



УДК 622.241

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СВЕРХГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ

Закатов О.П., Бархатов С.П., Устинова Я.В., Семенов А.С.

Санкт-Петербургский Горный университет

Аннотация.

Сверхглубокое бурение на настоящий момент является одной из самых сложных технических задач современности, требующей больших затрат, новых инженерных исследований и большой научно-технической базы. Не каждой стране выгодно такое затратное нововведение, но тем не менее перспективы, которые открываются перед человечеством с развитием этого направления, довольно велики. Научные открытия, совершенные при бурении сверхглубоких скважин, стали основой для новых предположений о строении земной коры и заставили пересмотреть теории, на которых основывалась современная геология. Например, при бурении была обнаружена вода там, где ее нахождение раньше считалось невозможным. Это дает возможность предполагать, что и углеводороды могут быть на более значительной глубине, по причине перетока их вниз лежащие пористые коллекторы. Также при бурении были найдены металлы в чистом виде и в той концентрации, которой раньше не предполагалось, как и того, что они могут находиться на такой глубине.

Научное сверхглубокое бурение необходимо для дальнейшего развития геологии, т.к. данные, полученные от бурения, являются самыми достоверными и позволяют с большой точностью изучать геологическое строение регионов. Полученные керны могут служить вещественным доказательством теорий геологии о происхождении земли, наряду с изучением метеоритных остатков.

В данной статье рассмотрены некоторые аспекты использования современного оборудования для сверхглубокого бурения. Показан учет возможности применения новейшей российской буровой установки, который позволит более предметно подойти к проектированию скважин глубиной свыше 7 км. Приводятся некоторые технические характеристики и описание основных узлов бурильной установки БУ 15000/900 ДЭР.



Информация о статье

Поступила:

15 апреля 2021 г.

Рецензирование:

06 июня 2021 г.

Принята к печати:

23 июля 2021 г.

Ключевые слова:

сверхглубокие скважины,
буровое оборудование,
геотермальная энергетика,
петротермальная энергетика,
геологоразведочные данные

Для цитирования: Закатов О.П., Бархатов С.П., Устинова Я.В., Семенов А.С. Современные аспекты применения оборудования для сверхглубокого бурения // Техника и технология горного дела. – 2021. – № 2 (13). – С. 64-79. – DOI: 10.26730/2618-7434-2021-2-64-79

Введение

Новые технологии начали применяться именно при научном бурении скважин: от устройств для регистрации параметров горных пород на глубине до новых буровых растворов и материалов труб. Устройства для бурения вертикальных скважин позволили бурить вертикально до глубины 7500 м и при огромной температуре.

Однако важнейшим фактором для развития этого направления стали скудеющие запасы исчерпаемых ресурсов. Приповерхностной нефти осталось настолько мало, что нам



необходимо бурить все глубже и глубже в поисках углеводородов. Этот факт заставляет человечество задумываться о возобновляемых и экологических источниках энергии. К таким источникам энергии как раз относится петротермальная энергетика. Хотя срок службы такой станции и не бесконечен (30-50 лет, в зависимости от количества трещин гидроразрыва и температуры пород) [7, 10, 17], такой вид энергетике совершенно безопасен для окружающей среды.

Использование сверхглубоких скважин для получения энергии из тепла недр земли (геотермальная энергетика) по многим своим качествам является одним из самых перспективных видов получения энергии. Все разработки по типу зоны теплоотбора представляют две группы геотермальных циркуляционных систем (ГЦС): с естественным и искусственным коллекторами [8]. У петротермальной энергетике нет такой зависимости от погодных условий, как у приливной, ветряной или солнечной энергии, также нет столь же сильной привязанности к климату и географическому положению, т.к., несмотря на то, что геологические условия различаются в зависимости от местоположения, и в некоторых регионах подходящая температура пород может быть на довольно большой глубине, имеется возможность бурения скважин в любой точке планеты.

Гидротермальная энергетика также проигрывает по количеству мест возможных для постройки ГЭС из-за того, что далеко не везде можно найти пригодные для извлечения энергии гидротермальные источники. Можно добавить, что воды гидротермальных источников зачастую сильно минерализованы, имеют концентрацию солей на литр 200 и более граммов. Использование в качестве теплоносителя термальных высокоминерализованных вод может привести к коррозии, зарастанию скважин оксидом железа, карбоотложению, а, следовательно, поломке оборудования [9, 11].

Именно поэтому извлечение энергии сухих горных пород считается одним из наиболее перспективных источников энергии.

Общие сведения. Горно-геологические и термодинамические характеристики

На больших глубинах земной толщи создаются крайне сложные условия для бурения. Они возникают из-за многих факторов, которые могут усложнять, или же вообще делать невозможным многие операции, совершаемые при помощи традиционных способов строительства скважин. Стоит учитывать многие региональные геологические особенности, такие как геологическое строение данного региона, химический состав пород и их возраст, и системы трещин в данном регионе, тектонические особенности.

Также необходимо произвести качественную геологоразведку с целью составления плана геологической ситуации. Это нужно для корректной работы бурильной установки и более точного определения проектных задач и возможных трудностей, хотя на практике предполагаемое строение коры в месте бурения в точности никогда не подтверждалось на практике (см. рис. 1).

