільність в результаті гасіння вапна при взаємодії з повітрям.

Невибухова руйнуюча суміш “Бризант”, яка була розроблена в НТТУ (КН) Пашенко А.А. та Евсютіним Ю.Р. за своїми властивостями аналогічна зазначеним вище, вона теж розвиває тиск до 50 МПа. Її основні компоненти: негашене вапно 98,3 %, борна кислота – 1 %, сода – 0,5 %, СДБ – 0,2 %. Вона відрізняється більш складною технологією виготовлення, що полягає в спеціальному виналюванні карбонатних порід із подальшим її подрібненням разом з деякими домішками. Така технологія забезпечує кращу якість суміші, стабільність її роботи, менше злишання, відносно тривалий термін придатності.

Існують інші НРЗ, які розвивають значно менший тиск, ніж розглянуті композиції. Так, наприклад, у ВНДІ-цементу з метою можливого регулювання процесом розширення та підвищення експлуатаційних властивостей розроблені речовини у вигляді сумішей на основі вапняку з введенням в них гіпсу (не менше 7 %) та алюмовміщуючих матеріалів. Домішка гіпсу забезпечує розширюючу напругу руйнуючої речовини лише до 32–35 МПа. Дослідами встановлено, що позитивний ефект створюється в результаті введення в суміш портландцементного клінкера (25 %), а також пластифікуючих домішок – СДБ, С-3 та сахарози (0,25–1 %), що сприяють підвищенню розширюючої напруги.

Для ефективного застосування невибухових руйнуючих засобів необхідно знати хімічні процеси, що відбуваються при твердінні та розширенні суміші. Оскільки її основна складова за масою – негашене вапно, то в результаті замішування речовини водою температура тіста може сягнути до 400 °С за кілька хвилин. При цьому розчинність  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з підвищенням температури зменшується. Виділення значної кількості тепла гідратації за деякий проміжок часу викликає перетворення тепла в пару, що, мігруючи через тісто, призводить до утворення рихлої маломіцної структури вапнякового каменю. Крім того, пара, що накопичується в порожнинах та пустотах, може досягнути тиску, достатнього для викиду суміші зі шпура. Для отримання каменя високої міцності та запобігання викидів зі шпурів необхідно ліквідувати деструктивне явище утворення пари за рахунок зменшення хімічної активності вапна. З цією метою в ґрати  $\text{CaO}$  вводять сильноіонізуючі іони  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  та ін. Зменшити хімічну активність оксиду кальцію можливо також за рахунок відведення теплоти гідратації. При цьому максимальна температура тіста знижується до 30–40 °С, час підйому – на кілька годин, а міцність вапнякового каменю зростає.

Ефективним сповільнювачем швидкості гасіння вапна є введення комплексної домішки у вигляді борної кислоти, сульфатно-дріжджової бражки (СДБ) та карбонатів лужних металів у кількості до 2,5 %. При цьому максимальна температура тіста складає 51 °С через 2 години. У присутності домішок зростає розчинність  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Усе це змінює склад рідкої фази, а отже – умови кристалізації  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Однак, введення комплексних домішок у склад невибухових руйнуючих засобів, що виконують роль пластифікаторів та сповільнювачів, відбувається на тиску, який розвиває суміш. При цьому тиск падає, про що свідчать дані наших досліджень, наведені в табл. 1 і 2.

Аналіз проведених досліджень свідчить, що з підвищенням кількості пластифікаторів та сповільнювачів реакції гасіння вапна максимальний тиск її зменшується, при цьому також спостерігається зменшення швидкості його зростання. Тому слід дотримуватись тієї мінімальної їх кількості, при якій суміш зберігає плинність, а величина та швидкість наростання тиску, що

розвивається сумішно, задовольняють зазначені вимоги. На його величину суттєво впливає і температура твердіння. В табл. 3 наведені результати досліджень впливу температури твердіння на міцність вапнякового каменю. При її зменшенні міцність вапнякового каменю теж зменшується, а при температурі  $-5^{\circ}\text{C}$  та нижче – стає меншою, ніж міцність матеріалу, що розколюється, тобто за таких умов не розвивається тиск, необхідний для руйнування.

