Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LII, вып. 1, 1966 г.

УДК 622.243.94

ИССЛЕДОВАНИЕ БУРИМОСТИ ГРАНИТОВ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА РЕАКТИВНЫМИ ГОРЕЛКАМИ

В. К. Бубок, А. Е. Сигачев, И. Ю. Букин, В. С. Гануско

Механическое бурение скважин на гранитных карьерах Карельского перешейка ввиду высокой крепости и абразивности пород — дорогой и недостаточно производительный метод. Для определения возможности применения на гранитных карьерах огневого бурения скважин кафедрой открытых и буровзрывных работ Ленинградского горного института исследована буримость гранитов ряда месторождений Ленинградской области (Ровное, Эркиля, Возрождения и Каменногорского). Исследования проводили с применением маломасштабных реактивных горелок (РГР-2, РТБ-В5, МИРГЭМ), работающих на кислородо-керосиновых и бензовоздушных смесях. Техническая характеристика их следующая.

	РГР-2	РТБ-В5	МИРГЭМ
Наружный диаметр реактивной горелки, *мм*	40	35	45
Критический диаметр сопла, *мм*	4,7	10	10
Охлаждение камеры сгорания	Водяное	Воздушное	
Расход:			
кислорода, $м^3/ч$	9—16	—	—
керосина, *л/ч*	5—9	—	—
воды, *л/ч*	300	—	—
бензина, *л/ч*	—	9	10
сжатого воздуха $м^3/мин$ (при избыточном давлении, равном 5 *ат*)	—	3	2,9
Скорость истечения газов, *м/сек*	1800—1850	1300—1600	—
Температура газов, °К	1900—2100	1200—1500	—

Для горелки РГР-2 окислителем служит газообразный кислород, который подается в камеру сгорания от батареи кислородных баллонов. Для горелок РТБ-В5 конструкции ХАИ и института МИРГЭМ окислителем служит сжатый воздух с избыточным давлением 4—6 *ат*. Он подается от передвижного компрессора или стационарной сети. Горелка МИРГЭМ отличается от РТБ-В5 подачей в камеру сгорания сжатого воздуха, предварительно подогретого до 200—300° С. Сжатый воздух нагревается, проходя вдоль стенок жаровой трубы, и попутно охлаждает камеру сгорания. Подача подогретого воздуха улучшает процесс сгорания топлива и повышает тепловые параметры газовой струи, выходящей из сопла реактивной горелки.

Питание реактивных горелок керосином или бензином осуществляется с помощью вытеснительной системы. Для создания необходимого давления

в баке с горючим при работе кислородной горелки РГР-2 применяют баллоны со сжатым азотом. Горючее для работы бензо-воздушных горелок вытесняется давлением сжатого воздуха от общей магистрали.

В процессе исследований бурились шпуры диаметром 50—75 *мм* в блоках типичных пород каждого месторождения и гранитном массиве. При этом фиксировались линейные и объемные скорости бурения различными типами реактивных горелок, состав топливной смеси и давление ее подачи, расходы горючего, окислителя и т. п. Параллельно изучался минералогический состав гранитов.

Опытное бурение шпуров показало, что все разности гранитов разрушаются в режиме «шелушения» с частичным оплавлением включений темноцветных минералов. Эффективность разрушения зависит от минералогического состава пород и определяется главным образом содержанием в составе породы биотита. Все другие минералы, входящие в состав гранитов, оказывают менее существенное влияние на буримость (рис. 1). Особенно

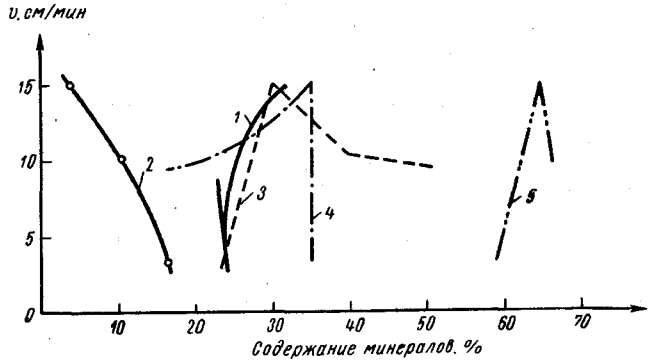


Рис. 1. Зависимость скорости огневого бурения гранитов от содержания в их составе минералов:
1 — кварца; *2* — биотита; *3* — плагиоклаза; *4* — микроклина; *5* — полевых шпатов.

