

Рисунок 3. Разновидности траекторий бурения: 1 - Build and Hold, 2 - S-shape, 3- Deep Kick Off

Литература

1. Зотеев, О.В. Геомеханика: Учебное пособие. – Екатеринбург: УГГУ, ИГД УРО РАН, 2003. – 252 с.
2. Zoback D., *Mark Reservoir Geomechanics/ interdisciplinary book* – Cambridge: Cambridge University Press, 2010. – 461 p.

ЭФФЕКТ ПОЛЯРНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОМ БУРЕНИИ

И.В. Бугаев, С.Ю. Дацкевич, М.Ю. Журков, А.С. Юдин

Научный руководитель – профессор В.Ф. Важов

Национальный Исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Электроимпульсный (ЭИ) способ разрушения твердых диэлектрических и полупроводящих тел, открытый в Томском политехническом университете (Россия) [2], является принципиально новым и соответствует многим критериям эффективного разрушения горных пород и искусственных материалов.

При воздействии импульса высокого напряжения субмикросекундной длительности на горную породу в электроизоляционной жидкости (в том числе и в воде) происходит внедрение канала разряда в породу. Это явление – основа ЭИ способа разрушения твердых тел. В канале разряда за время несколько микросекунд выделяется энергия, запасенная в источнике высоковольтных импульсов. В объеме горной породы развиваются процессы подобные взрыву – происходит электровзрыв. Рабочим телом, разрушающим горную породу, является плазма канала разряда, которая возобновляется от разряда к разряду, т.е. не изнашивается и не стареет. В самой сущности ЭИ способа заложена возможность достижения более высокой в сравнении с механическими способами эффективности разрушения с низкими энергетическими затратами. Эти преимущества особенно ярко проявляются при бурении скважин большого диаметра в крепких и очень крепких горных породах. При этом наблюдается слабый износ бурового наконечника, который позволяет бурить без замены сотни метров. Возникновение первичного канала разряда как с катода, так и с анода имеет одинаковую физическую природу. Различие состоит в том, что при разряде с катода в его формировании участвуют преимущественно несобственные электроны, инжектированные с катода, а при разряде с анода – собственные электроны из мелких донорных уровней диэлектрика, что существенно влияет на скорость развития разряда.

Скорость развития канала разряда влияет на вероятность внедрения канала в горную породу: чем выше скорость, тем выше вероятность внедрения, т.е. применение при ЭИ бурении импульсного напряжения положительной полярности повышает вероятность внедрения и, как следствие, эффективность бурения. Кроме этого известно, что эффект полярности влияет на пробивные напряжения горных пород. Для внедрения канала разряда в породу существенным является полярность высоковольтного электрода. Для диэлектриков и горных пород пробивное напряжение на положительной полярности ниже, чем на отрицательной. Эффективнее проводить ЭИ бурение при отрицательной полярности импульса напряжения, так как при этом пробивное напряжение жидкости наибольшее, однако практическую значимость имеют также величина объема разрушения, которая при отрицательной полярности импульса значительно меньше [3].

В настоящее время имеет место значительный интерес к использованию ЭИ способа для бурения геотермальных скважин большого диаметра (400 мм и более) и большой глубины (более 3500 м), где предпочтительнее использовать импульсы отрицательной полярности [5]. Ожидается, что использование ЭИ способа для бурения геотермальных скважин позволит снизить затраты на получение скважины до 30% [4], вследствие чего данный альтернативный источник энергии станет доступным для широкого использования.

Абсолютное большинство работ по ЭИ бурению осуществлялось на положительной полярности импульса напряжения. Большое практическое значение имеет эффективность реального бурения горных пород для разных полярностей рабочего напряжения. Источником высоких импульсных напряжений разной полярности является генератор Аркадьева-Маркса, обладающий простой конструкцией, высокой надежностью, возможностью регулировок энергетических параметров.

Нами разработан ЭИ буровой снаряд диаметром 219 мм, на котором закреплен буровой наконечник диаметром 310 мм с расстоянием между электродами $S = 40$ мм, состоящий из восьми пар электродов (рис. 1).