Для предварительного глубинного исследования земной коры наиболее рационально использовать сейсморазведку. Из-за небольших возможностей сейсморазведки и особенностей принципа работы аппаратуры, не всегда возможно определить, как точно выглядит земная кора в данном регионе. Пропускаемые сквозь земную толщу упругие волны могут ускоряться и замедляться, преломляться и отражаться в зависимости от плотности горных пород, формы их залегания, их состояния, возраста, трещиноватости и т.д. даже если известны реологические свойства горных пород, нельзя точно предположить, какими они будут на глубине. Плотность горных пород может возрастать неравномерно, скачкообразно, что мешает правильно интерпретировать геофизические данные [18, 19]. Подбор оборудования также зависит от геологической обстановки на данной территории. Для примера стоит взять Кольскую сверхглубокую скважину, из рис. 2 [1] видно, что на больших глубинах довольно часто теряются уже пробуренные стволы.

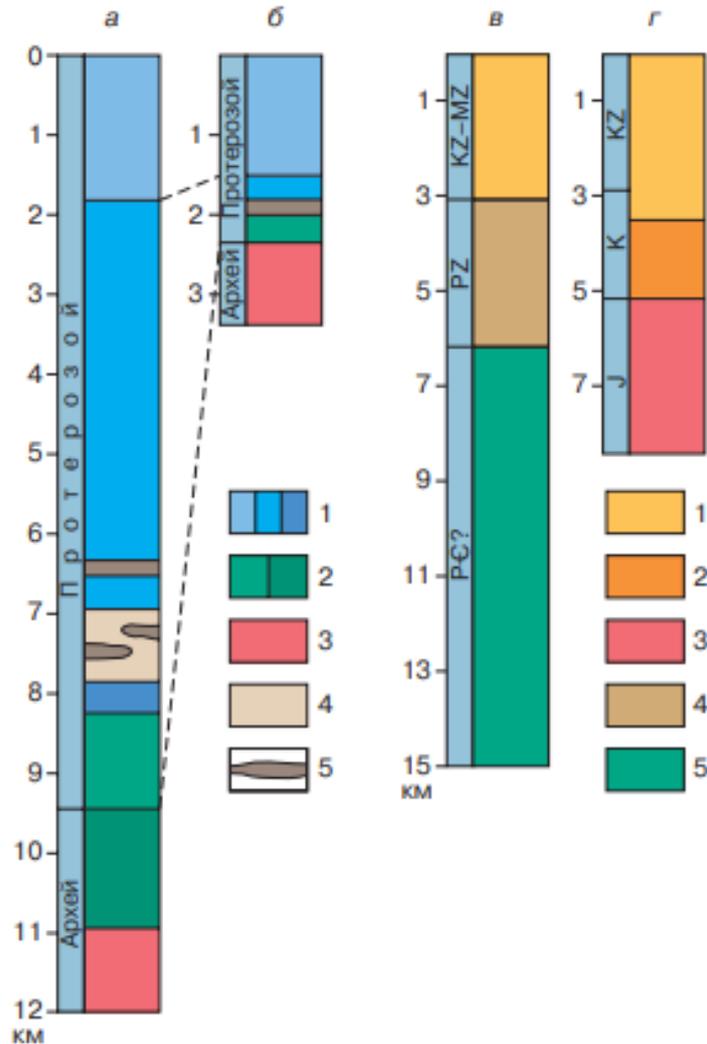


Рис. 1. Сопоставление проектных (а, в) и реальных (б, г) разрезов Криворожской (а, б) и Саатлинской (в, г) скважин. Криворожская скважина: 1 – метаморфизованные осадочные породы, 2 – метаморфизованные магматические породы основного состава, 3 – метаморфизованные гранитные породы, 4 – железистые кварциты, 5 – пласты и линзы железных руд. Саатлинская скважина. Возрастные группы пород: KZ – кайнозой и MZ – мезозой, PZ – палеозой, P C? – предполагаемый докембрий, K – меловая система, J – юрская система (части мезозойской группы); 1 – осадочные породы, 2 – вулканические породы основного и среднего составов, 3 – то же, среднего и кислого составов, 4 – сланцы, 5 – кристаллические породы базальтового слоя.

Rice. 1. Comparison of the design (a, c) and real (b, d) sections of the Krivoy Rog (a, b) and Saatlinskaya (c, d) wells. Krivoy Rog well: 1 - metamorphosed sedimentary rocks, 2 - metamorphosed igneous rocks of basic composition, 3 - metamorphosed granite rocks, 4 - ferruginous quartzites, 5 - layers and lenses of iron ores. Saatlinskaya well. Age groups of rocks: KZ - Cenozoic and MZ - Mesozoic, PZ - Paleozoic, P C? - - supposed Precambrian, K - Cretaceous system, J - Jurassic system (parts of the Mesozoic group); 1 - sedimentary rocks, 2 - volcanic rocks of basic and intermediate compositions, 3 - the same, intermediate and acidic compositions, 4 - shales, 5 - crystalline rocks of the basalt layer.

Более точные данные геологоразведки позволят скорректировать и рационализировать рабочий процесс, заранее предусмотрев возможные траты, а также поломки оборудования.

Давление на больших глубинах

Верхние толщи горных пород с огромной силой давят на низ лежащие породы, что вызывает не только такие процессы, как метаморфизм этих пород, который уменьшает первичную пористость и повышает прочность пород [1, 14, 19], но и некоторые тектонические процессы, как например сдвиги и разрывные нарушения. Оба эти вида деформации горных пород могут крайне негативно сказаться на целостности скважины. Стоит отметить, что полное «перерезание» может и не происходить, но вполне возможна полная потеря прочностных свойств ствола скважины, ее сжатие или перегиб, возникновение «мертвого прихвата», а, следственно, и выведение из эксплуатации той части, которая оказалась ниже места смещения горных пластов. Приходится делать уступ и бурить в обход, что занимает немалое количество времени. Повышается и износ буровой колонны, так, например, на последние 5 километров Кольской сверхглубокой скважины ушло около 50 км труб. Из-за подобных причин Кольская скважина сначала шла ровно, но потом начала разветвляться и больше походила на дерево.