Таблиця 1  
Склад НРЗ Львівського політехнічного інституту та його вплив на тиск розширення

№	Склад, %				Тиск, МПа		
	Негашене вапно	Борна кислота	Сода	СДБ	Через 2 год.	Через 24 год.	Через 48 год.
1	98,7	0,8	0,3	0,2	12,6	37,5	44,8
2	97,05	1,6	0,9	0,45	11,7	30,4	47,1
3	94,5	3	1,5	1	9,8	29,2	43,9

Таблиця 2  
Склад НРЗ Національного технічного університету України "КПІ"

Склад, %				Тиск, Мпа		
Негашене вапно	Борна кислота	Сода	СДБ	Через 48 год.	Через 144 год.	Через 216 год.
98,3	1,00	0,50	0,2	30	39	43

Таблиця 3  
Вплив температури твердіння на складу НРЗ на межу міцності вапнякового каменю

№	Температура твердіння	Види та кількість домішок, (%)			Межа міцності на тиск, МПа	
		Сода	СДБ	Борна кислота	Час, доба	
					1	28
1	20				зруйнувались	
2	5				25,4	26,3
3	0				15,9	26,5
4	-5				5,2	24,3
5	20	0,3	0,2	1	27,5	30,8
6	20	0,5	0,5	1,25	25,3	33,4
7	20	0,8	0,4	1,35	22,1	31,8

В США в основу розробки НРЗ покладений принцип розширення деяких речовин, зокрема цементів, при взаємодії їх з водою. Дані речовини при їх розміщенні в шпурі під дією води розширюються та обумовлюють розтріскування породних структур. Для підвищення ефективності руйнування ці речовини розміщують у гідрофобні оболонки (патрони). Патрони виготовляють з паперу або тонкої пластикової плівки (20 мкм), що пропускає воду через спеціальні отвори. В патрони закладають сухі розширюючі цементи. Масив обурюють за наміченим контуром з подальшою забійкою патранованим цементом. Під дією води цемент розширюється і виникаючий при цьому тиск розриває структуру. Для запобігання передчасному розриванню крихких оболонок при заряджанні шпурів виконується захисна сітка (металічна або пластикова). Розширюючий цемент має такий склад за масою:  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  – 70 %,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  – 25 %,  $\text{CaSO}_4$  та  $\text{K}_2\text{SiF}_6$  – 5 %. Загальна маса патрона – 300 г, патрони мають діаметр 35 мм та довжину 200 мм. Товщина паперової оболонки 0,02 мм. Після розміщення патронів у шпурах діаметром 36 мм у кам'яному моноліті вони заливаються водою (кількість вибирають з розрахунку водоцементного співвідношення 0,27). Газовиділення починається через 7 хвилин. Через 40 годин спостерігається розвиток тріщини, через 5 діб – остаточне руйнування. Питання використання патранованих невибухових речовин розглядалося на сучасному етапі й вітчизняними вченими. Патрони можна виконувати будь-яких розмірів, і не обов'язково з паперовою оболонкою. Як оболонки можна використовувати, наприклад, нетканний текстильний матеріал з капронового волокна 0,25–0,4 текс довжиною 38–65 мм з



діаметром пор 36,98–43,9 мкм. Даний матеріал може також додатково вміщувати до 70 % від загальної маси лавсанового волокна 0,33 текс, довжиною 38–65 мм з оболонкою, виконаною з гідрофобного гідроізолюючого матеріалу міцністю, достатньою для його руйнування після розширення НРЗ. Такі оболонки теж спроможні мати отвори для доступу води до гідративно-активної речовини, яка закладається в сухому поровкоподібному стані. Такі патрони НРЗ можуть розміщуватись в пробурені шпури діаметром 36 мм та заливатись водою з розрахунок її кількості до кількості НРЗ 0,27:1. Реакція гідратації розпочинається через 5–10 хвилин, розвиток тріщин спостерігається через 1,5–2 діб, остаточне руйнування масиву – через 4–5 діб.

