

2) предварительная оценка компонентов ОВ обеспечивает выбор и выполнение обоснованного комплекса инженерно-геологических исследований в целях получения количественных параметров горного массива, необходимых для разработки расчетной модели устойчивости сооружения и коррекции проекта схемы разработки месторождения (основной этап проекта);

3) в процессах разработки массива и эксплуатационной разведки месторождения прогнозные параметры компонентов ПТС сопоставляются с фактическими, затем по уточненным данным разрабатывается проект мониторинга, обеспечивающий систему контроля устойчивости горнодобывающего сооружения.

К основным компонентам элемента ПТС «Сооружение» следует отнести: (1) тип сооружения (система отработки МПИ); (2) конструкция горной выработки (геометрия карьера, штольни, шахты или др.); (3) способ отработки (буровзрывной, отбойный или др.).

Литература

1. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерно-геологические изыскания. – М.: КДУ, 2007. – 424 с.
2. Инженерно-геологическая оценка нарушенности и трещиноватости горных пород в процессе разведки месторождения (доклад) / И.В. Абатурова [и др.] // Минерально-сырьевые ресурсы и комплексное их освоение. (Мельниковские чтения): Материалы Всесоюз. сов. – М.: АН СССР, 1989. – С. 60–67.
3. Смирнов Б.В. Системный метод прогнозирования инженерно-геологических условий разработки месторождений по геологоразведочным данным. – Ростов-на-Дону: Донбасс НИЛ, 1973. – 38 с.
4. Ярг Л.А. Методы инженерно-геологических исследований процесса и кор выветривания. М.: Недра, 1991. – 137 с.

ПРОХОДКА СТВОЛОВ И БУРЕНИЕ СКВАЖИН ВЫСОКОВОЛЬТНЫМИ РАЗРЯДАМИ В КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

А.М. Адам, С.Ю. Дацкевич, М.Ю. Журков, В.М. Муратов

Томский политехнический университет, Россия

E-mail: muratov@hvd.tpu.ru

На бытовом уровне существует мнение, что проблем безопасного хранения, переработки и утилизации радиоактивных отходов, отработанного ядерного топлива становится все меньше, т.к. под давлением противников атомных технологий некоторые страны на государственном уровне приняли решение о полном отказе от атомной энергетики или постепенном ее сокращении. Это, например, такие страны, как ФРГ, Швеция, Дания, Эстония и другие. В Японии миллионы людей уже поставили свои подписи за закрытие всех атомных станций страны, и сбор подписей продолжается. Но реальность показывает обратное. Так, к 2007 году только в странах-участницах Европейского Союза (ЕС) захоронению подверглось 2000000 м³ радиоактивных отходов [11]. К этому следует добавить остатки урановой промышленности. К 2020 году ожидается увеличение объемов радиоактивных отходов на 2000000 м³ только в этих странах, т.е. без учета многих стран, в т.ч. Российской Федерации (РФ). Генеральный директор государственной корпорации атомной энергии «Росатом» С.В. Кириенко в своем выступлении на 24-м канале российского телевидения 6 января 2013 года назвал полтора десятка стран, где ведется или предполагается строительство атомных станций с участием России, в т.ч. Индию, Китай, Турцию, Вьетнам, Белоруссию, Иран, целый ряд других арабских стран, Аргентину и Бразилию в Южной Америке. РФ занимает первое место в мире по количеству одновременно сооружаемых АЭС за рубежом. Особый инте-

рес вызывает сообщение С.В. Кириенко о том, что 20 % запасов урана США принадлежит РФ, столько же Казахстана. Добыча урановых руд планируется также в Австралии и Африке.

23 февраля 2013 года многие средства массовой информации, в т.ч. ИТАР-ТАСС, сообщили о том, что в штате Вашингтон на берегу реки Колумбия произошла утечка ядерных отходов из шести резервуаров Хэнфордского комплекса, который был создан в 1940-х годах. Всего в хранилище 177 резервуаров, срок службы которых давно истек. В них хранится 200 миллионов литров отходов производства плутония, который использовался для изготовления ядерного оружия, возможно и тех бомб, которые были сброшены на японские города Хиросима и Нагасаки в 1945 году.