неблагоприятно для огневого бурения равномерное распределение зерен биотита по массе породы (Каменногорское месторождение).

Поскольку в настоящее время еще не разработаны надежные методы, позволяющие оценивать способность пород эффективно разрушаться под действием газов реактивных горелок без опытного бурения, установленная зависимость имеет важное практическое значение. Она дает возможность по данным минералогического состава пород предварительно наметить гранитные месторождения, где можно применять огневое бурение.

Содержание биотита в породах основных гранитных месторождений Карельского перешейка (см. таблицу) находится в пределах 5—15%, следовательно, все они могут рассматриваться как перспективные для огневого способа. Осложнения могут быть только на участках месторождений, где содержание биотита находится у верхнего предела (15%). Зависимость термобуримости гранитов от содержания биотита подтверждается также результатами исследований месторождений других районов СССР (Шарташского, Смолинского и др.).

Линейная и объемная скорости бурения гранитов существенно зависят от состава топливной смеси, подаваемой в камеру сгорания реактивной горелки. Как правило, максимальные скорости бурения соответствуют работе на обогащенных смесях (рис. 2, *а*) в пределах устойчивой работы реактивной горелки. Повышение скорости огневого бурения в данном случае происходит в связи с увеличением теплового потока газов, действующих

на поверхность породы. При огневом бурении пород, склонных к плавлению, лучшие результаты дает применение обедненных смесей. Вообще же состав топливной смеси должен выбираться таким, чтобы количество

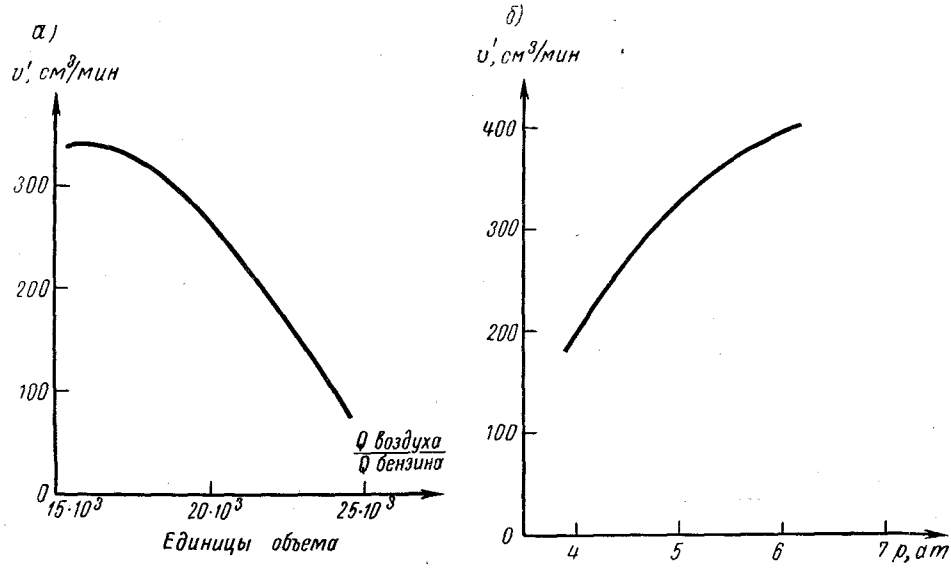


Рис. 2. Зависимость объемной скорости бурения гранита бензо-воздушным термобуром:
а — от состава топлива, *б* — от давления сжатого воздуха *р*.

