

В.Г. Левицький, аспір.  
Житомирський державний технологічний університет

## ЕФЕКТИВНІСТЬ І ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОСТРУМІННИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВИДОБУВАННЯ ГРАНІТНИХ БЛОКІВ

(Представлено д.т.н., проф. Бакка М.Т.)

*Розглянуто технологію видобування природного облицювального каменю гідроструминними установками, виконано порівняльний аналіз існуючих способів відокремлення блоків від масиву з гідроструминною технологією, визначені її переваги і недоліки порівняно з іншими способами видобування каменю, а також сформульовані основні напрямки розвитку даної технології.*

**Вступ.** Технологія видобування гранітних блоків зводиться до їх відокремлення від масиву різними механічними, або фізико-технічними способами та транспортування на каменеобробне підприємство для подальшої обробки. Досить активно запроваджується на гранітних кар'єрах алмазно-канатне випилювання каменю як один із найбільш продуктивних і економічно вигідних механічних способів. Разом з цим існують альтернативні способи відокремлення блоків, а саме фізико-технічні, які на сьогодні дуже рідко застосовуються при видобуванні блоків. До них належать електротермічний, термогазоструминний та гідроструминний способи. Всі вони побудовані на дії потоку енергії (струму, розжарених газів, води високого тиску) на гірську породу, за рахунок чого вона руйнується.

**Постановка проблеми.** Головними завданнями каменевидавничої галузі будь-якої країни є зниження собівартості одиниці продукції, підвищення її якості й конкурентоспроможності, зниження втрати каменю на кар'єрах при видобуванні. Для виконання всіх цих завдань безумовно потрібно розробляти нові технології видобування каменю і запроваджувати сучасне обладнання. Незважаючи на те, що на сучасному етапі розвитку техніки і технології розробки родовищ блочного каменю з'явилося нове високопродуктивне устаткування, видобування блоків із високоміцних порід майже на всіх кар'єрах здійснюється із застосуванням вибухових способів, які в більшості випадків не є високоефективними і призводять до різкого зниження виходу блоків та їх якості.

**Метою статті** є виконання порівняльного аналізу технології гідроструминного різання каменю з іншими технологіями відокремлення блоків від масиву, визначення доцільності й ефективності використання цієї технології при видобуванні гранітних блоків, визначення основних переваг і недоліків даного способу в умовах сучасного стану каменевидавничої галузі, а також прогнозування основних напрямків розвитку різання каменю водою високого тиску.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Серед вітчизняних вчених вивченням технології видобування природного каменю за допомогою струменя води високого тиску займалися Бакка М.Т., Карасьов Ю.Г. [1] та Синельников О.Б. [2]. Причиною невеликих об'ємів вивчення цього питання є перш за все відсутність гідроструминних установок на вітчизняному ринку каменевидавничого обладнання, що ускладнює дослідження. Однак з появою машин даного типу виникла необхідність проаналізувати ефективність і перспективність їх використання.

**Викладення основного матеріалу.** Останнім часом у світовій практиці каменевидавничої галузі все ширше використовується гідроструминна технологія різання каменю. Промислове випробування і подальше вдосконалення проходять установки для різання каменю за допомогою струменя води високого тиску на гранітних кар'єрах в США, Італії та в інших країнах. Незважаючи на те, що промислові зразки таких установок лише починають використовувати, вони показали досить високу продуктивність і технологічність роботи.

На сьогодні відомі три основні виробники гідроструминних установок: "Pellegrini" (Італія) випускає установки марки "PelJet", "WaterJet s.r.l." (Італія) – "QuarryJet", "NED corp." (США) – "Ned-Jet 2000". Технічна характеристика установок наведена в табл.1.

Всі установки даного типу оснащені дизельним, або електродвигуном потужністю близько 75 кВт, який приєднаний до гідравлічного насоса, що піднімає тиск води до 220–400 МПа. Вода під тиском надходить через гнучкий шланг до водоструминної стріли, проходить через неї і вилітає з насадки зі швидкістю 600–900 м/с. Далі струмінь води входить в контакт з породою, швидко розмиває отвір та створює напруження розтягу і сколювання породи. Дослідженнями встановлено, що при збільшенні відношення тиску струменя до міцності породи на стиск енергія, необхідна для руйнування даного об'єму, зменшується. Незважаючи на те, що робочий тиск струменя можна підняти до дуже високих значень, необхідності в цьому немає, оскільки кожній породі відповідає свій найбільш ефективний руйнуючий тиск водяного струменя.

