

Promising development of new methods for destruction of rocks

Yatsenko S.¹, Yatsenko M.², Doroshev Y.³ (Russian Federation)

Перспективные разработки новых методов разрушения горных пород

Яценко С. Н.¹, Яценко М. А.², Дорошев Ю. С.³ (Российская Федерация)

1 Яценко Сергей Николаевич / Yatsenko Sergey Nikolaevich – аспирант,
кафедра горного дела и комплексного освоения георесурсов,
инженерная школа;

2 Яценко Мария Андреевна / Yatsenko Mariya Andreevna – студент,
кафедра общей физики, школа естественных наук;

3 Дорошев Юрий Степанович / Doroshev Yuri Stepanovich – доктор технических наук,
кафедра горного дела и комплексного освоения георесурсов,
инженерная школа,
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Аннотация: в статье рассматриваются новые методы разрушения горных пород при помощи СВЧ излучения, лазера, а также механические способы.

Abstract: the article considers new methods of destruction of rocks by means of microwave radiation, laser, as well as mechanical methods.

Ключевые слова: методы, разрушение горных пород, лазер, электротермическое бурение, электроимпульсное бурение, СВЧ излучение.

Keywords: methods, destruction of rocks, laser, electro-drilling, drilling electropulse, microwave radiation.

На сегодняшний день существует более 40 способов разрушения горных пород. По характеру применяемого оборудования и разрушения горных пород - способы делятся на механические, физические и химические способы.

Механические способы [1]. Различают ударный, вращательный, вращательно-ударный и ударно-вращательный способы бурения шпуров и скважин (рисунки 1 и 2). Ударный метод механического бурения используется в крепких породах, замерзших грунтах и скальных породах глубиной до 100 м и более. Основные виды вращательного способа бурения - шнековое, колонковое и роторное. Шнековое бурение применяют для скважин глубиной до 30 м в мягких и мерзлых грунтах. Колонковое бурение применяют для проходки скважин глубиной до 200 м. Современные режимы роторного бурения скважин шарошечными долотами в твёрдых и крепких породах характеризуются нагрузками до 1 т на 1 см диаметра долота. Глубины бурения вращательным способом могут достигать 10 км.

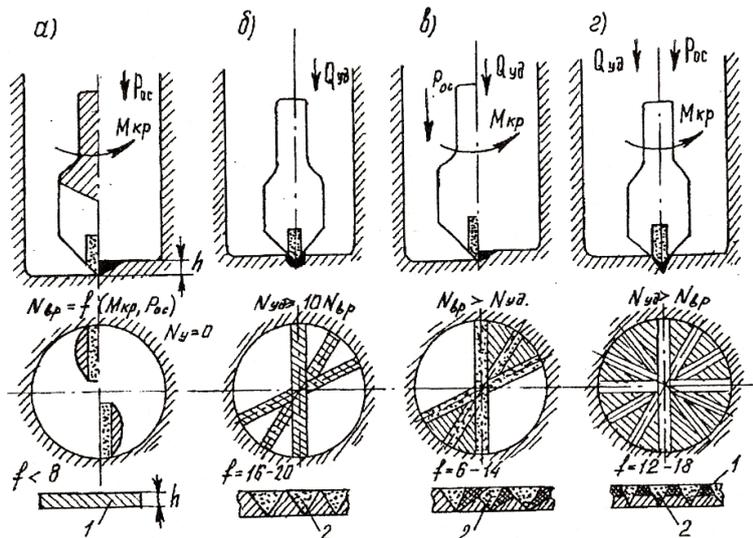


Рис. 1. Схемы прикладываемых к буровому инструменту нагрузок и разрушения породы от воздействия лезвия инструмента с забоем:

а – при вращательном; б – при ударном; в – при вращательно-ударном; г – при ударно-вращательном способах бурения; $P_{ос}$ – осевое усилие подачи, $Q_{уд}$ – ударная нагрузка, M – крутящий момент; 1 – разрушение породы за счет скалывания передней режущей кромкой при вращении инструмента, 2 – разрушение породы при раздавливании и скалывании ударной нагрузкой

