

УДК 622.235.63:622.35:662.251.23

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДОБЫЧИ БЛОЧНОГО КАМНЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ ДАВЛЕНИЯ ШПУРОВЫХ (ГДШ)**

*Березуев Ю.А., генеральный директор, Головин Е.В., ведущий специалист,  
Кундышев М.В., главный технолог*

*Научно-производственный коллектив "Контех"*

*Россия, 188531, п. Большая Ижора, Ломоносовского р-на, Ленинградской обл.,  
ул. Астанина 5.*

*E-mail: [kontech@MK8104.spb.edu](mailto:kontech@MK8104.spb.edu)*

Описується розробка нового недетонаційного засобу добутку блокового каменю – газогенератора тиску шпурового (ГДШ). Показана його висока ефективність, безпека при веденні гірничо-видобувних робіт.

**Ключові слова:** блоковий камінь, вибухові роботи.

Mining of new not detonation means of a sparing mining of a unitized stone - the blasthole gasgenerator of pressure (BGP) is presented. Its great efficiency, productivity and safety is proved at conducting mountain-winning operations.

**Key words:** detonation means, unitized stone.

**Введение.** Увеличение объема строительных работ в России в последние годы привело к повышению спроса на природный облицовочный камень, а в условиях ограниченного количества разработанных месторождений камня высокой декоративности – к потребности в "щадящих", ресурсосберегающих технологиях. В связи с этим ООО "НПК "Контех" последние годы проводились поисковые работы по внедрению новых, пиротехнических, недетонационных средств добычи блочного камня. Результатом этих работ является создание конструкций и составов газогенераторов давления шпуровых (ГДШ ТУ 7275-002-46242932-2002), которые сегодня успешно применяются в России и за рубежом.

**Анализ предыдущих исследований.** Изначально применявшиеся средства добычи блочного камня на карьерах были механическими. Сохранившиеся до наших времен или модифицированные (буроклиновой метод, алмазно-канатное и баровое пиление, терморезка, разные виды НРС) обладают неоспоримыми преимуществами – сохранность камня при добыче и сравнительная безопасность. Но низкая производительность, ограничение по прочностным свойствам пород и климатическим условиям применения, трудность работы по трещиноватым массивам или сложность разборки сильно ограничивают в той или иной мере применимость этих методов.

подавляющее большинство применяемых в настоящее время средств добычи блочного камня немеханического типа являются взрывчатыми веществами и, соответственно, в той или иной степени обладают бризантным действием. Такими средствами обычно являются взрывной дымный порох, детонирующий шнур в одну-две нитки, заряды эластичные трубчатые ЗЭТ ("Гранилен"), заряды шланговые ЗША-14(23), патронированные заряды "Форсит" (К-

трубки) [1], заряды мягкого взрывания ЗМВ завода "Искра". Положительным качеством всех этих средств является присущая взрывчатым зарядам высокая синхронность срабатывания по шпурам и, в отдельных случаях, быстрота монтажа взрывной сети. Общим недостатком всех перечисленных средств является дробящее действие ударной волны на околошпуровой слой камня. Кроме того, являясь самостоятельными взрывчатыми зарядами, в комплекте со штатными средствами инициирования (ЭД, ДШ) эти средства представляют определенную опасность в перевозке, хранении и обращении. И, наконец, в силу высоких скоростей процесса детонации и отсутствия реальной возможности затянуть спад давления в волнах разгрузки, импульс, передаваемый отделяемому от массива блоку, является весьма кратковременным, и это накладывает ограничения на размеры отделяемых с применением детонирующих зарядов блоков. Приходится либо ограничиваться небольшими заходками (1,5-2 м), либо значительно усиливать расход взрывчатого вещества (например, ДШ в 3-4 нити). Первый путь приводит к уменьшению выхода блоков, т. к. отрывать камень от массива приходится "по живому", игнорируя природную трещиноватость и получая зачастую 2-3 блока 3-4-ой группы неправильной формы вместо одного крупного блока 1-2-ой группы. Второй путь, как известно, чрезмерно увеличивает дробление камня в околошпуровой зоне, и, тем самым также снижает выход товарной продукции.