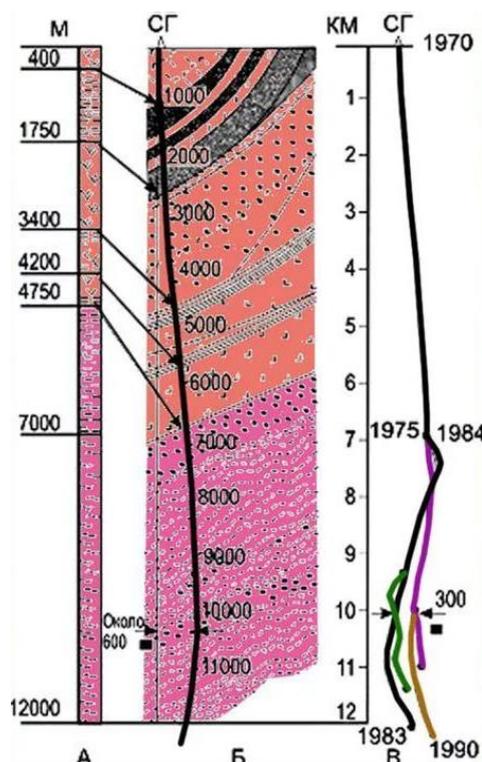


Рис. 2. Схематический разрез Кольской сверхглубокой скважины:

А. Прогноз геологического разреза;

Б. Геологический разрез, построенный на основании данных бурения СГ-3 (стрелки от колонки А к колонке Б указывают, на какой глубине встречены прогнозируемые породы). На этом разрезе верхняя часть (до 7 км) – толща протерозоя со слоями вулканических (диабазы) и осадочных пород (песчаники, доломиты). Ниже 7 км – толща архея с повторяющимися пачками пород (в основном гнейсы и амфиболиты);

В. Ствол скважины со многими пробуренными и потерянными стволами (глубже 7 км).

Rice. 2. Schematic section of the Kola superdeep well:

A. Forecast of the geological section;

B. Geological section based on SG-3 drilling data (arrows from column A to column B indicate the depth at which the predicted rocks are encountered). In this section, the upper part (up to 7 km) is a Proterozoic stratum with layers of volcanic (diabase) and sedimentary rocks (sandstones, dolomites).

Below 7 km - the Archean strata with recurring rock units (mainly gneisses and amphibolites);

C. Wellbore with many drilled and lost boreholes (deeper than 7 km).

Измерение давлений непосредственно в процессе бурения позволит производить мониторинг пластовых и забойных давлений. Проводить такие измерения будут специальные глубинные манометры. Такие измерительные приборы должны обладать высокими прочностными характеристиками и быть герметичными, для того чтобы выдерживать высокие гидростатические давления. Также необходимыми свойствами, помимо малого размера, который требуется для размещения в скважине прибора, являются химическая стойкость и инертность тех материалов, из которых он изготовлен или которыми покрыт. По принципу действия современные манометры можно разделить на пружинно-поршневые и с многовитковой трубчатой пружиной. Их конструкция показана на рис. 3 [5].

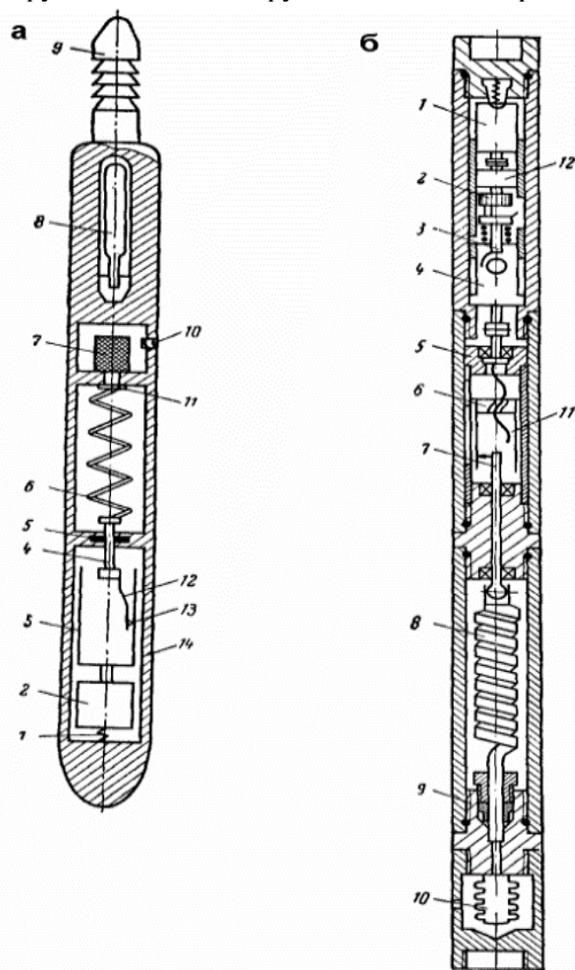


Рис. 3. Глубинный манометр: а – поршневой: 1,6 – пружины; 2 – часовой механизм; 3 – барабан; 4 – поршень; 5 – сальниковое уплотнение; 7 – фильтр; 8 – ртутный термометр; 9 – головка; 10 – канал; 11 – якорь; 12 – держатель; 13 – игла; 14 – корпус прибора; б – с трубчатой многовитковой пружиной: 1 – часовой привод механизма задержки; 2 – лимб установки времени задержки; 3 – стопор баланса часов; 4 – часовой механизм записи; 5 – каретка; 6 – барабан с диаграммным бланком; 7 – игла; 8 – пружина; 9 – узел уплотнения; 10 – сильфонный разделитель; 11 – винт; 12 – редуктор.