Таблиця 1

Марка установки	“Ned-Jet 2000“	“QuarryJet”	“PelJet”
Витрата води, л/хв.	23-27	7,2	18-22
Тиск подачі води, МПа	276	-	220
Потужність дизельного двигуна, кВт	150	110	118
Ширина різку, мм	44-76	60	44-64
Глибина різку, м	4,6	4	3,6
Довжина різку без переміщення установки, м	6,1	7	9
Габарити, м	2,5×2,5×1,85	2,5×2,0×2,2	–
Маса, кг	3175	4000	–

Водоструминна стріла переміщується вертикально чи горизонтально та рухається в процесі різання по човниковій траєкторії з поступовим проникненням в масив породи (рис. 1). Внаслідок дії високонапорного струменя води стріла може коливатись з невеликою амплітудою, що призводить до розширення пропилю. Для ліквідації цього процесу застосовують спеціальний стабілізуючий пристрій, що дозволяє скоротити ширину щілини з 7 до 5 см. Для безпечного безперервного і автоматичного процесу різання установка комплектується комп'ютером і панеллю управління, за допомогою якої задаються всі параметри.

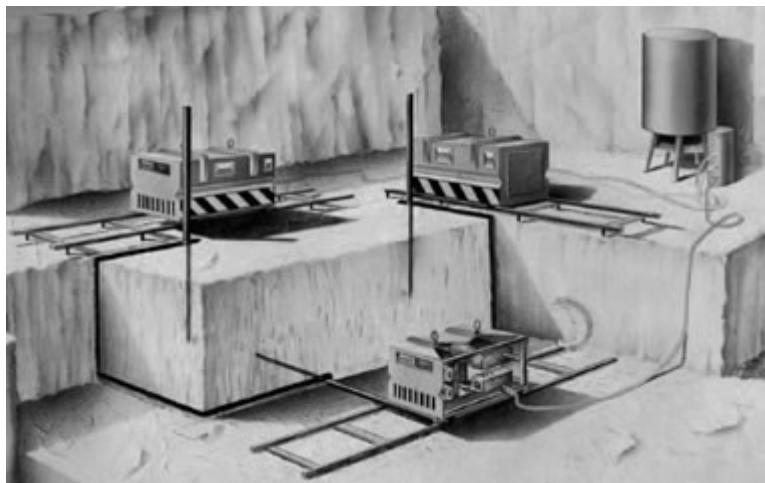


Рис. 1. Схема виконання пропилів гідроструминними установками

Як робоча суміш може використовуватися або чиста вода, або вода з домішкою абразиву. У разі використання суміші води з абразивом процес стає дорожчим, оскільки збільшується зношування насадки та витрачається сам абразив, але разом з цим підвищується продуктивність різання. Доведено, що струмінь води високого тиску, який проходить через сопло малого діаметра, набуває властивості, які значно відрізняються від властивостей звичайної води. Такий струмінь має схильність до завихрення, що призводить до погіршення його різальної здатності. Для уникнення цього негативного явища в струмінь робочого потоку води доцільно додавати нерозчинну у воді домішку (абразив), яка посилює дію різання. Крім того, в робочий струмінь можуть вводиться повністю, чи частково розчинні у воді домішки, які протидіють завихренню і тимчасовому розбухання струменя.

Установки американського виробництва «Ned-Jet 2000» при відокремленні гранітних блоків на одному з італійських кар'єрів («Sardinian granite») показали продуктивність близько 1,85 м<sup>2</sup>/год., виробничі витрати при цьому склали 29 \$/м<sup>2</sup> без врахування робочої сили [4]. На інших кар'єрах в США така установка працювала з продуктивністю в межах 1,30–1,75 м<sup>2</sup>/год. залежно від розмірів зерен вміщуваних мінералів, – крупнозернисті граніти різються більш ефективно, ніж дрібнозернисті. Американська корпорація «NED согр.», провівши промислові дослідження даних установок на декількох гранітних кар'єрах, стверджує, що загальні витрати (амортизаційні відрахування, робоча сила, виробничі витрати) складають не більше 70 \$/м<sup>2</sup> [3].

Продуктивність установок «QuarryJet 100» італійської компанії «WaterJet s.r.l.» складає 1–1,2 м<sup>2</sup>/год. для граніту із вмістом кварцу 30 % і більше. При вмісті кварцу 1–2 % продуктивність зростає в 1,5–2

рази. Отже ефективність різання залежить не лише від зернистості граніту, але й від вмісту в ньому кварцу.