Безопасное хранение, переработка и утилизация радиоактивных отходов актуальны и для жителей городов Северска и Томска, Томской области и соседних регионов. На территории нынешнего Северска уже многие десятилетия работают с радиоактивными отходами, а в ближайшие годы может быть построена новая АЭС на основе реактора на быстрых нейтронах («Брест-300» или «Брест-1200»). Ранее одним из способов захоронения радиоактивных отходов было использование буровых скважин. Студенты-гидрогеологи Томского политехнического института защищали дипломные работы по бурению скважин для таких целей, а члены государственной экзаменационной комиссии очень активно обсуждали важнейший для томичей вопрос: как скоро радиоактивные отходы из этих скважин попадут в подземные воды Томского водозабора. Скважинный способ хранения и утилизации был раскритикован МАГАТЭ [11].

Считается рациональным использование для захоронения и длительного хранения высокоактивных отходов горных выработок, пройденных в крепких монолитных горных породах, в т.ч. в северных районах. Проходка таких выработок (стволов, скважин большого диаметра) возможна электроимпульсным (ЭИ) способом разрушения горных пород, который предложен в Томском политехническом институте [4, 5, 7]. Этот способ основан на закономерности превышения электрической прочности жидких диэлектриков над электрической прочностью твердых диэлектриков при малых временах нарастания импульсов напряжения до пробоя: менее $5 \cdot 10^{-6}$ с [3]. На рисунке видно, что в точке «а» пробивное напряжение фторопласта-4 равно пробивному напряжению технической воды, а в точке «б» – трансформаторного масла. Левее этих точек электрическая прочность фторопласта-4 меньше электрической прочности жидкостей [1]. Аналогичные результаты получены при использовании в качестве твердых диэлектриков образцов различных горных пород (более 20 наименований), в т.ч. таких крепких как кварцит, фильзит-порфир, роговик, гранит. Эксперименты на образцах горных пород проведены с использованием двух разнополярных электродов, установленных на образец перпендикулярно ему или наклонно. Такое расположение электродов характерно практически для всех ЭИ буровых наконечников.

Важнейшим достоинством ЭИ способа является минимальный износ электродов буровых наконечников, что позволяет одним ЭИ буровым наконечником, изготовленным из самой низкосортной стали, проходить сотни метров, например, в кварцитах (г. Лениногорск, Андреевский рудник), т.к. при ЭИ способе горная порода разрушается электрической импульсной искрой, сформированной в толще горной породы между двумя электродами. При этом происходит отрыв горной породы, расположенной над каналом разряда. Образующаяся откольная воронка заполняется жидкой средой; следующий разряд происходит в одном из соседних межэлектродных промежутках, и так до полного разрушения горной породы по всей площади забоя. В результате этого ЭИ буровой наконечник опускается на образовавшийся забой скважины. ЭИ способ позволяет вести разрушение горных пород, в т.ч. бурение скважин, без вращения ЭИ наконечника, поэтому износ электродов происходит только за счет их электрической эрозии, воздействия шлама и ударов наконечника о забой скважины после каждого под-

скока при развитии электрических разрядов в горной породе. При этом эффективность ЭИ способа разрушения горных пород определяется не только их прочностными характеристиками, а, главным образом, электрофизическими свойствами, т.к. канал электрического разряда развивается непосредственно в горной породе, и ее разрушение происходит с преобладанием растягивающих и сдвигающих напряжений, что примерно на порядок ниже, чем на сжатие, характерное для механических способов. Эффективность ЭИ способа достигается еще и за счет того, что происходит минимальное разрушение горной породы, оторванной электрическими разрядами. Например [2], при бурении скважин в граните и микрокварците ЭИ буровым наконечником с межэлектродным промежутком 50 мм длина наиболее крупных кусков шлама составила более 40 мм, ширина 25 мм и толщина 15 мм, т.е. длина наиболее крупных кусков шлама близка величине межэлектродного промежутка, ширина равна половине, а толщина достигает 1/3 величины этого промежутка.