Rice. 3. Depth pressure gauge: a - piston: 1,6 - springs; 2 - clockwork; 3 - drum; 4 - piston; 5 - stuffing box seal; 7 - filter; 8 - mercury thermometer; 9 - head; 10 - channel; 11 - anchor; 12 - holder; 13 - needle; 14 - device body; b - with a tubular multi-turn spring: 1 - hour drive of the delay mechanism; 2 - limb for setting the delay time; 3 - clock balance stopper; 4 - hour recording mechanism; 5 - carriage; 6 - drum with diagrammatic form; 7 - needle; 8 - spring; 9 - seal assembly; 10 - bellows separator; 11 - screw; 12 - reducer.



Геотермический градиент

Рост температуры с ростом глубины может оказать существенное влияние на технологию бурения. Температуры на больших глубинах могут достигать крайне высоких цифр, так, например, на 12 км под землей на Кольской сверхглубокой скважине температура достигла 220° С [3].

Конечно, показатель геотермического градиента будет сильно меняться, в зависимости от места, эндогенной активности, свойств пород, слагающих земную кору. Большое влияние на теплопроводность горной массы имеет ее пористость, трещиноватость и водонасыщенность. Чем больше эти содержания веществ с небольшой теплоемкостью, тем, соответственно, больше и теплопроводность, что, конечно, является плюсом для петротермальных электро- и теплостанций, но оказывает негативное влияние на процесс бурения.

Геотермический градиент – величина, естественно, не постоянная, иногда даже отрицательная, то есть уменьшение температуры с увеличением глубины (чаще такое наблюдается вблизи земной поверхности), и если ее брать за константу, допустим как издавна считалось 30° на километр, то температура в центре Земли достигает 3000° С, что расходится с фактическими данными [3, 12, 15]. Кольская скважина позволила выяснить, что градиент в 10°С был только на первых 3 км. Далее, на глубине 7 км температура была равна 120° С, на 10 км температура была равна 180° С, а на 12 км – приблизительно 220° С [3] (по некоторым данным 211° [4, 16, 18]). Из этого следует, что геотермическая ступень может иметь разную величину, и чем она больше, тем более простые технологии можно применять для бурения глубоких скважин.

Стоит добавить, что даже такие температуры как на Кольской, не являются пределом. На глубине около 9 км скважины КТБ-Оберпфальц температура в забое достигала 300° С, что свидетельствует о весьма сложном распределении температур в земной коре.

Безусловно, такие температуры губительно сказываются на аппаратуре, применяемой для сверхглубокого бурения, и требуют отказа от традиционных методов в пользу более прогрессивных.

Наличие химически агрессивных сред на больших глубинах

Флюиды многих горных пород могут вступать в активное химическое взаимодействие как с буровым раствором, так и с цементирующим веществом. Для правильного подбора и того, и другого требуется корректный мониторинг геологической обстановки, что позволит также предсказывать возможные притоки насыщенных солями (кислотами, щелочами) растворов. Измерительные приборы, такие как манометры, тоже должны справляться с воздействием веществ на больших глубинах, ведь скорость реакций зависит от температуры, а так как она на глубине довольно высока, активность реагентов повышается.

Перспективными материалами по многим параметрам являются алюминий и титан, так как они прочные, легкие, и химически устойчивы. Последнее из перечисленных положительных качеств этих материалов связано с тем, что в химических реакциях эти металлы пассивируют. Конечно, цена на трубы из этих металлов довольно высокая по сравнению со стальными изделиями, что сужает круг их применения.

Глины, слагающие осадочный чехол многих территорий, также являются высокоактивной горной породой, которая очень легко растворяется и вымывается буровым раствором, переходя в него, образуя каверны и осыпи, ухудшая его качества за счет содержащихся пропластков солей. Для предотвращения этого используют такие системы растворов, которые ингибируют набухание неустойчивых глин, их разуплотнения и диспергирования. Такие растворы должны обладать высокими смазочными, крепящими и противоприхватными свойствами. Т.к. речь идет про осадочный чехол, то на особо высокие температуры обращать внимание не стоит из-за малой глубины, поэтому такие растворы могут быть на водной основе. Для получения таких свойств в раствор можно добавить мраморную крошку, метилосиликонат калия, ацетат калия, различные пеногасители и отходы растительного масла, сульфонат, хлористый калий, бишофит, барит и др.



Соли серы могут кристаллизоваться в стволе скважины, образуя накипи и, тем самым, мешая потоку бурового раствора. Эта проблема особенно актуальна в районах с высокой геотермической активностью, где нагретые до высоких температур воды, могут нести в себе много различных солей, а при остывании таких вод растворимость снижается, что приводит к выпадению осадка и образованию накипи.

Прочие геологические факторы

Есть множество факторов, влияющих на сложность проводимых буровых работ, но из более значимых из нерассмотренных остаются лишь несколько. Так, например, сильная неоднородность пород, проявляющаяся в виде чередования прослоек твердых и более мягких прослоек, может сказываться на траектории движения бура. Таким образом Кольская скважина на глубине 12 км отклонилась от вертикали на 840 м [6], а КТВ-Оберпфальц в Германии отклонилась от вертикали на глубине 9101 м на 300 м, хотя до глубины 7500 м она оставалась самой вертикальной скважиной в мире (рис. 4) благодаря специальному механизму, который вышел из строя из-за высокого давления и температуры.