Порівняємо технологію гідроструминного різання каменю з іншими технологіями відокремлення блоків від масиву. Використання того чи іншого способу відокремлення блоків залежить від фізико-механічних властивостей природного каменю, гірничо-геологічних умов залягання покладу та хімічного складу. Врахувавши це, порівняльний аналіз необхідно виконувати окремо для кожного покладу природного облицювального каменю. В даній роботі порівняння виконано для високоміцних гранітів з межею міцності на стиск більше 180 Мпа, типу Янцівського, Токівського родовищ України.

Порівнюючи продуктивність і витрати цієї технології з технологією алмазно-канатного випилювання, потрібно відзначити, що остання досить рідко застосовується при видобуванні високоміцних гранітів. Це зумовлено насамперед високим зношуванням канату і відповідно дороговизною видобутого каменю. Так, продуктивність для 5 категорії граніту за пилімістю лежить в межах 1,5–2 м<sup>2</sup>/год., при цьому ресурс канату 3–4 м<sup>2</sup>/м, потужність алмазно-канатної установки 38 кВт, ширина пропилю 11–14 мм, а виробничі витрати складають 30–40 \$/м<sup>2</sup>. [2] Також до цього значення витрат потрібно додати витрати на попереднє буріння свердловин для заведення канату.

У випадку використання механізованої установки термічного різання УГР-4, оснащеної одним бензоповітряним терморізаком типу ТРМ-4, експлуатаційна продуктивність нарізання щілини на міцних кварцевміслючих гранітах складає 0,7–0,9 м<sup>2</sup>/год., витрата пального (бензину) 30 л/год. і повітря 500 м<sup>3</sup>/год., ширина щілини 100 мм. Виробничі витрати при цьому близько 67–85 \$/м<sup>2</sup>. Поблизу роботи терморізака рівень пилу і шуму перевищує допустимі норми, тому в багатьох країнах (Італія, Фінляндія) їх використання заборонено, але в Україні, Росії, Казахстані їх все ж продовжують використовувати, незважаючи на велику вартість процесу і великі втрати каменю. Також слід зазначити, що проходка щілин термогазоструминним способом можлива лише при наявності в породі кристалів кварцу.

Відколювання блоків за допомогою електротермічного обладнання мало поширене на блочних кар'єрах через велику витрату електроенергії. Так, наприклад, установка «Електра» конструкції ІГД ім. А.А. Скочинського здатна розколювати блок площею 0,8 м<sup>2</sup> за 3 хв. при енергоємності процесу 3,6 кВт/м<sup>2</sup>. Для розколювання блока необхідно попередньо пробурити шпури малого діаметра, в які встановити електроди і підвести до них напругу 15 кВ частотою 5,3 кГц. [1] При цьому способі відбувається нагрів тих мінералів, які можуть поглинати електромагнітну енергію. Так, як і термогазоструминний, даний спосіб відокремлення блоків характеризується можливістю використання від властивостей оброблюваних порід та високими затратами.

І остання, найбільш розповсюджена, технологія підготовки блоків до виймання – це стрічкове буріння шпурів з наступною закладкою вибухових речовин, НРЗ або гідроклинів. Вона має багато позитивних і негативних аспектів, різних технологічних обмежень залежно від умов видобування та властивостей природного каменю, тому її складно проаналізувати і порівняти з вищеперерахованими способами. Єдиним недоліком цієї технології є необхідність буріння шпурів у високоміцних породах, що не завжди економічно вигідно і доцільно.

Враховуючи відношення продуктивності, втрат каменю та економічності процесу видобування вищенаведеними способами, видно, що найбільшу конкуренцію технології гідроструминного різання каменю складає алмазно-канатне випилювання блоків.

Отже застосування способу руйнування каменю струменем води високого тиску при видобуванні блоків має наступні переваги в порівнянні з існуючими традиційними методами руйнування гірських порід:

1. Технологічність процесу:

- відсутність високої температури нагріву в зоні пропилю, що виключає термічні порушення і негативні явища в приповерхневій зоні каменю, які можуть вплинути на його декоративні властивості та подальшу обробку;
- виключення утворення макро- і мікротріщин, що підвищує вихід блоків;
- дія струменя води не залежить від характеристики породи на відміну від термічних, електричних та хімічних методів руйнування каменю, тобто можливість різання будь-якого природного каменю незалежно від його фізико-механічних властивостей;
- забезпечення високої швидкості руйнування за рахунок прикладення дуже великої енергії на одиницю площі оброблюваної поверхні.