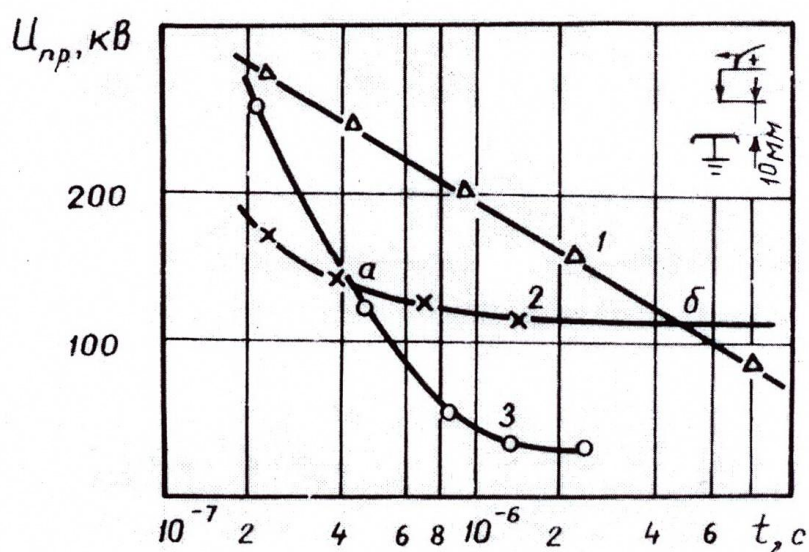


Рисунок. Вольт-секундные характеристики:
 1 – трансформаторное масло; 2 – фторопласт-4; 3 – техническая вода

Преимущества ЭИ способа позволяют вести бурение скважин при энергозатратах (Дж/см³) значительно ниже, чем при вращательном, ударном и огневом способах бурения. Важные результаты были получены при многократном воздействии импульсов напряжения на электродную систему с большим межэлектродным промежутком [8]. Исследования проводились на образцах гранита, а также насыщенного водой и замороженного песка. Образцы погружались в трансформаторное масло. Экспериментально установлено, что при увеличении межэлектродного промежутка пробивное напряжение растет значительно медленнее, чем промежуток. Так, при увеличении межэлектродного промежутка со 100 до 800 мм, т.е. в 8 раз, пробивное напряжение возросло всего в 2,2 раза, а при увеличении промежутка с 600 до 800 мм, т.е. на 33 %, напряжение возросло менее, чем на 10 %. Это показывает эффективность применения электродных систем с увеличенными межэлектродными промежутками для бурения скважин большого диаметра и проходки горных выработок. Так, например, скважины большого диаметра (700 мм) бурились на Степановском карьере г. Томска [6] ЭИ буровым наконечником диаметром 600 мм с межэлектродным промежутком 150 мм. В окварцованном песчанике было пробурено 16 м, наибольшая глубина скважин составила 9 м. В качестве про-

мывочной жидкости применялось дизельное топливо, которое прокачивалось по схеме обратной промывки с интенсивностью 3000 л/мин. Частота следования импульсов высокого напряжения изменялась от 1 до 5 имп./с при энергии импульса 5,5 кДж. Средняя скорость чистого бурения составила 1,8 м/ч, средняя энергоемкость разрушения 76 Дж/см³, а производительность импульса 56–83 см³/имп.

Электроимпульсный способ показал высокую эффективность бурения скважин в вечномерзлых отложениях Колымы [6]. При бурении скважин в условия Крайнего Севера вечномерзлые горные породы были представлены песчано-глинистыми, валунно-гравийными и песчано-гравийными отложениями, а также линзами льда мощностью до 3 м. Бурение велось при температуре окружающего воздуха – 47 ÷ – 53 °С. При испытаниях было пробурено две скважины общим метражом 20,7 м в интервалах глубин от 1,2 м до 8,8 м и до 14,3 м. Буровой снаряд был предназначен для прямой схемы промывки через центральную часть бурового наконечника. Изоляционный корпус высоковольтного ввода, центрирующие изоляторы колонны бурильных труб и короночные изоляторы были полиэтиленовыми. Диаметр колонны бурильных труб составлял 127 мм, а буровых наконечников 200 мм. Емкость импульсных напряжений в разряде составляла 0,025 мкФ, длительность фронта импульса – 0,6 мкс, номинальное напряжение – 600 кВ, энергия импульса – 1,125 кДж. В качестве промывочной жидкости применялось арктическое дизельное топливо. Производительность насоса была равна 600 л/мин. Крупность частиц шлама достигала 50 мм. Другие параметры и результаты бурения приведены в (табл. 1.).