**Цель работы.** Разработка нового, недетонационного средства добычи каменных блоков, объединяющего положительные качества механических и взрывных методов добычи блочного сырья: сохранность камня, высокая производительность, легкость разборки отколотой горной массы, безопасность хранения и применения.

**Матеріали і результати досліджень.** На першому етапі предметом досліджень являлись модельні піротехнічні композиції на основі різних окислювачів (хлорати натрію і калію, перхлорати і нітрати аммонію, натрію і калію) і вуглеводородного горючого (дизельного палива або поліетилену). Для більш коректного порівняння результатів було вибрано однакове (стехіометричне) співвідношення горючого до окислювачів і однакова дисперсність окислювачів (250-500 мкм). Проведена серія експериментів показала, що оптимальними окислювачами для піротехнічного складу можуть бути хлорати натрію і калію. Висновки ґрунтувалися на наступних даних. Нітрати натрію і калію, порівняно з аналогічними хлоратами, мають значно більш низку енергетику (повною ідеальною роботою  $A_p$ ). Вони значно поступають також і за швидкістю горіння (швидкість горіння модельних композицій вимірювалася за нормальних умов). Об цьому свідчать проведені нами раніше дослідження роботи ЗЭТ «Гранілен». Було показано, що горіння складу на основі нітрату калію і сумішевого вуглеводородного горючого не носить стабільного характеру при атмосферному тиску, незважаючи на наявність у рецептурі значного (~30%) кількості гексогену. І тільки під впливом ударної хвилі детонуючого в каналі ЗЭТ ДШ і викликаного їм диспергування складу і значного підвищення температури і тиску склад «Гранілен» згорає (частково). Нітрат аммонію, який потенційно має більш високі (в тому числі і порівняно з хлоратами) енергетичні характеристики, показав ще меншу схильність до стабільного дефлаграційного режиму розкладання сумішей на його основі. Горіння суміші на нітраті аммонію за нормальних умов досягти не вдалося, і тільки починаючи з тиску порядку 50-70 атм. спостерігалося нестабільне горіння. За літературними даними, розкладання зарядів на основі нітрату аммонію (ЗША-14(25) на основі селітри ЖВ або аммоніа АТ-1) відбувається в низькошвидкісному детонаційному режимі і тільки під впливом детонаційної хвилі, що проходить по центру зарядів детонуючого шнура. Перхлорат аммонію, який як окислювач має більш високі енергетичні характеристики і забезпечує стабільне горіння сумішей за нормальних умов, був визнаний непридатним в зв'язі з високою ціною і екологічно шкідливими продуктами горіння (велика кількість хлористого водню і, відповідно, соляної кислоти). Суміші на основі перхлоратів калію і натрію з поліетиленом також мають достатньо високі енергетичні параметри і достатньо стабільно горять за нормальних умов, але мають той же недолік – високу ціну. Таким чином, як окислювач для газогенеруючих піротехнічних сумішей найбільш пред-

почтительні хлорати натрію і калію, причому хлорат натрію має перевагу як за енергоємністю, так і за ціною.

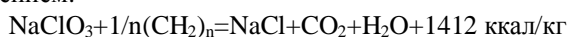
Як горючого для розроблюваної композиції розглядалися різні вуглеводороди – порошкообразні поліетилен і полістирол, дизельне паливо, кероген сланцев. З метою оптимізації складу продуктів горіння досліджувалися складу з однаковим (стехіометричним) співвідношенням горючого і окислювача. Як базового окислювача був вибран хлорат натрію за ГОСТ-12257-93, як типової конструкції заряду – заповнена піротехнічною сумішшю полімерна труба внутрішнім діаметром 20 мм. Порівнювалися швидкість горіння, чутливість до механічних впливів (удар, тертя), схильність до переходу горіння в детонаційний режим.