2. Екологічність процесу:

- зменшення рівня пилу та виключення впливу шкідливих викидів на здоров'я працівників;
- шум залежно від глибини різання складає 90–107 дБ, тоді як при термогазоструминній проходці щілини – 114–127 дБ.

3. Автоматизація процесу:

- для обслуговування гідроструминної установки необхідна одна людина, яка за допомогою вбудованого програмного контролера виставляє технологічні параметри різання і запускає установку, після чого процес повністю керується програмою.
- у випадку порушення режиму експлуатації (відключення подачі води чи енергії) зупинка здійснюється автоматично.
- у випадку різання матеріалу, який має різну щільність і твердість, установка автоматично адаптується до нових умов роботи – змінюється подача води, потужність двигуна та інші параметри.

#### 4. Безпечність процесу:

- відсутність вибухонебезпечних речовин, на відміну від термічного обладнання;
- відсутність конструктивних елементів, які могли б розриватись, або вибухати і наносити ушкодження працівникам;
- в процесі роботи установки оператор може знаходитись на значній відстані від неї.

До недоліків слід віднести:

- 1) велику ширину пропилу, в порівнянні з алмазно-канатним випилюванням;
- 2) низький ресурс водоструминних насадок, термін служби яких складає в середньому 24 години при вартості 150 євро;
- 3) підвищені вимоги до хімічного складу та якості води (жорсткість води 20 од., РН середовище 6,5–8,5, загальна кількість домішок 60 мг/л), необхідність її фільтрації та очищення;
- 4) висока вартість обладнання, що відображається на собівартості видобутої продукції.

Щоб подолати недоліки розроблених гідроструминних установок та підвищити продуктивність видобування високоміцного природного облицювального каменю, а також знизити при цьому собівартість блочної продукції, необхідно розробляти наступні перспективні напрямки розвитку даної технології:

- вивчення впливу властивостей природного каменю на продуктивність і ефективність різання струменем води високого тиску;
- вивчення впливу різних абразивних і активно-рідинних середовищ на технологічні параметри самого струменя води з метою прискорення процесу різання;
- підвищення ресурсу насадок за рахунок використання високоміцних новітніх матеріалів та спеціальних методів пониження тертя між робочою сумішшю і внутрішньою поверхнею насадки;
- використання струменя води високого тиску для буріння шпурів (свердловин);
- удосконалення конструкції установок з метою зменшення діаметра струменя і, разом з цим, зменшення товщини пропилу, а також створення установок з двома і більше робочими органами.

**Висновки.** Серед фізико-технічних способів технологія гідроструминного різання граніту за всіма технологічними показниками є найбільш продуктивною та універсальною і в найближчі роки може повністю витіснити термогазоструминне та електротермічне обладнання. Натомість серед механічних способів відокремлення гранітних блоків конкуренцію гідроструминним складають алмазно-канатні установки. Останні завдяки конструктивній простоті, легкості обслуговування, низькій вартості та мінімальним втратам каменю стають все більш поширеними на гранітних кар'єрах.

Гідроструминне обладнання доцільно застосовувати при різанні крупнозернистого граніту високої міцності із малим вмістом кварцу. В той час, коли на мармурах та маломіцних породах установка поступається більш ефективним механічним способам випилювання. В найближчі роки завдяки своїм перевагам передбачається значне збільшення обсягів видобування каменю за допомогою гідроструминної технології.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Карасев Ю.Г., Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового камня. – С.-Пб.: Санкт-Петербургский горный институт, 1997. – 428 с.
2. Синельников О.Б. Добыча природного облицовочного камня. – М.: Издательство РАСХН, 2005. – 245 с.
3. Wyatt P.F., Peterson M.C. The NED-Jet 2000 slot cutting system takes the power of waterjet cutting into a new dimension // Dimensional Stone. – 1995. – February. – P. 38.
4. Wyatt P.F., Peterson M.C. Waterjet system provides alternative for quarries // Stone World. – 1993. – July. – 120 p.
5. Summers D.A., Yao J., Blaine J.G., Fossey R.D., Tyler L.J. Low pressure abrasive waterjet use for precision drilling and cutting of rock // 11th international conference on waterjet cutting technology, St. Andrews, Scotland. – 1992. – September 8–10. – P. 233–251.
6. Технічна характеристика установки “QuarryJet” // Спосіб доступу: [www.waterjetcorp.it](http://www.waterjetcorp.it).

ЛЕВИЦЬКИЙ Володимир Григорович – аспірант кафедри геотехнологій та промислової екології Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гірництво;
- маркшейдерська справа;
- фізичні процеси видобування і обробки природного каменю.

Подано 20.01.2007