Таблица 1

Параметры и результаты бурения в вечномерзлых отложениях

№	Наименование параметра или результата	Размерность	Межэлектродный промежуток, мм		
			30	50	75
1	Всего пробурено	м	3,1	13,1	4,5
2	Частота следования импульсов	имп./с	9	12	9
3	Средняя скорость чистого бурения	м/ч	5,5	14,6	17,0
4	Максимальная и минимальная скорости	м/ч	5,7	15,5	17,1
			5,0	12,9	16,6
5	Удельные энергозатраты на бурение	кВт·ч/м	1,44	0,925	0,765
6	Средний диаметр скважины	мм	227	234	239
7	Энергоемкость разрушения породы	Дж/см ³	127,0	77,6	61,7
8	Удельная производительность импульса	см ³ /имп.	6,9	14,5	23,4

В Томском политехническом университете разработана электроимпульсная буровая установка с наибольшим диаметром по породоразрушающим элементам 930 мм [9]. Одной из отличительных ее особенностей является комбинированное разрушение горных пород: электроимпульсным и механическим способами. На основании результатов лабораторных исследований определено, что скорость чистого бурения скважин диаметром 930 мм в крупнозернистом граните равна 0,68 м.

Для проходки стволов диаметром в несколько метров в крепких горных породах предназначен предложенный в Томском политехническом университете способ разрушения горных пород [10], для реализации которого в разрушаемой горной породе бурят шпуры (глубиной до 0,3 м), в эти шпуры вставляют по одному изолированному электроду и заполняют их жидкостью, например, водой; один из электродов заземляют, а на соседний электрод подают один или несколько импульсов высокого напряжения. При развитии разрядов в граните между погруженными в шпуры концами электродов происходит разрушение горной породы. В таблице 2 приведены результаты разрушения

(отбойки) гранита при различных глубинах вертикальных шпуров (H) и расстояниях (S) между заглубленными концами электродов. В этой таблице $U_{пр}$ – пробивное напряжение, $W_з$ – энергия, запасаемая источником высоковольтных импульсов, $W_{уд}$ – удельные энергозатраты, Q – производительность одного импульса.

Таблица 2

**Условия разрушения гранита при погруженных в шпур
электродах и некоторые результаты**

H, мм	S, мм	$U_{пр}$, кВ	$W_з$, кДж	$W_{уд}$, Дж/см ³	Q, см ³ /имп.
50	300	630	35,4	105,2	416
100	300	600	33,9	33,8	1005
100	200	610	39,5	51,8	820,7

Полученные результаты показывают, что эффективность отбойки выше при большем заглублении электродов и большем расстоянии между ними. Наибольшие габариты оторванных кусков породы достигали размеров межэлектродных промежутков и составляли 200–300 мм.

Важным преимуществом ЭИ способа проходки стволов в крепких горных породах над буровзрывным способом является сравнительно низкое разрушающее воздействие на стенки проходимых стволов, что позволяет проходить стволы на близком расстоянии друг от друга и размещать в них, например, металлобетонные контейнеры для отработанного ядерного топлива диаметром 2,3 м и высотой 4,8 м [12].

Литература

1. Адам А.М. Ректор ТПИ А.А. Воробьев – изобретатель электроимпульсного способа разрушения горных пород // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 2. – С.191–196.
2. Важов В.Ф., Дацкевич С.Ю., Журков М.Ю. и др. Гранулометрический состав шлама при электроимпульсном разрушении горных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. РАН. Сибирское отделение. – 2012. – № 1. – С. 118–124.
3. Воробьев А.А., Воробьев Г.А., Могилевская Т.Ю., Чепиков А.Т. Способ бурения электрическими импульсными разрядами / Авторское свидетельство СССР №237073 с приоритетом от 14.04.1959 г.
4. Воробьев А.А., Воробьев Г.А., Чепиков А.Т. Закономерность пробоя твердого диэлектрика на границе раздела с жидким диэлектриком при действии импульса напряжения. Приоритет открытия 14.12.1961. Диплом 107. // Научные открытия. Сборник кратких описаний. – М.-СПб.: РАЕН, 1999. – Вып.1. – С. 36–38.
5. Воробьев А.А., Завадовская Е.К. Способ разрушения горных пород и полезных ископаемых / Авторское свидетельство СССР № 195403 с приоритетом от 26.06.1951 г.
6. Исследование процесса бурения горных пород и искусственных материалов электрическими импульсными разрядами // Отчет по контракту с японской фирмой Komatsu от 14.06.96: рук. Боев С.Г.; № ГР 02.9.70 003478. – Томск: НИИ высоких напряжений при ТПУ, 1997. – 119 с.
7. Кутузов Б.Н. Электроимпульсное бурение // Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1978. – Т. 30. – С. 161–162.
8. Левченко Б.С., Подплетнев В.И., Семкин Б.В. Особенности многократного воздействия импульсных напряжений на горные породы // Электронная обработка материалов. – 1977. – № 1. – С.50–53.
9. Муратов В.М., Адам А.М., Важов В.Ф., Лопатин В.В. Электроимпульсная буровая установка / Патент РФ № 2445430 с приоритетом от 04.08.2010 г.