В результаті було встановлено, що швидкість горіння при атмосферному тиску підвищується в ряду поліетилен → дизельне паливо → полістирол → кероген, а чутливість до удару і тертя підвищується в ряду дизельне паливо → поліетилен → полістирол → кероген. Схильність до переходу горіння в детонацію проявила тільки суміш з керогеном. Слід зазначити, що використаний кероген сланцев був в 3-5 разів мельче застосованих порошків поліетилену і полістиролу (в зв'язі з труднощами дроблення останніх). При підвищенні тиску різниця швидкостей горіння для різних сумішей вирівнювалася. Особливо проводилося дослідження швидкостей горіння сумішей хлората натрію з поліетиленом і поліпропіленом, розміщеними в порошкообразному окислювачі в вигляді пучків соосно орієнтованих трубок різного діаметру і товщини стінок (з збереженням кисневого балансу сумішей нульовим). Ці дослідження показали, що швидкість горіння таких сильно негетерогенних сумішей помітно нижче, ніж для сумішей з порошкообразним горючим компонентом, особливо при підвищених тисках, і це незважаючи на явне порушення послідовного режиму горіння за рахунок наявності в складі продольних каналів між трубками, розташованих перпендикулярно фронту горіння, і сприяючих організації струйно-конвекційного режиму горіння. Така негетерогенність суміші, низька швидкість горіння з слабкою залежністю від тиску призводять до більш тривалих часів горіння газогенераторів, їх оснащення, і значної різновремених їх роботи, що неприйнятно для використання газогенераторів при груповому ініціюванні для відбійки великих відходів.

На основі проведених порівняльних експериментів з різними варіантами горючого для піротехнічного оснащення було вибрано дизельне паливо. Це рішення ґрунтувалося не тільки на найменшій чутливості такої суміші до механічних впливів і доступності го-

рючого. Основним аргументом в пользу дизельного топлива является уникальная возможность внедрения в практику горных работ газогенерирующих составов местного приготовления, поскольку окислитель в контейнерах легко, безопасно и качественно можно смешать с жидким горючим на месте применения путем заливки в них необходимого количества топлива, дозируемого по объему. Такой вариант местного приготовления состава не требует особого оборудования, склада ВМ, позволяет упростить условия хранения и перевозки расходных материалов: хлорат натрия является, согласно ГОСТ 19433-88, грузом с классом опасности 5.1 (окисляющие вещества) и в ограниченных количествах (UN 1479 LQ) перевозится как неопасный груз.

Уточнение выбранной рецептуры пиротехнической газогенерирующей смеси заключалось в подборе добавок, катализирующих и стабилизирующих горение, и экспериментально-расчетном определении энергетических и эксплуатационных характеристик состава при различных соотношениях окислительной композиции и дизельного топлива. Содержание топлива в смеси варьировалось от 6 до 16% масс (большее количество не удерживалось в смеси – наблюдалось стекание топлива). Определялись (рассчитывались) скорость горения, плотность, идеальная теплота сгорания, полная идеальная работа, температура и состав продуктов сгорания, максимальное давление в шпуре. Скорость горения при атмосферном давлении изменялась в пределах  $\pm 30\%$  с максимальным значением  $\sim 1$  мм/с при содержании 12-13% дизельного топлива в смеси. Плотность смеси изменялась с увеличением количества топлива от 1,45 до 1,7 г/см<sup>3</sup>. Средняя расчетная плотность заряжения смеси в контейнерах в шпуров принималась для расчетов  $\sim 1$  г/см<sup>3</sup>. Основная (идеальная) реакция при горении изучаемой смеси выражается уравнением:



В реальности, вследствие различных побочных реакций, имеющих зависимые от температуры и давления константы равновесия, состав продуктов горения смеси и теплота реакции несколько отличаются, что учитывалось в наших дальнейших расчетах.

