

## ИСЛАНДСКИЙ ПРОЕКТ ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ (IDDP)

**Зиновьев Н. Н., Вергейчик П. С.**

Научный руководитель – Уласик Т. М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

**Аннотация.** В данном докладе мы хотели бы вам рассказать о таком проекте как "Исландский проект глубокого бурения" и о том, какие перспективы он может открыть нам в сфере использования геотермальной энергии.

### **Введение**

Исландский проект глубокого бурения (IDDP – Iceland Deep Drilling Project) представляет собой программу разведки и освоения геотермальных ресурсов технологией, которая направлена на производство жидкостей для генерации электрической энергии из глубоких скважин в сверхкритических условиях.

Суть идеи заключается в том, что, по предположению специалистов, в глубоких подземных горизонтах нагретое до высоких температур вещество может переходить в состояние, при котором нет различий между газообразной и жидкой формами, и переносить при этом большое количество тепловой энергии. Оно не испаряется и не кипит.

В частности, вода в такой стадии и с температурой до 1 тыс. градусов по Цельсию может встречаться в зонах с высокой вулканической активностью. Пар от такой воды может нагреваться до 600°C, следовательно, его использование в геотермальных установках будет более эффективным, чем при стандартных температурах. А для получения таких условий необходимо бурение сверхглубоких геотермальных скважин.

Согласно Исландскому проекту глубокого бурения (IDDP) планируется пробурить несколько скважин достаточно глубоко, чтобы проникнуть в сверхкритические зоны, которые, как полагают, присутствуют ниже трех эксплуатируемых в настоящее время геотермальных месторождений в районах расположения океанического

хребта на территории Исландии.

### **IDDP-1**

В 2006 году было предложено бурение глубокой скважины (IDDP-1) на геотермальном поле Крафла, предназначенной для достижения такой глубины на которой возможно получение сверхкритических условий.

Крафла находится недалеко от северного конца центральной рифтовой зоны Исландии, в пределах вулканической кальдеры вулкана Крафла. Этот активный вулкан разрезан N-S трендовыми трещинами, которые являются частью неоволно-рифтовой зоны Исландии.

В 2009 году скважина IDDP-1 была пробурена вблизи центра кальдеры Крафла, участок, выбранный из-за того, что сверхкритические условия считались вероятными на глубине 4 км.

Несмотря на несколько неудач, прогресс бурение шел более или менее в соответствии с графиком до глубины около 2000 м, когда бурение стало действительно сложным, в том числе было два застревания, сначала на 2094, а затем на глубине 2095 м, за которыми следуют закручивание и последующее бурение под углом в сторону.

Бурение было завершено на глубине 2096 м в третьем отрезке, когда буровые шламы из свежего вулканического стекла показали, что бурение ушло в магму.

Три раза бурение уходило в магму, сначала на глубине 2094 м, затем 2095 м и, наконец, на 2096 м ниже фланца обсадной колонны.

Дальнейшее бурение в магме не считалось возможным, но ситуация предоставила уникальную возможность для более пристально-го изучения окружающего контакта магмы.

Место контакта скважины с магмой было зацементировано и был установлен шлицевый вкладыш. Далее в скважину залили цементную смесь в область между стенкой скважины и её корпусом, от поверхности до глубины 1800 м.

Литология и минерализация в скважине IDDP-1 изучались в буровом шламе, собранном с интервалом в 2 м.

Стратиграфия показала, что лава состоит из расплавленного базальта и последовательности гиалокластитов, простирающихся до 1362 м. Интрузии включают базальтовые дайки, долериты и ниже

2020 м, гранофиры и фельзит-интрузии.

Минеральные породы отсутствуют вблизи зоны подачи на глубине 2035-2080 м. Оценочная температура в придонной зоне скважины близка к 500°C. Помимо пересекающейся магмы, стратиграфия IDDP-1 довольно похожа на стратиграфию соседних скважин.

Предполагаемые температуры 800-950°C из сосуществующих клинопироксеновых и ортопироксеновых минеральных пар в мафических гранобластных породах, извлеченных непосредственно над риолитовой интрузией, представляют собой проводящий пограничный слой для переноса тепла между телом магмы и вышележащей гидротермальной системой. Тепловой поток через этот пограничный слой рассчитывался как минимум 23 Вт/м<sup>2</sup>.

После подготовки скважины к предварительной эксплуатации были проведены тесты на инъективность, чтобы решить, что делать со скважиной.

Первоначально индекс приемистости был близок к 15 (л/с)/бар, но позже уменьшился до 2,5 (л/с)/бар.