Минералогический состав гранитов основных месторождений Карельского перешейка

Месторождение	Разновидность гранита	Структура	Минералогический состав, %		
			Кварц	Полевые шпаты	Слюда (биотит)
Ровное	Гнейсо-гранит	Среднезернистая	22,3	69,8	7,9
	Гнейс	То же	27,0	21,5	14,2
Каарлахтинское					
горизонт 3	Гранит	Крупнозернистая	20—40	40—70	3—15
горизонт 4	То же	То же	25	70	5
Кузнечное	Гнейсо-гранит	Крупно- и среднезернистая	33	62	5
Приозерское	То же	Среднезернистая	25—30	40—70	3—15
Эркиля	Гранит	Порфировидная	30	65	5
Возрождение	То же	То же	20—35	65—70	5—15
Каменногорское	То же	Крупнозернистая	5—40	45—70	5—15
	Гнейсо-гранит	Среднезернистая	15—20	50—70	5—15
Пруды	Гнейсо-гранит	Среднезернистая	33	60	7
Яскинское	То же	То же			
Вуокса	Переходная разность от гранита к сиениту	Мелко- и среднезернистая	10—15	70—90	3—10
	Гранит	То же	20—50	50—80	—
	Гнейс	»	25—40	50—60	10—15
	Кварцевый диорит	»	10	70—75	10—16

горючего находилось у верхнего предела, за которым начинается процесс плавления породы.

Скорость огневого бурения резко возрастает с увеличением давления сжатого воздуха, подаваемого в камеру сгорания реактивной горелки. В наших опытах максимальное избыточное давление сжатого воздуха составляло 6 *ат*, но и при таком давлении снижения темпа роста скорости бурения практически не происходило (рис. 2, б). Это указывает на возможность резкого увеличения показателей огневого бурения бензо-воздушными термобурами при применении компрессоров, способных поддерживать в воздухопроводной сети более высокие давления, чем это принято в настоящее время на горных предприятиях. Если при механических способах бурения оптимальный верхний предел избыточного давления сжатого воздуха равен примерно 7 *ат*, то для успешной работы термобуров, не имеющих движущихся деталей и не находящихся в процессе бурения в контакте с разрушаемой породой, целесообразно иметь компрессоры с более высоким верхним пределом давления сжатого воздуха.

Тип реактивной горелки также оказывает существенное влияние на эффективность разрушения гранитов. В настоящее время общепризнанно, что наибольшая скорость бурения обеспечивается реактивными горелками, использующими в качестве окислителя кислород. Первые опыты подтвердили это положение: скорость бурения керосино-кислородной горелкой типа РГР-2 гранитов месторождения Ровное составила 111—120 *мм/мин* при избыточном давлении в камере сгорания 6 *ат* и 123—134 *мм/мин* при 9 *ат*; для бензо-воздушного термобура типа РТБ-В5 скорость бурения при избыточном давлении сжатого воздуха 4,7 — 5 *ат* равнялась 89—106 *мм/мин*, т. е. на 20—30% меньше.

При новой конструкции термобура с предварительным подогревом сжатого воздуха скорость бурения гранитов значительно возрастает. Как показало опытное бурение в породах месторождений Эркиля, Возрождения и Каменногорского, скорость бурения по сравнению с термобуром РТБ-В5 увеличивается на 12—258%. Наибольший рост скорости бурения наблюдается в труднобуримых породах Каменногорского месторождения (258%). В хорошо разрушающихся огневым способом гранитах месторождения Эркиля она увеличивается лишь на 12%.

Таким образом, термобур с предварительным подогревом сжатого воздуха практически обеспечивает скорости, равные кислородным термобурам.

На небольших карьерах промышленности строительных материалов возможность эффективного бурения скважин безкислородными термобурами имеет особенно большое значение, так как позволяет отказаться от значительных капитальных затрат на специальное оборудование, существенно упростить организацию буровых работ, а также снизить себестоимость бурения 1 *пог. м* скважины [Дмитриев и др., 1965].

При соответствующем увеличении мощности реактивной горелки скорость бурения скважин будет находиться на уровне скорости бурения шпуров термобурами небольшого диаметра. Следовательно, при огневом бурении гранитов производительность буровых станков резко возрастет по сравнению с применяемым в настоящее время механическим способом (средняя скорость бурения скважин станками БМК-4 составляет 55 *мм/мин*.) Себестоимость бурения при этом снизится, так как примерно 30% всех расходов на отбойку падает на буровой инструмент, стоимость которого при механическом способе намного превышает расходы на замену деталей реактивных горелок.