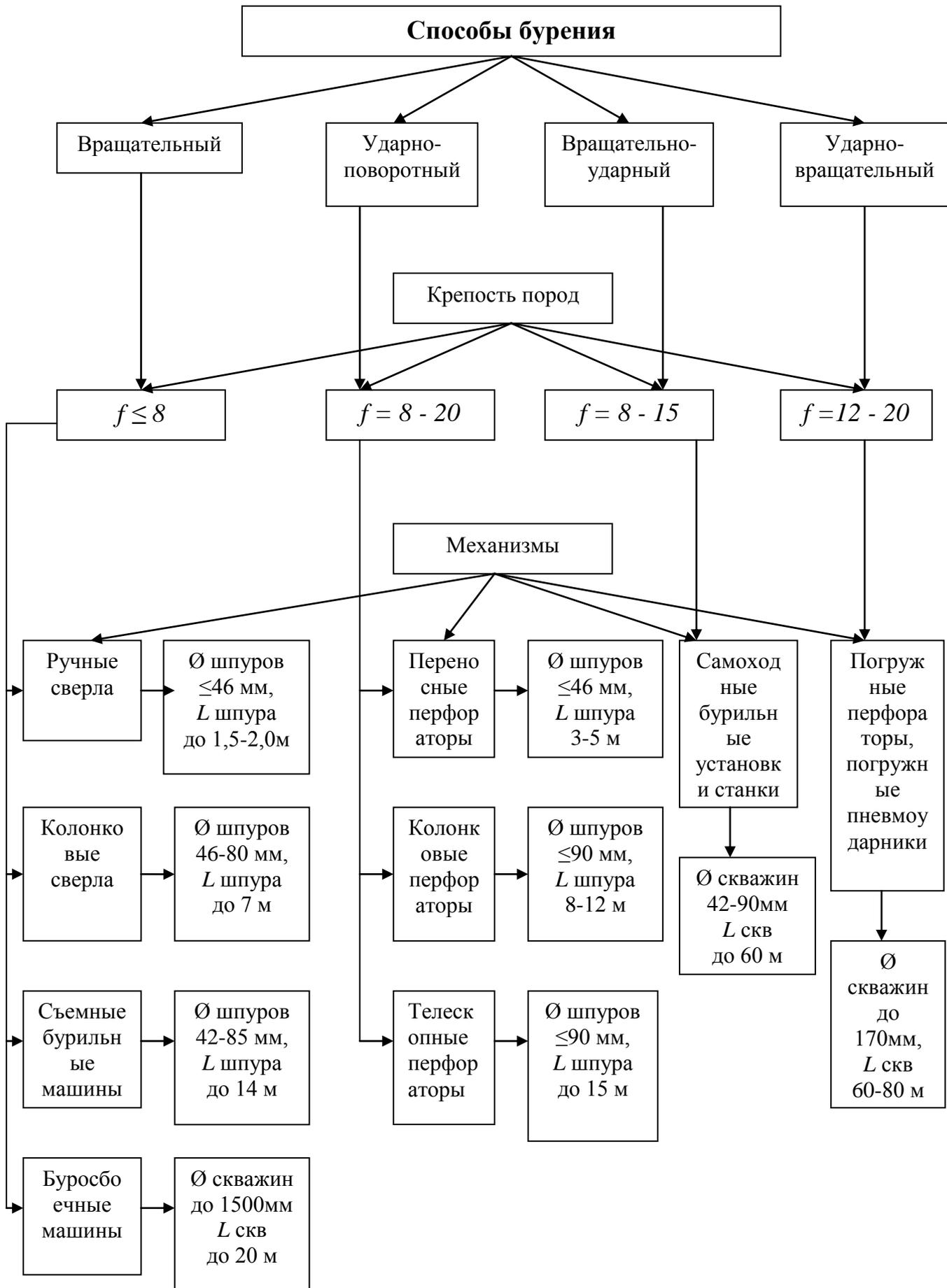


Рис. 2. Способы бурения

Достоинства механического бурения: возможность отбора натуральных образцов пород для составления геологического разреза и их всестороннего изучения; благоприятные условия для вскрытия и исследования водоносных и нефтегазоносных горизонтов.

Недостатки механического бурения: с увеличением крепости пород происходит быстрый износ рабочих элементов породоразрушающих инструментов, приводящий к необходимости его замены; высокие энергозатраты и невысокая скорость бурения.