Крім НРЗ на основі цементу в ряді країн, зокрема в США, розробляються в'язкі компоненти розширюючих речовин, що виготовляються також спеціальним випалом вапна в атмосфері водяної пари та оксиду вуглецю. Наприклад, у Канаді розширюючі суміші отримують на основі портландцементу, гідрату вапна, гідроксидохлориду алюмінію, в Японії – випалом суміші гіпсу, бокситу та вапняку. Невибухові руйнуючі суміші Японії відомі під комерційними назвами “Bristar”, “S-Mite”. Для їх виготовлення змішують 2–10 частин порошку Ti або Fe та 100 частин вапнякового матеріалу (промийтий шлам вапняку або доломіту). Суміш випалюють при температурі 1300–1700 °С до спікання вапнякового клінкера, а потім – подрібнюють. Застосовують такий порошок для крихкого руйнування твердих гірських порід, затверділого цементу, бетону та інших матеріалів за рахунок великого тиску, що виникає в матеріалі у процесі гасіння вапна і, як наслідок, – швидкого та значного збільшення початкового об'єму, що призводить до тріщиноутворення в твердій породі. Поряд з вищезазначеними НРЗ в Японії все більш широке застосування знаходять нові засоби виду марки “Супурит” – CRS на основі негашеного вапна, витрати яких в залежності від міцності породи складають 6–31 кг/м<sup>3</sup>, а час руйнування коливається від 8 до 16 год. В Іспанії, Чехії та інших країнах руйнування порід ведеться із застосуванням розширюючих цементів. В Чехії випускають речовину “цеваміт”, якою заповнюють шпури у вигляді водноцементного розчину в співвідношенні В:Ц = 0,3, гідратація в'язких компонентів якого регулюється за допомогою хімічних сповільнювачів. Таким чином, спосіб розколювання з використанням НРЗ передбачає застосування різноманітних реактивів, що поміщують в попередньо пробурені шпури у вигляді комбінації речовин, хімічна реакція яких призводить до механічних напруг у вміщуючому середовищі без горіння та детонації. Як видно з табл. 4, суміші складаються в основному з однотипних компонентів, але відрізняються домішками та їх відсотковим співвідношенням. Більшість НРЗ здатні розвивати тиск від 10 до 50 МПа, час досягання зазначеного тиску 2–8 діб. Тому характер тріщинуватості порід не залежить суттєво від складу суміші, а методи, що підвищують ефективність руйнування порід НРЗ, не залежать від типу НРЗ.

В результаті аналізу рецептур (табл. 4), експлуатаційних та техніко-економічних характеристик невивбухових руйнуючих композицій, розроблених у Японії, США, Великобританії, Чехії, Франції, Росії, Україні та інших країнах СНД, слід зазначити, що в даний період з урахуванням економічних, технологічних і екологічних аспектів найбільш виправданим є застосування промислово освоєного НРЗ-1, розробленого ВНДІстром (Росія), а також – його модифікацій НРК, розроблених ІГТМ АН України.

Застосування НРЗ-1 обмежується температурою, діапазон якої складає 3–25 °С. Час руйнування при цьому може складати від кількох годин до кількох діб. Для скорочення терміну руйнування, а також з метою управління швидкістю протікання фізико-хімічних процесів гідратації за рахунок зміни співвідношення домішок, що входять в рідинну фазу, та використання речовин в широкому діапазоні температур, включаючи досить низькі, доцільно застосувати композиції НРК ІГТМ АН України. До його складу, поряд з елементами, що вміщує НРЗ-1 в рідинній фазі, входять галогени лужноземельного металу (CaCl<sub>2</sub>), кількість яких у вихідній суміші вибирають в залежності від необхідної швидкості зростання тиску та температури оточуючого середовища. Крім цього до розчину, за допомогою якого готують даний склад, включають такі домішки: 0,01–0,05 % трибутилфосфату та 0,07–0,23 % натрієвої солі карбоксилметилцелюлози. Враховуючи певний вплив на ефективність дії сумішей багатьох факторів, в першу чергу, – температури розчину та властивостей руйнуючого середовища, його теплопровідність, вологопоглинання, а також наявність у складі елементів, що прискорюють чи сповільнюють процес утворення нової фази та якість приготування композицій, яка, головним чином, визначається якістю випалювання та помелу, були проведені експериментальні дослідження з метою якісної оцінки руйнуючої дії, часових, силових та експлуатаційних