10. Муратов В.М., Адам А.М., Рябчиков С.Я. Способ разрушения горных пород / Патент РФ № 2375573 с приоритетом от 20.08.2008 г.
11. Нойман В. Утилизация ядерных отходов в Европейском союзе: рост объемов и никакого решения / Пер. с англ.; под ред. А.Козлова. – Воронеж, 2011. 68 с.
12. Щиголев Н.Д., Соловей В.А., Колхидашвили М.Р., Пирогов А.М. Контроль качества металлобетонного хранилища для отработанного ядерного топлива // Журнал технической физики. – 2011. – Т. 81. – Вып. 8. – С. 135–141.

**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРЫХ УГЛЕЙ
МУНАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
В.Е. Бабушкин¹, С.И. Будилко²**

¹*Общество с ограниченной ответственностью «ЭКОГЕО», Бийск, Россия,*

²*Общество с ограниченной ответственностью «Мунайский разрез», Бийск, Россия
E-mail: ekogeo@211.ru*

Тема энергодефицита для Алтайского края не нова. Половину потребленной энергии край производит сам, другую покупает. При амбициозных планах развития в ближайшие годы вопрос энергетической безопасности для Алтая звучит все громче. Развитие угольной отрасли поможет региону снизить дефицит электроэнергии.

На Алтае есть свое твердое топливо. Мунайское месторождение бурого угля, что расположено в Солтонском районе. Считается, что запасы угля здесь оцениваются в 34 миллиона тонн. В настоящее время планируется уточнение запасов угленосной площади «Неня-Чумышская впадина». Ожидается, что уточненные запасы окажутся в разы превосходящими существующие сегодня данные. Только для участка Шабуровский-Восточный ожидаемый объем – 178 миллионов тонн [3].

Уже сейчас в регионах, продающих энергию, наблюдается некоторое напряжение усилий, которое в дальнейшем может перерасти в откровенный дефицит. С 2013 года уже не будет 85 процентов регулируемой энергии – вся она поступит в свободную продажу. Регионам станет выгодно иметь свои генерации – это означает гарантированный рынок сбыта. На Мунайском месторождении можно построить конденсационную электрическую станцию (КЭС) мощностью 600 мегаватт, увеличить объемы добычи угля до двух миллионов тонн в год (с последующим увеличением добычи до 6,5 миллиона тонн). С помощью КЭС можно будет на 40 процентов снизить дефицит электроэнергии в крае. Кроме того, собственная энергия будет дешевле – в существующем сегодня инвестиционном предложении ее стоимость заложена – без НДС – в размере 1,2 рубля за один киловатт-час (себестоимость ее, по расчетам специалистов, составит 35,6 копейки).

По расчетам специалистов консалтинговой компании, которая разрабатывает проект развития разреза, реализация этого проекта будет приносить до 15 процентов поступлений в бюджет. В альбоме «Справочник инвестора–2008», что уже выпустило Алтайская Главэкономика, в перечне проектов, предлагаемых к реализации, значится и «Инвестиционная программа развития угольной отрасли Алтайского края». Целью проекта названо обеспечение углем ГРЭС мощностью 600 мегаватт, Барнаульской ТЭЦ-3, объектов малой энергетики и населения. Общая стоимость инвестиционного проекта оценивается почти в 36 миллиардов рублей. Однако будет ли это предложение в нынешнем виде взято к реализации, пока точно не известно.

По качественным характеристикам, уголь Мунайского месторождения соответствует марке 2Б, подгруппе 2БФ (фюзенизированный), классу 3 категории 4, типу 30, подтипу 05 и имеет кодовый номер 0343005. Стадия метаморфизма О2О3. Возможные направления использования, рекомендуемые ГОСТ 25543-88, энергетическое – пылевидное или слоевое сжигание в стационарных котельных установках и для коммунальных нужд. [5].