Традиционные способы воздействия на горные породы, основанные на их механическом разрушении, практически приблизились к пределу своих технических возможностей. В связи с этим в мире возникла проблема разработки новых, более эффективных способов разрушения горных пород, обеспечивающих на длительную перспективу конкурентоспособность таких устройств по сравнению с лучшими в мире образцами буровой техники. В настоящее время, на базе традиционных способов практически невозможно создание способа, обладающего способностью разрушать горные породы различной крепости с равной высокой эффективностью. Анализ применяемых механических способов разрушения показывает, что развитие существующих и разработка новых методов идут, главным образом, по пути совершенствования средств воздействия на горную породу. Несмотря на значительный прогресс в области техники и технологии разрушения горных пород, производительность существующих методов разрушения остается низкой при высокой стоимости работ и материалов. Главными причинами этого являются быстрый износ породоразрушающего инструмента, трудности передачи на забой достаточного количества энергии и низкий КПД. Поэтому непрерывно усиливается поиск и исследование новых способов разрушения твердых тел, основанных на современных передовых достижениях науки и техники.

Развитие новых видов породоразрушающего инструмента связано в перспективе с новыми принципами разрушения горных пород. Всем известным способам разрушения присущи недостатки, ограничивающие эффективность и технико-экономическую целесообразность их применения, особенно при разрушении крепких и весьма крепких горных пород.

Главной особенностью нагружения горной породы инструментом является то, что к разрушаемому телу прикладывается статическая или ударная нагрузка с преобладанием напряжений сжатия или среза. Разрушение производится при высоком давлении разрушающего инструмента на горную породу и сопровождается большими потерями энергии. Следствием применения интенсивного давления на породу является малая стойкость и высокий износ бурового инструмента и значительные потери времени на его замену, особенно при бурении.

Бурение горных пород – один из самых затратных и трудоемких технологических процессов при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых.

Технико-экономический анализ современных способов бурения скважин показывает невозможность устранения целого ряда присущих им принципиальных недостатков:

- низкий КПД (2–10 %);
- наличие сложных кинематических передач;
- быстроизнашивающийся и недостаточно надёжный породоразрушающий элемент;
- резкое уменьшение скорости разрушения с увеличением крепости разрушаемых пород и диаметра скважин;
- высокая себестоимость работ и др.

В этой связи в высокоразвитых странах не ослабевает интерес как к совершенствованию традиционных, так и к поиску и разработке принципиально новых способов бурения, дробления и измельчения, обработки твердых минеральных и искусственных материалов.

На сегодняшний день из разработок новых методов разрушения горных пород выделяются физические способы: электроимпульсное бурение, бурение лазером, электротермические способы, а также представляют интерес применение СВЧ при разрушении горных пород.

Применение СВЧ [2]. Сущность изобретения заключается в том, что процесс разрушения породы осуществляется непрерывно вращающимся механическим инструментом и импульсами энергии СВЧ, снижающими прочность породы, при этом механический инструмент вращают с частотой, зависящей от длительности импульса. Физическая сущность этого способа заключается в том, что при вращении бурового органа на забой скважины подают в режиме резонанса электромагнитных волн мощные импульсы СВЧ энергии, в результате воздействия которых на приповерхностный слой породы снижается их крепость и слой разрушается по каналам теплового пробоя, после чего ослабленная порода доразрушается резами бурового органа и удаляется из скважины сжатым воздухом. Исследования СВЧ ЭТМ способа бурения показали, что скорость бурения этим способом по крепким породам в 2 - 3 раза превышает скорости бурения шарошечным инструментом. Примерно в 1,5 - 2 раза уменьшается энергоёмкость процесса разрушения, а осевое усилие снижается минимум в 5 раз. К недостаткам СВЧ

ЭТМ способа бурения относятся: несогласованное воздействие на забой электромагнитными импульсами и механическим инструментом, что снижает реальную эффективность разрушения пород при бурении; не одновременное, а последовательное облучение зон забоя электромагнитным полем, в результате чего разрушение породы на забое осуществляется периодически с периодом в 1 оборот, что также снижает производительность бурения.