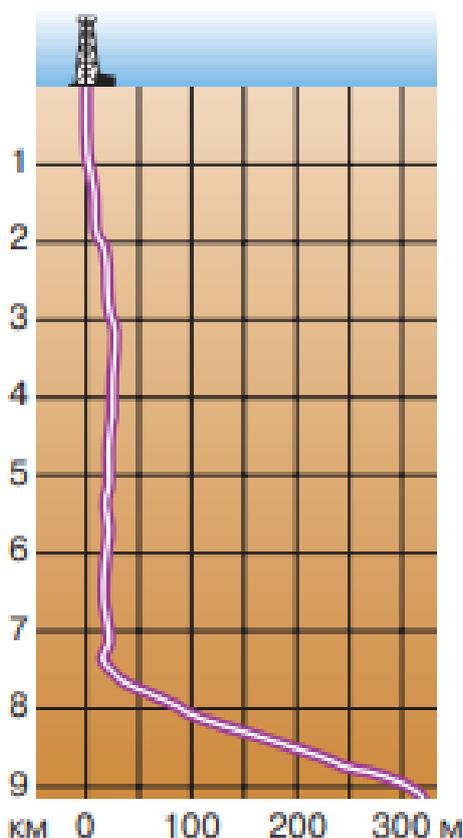


Рис. 4. Схематический разрез, иллюстрирующий искривление скважины КТВ-Оберпфальц в Германии (по Э. Лаушу, 1996).

Rice. 4. Schematic section illustrating the deviation of the KTB-Oberpfalz well in Germany (after E. Lausch, 1996).

Вдобавок, грунтовые воды, которые могут быть, как выяснилось из исследований Кольской скважины, и на больших глубинах (где ранее не предполагалось возможность их нахождения), оказывают негативное влияние. Они могут вымывать рыхлые горные породы, что сказывается на целостности околоствольного пространства скважины. И самое значительное, чем опасна вода на таких глубинах, это ее давление; мало того, что может вызываться репрессия и депрессия, что может повлечь за собой либо поглощение бурового раствора, либо



фонтан на поверхности из-за разности давлений, так еще и вызвать гидроразрыв пласта в ненужном месте (если этого не предусматривал проект), что чревато усиленным притоком вредоносных флюидов. Такие флюиды могут в большом количестве содержать химически активные вещества.

Глинистые отложения довольно неустойчивы. Пластичность, набухаемость, дисперсность, гидрофильность и объемная адсорбция – это основные физико-химические свойства, которые определяют качество глин. По характеру поведения в процессе бурения В.Л. Михеев предлагает разделить эти отложения на 4 группы:

- устойчивые породы;
- набухающие, высокопластичные и легко переходящие в буровой раствор глины;
- хрупкие, осыпающиеся и обваливающиеся глинистые сланцы;
- сильно увлажняющиеся глины с пропластками солей, образующих каверны, осыпи и обвалы.

Эти категории осадочных глинистых пород обуславливают осложнения, часто приводящие к потерям ствола или к ликвидации скважин [4, 13].

Неоднородности массива пород могут быть представлены такими видами нарушений, как каверны. Делятся они на мелкие (1-10 мм), крупные (10-100 мм) и пещеристые полости (100 мм и более). Кавернозность, будь она первичной или вторичной, негативно сказывается на прочности пород. Они могут встречаться в совершенно разных породах, так как выщелачивание, растворение (карст), застывания лавы и различных видов избирательного выветривания. Наиболее распространены каверны в карбонатных коллекторах.

Перспективные разработки установок для сверхглубокого бурения в России. БУ 15000/900 ДЭР

Россия до сих пор остается страной-рекордсменом с самой глубокой из когда-либо пробуренных скважин. Кольская сверхглубокая скважина стала не только способом показать научную мощь нашей страны, но и дала мощный толчок науке, и, что самое главное, дала опыт в проведении технически сложных работ. Сложности, с которыми столкнулись буровики, показали дальнейший вектор развития техники для подобных задач.

В этой разделе статьи будет рассмотрена новая буровая установка БУ 15000 / 900 ДЭР, с ее всевозможными техническими характеристиками. Источниками для разработки послужил накопленный положительный опыт проектирования, изготовления и эксплуатации бурового оборудования в условиях Западной и Восточной Сибири, а также в различных регионах России и ближнего зарубежья, равно как и опыт самого бурения на нефть и газ нефтегазодобывающими предприятиями Западной Сибири. Буровые установки «Уралмаш» были применены на Кольской (СГ-3, 1970-1995 гг., глубина – 12262 м, проектная глубина – 15 км), Тюменской (СГ-6, 1987-1996 гг., глубина – 7502 м, проектная глубина – 8 км), Саатлинской (СГ-1, 1977-1990 гг., глубина – 8324 м, проектная глубина – 11 км), Уральской (СГ-4, 1985-2005 гг., глубина – 6100 м, проектная глубина – 15 км) (рис. 5-7).