Как показали расчеты, наибольшая идеальная теплота и температура сгорания наблюдаются в районе стехиометрического соотношения компонентов. Расчетное идеальное давление медленно увеличивается и при увеличении количества горючего за стехиометрическое соотношение, что объясняется увеличением количества газообразных продуктов и снижением средней молекулярной массы продуктов сгорания из-за появления в них H<sub>2</sub> и CO при отрицательном кислородном балансе смеси. Но величина давления и так на порядок выше пределов прочности различных горных пород, в то время как переизбыток горючего приводит к значительному снижению скорости горения, ухудшению воспламеняемо-

сти пиротехнического состава и экологичности продуктов сгорания. Поэтому основным практически важным критерием газогенерирующего состава была выбрана полная идеальная работа A<sub>p</sub>. Это обусловлено тем, что при добыче блочного камня важным фактором является не только откол блока от массива и образование «волосной» трещины, но и перемещение горной массы, ее «встряхивание», облегчающее разборку. A<sub>p</sub> является функцией теплоты сгорания и к.п.д. продуктов сгорания, зависящего от их средней молекулярной массы, температуры и удельного количества газообразных продуктов. Максимум A<sub>p</sub> приходится на 13-13,5% дизельного топлива в смеси. Это содержание топлива в смеси и было выбрано в качестве оптимального для дальнейшей работы.

В процессе работы над конструкцией ГДШ рассматривались и испытывались различные схемы размещения составных элементов разных типов. В качестве материала корпуса контейнера под газогенерирующую смесь была выбрана полиэтиленовая труба. Такой корпус обладает достаточно высокой прочностью при транспортировке и хранении, химически стабилен в отношении находящейся в нем окислительной композиции, не растворяется и не набухает под действием углеводородного горючего, имеет высокую влаго- и хладостойкость, а также высокую ударную вязкость, обеспечивающую целостность его при забойке патрона в шпуре. Материалом для торцевых крышек был выбран полиэтилен высокого давления, эластичность которого позволяет герметично закрывать торцы корпуса, что важно при перевозках и хранении во избежание просыпания содержимого, а также при зарядке ГДШ в обводненные шпуров. При выборе конструкции торцевых крышек (наружные или внутренние) были приняты во внимание следующие соображения. Во-первых, наружная крышка обеспечивает зазор между корпусом контейнера и стенками шпура, в котором можно размещать и изолировать скрутки проводов электровоспламенителя и подсоединительных проводов. Во-вторых, и это главное, по данным экспериментов, зазор обеспечивает ускоренное воспламенение заряда по всей поверхности за счет деформации в зазоре и раскалывания оболочки. При плотном прилегании корпуса к стенкам шпура такого эффекта не наблюдается.

В качестве электровоспламенителей (ЭВ) для ГДШ испытывались различные ЭВ, причем отбор велся по одновременности срабатывания ГДШ от данного ЭВ в условиях моделируемого манометрической бомбой шпура и по надежности воспламенения. Большинство испытанных ЭВ надежно воспламеняли газогенерирующую смесь (кроме МБ-2Н, ЭВФ-1(11)) и ЭЛ-20). По результатам испытаний были выбраны ЭВ ТЭЗ-3П и УЭВ ТУ 7287-006-46242932-2004 собственной разработки на основе утилизационных элементов ЭКВ-2(М).

Таким образом, выбранная конструкция ГДШ в окончательно снаряженном виде представила собой полиэтиленовую трубу диаметром 25 мм (для шпуров 32, 36 мм) с торцевыми наружными полиэтиленовыми крышками, электровоспламенителем ТЭЗ-3П или УЭВ и подсоединительными проводами, заполненную газогенерирующей смесью.