Электроимпульсное бурение [3]. Основано на разрушении горной породы мощным электрическим разрядом (пробоем) высокого напряжения (до 200 кВ), происходящим в приповерхностной зоне забоя скважины, заполненной жидким диэлектриком (трансформаторное масло). Бур выполнен в виде кольцевого зубчатого и центрального электродов. При бурении электроды прижимаются к забою, а центральный электрод вращается, обеспечивая создание последовательных электрических импульсов-пробоев с определенной частотой по всей площади скважины (рисунок 3).

Горная порода разрушается за счёт напряжений, возникающих в ней при электрическом пробое. Удаление продуктов разрушения производится циркуляцией жидкого диэлектрика. Эффективность бурения не зависит от крепости пород и глубины скважины и определяется параметрами электрического пробоя и условиями удаления продуктов разрушения. Скорость бурения до 6 — 10 м/ч. Область применения — нисходящие скважины в плотных горных породах, обладающих высоким электрическим сопротивлением и не поглощающих циркулирующий в скважине жидкий диэлектрик.

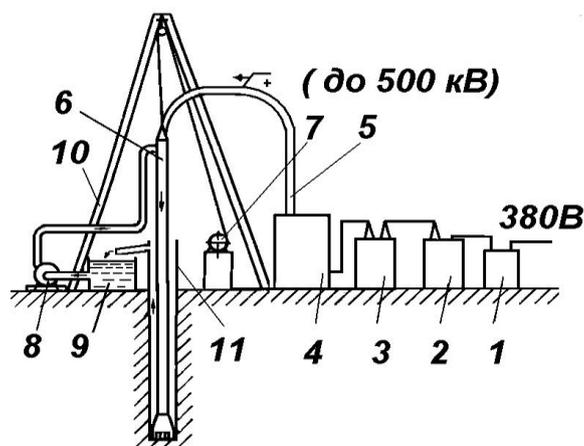


Рис. 3. Схема установки для бурения с прямой циркуляцией промывочной жидкости:

1 – высоковольтный трансформатор; 2 – выпрямитель; 3 – дроссель; 4 – генератор импульсных напряжений; 5 – высоковольтный токоподвод; 6 – буровой снаряд; 7 – лебедка; 8 – буровой насос; 9 – бак с промывочной жидкостью; 10 – вышка; 11 – направляющая обсадная труба

Эффективность ЭИ разрушения пород главным образом определяется их электрофизическими, а не прочностными свойствами, а потому становится особенно выигрышной в сравнении с механическими способами в случаях разрушения прочных и особо прочных пород. По электрической прочности горные породы отличаются не столь значительно, как по механической, и практически допустимо говорить о малой зависимости ЭИ разрушения от крепости горных пород. ЭИ способом могут быть разрушены практически все горные породы, что тоже является преимуществом.

Электротермический способ [4]. Способ электротермического бурения включает нагрев породы до ее размягчения устройством с головкой и цилиндрической частью и подъем породы. Размягченную породу подвергают разрушению резанием, затем поднимают породу на высоту цилиндрической части и нагревают ее до температуры расплава. Недостаток, заключается в том, что расплав, вытесняемый газовым давлением, быстро остывает и, охлаждаясь, прилипает к трубе и стенкам скважины, что ведет к аварийной ситуации (прихвату).

Лазерное бурение [5, 6, 7]. Механизм разрушения горной породы лазерным лучом необычен, весьма разнообразен и зависит от плотности энергии импульса. При небольшой плотности поглощенное оптическое излучение вызывает нагрев породы и разрушение ее плавлением. Иначе реагирует порода на воздействие мощного лазерного луча. Разрушение напоминает электрический пробой диэлектрика: после появления узкого канала пробоя возникает ударная волна (рисунок 4). Лазерный буровой инструмент не имеет механического контакта с горной породой и поэтому его износостойкость теоретически не ограничена. В этом состоит одно из главных преимуществ лазерного бурения. Для лазерного луча твердость горной породы не имеет какого-либо существенного значения (решающее отличие от всех механических способов бурения). Зато приходится считаться с тугоплавкостью отдельных горных пород или минеральных включений, например графита, асбеста и др. Кстати, все эти минералы обладают весьма низкой микротвердостью и для обычного бурения считаются легкобуримыми породами. В

настоящее время возможно производство газовых лазеров непрерывного действия с выходной мощностью 100 кВт и выше. Коэффициент полезного действия газовых лазеров может достигать 20–60 %. Одной из основных проблем в конкурентоспособности лазерного бурения – это высокие энергозатраты при бурении глубоких скважин. При решении этой проблемы способ бурения лазером будет явно превосходить механические способы бурения по многим показателям.