Важным преимуществом огневого бурения является возможность расширения нижней части скважин — образование «котлов» — имеющее

большое значение для гранитных карьеров, где часто образуются пороги на подошве уступа, вследствие значительных величин линии сопротивления по подошве (ЛСПП) у первого ряда скважин. Наличие порогов осложняет работу экскаваторов и транспортного оборудования, на ликвидацию их расходуется много труда и времени.

Применение котловых зарядов, улучшающих проработку подошвы уступов, ограничено трудностями образования котловых полостей методом «прострелки» скважин небольшими зарядами В. В. Опыт ЮГОКа [Алексеев и др., 1963], где широко применяется огневое бурение скважин станками типа СБО-1, указывает на возможность расширения заряжаемой части скважин при использовании реактивных горелок с кислородом в качестве окислителя. При этом объемная скорость расширения скважины превышает объемную скорость бурения более чем на 70%, т. е. процесс расширения протекает с высокой интенсивностью.

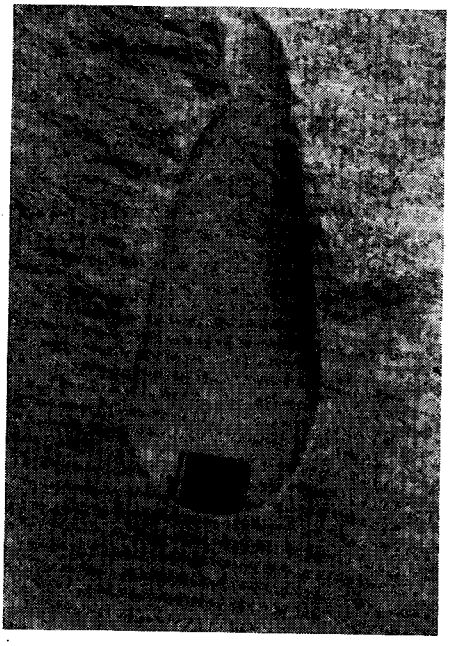


Рис. 3. Общий вид шпура в разрезе после расширения его в течение 3 мин. бензо-воздушной реактивной горелкой.

Возможность образования котловых полостей в гранитах изучалась нами с помощью бензо-воздушных термобуров в породах карьероуправлений Выборгского и Ровного. Опыты проводили в гранитных блоках и массиве с использованием ручных термобуров РТБ-В5 и МИРГЭМ. Вначале бурили шпуры на глубину 0,5—2,5 *м* с использованием перфоратора или термобура. После измерения объема пробуренных шпуров в них помещали термобур таким образом, чтобы сопловой аппарат находился в 80—120 *мм* от забоя. В этом положении работающий термобур выдерживали в течение различных промежутков времени, затем извлекали наружу и измеряли объем образовавшейся котловой полости. Гранитные блоки после окончания опыта раскалывались, что давало возможность точно измерить диаметр расширенной части и наблюдать форму образовавшегося котла (рис. 3).

Как показали наблюдения, при неподвижном термобуре интенсивно возрастает глубина и значительно увеличивается диаметр шпура. Последнее представляет большой интерес, так как боковые стенки шпура не находились в непосредственном контакте с пламенем, выходящим из сопла реактивной горелки, поскольку в применявшихся термобурах ось сопла совпадала с осью термобура. Это свидетельствует о возможности интенсивного разрушения гранитов не только в зоне непосредственного контакта породы с истекающей из сопла газовой струей, но и в зоне действия газов, отраженных от поверхности забоя. Теоретически это можно объяснить известными зависимостями теории теплопроводности [Карслоу, Егер, 1964]. Тепловой поток, проходящий через поверхность, пропорционален разности температур между поверхностью и окружающей средой

$$F = H(T - T_0), \qquad (1)$$

где F — величина теплового потока, *кал/см²·сек*;
H — коэффициент теплообмена, *кал/см²·сек·°К*;
T_0 — температура поверхности, °К;
T — температура среды, °К.