Проведенные в дальнейшем лабораторные, полигонные, предварительные и приемочные испытания ГДШ доказали полное соответствие экспериментально-теоретических выводов практическим результатам.

От первых полигонных испытаний быстрогорящих бинарных составов, проведенных в 1998 г., до получения в марте 2004 г. разрешения Госгортехнадзора РФ № РС 04-11424 на применение ГДШ ТУ 7275-002-46242932-2002 выполнены сотни экспериментальных отколов на карьерах Заполярья, Карелии, Башкирии, Урала и Дальнего Востока России, а также в Украине. Всего в ходе обработки ГДШ в этом временном интервале добыто свыше 75000 м<sup>3</sup> горной массы.

Наиболее полный комплекс исследований влияния ГДШ на свойства добываемых камнеблоков проводился в Уральской государственной горно-геологической академии научным коллективом под руководством профессора Г.В. Бычкова [2]. Выполненная в 2001 г. НИР «Оценка влияния газогенераторного клина на прочностные и акустические свойства гранита Мансуровского месторождения» позволила сделать следующие выводы:

1. Прочностные характеристики гранита в зоне непосредственного действия ГДШ на горную породу непосредственно возле шпура не отличаются от характеристик, полученных на образцах, вырезанных из блоков путем буроклиновых работ, т. е. без газогенераторов.

2. На полированных поверхностях образцов плит вокруг шпуров отсутствует радиальная трещиноватость и сеченность, характерная для воздействия взрывов на массив горных пород.

3. Прозвучивание плиток импульсным ультразвуковым прибором УКБ-1м на частоте 60 кГц было выполнено вдоль и перпендикулярно направлению шпуров. Полученные результаты измерений показывают, что изменение скорости упругой волны незначительно и плавно снижается по мере удаления от шпуров в массив блока при замерах параллельно направлению шпуров, и остается практически постоянной при замерах перпендикулярно оси шпуров.

4. Выполненные 11.04.2001 г. испытания ГДШ на Исетском гранитном карьере (Свердловская область) показали, что при срабатывании его происходит не дробление отделяемой горной массы, а откол монолита по плоскости разделения и естественным трещинам массива. Объем отделенного монолита размером 5x2x2 м составил 20 м<sup>3</sup>.

5. Газогенератор ГДШ срабатывает только в

шпуре при наличии плотной забойки, вне шпура - не взрывается и не возгорается.

Интересные результаты были получены при формировании новой технологии добычи блоков с применением ГДШ в Карелии при обработке месторождения габбро-диабазов, имеющих высокую степень природной трещиноватости. Коэффициент удельной трещиноватости варьировался от 1,2 до 2,6 м/м<sup>2</sup> при наличии в массиве до четырех систем трещин с разбросом азимутов падения до 15° в каждой из систем. В результате перехода от взрывания дымным порохом к применению ГДШ выход малогабаритного окола уменьшился на 15-20%, производительность по разборке горной массы возросла на 50%, шаг бурения был увеличен с 15-20 до 35-45 см. В связи с тем, что в плоскости откола блока от массива уменьшилась зона разрушения, была увеличена высота рабочего уступа - от 4-5 м на восточном фланге до 8-9 м - в центре забоя. При этом удельный расход бурения снизился до 0,9-1,2 м/м<sup>3</sup>, а в составе отделяемых массивов появились блоки I-II групп. Общий выход товарных блоков достиг 60%. В результате внедрения ГДШ карьер превратился в высокорентабельное предприятие.

Необходимо подчеркнуть, что сама идея выполнения дезинтеграции трещиноватого массива по горизонтальной строчке шпуров не могла быть реализована в полной мере без появления такого средства, как ГДШ. Сотрясательная дезинтеграция достаточно больших объемов горной породы возможна именно за счет создания резкого, но безударного роста давления газов внутри шпуров.