Само название БУ 15000 / 900 ДЭР (рис. 8) расшифровывается как:

БУ – буровая установка

15000 – условная глубина бурения

900 – допускаемая нагрузка на крюке по ГОСТ 16293-89, т

Д – дизель-электрические станции

Э – электрическая

Р – частотно регулируемый привод

Назначение этой уникальной установки, с электрическим частотно-регулируемым приводом переменного тока с цифровой системой управления, эшелонным расположением блоков в блочно-модульном исполнении – это кустовое бурение, с большим отходом от вертикали эксплуатационных, геологоразведочных скважин. Установка может применяться в макроклиматических районах с умеренно-холодным морским климатом – М, категории 1 по ГОСТ 15150-69 (от –40°С до +40°С) на месторождениях с содержанием сероводорода менее 6%



в комплектации рукавами и кабельной продукцией, расположенных вне эшелона, исполнения УХЛ. Расчетный срок службы буровой установки составляет 25 лет.



Рис. 5. Кольская СГ-3.
Rise. 5. Kola SG-3.



Рис. 6. Саатлинская СГ-1.
Rise. 6. Saatli SG-1.



Рис. 7. Тюменская СГ-6.
Rise. 7. Tyumen SG-6.



Рис. 8. Общий вид буровой установки 600 ДЭР. Фото © сайт производителя,
<https://www.uralmash-ngo.com/shop/statsionarnye-burovye-ustanovki/#1579692289464-1f3b0159-50e3>
Rice. 8. General view of the drilling rig 600 DER. Photo © manufacturer's website,
<https://www.uralmash-ngo.com/shop/statsionarnye-burovye-ustanovki/#1579692289464-1f3b0159-50e3>



Целями разработки установки являются:

- а) разбуривать скважины с условной глубиной бурения 15000 м с отклонением от вертикали до 12000 м;
- б) повысить производительность бурения, уменьшить осложнения при проводке скважин за счет применения регулируемых электроприводов переменного тока;
- в) сократить сроки и трудозатраты первичного и повторных монтажей за счет блочного исполнения установки, повышенной заводской готовности блоков и модулей, уменьшения общего числа монтажно-транспортных единиц установки, обкатки механизмов;
- г) уменьшить отрицательное влияние установки на окружающую среду за счет исключения протечек бурового раствора и жидкостей под буровую установку;
- д) улучшить комфортность условий работы буровой бригады за счет применения глубоко регулируемых приводов переменного тока для выбора оптимальных режимов бурения;
- е) увеличить скорость проводки скважины за счет применения современных буровых насосов и оптимизации технологических процессов;
- ж) соответствовать требованиям Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности", Утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12.03.2013 N 101.

В целях повышения монтажеспособности и транспортабельности установка разбита на модульные блоки. В свою очередь каждый модульный блок может расчленяться на блоки, состоящие из металлоконструкций со смонтированным на них оборудованием и коммуникациями.

Заключение.

Рассмотрены факторы, негативно влияющие на процесс сверхглубокого бурения. Проведен анализ геологических, тектонических, химических, термодинамических процессов, которые могут повлиять на процесс бурения и цементирования скважин.

В результате анализа выявлено, что традиционные методы бурения, используемые на данный момент, не могут вполне удовлетворить задачи сверхглубокого бурения. Увеличение теоретической базы посредством научного бурения должно решить эту проблему.

Показана перспективность развития технологии сверхглубокого бурения не только для научных целей, но и для добычи глубоко расположенных запасов углеводородов или использования сверхглубоких скважин в петротермальной энергетике, как наиболее экологичному и многообещающему виду энергии на данный момент. Дано краткое описание современной перспективной буровой установки БУ 15000/900 ДЭР.

Список источников

1. Повалихин, А.С. 50 лет научному прорыву в исследовании земли. Кольская сверхглубокая скважина: путь к энергетическому и сырьевому обеспечению человечества // Инженер-нефтяник. – 2020. – №1. – С. 5-16
2. Кучеров, В.Г. Вызова и риски глубокого и сверхглубокого бурения / В.Г. Кучеров, В.В. Бессель // Бурение и нефть. – 2020. – №3. – С. 12-16
3. Короновский, Н.В., Якушова А.Ф. Основы геологии [Электронный ресурс] // Все о геологии. [1991] URL: <https://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1163814>
4. Проблемы бурения скважин в неустойчивых глинистых отложениях на суше и шельфе // Деловой журнал «Neftegaz.RU». – 2018. – №1(73).
5. Порцевский, А.К. Технологические измерения в геолого-разведочном производстве : учебное пособие // М., 2005. – 69 с.
6. Попов, В.С. Глубокое и сверхглубокое научное бурение на континентах / В.С. Попов, А.А. Кременецкий // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – №11. – С. 61-68.