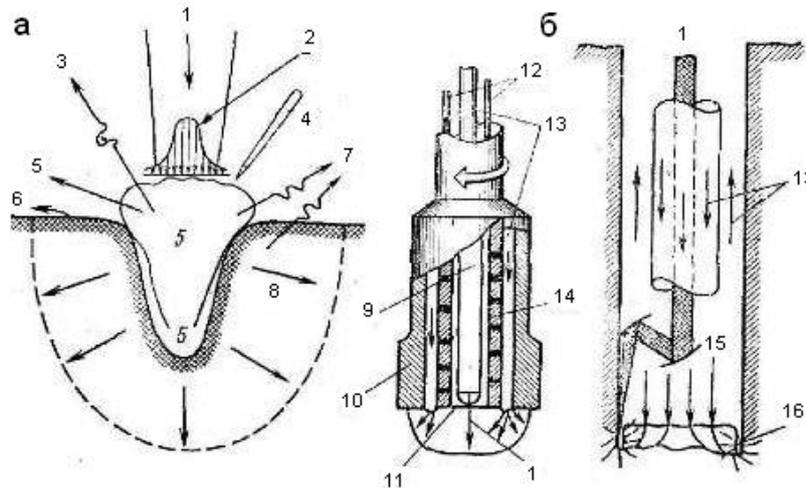


Рис. 4. Взаимодействие сфокусированного лазерного луча с горной породой (а) и схемы лазерных буровых снарядов (б):

1 – лазерный луч; 2 – распределение интенсивности луча; 3 – отраженная энергия; 4 – струя газов; 5 – удаляемые пары и расплавленная порода; 6, 7 – потери тепла конвекцией и излучением; 8 – зона нагрева; 9 – кристаллический или газовый лазер; 10 – расширитель; 11 – линза; 12 – кабели; 13 – промывочная жидкость или газ; 14 – отражающая поверхность; 15 – нагрузка на долото; 16 – периферийная канавка, прорезанная лазерным лучом

Одной из проблем в развитии новых технологий бурения является конкуренция с обычными, широко применяемыми устройствами, которые разрабатывались десятки-сотни лет, что принципиально улучшило показатели бурения. Подобные улучшения могут ожидать и для новых технологий: неэкономичные сегодня, они найдут применение в ближайшие годы, при дальнейшем их развитии.

Нами представляется использование комбинированных способов разрушения горных пород, т. е. совмещение механических и физических способов, что позволило бы расширить области применения и значительно понизить энергозатраты при разрушении пород различной крепости. Разработка комбинированных методов требует дополнительных исследований, разработки новых комплексов оборудования и технико-экономических обоснований.

Литература

1. Классификация способов бурения. [Электронный ресурс]. <http://www.stroypraym.ru/knigi/stroitel'naya-tehnika/1262-klassifikaciya-sposobov-bureniya.html>.
2. Способ и устройство сверхвысокочастотного электротермомеханического бурения (Патент RU 2204008). [Электронный ресурс]. <http://www.findpatent.ru/patent/220/2204008.html>.
3. Электроимпульсный способ разрушения горных пород (Патент RU 2232271). [Электронный ресурс]. <http://www.findpatent.ru/patent/223/2232271.html>.
4. Способ электротермического бурения и устройство для его осуществления (РФ № 2013514). [Электронный ресурс]. <http://www.freepatent.ru/patents/2013514>
5. Проведение буровых скважин посредством жара. [Электронный ресурс]. <http://byrim.com/burenie/20.html>.
6. Способ бурения скважин с использованием лазерной энергии и устройство для его реализации (RU 2449106). [Электронный ресурс]. <http://www.findpatent.ru/patent/244/2449106.html>.
7. Лазерное бурение. [Электронный ресурс]. <http://computerchoppers.ru/razrushenie/2722-lazernoe-burenie.html>.