Впоследствии, во время двухлетнего теста на поток, скважина IDDP-1 стала самой горячей в мире геотермальной скважиной, с температурой устья порядка 450°C, способной выдавать сухой перегретый пар при давлении (40-140 бар). Производственные испытания указывают, что скважина IDDP-1 способна производить до 36 МВт электрической энергии и порядка 42 МВт тепловой энергии в зависимости от конструкции турбинной системы.

Серия первичных испытаний проводилась во время и после течений потока, дающих прорывные результаты при работе с магмой в геотермальной системе.

## **IDDP-2**

Скважина расположена на южной оконечности полуострова Рейкьянес являющейся сухопутным расширением Среднеатлантического хребта на территории Исландии.

Рейкьянес уникален среди исландских геотермальных систем в том, что она питается морской водой, которая имеет критическую точку 406°C при 29,8 МПа. Геологическая характеристика флюидов в Рейкьяне имеют геохимический аналог флюидов гидротермальной системы черных курильщиков средней океанической гряды.

Бурение началось с углубления существующей вертикальной

эксплуатационной скважины (RN-15) глубиной 2,5 км до глубины 3 км. И 8 сентября после 29 рабочих дней было завершено бурение до глубины 3000 м.

RN-15/IDDP-2 была пробурена вертикально от 2500 м до 2750 м, а ниже бурение производилось под наклоном  $40^\circ$  по направлению к юго-западу, чтобы пересечь основную зону восходящего потока системы Рейкьянес. Дно скважины находится на вертикальной глубине около 4500 м и находится на 738 м к юго-западу от устья скважины.

Бурение в формациях ниже 3000 м в производственной части скважины началось 17 сентября (38-й рабочий день) и было завершено 26 января 2017 года (168-й рабочий день) на глубине 4659 м.

Во время бурения возникали различные проблемы: задержки из-за погодных условий, проблемы с устойчивостью скважины, которые требовали частого развертывания, так же несколько раз застревал бурильный узел. Эти случаи были успешно решены по мере их возникновения. Тем не менее, основной нерешенной проблемой была почти полная потеря циркуляции чуть ниже ботинка для обсадной колонны 9 5/8 (2931 м), которую не удалось исправить, 12-ю последовательными попытками запечатать зону потерь цементом. Поскольку цементование не было успешным, бурение должно было продолжаться без возврата бурового шлама на поверхность от глубины 3200 м, за исключением бурового шлама, который периодически отбирался между глубиной 3000 и 3200 м

Следовательно, сердечники сверла являются единственными образцами глубоких горных пород извлеченных из скважины.

Анализ бурового шлама показывает, что самая верхняя часть RN-15 до примерно 1400 м является преимущественно вулканической породой с залеженными зонами базальтовых потоков, базальтовой брекчией, подушечными лавами и гиалокластитом. Базальтовые интрузии увеличиваются в частоте скважины ниже 1400 м, а смешанные интрузивные и экструзионные породы продолжают встречаться, по меньшей мере, до 3200 м. Измененные закругленные булыжники и фрагменты вулканической породы, полученные ниже глубины обсадной колонны 2940 м, были извлечены в виде щебня поверх нескольких сердечников. Вероятно, многие из них были получены из расширенного эродированного участка буровой скважины около глубины 3360 м, совпадающей с большой зоной

потерь циркуляции в скважине.

Испытания на поток для этой скважины еще предстоят, но по результатам компьютерного моделирования параметров скважины, мощность установки подключенной к такой скважине будет в 3 раза больше чем скважины IDDP-1.

### **Заключение**

Цель Исландского Проекта глубокого бурения увеличить доступность и совершенство промышленного освоения форм альтернативной энергии - проблемы большой важности для общества. Если успех будет достигнут в геотермальной промышленности мира, то окажется, что высокотемпературные геотермальные ресурсы существуют в любых обстоятельствах. Для сообщества геотермальных исследователей IDDP имеет потенциальную возможность усовершенствовать экономические показатели и доступность альтернативной энергии в местах нахождения высокотемпературных геотермальных ресурсов, как, например, в Италии, Греции, Турции, Японии, Индонезии, на Филиппинах, Камчатке, Новой Зеландии и западе США и в Центральной Америке.

### **Литература**

1. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://iddp.is/wp-content/uploads/2015/04/1-paper-1-37001-GOF-et-al.pdf>
2. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.sci-dril.net/23/1/2017/sd-23-1-2017.pdf>