7. Алексеенко, С.В. Проблемы и перспективы развития петротермальной энергетики (Обзор) / С.В. Алексеев, В.Ю. Бородулин, Н.А. Гнатусь, М.И. Низовцев, Н.Н. Смирнова // Теплофизика и аэромеханика. – 2016. – Т. 23. – №1. – С. 1-16.
8. Богуславский, Э.И. Освоение тепловой энергии недр // СПб.: Научно-технологические исследования, – 2020. – 435 с.
9. Гнатусь, Н.А. Петротермальная энергетика России. Перспективы развития / Н.А. Гнатусь, С.В. Карпов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2012. – №2. – С. 1-7.
10. Богуславский Э.И. Перспективы развития геотермальной технологии / Э.И. Богуславский, Л.А. Певзнер, Б.Н. Хахаев // Разведка и охрана недр. – 2000. – № 7-8. – С. 43-48.
11. Гнатусь, Н.А. Перспективы извлечения и использования тепла «Сухих горных пород» - петротермальная энергетика России. / Н.А. Гнатусь, М.Д. Хуторской // Вестник РУДН, серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – 2010. – №4. С. 29-40.
12. Гнатусь, Н.А. Петротермальная геозенергетика и геофизика / Н.А. Гнатусь, М.Д. Хуторской, В.К. Хмелевской // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2011. – №3. – С. 3-9.
13. Яковлев, Ю.Н. Влияние природных факторов на траекторию и форму стволов Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3) / Ю.Н. Яковлев, П.К. Скуфьин, О.С. Чвыков // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2014. – №18. – С. 8-15.
14. Иголкина, Г.В. Сверхглубокие и глубокие скважины как объект исследования скважинной магнитометрии // Евразийский союз ученых. – 2017. – № 37. – С. 13-21.
15. Губерман, Д.М. Строение и эволюция геопространства кольской сверхглубокой скважины по результатам изучения структурно-вещественных неоднородностей / Д.М. Губерман, Т.Л. Ларикова, Ю.А. Морозова, А.И. Смутьская, В.Н. Шолпо, Ю.Н. Яковлев // Вестник МГТУ. – Т. 10. – 2007. – №1. – С. 144-159.
16. Смирнов, Ю.П. Корреляционная связь траекторий скважин с анизотропией и симметрией горных пород (на примере Кольской-СГ-3 и Криворожской-СГ-8 сверхглубоких скважин) / Ю.П. Смирнов, В.А. Тюремнов, Т.Ю. Кузнецова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1999. – №6. – С. 142-145.
17. Смирнов, Ю.П. Характеристики текстуры, структуры, анизотропии пород по разрезу Кольской сверхглубокой скважины / Ю.П. Смирнов, Ф.Ф. Горбачевич, А.Н. Никитин, В.А. Тюремнов // Вестник МГТУ. – Т. 10. – 2007. – №2. – С. 285-295.
18. Ильченко, В.Л. О плотностных и упруго-анизотропных свойствах пород Кольской сверхглубокой скважины и их поверхностных гомологов // Вестник МГТУ. – Т. 10. – 2007. – №2. – С. 251-255.
19. Тришина, О.М. Сравнительные характеристики упругих свойств образцов горных пород по разрезу финской скважины Оутукумпу / О.М. Тришина, Ф.Ф. Горбачевич, М.В. Ковалевский // Вестник МГТУ. – Т. 10. – 2007. – №2. – С. 296-303.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2021 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Закатов Олег Павлович, студент
e-mail: s191059@stud.spmi.ru

Бархатов Сергей Павлович, студент
e-mail: s191059@stud.spmi.ru

Санкт-Петербургский Горный университет, кафедра РПМИ
199106, Россия, Санкт-Петербург, 21 линия В.О., 2

Устинова Яна Вадимовна, канд. техн. наук, доцент
e-mail: yana.kuskova@gmail.com



Санкт-Петербургский Горный университет, кафедра АТПП
199106, Россия, Санкт-Петербург, 21 линия В.О., 2

Семенов Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент
e-mail: Semenov_AS@pers.spmi.ru

Санкт-Петербургский Горный университет, кафедра РМПИ, 199106, Россия, Санкт-Петербург, 21
линия В.О., 2

MODERN ASPECTS OF SUPERDEEP DRILLING EQUIPMENT APPLICATION

Oleg P. Zakatov, Sergey P. Barkhatov, Yana V. Ustinova, Alexander S. Semenov

St. Petersburg Mining University



Article info

Received:
15 April 2021

Revised:
06 June 2021

Accepted:
23 July 2021

Keywords: superdeep wells,
drilling equipment, geothermal
energy, petrothermal energy,
exploration data

Abstract.

Superdeep drilling is currently one of the most complex technical tasks of our time, requiring large costs, new engineering research and a large scientific and technical base. Not every country benefit from such a costly innovation, but nevertheless, the prospects that open up to mankind with the development of this direction are quite great. Scientific discoveries made during the drilling of superdeep wells became the basis for new assumptions about the structure of the Earth's crust and forced to reconsider the theories, on which the modern geology was based. For example, drilling revealed water where it was previously thought to be impossible. This suggests that hydrocarbons may also be at greater depths, due to their flow down overlying porous reservoirs. Also, drilling has found metals in pure form and in concentrations not previously thought possible, as well as the fact that they can be at such depths.

Scientific superdeep drilling is necessary for the further development of geology, because the data obtained from drilling are the most reliable and allow us to study the geological structure of regions with great accuracy. The cores obtained can serve as physical evidence for geology's theories about the origin of the earth, along with the study of meteorite remains.

This article considers some aspects of the use of modern equipment for superdeep drilling. It shows consideration of the possibility of using the newest Russian drilling rig, which will allow a more substantial approach to the design of wells with a depth of more than 7 km. Some technical characteristics and description of the main units of the drilling rig DR 15000/900 DER are given.

For citation Zakatov O., Barkhatov S., Ustinova Ya., Semenov A. (2021) Modern aspects of superdeep drilling equipment application, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 2(13):64. DOI: 10.26730/2618-7434-2021-2-64-79

References

1. Povalihin, A.S. 50 let nauchnomu proryvu v issledovanii zemli. Kol'skaja sverhglubokaja skvazhina: put' k jenergeticheskomu i syr'evomu obespecheniju chelovechestva // *Inzhener-neftjanik*. – 2020. – №1. – S. 5-16
2. Kucherov, V.G. Vyzova i riski glubokogo i sverhglubokogo burenija / V.G. Kucherov, V.V. Bessel' // *Burenie i nef't*. – 2020. – №3. – S. 12-16
3. Koronovskij N.V., Jakushova A.F. Osnovy geologii [Elektronnyj resurs] // *Vse o geologii*. [1991] URL: <https://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1163814>