параметрів композицій. Експерименти проводились на зразках гірських порід з граніту та пісковика.

Таблиця 4

Склад невибухових руйнуючих засобів та максимальний тиск, що розвивається відповідними сумішами

Склад, % за масою	Росія	США	Японія	Великобританія
Негашене вапно	94,5÷98,7	30÷90	40÷94	80÷99
Сповільнювач гасіння	–	0,5÷15	1,08	1,0÷20
– борна кислота	1,0÷1,25	–	–	–
– сода	0,75÷1,0	–	–	–
Пластифікатор	–	0,1÷5	0,5÷7	–
– СДБ	0,3÷0,4	–	–	–
– сахароза	0,05÷0,1	–	–	–
Швидкотвердіючий матеріал	–	10÷79	3÷45	–
– хлорид натрію або хлорид кальцію	1÷4	–	–	–
Вода	27÷30	30	30	30
Тиск, що розвивається, Мпа	30÷50	20÷50	10÷50	35

Згідно з отриманими результатами час руйнування з використанням НРЗ-1 значно триваліший, ніж при використанні композиції ІГТМ АН України, та змінюється в більш широкому діапазоні. До переваг належить також значно більший максимальний тиск, що розвивається в зарядних порожнинах. За даними досліджень він на 30–40 % перевищує можливий тиск НРЗ-1. При цьому не простежується залежності граничних значень тиску НРК від розмірів та об'єму порожнини. Процеси, що визивають розширення ПРК у свердловині та підвищення тиску відбуваються протягом 3–100 годин, головний фактор, що впливає на розвиток тиску, – це компоненти НРК, зміна ж температури оточуючого середовища – від 15 до 30 °С – на цей фактор майже не впливає.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Банно Р. и др. Эффект измельчения горных пород при использовании химических соединений, разрушающих породы вследствие расширения, при наличии добавок, вызывающих разогрев разрушающего вещества // "Когне Каяку-кекайси". – 1984. – № 15. – С. 290–295.
2. Пат. 1730448 СССР, МКИ Е 21 С 37/00. Способ приготовления невзрывчатой разрушающей смеси / В.Г. Ровенський, В.Б. Амбалов: – №4805405/03. Заявл. 16.02.90. Опубл. 30.04.92. – Бюл. № 16. – 4 с.
3. Пат. 2039252 Российской Федерации МКИ Е 21 С 37/00. Способ разрушения твердых тел и устройство для осуществления / М.М. Николаев, А.В. Агеев, С.Г. Агеев, А.А. Корнеев: – №5047842/03. Заявл. 15.06.92. Опубл. 09.07.95. – Бюл. № 19. – 9 с.
4. Aplicaciones practicas de los cementos expransivos en tagueos, excavaciones demoliciones Rios Vazquez Jaime, Fernandes Juan Bautista // Rocas y miner. – 1983. – № 143. – S. 20–21, 24–26.
5. Христюлюбов В.Д. Разработка ресурсосберегающего способа добычи минерального сырья невзрывчатыми разрушающими средствами: Автореф. Дис. кан. техн. наук: 05.15.11. – Московский горный институт. – М., 1988. – 21 с.

ЯВОРСЬКА Світлана Вікторівна – інженер кафедри інженерної екології Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- гірничі технології на кар'єрах;
- екологія гірничого виробництва.

Подано 8.01.03