На месторождении габбро-анортозитов в Житомирской обл. Украины применение ГДШ позволило изменить систему обработки запасов в условиях наклонного залегания пластов различной мощности. В июле 2000 г. карьер добыл 220 м<sup>3</sup> блоков III-VI групп, а в августе при испытании ГДШ было получено 290 м<sup>3</sup> блоков I-III групп. Плавное смещение субгоризонтальных пластов по падению позволило добыть монолиты с параметрами до 30-35 м<sup>2</sup> по площади при толщине пластов в 1,2-2,4 м.

Примененная на этом месторождении технологическая схема отличается от той сотрясательной дезинтеграции, которая была внедрена на месторождении в Карелии, но обе системы добычи невозможны без применения ГДШ.

Значительный экономический эффект был получен при разборке тонкослоистых массивов на Исетском и Мансуровском месторождениях гранитов. Применение ГДШ позволило отказаться от нарезки щелей огневым способом, т.к. появилась возможность обработки запасов по принципу "3-х свободных поверхностей".

Специалисты-горняки на всех карьерах, где были апробированы ГДШ, отмечали еще одно из его достоинств - возможность оперативного удаления "замков", "заколов" и ускоренной проходки участков с

тектоническими нарушениями. Это преимущество ГДШ перед штатными ВВ обусловлено его абсолютной безопасностью и невозможностью использования вне шпура, в связи с чем комплектующие ГДШ могут храниться непосредственно на карьерах, а его применение не требует привлечения специализированной подрядной организации.

В ходе испытаний за один прием из скальных массивов отрывались отдели от 2-3 до 1500 м<sup>3</sup> с созданием давления как в одной, так и в трех плоскостях. Установлено, что удельный расход окислительной композиции в среднем в 2 раза меньше, чем при использовании дымного пороха.

Отсутствие ударной воздушной волны и минимизация разлёта осколков до величин 15-25 м позволяют существенно снизить временные и материальные затраты, связанные с выводом техники из карьера, по сравнению со взрывными способами.

Исследования, проведенные ФГУП НИИ «Гигиены, профпатологии и экологии человека» (г. Санкт-Петербург), установили, что применение ГДШ для добычи блочного камня в карьерах является безопасным в токсиколого-гигиеническом отношении [3].

Разрешение Госгортехнадзора РФ на применение ГДШ для откола горной породы при добыче блочного камня, совпавшее по времени с освоением производства газогенераторов, представляет уникальный шанс реального снижения себестоимости добычи с одновременным улучшением качества товарной продукции на карьерах блочного камня.

**Выводы.** 1. Разработано новое недетонационное средство ГДШ ТУ 7275-002-46242932-2002 для интенсивной щадящей добычи блочного камня. Получено разрешение Госгортехнадзора РФ на постоянное применение и экспертно-криминалистическое заключение, подтверждающее непринадлежность данных патронов к категории взрывчатых веществ.

2. Выявлены основные зависимости по обуриванию и зарядке ГДШ скальных массивов различных литологических разновидностей, позволяющие существенно повысить экономическую эффективность, выход блоков и безопасность ведения добычных работ.

3. Получено экспертное заключение "НИИ Гигиены, профпатологии и экологии человека", которое свидетельствует о безопасности применения ГДШ для окружающей среды и горнорабочих.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Котомин Сравнительные характеристики зарядов ВВ, применяемых при отделении каменных блоков. // Взрывное дело. Сборник №92/49. - М., 1999. – С. 151-159.

2. НИР "Оценка влияния газогенераторного клина ГГК-2 на прочностные и акустические свойства гранита Мансуровского месторождения." – Екатеринбург: УГГГА, 2001.

3. Заключение по результатам химико-аналитической и токсиколого-гигиенической оценки продуктов сгорания при использовании газогенератора давления шпурового – СПб.: ФГУП "НИИ Гигиены, профпатологии и экологии человека", 2004.

Статья поступила 1.10.2007  
Рекомендовано к печати д.т.н., проф.  
Комиром В.М.