4. Problemy burenija skvazhin v neustojchivyh glinistyh otlozhenijah na sushe i shel'fe [Jelektronnyj resurs] // Delovoj zhurnal «Neftegaz.RU». – 2018. – №1(73).
5. Porcevsckij, A.K. Tehnologicheskie izmerenija v geologo-razvedochnom proizvodstve : uchebnoe posobie // M., 2005. – 69 s.
6. Popov, V.S. Glubokoe i sverhglubokoe nauchnoe burenie na kontinentah / V.S. Popov, A.A. Kremeneckij // Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal. – 1999. – №11. – S. 61-68.
7. Alekseenko, S.V. Problemy i perspektivy razvitija petrotermal'noj jenergetiki (Obzor) / S.V. Alekseev, V.Ju. Borodulin, N.A. Gnatus', M.I. Nizovcev, N.N. Smirnova // Teplofizika i ajeromehanika. – 2016. – T. 23. – №1. – S. 1-16.
8. Boguslavskij, Je.I. Osvoenie teplovoj jenerгии nedr // SPb.: Naukoemkie tehnologii, – 2020. – 435 s.
9. Gnatus', N.A. Petrotermal'naja jenergetika Rossii. Perspektivy razvitija / N.A. Gnatus', S.V. Karpov // Vestnik Cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta. – 2012. – №2. – S. 1-7.
10. Boguslavskij Je.I. Perspektivy razvitija geotermal'noj tehnologii / Je.I. Boguslavskij, L.A. Pevzner, B.N. Hahaev // Razvedka i ohrana nedr. – 2000. – № 7-8. – S. 43-48.
11. Gnatus', N.A. Perspektivy izvlechenija i ispol'zovanija tepla «Suhih gornyh porod» - petrotermal'naja jenergetika Rossii. / N.A. Gnatus', M.D. Hutorskij // Vestnik RUDN, serija «Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti». – 2010. – №4. S. 29-40.
12. Gnatus', N.A. Petrotermal'naja geojenergetika i geofizika / N.A. Gnatus', M.D. Hutorskij, V.K. Hmelevskij // Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 4. Geologija. – 2011. – №3. – S. 3-9.
13. Jakovlev, Ju.N. Vlijanie prirodnyh faktorov na traektoriju i formu stvolov Kol'skoj sverhglubokoj skvazhiny (SG-3) / Ju.N. Jakovlev, P.K. Skuf'in, O.S. Chvykov // Vestnik Kol'skogo nauchnogo centra RAN. – 2014. – №18. – S. 8-15.
14. Igol'kina, G.V. Sverhglubokie i glubokie skvazhiny kak ob'ekt issledovanija skvazhinnoj magnitometrii // Evrazijskij sojuz uchenyh. – 2017. – № 37. – S. 13-21.
15. Guberman, D.M. Stroenie i jevoljucija geoprostranstva kol'skoj sverhglubokoj skvazhiny po rezul'tatam izuchenija strukturno-veshhestvennyh neodnorodnostej / D.M. Guberman, T.L. Larikova, Ju.A. Morozova, A.I. Smul'skaja, V.N. Sholpo, Ju.N. Jakovlev // Vestnik MGTU. – T. 10. – 2007. – №1. – S. 144-159.
16. Smirnov, Ju.P. Korreljacionnaja svjaz' traektorij skvazhin s anizotropiej i simmetriej gornyh porod (na primere Kol'skoj-SG-3 i Krivorozhskoj-SG-8 sverhglubokih skvazhin) / Ju.P. Smirnov, V.A. Tjurenov, T.Ju. Kuznecova // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. – 1999. – №6. – S. 142-145.
17. Smirnov, Ju.P. Harakteristiki tekstury, struktury, anizotropii porod po razrezu Kol'skoj sverhglubokoj skvazhiny / Ju.P. Smirnov, F.F. Gorbacevich, A.N. Nikitin, V.A. Tjurenov // Vestnik MGTU. – T. 10. – 2007. – №2. – S. 285-295.
18. Il'chenko, V.L. O plotnostnyh i uprugo-anizotropnyh svojstvah porod Kol'skoj sverhglubokoj skvazhiny i ih poverhnostnyh gomologov // Vestnik MGTU. – T. 10. – 2007. – №2. – S. 251-255.
19. Trishina, O.M. Sravnitel'nye harakteristiki uprugih svojstv obrazcov gornyh porod po razrezu finskoj skvazhiny Outukumpu / O.M. Trishina, F.F. Gorbacevich, M.V. Kovalevskij // Vestnik MGTU. – T. 10. – 2007. – №2. – S. 296-303.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2021 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Oleg P. Zakatov, student
e-mail: s191059@stud.spmi.ru

Sergey P. Barkhatov, student
e-mail: s191059@stud.spmi.ru

St. Petersburg Mining University, Department of Mining Operations
199106, Russia, St. Petersburg, 21 line V.O., 2

Yana V. Ustinova, Ph.D. (Tech.), Assistant Professor



Закатов О.П., Бархатов С.П., Устинова Я.В., Семенов А.С.
*Современные аспекты применения оборудования для
сверхглубокого бурения*

DOI: 10.26730/2618-7434-2021-2-64-79

e-mail: yana.kuskova@gmail.com

St. Petersburg Mining University, Department of Automation of Technological Processes and Production
199106, Russia, St. Petersburg, 21 line V.O., 2

Alexander S. Semenov, Ph.D. (Tech.), Assistant Professor

e-mail: Semenov_AS@pers.spmi.ru

St. Petersburg Mining University, Department of Mining Operations
199106, Russia, St. Petersburg, 21 line V.O., 2