Коэффициент теплообмена для турбулентного движения газа по цилиндрической трубе

$$H = 5{,}5 \cdot 10^{-6} u^{0{,}8} d^{-0{,}2}, \qquad (2)$$

где u — скорость движения газа, *см/сек*;
d — диаметр трубы, *см*,

т. е. величина теплового потока, создающего термические напряжения в породе, прямо пропорциональна скорости движения газа вдоль поверхности, с которой происходит теплообмен, и разности температур между газом и стенками трубы (шпура).

В процессе погружения термобура в породу основная часть тепловой энергии газовой струи расходуется на разрушение породы в забое шпура (скважины). Часть энергии идет на разрушение боковых стенок в районе забоя, где скорость отраженных газов и их температура остаются достаточно высокими. Диаметр шпура (скважины) при огневом бурении с предельно высокой скоростью примерно в 1,5—2 раза превышает диаметр кожуха термобура. При неподвижном положении термобура происходит перераспределение тепловой энергии, в результате чего бóльшая ее часть отражается от забоя и разрушает боковые стенки. Вследствие увеличения времени контакта газов с породой и площади, на которую действуют раскаленные газы, обладающие значительной скоростью, диаметр шпура увеличивается в 3—5 раз, а процесс котлообразования протекает с высокой интенсивностью. Если величина объемной скорости бурения гранитов перфоратором ПМ-508 при диаметре шпура 42—43 *мм* равна в среднем 150 *см³/мин*, термобуром РТБ-В5 (при движении) — 300 *см³/мин*, то объемная скорость котлообразования тем же термобуром колеблется от 500 до 2000 *см³/мин* в зависимости от конечного диаметра котловой полости и начального диаметра шпура (при диаметре котла $\leqslant 5$ диаметров кожуха термобура). Объемная скорость расширения достигает максимальных значений в начальный период и плавно снижается по мере увеличения диаметра котловой полости.

Результаты экспериментов показывают, что внедрение огневого бурения позволит применить на гранитных карьерах метод котловых зарядов. При этом лучшая проработка подошвы уступов может быть достигнута при расширенной сетке расположения скважин и сокращении величины перебура.

Высокая эффективность процесса расширения скважин указывает также на возможность применения на гранитных карьерах комбинированных методов бурения, когда скважина небольшого диаметра первоначально пробуривается механическим способом, а затем расширяется бензо-воздушным (или кислородным) термобуром до конечного диаметра. Комбинированный метод расширяет область применения реактивных горелок и на склонные к плавлению породы, так как величина тепловых потоков, действующих на стенки скважины при расширении, значительно меньше, чем при огневом бурении.

Для окончательного решения вопроса о целесообразности огневого бурения на гранитных карьерах Карельского перешейка, а также возможности использования комбинированных методов бурения и расширения скважин необходимы детальные исследования в производственных

условиях не только буримости гранитов в естественном массиве, но и по отработке оптимальных параметров взрывных работ, что позволит в полной мере использовать все преимущества огневого бурения.

Выводы

1. На основных гранитных месторождениях Карельского перешейка возможно применение огневого бурения шпуров и скважин как кислородными, так и бензо-воздушными термобурами.

2. Наиболее целесообразны на гранитных карьерах бензовоздушные термобуры. При близкой к кислородным скорости бурения, они потребуют минимум первоначальных капитальных затрат, упростят организацию буровых работ, повысят безопасность и снизят себестоимость бурения 1 *м* скважины в 2—2,5 раза.

3. Буримость огневым способом в основном зависит от содержания в составе гранитов биотита. В связи с этим вполне возможно предварительно оценивать перспективы применения огневого бурения на карьере по минералогическому составу пород слагающих данное месторождение.

4. Расширение скважин термобурами значительно повышает общую эффективность буровых работ, позволяет улучшить проработку подошвы уступов и почти полностью отказаться от перебура скважин.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев Ф. К. и др. Опыт строительства и эксплуатации карьеров горно-обогатительных комбинатов Криворожского бассейна. Горный ж., № 6, 1963.

Дмитриев А. П. и др. Бурение скважин воздушными термобурами. Горный ж., № 1, 1965.

Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. Наука, 1964.