Рис. 1 Электроимпульсный буровой наконечник после экспериментального бурения

Бурение скважины проводилось в экспериментальном образце горной породы, сооруженном на площадке ТПУ из гранита крепостью по шкале М. Протодяконова $F = 16$ Новобибеевского месторождения (Новосибирская область), высотой 15 м. Для обеспечения эффективного удаления шлама из скважины использовался насос производительностью 1660 $\text{дм}^3/\text{мин}$. Промывка скважины осуществлялась загрязненным трансформаторным маслом, как средой практически не влияющей на эффект разрушения. Применялся прямой способ промывки. Общая глубина бурения на положительной полярности 5,79 м, на отрицательной – 6,22 м. Известно, что скорость ЭИ бурения зависит от частоты следования импульсов линейно вплоть до 24 имп/с [1].

Диапазон изменения частот в данной работе составил 2,9 – 5,6 имп/с . Анализ результатов бурения осуществлялся для частоты 5 имп/с . В таблице 1 приведены средние значения полученных результатов для обеих полярностей напряжения.

Таблица 1

Характеристики бурения

$U_{\text{пр}}$, кВ	h, см	f, имп/с	Q, $\text{см}^3/\text{имп}$	$W_{\text{вд}}$, Дж/ см^3	M, Дж/см	V_5 , м/ч
положительная полярность						
286	579	3,4 - 5,6	1,51	1,06	318	0,280
отрицательная полярность						
275	622	2,9 - 5,1	1,44	1,03	388	0,285

В таблице: $U_{\text{пр}}$ – рабочее напряжение; h – глубина бурения; f – частота следования импульсов; Q – производительность бурения за 1 импульс; W – энергозатраты; M – энерговклад в канал пробоя; V_5 – скорость бурения при $f = 5 \text{ имп/с}$.

В таблице 1 указаны средние значения для всех циклов. На рис. 2 приведены результаты бурения по циклам для обеих полярностей напряжения, приведенные к частоте следования импульсов $f = 5 \text{ имп/с}$.

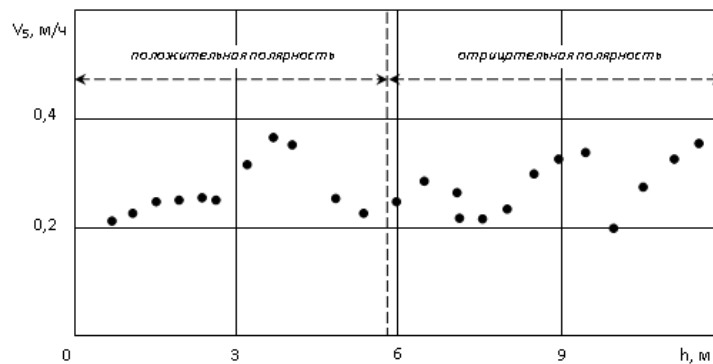


Рис. 2 Результаты электроимпульсного бурения для V_5

На основании полученных нами результатов можно утверждать, что эффект полярности для пробивного напряжения практически отсутствует. Это один из важных показателей ЭИ пробоя горных пород. При ЭИ бурении эффект полярности может проявляться не только в изменении пробивного напряжения, но и в показателях разрушения: производительность Q, энергозатратах, скорость бурения V. Из таблицы 1 следует, что перечисленные показатели с учетом точности измерений (не менее 10%) и статистической достоверности полученных результатов не зависят от полярности импульса напряжения. Это, по-видимому, связано с многократным пробоем комбинированной среды горная порода-трансформаторное масло многоэлектродной системой бурового наконечника.

Литература

1. Важов В.Ф., Зиновьев Н.Т., Ушаков В.Я. Электроразрядная технология бурения скважин и разрушение железобетонных изделий. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – 312 с.
2. Воробьев А. А., Воробьев Г. А., Чепиков А. Т. Закономерность пробоя твердого диэлектрика на границе раздела с жидким диэлектриком при действии импульса напряжения //Свидетельство на открытие № А-122 от. – 1998. – Т. 29.

3. Семкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. – СПб.: Наука, 1995. – 276 с.
4. Lehmann F., Anders E., Voigt M., Reich M., Kunze G. Electric Impulse Technology – Long Run Drilling in Hard Rocks // Oil and Gas European Magazine, 2015. – V.41(1). – P. 42-45.
5. Schiegg H.O., Rødland A., Zhu G., Yuen D.A. Electro-Pulse-Boring (EPB): Novel Super-Deep Drilling Technology for Low Cost Electricity // Journal of Earth Science, 2015. – V.26. – №1. – P. 037-046.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО БУРА ДЛЯ БУРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ГОРНЫХ ПОРОД В.Ю. Боровой

Научный руководитель доцент В.В. Тихонов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время технология бурения является самым распространенным способом поиска и добычи полезных ископаемых. Классифицировать бурение можно по различным признакам по принципу, по виду привода породоразрушающего инструмента, по ориентации инструмента, забойному давлению и т.д. В данном случае рассматривается бурение по принципу – это механическое (вращательное, ударное, взрывное), термическое, химическое, комбинированное. На сегодняшний день в России используется преимущественно механическое бурение, поскольку оборудование для данного типа серийно налажено и унифицировано, например «ООО Борец» крупнейший производитель в России буровых установок и запчастей к ним [2]. Но такой способ бурения не всегда целесообразен если на пути бурения встречаются породы высокой механической прочностью и твердостью пород, например железистый кварцит имеет прочность на сжатие при небольшом содержании силикатов 370 – 400 МПа [2], при встрече с такой преградой бур будет быстро изнашиваться и придти в негодность. Поэтому в 50-х гг было предложено термическое бурение.

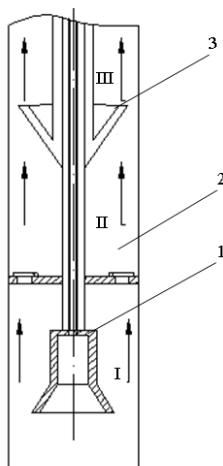


Рис.1 – Схема термического бура с комплектацией: 1. Горелка; 2. кольцо с ограничительными клапанами; 3. Эжекторный насос

Данный способ бурения основан на разрушении горных пород на забое скважин высокотемпературными газовыми струями, вылетающими с огромной скоростью из сопел горелки [2]. Огнеструйная горелка представляет собой рабочий инструмент станка термического бурения, состоит из форсунки эжекторного типа для подачи жидкого горючего или газообразного и окислителя (керосин + кислород, водород + кислород). Охлаждение горелки осуществляется водой. Расстояние между срезом сопла горелки и забоем скважины 0,1 – 0,15 [2]. Температура потока струи газов варьируется от 1000 – 2000 °С при окислении сжатым воздухом и до 3000 °С при окислении кислородом, скорость струи 1800 – 2200 м/с, давление воздуха 600 – 800 кПа [1]. При воздействии высоких температур на породы, обладающие плохим коэффициентом теплопроводности и высокой твердостью разрушаются на мелкие хлопья и удаляются давлением газов от рабочего органа (горелки) [5]. Продукты разрушения породы удаляются из скважины восходящим газовым потоком, образуемым из смеси продуктов сгорания, которая выбрасывается в атмосферу вентилятором.

Одним из главных недостатков термического бурения, ограниченность глубины бурения, так как продукты разрушения удаляются восходящим газовым потоком, давление которого уменьшается с увеличением глубины скважины. Автором работы предлагается усовершенствовать конструкцию термического бура, комплектуя бур так называемым кольцом с ограничительными клапанами и эжекторным насосом (на рисунке 1 изображен термический бур с комплектацией и зонами технологических процессов).

Горелка и кольцо с ограничительными клапанами должно изготавливаться из специальных жаропрочных сплавов. Как видно из предложенной схемы комплектации бура в результате наличия кольца с ограничительными клапанами создаются условия для горения и разрушения породы, и образуется «Зона термического разрушения породы – I». В зоне I порода разрушается и под давлением отходящего газа из горелки отводится через клапана кольца, которое не позволяет разрушенной породе вернуться в зону I и заглушить пламя. Когда порода отводится через кольцо, она попадает в следующую зону, «Зона заряджения – II». Данная зона предназначена для создания вспомогательного давления к давлению отходящих газов горелки, чтобы отвести разрушенные массы породы в «Зону транспортировки породы – III». В зоне транспортировки порода удаляется на поверхность с помощью эжекторного насоса перекачивающий воду для подхвата и вымывания породы на поверхность. Следует отметить, что эжекторный насос является рабочим органом для II и III зоны и мощности его должно быть достаточно как для создания вспомогательного давления, так и для транспортировки разрушенных пород. В зависимости от глубины бурения в зоне транспортировки иногда целесообразно использовать несколько насосов, поскольку поднять массу породы и воду одного насоса может быть недостаточно.