

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ (ТЭЭ) В СКВАЖИНАХ С НИЗКИМ ГЕОТЕРМИЧЕСКИМ ГРАДИЕНТОМ

Габдрахманова К. Ф., Измайлова Г. Р.

1. Введение

Утилизации петротермальной энергии, как нетрадиционному и практически неиссякаемому природному источнику тепловой энергии, которая при определенных условиях может быть преобразована в электрическую энергию, во многих странах в последние годы уделяется все большее внимание [1–3]. Однако, как показала практика, освоение этого вида энергии, ее эффективная утилизация с преобразованием в электрическую энергию, зависит от многих факторов. Наиболее значимым фактором является диапазон пластовой температуры на забое скважин [4, 5]. Исследователями в работе [6] установлено, что рентабельность преобразования тепловой энергии недр прямо пропорциональна их температуре и обратно пропорциональна их глубине. Геотермический градиент оказывает существенное влияние на экономическую эффективность процесса ее утилизации [7].

Исследователей данной работы в первую очередь интересует проблема утилизации тепловой энергии в регионах с невысоким геотермическим потенциалом (2–2,5 °C/100 м, регионы Татарии, Башкирии, Удмуртии и т. д.). Расчеты показали [8], что при средней глубине эксплуатационных скважин в этом регионе до 2200 м предельная температура на забое составляет не более 45–50 °C. А транспортировка пластовой жидкости на дневную поверхность с этой глубины позволяет получить не более 30–35 °C с учетом потерь, чего явно недостаточно для выработки достаточно высокой электрической мощности. Поэтому актуальным является исследование скважин с низким геотермическим градиентом. Таким образом, *объектом исследования* становятся скважины, находящиеся в регионах Башкирии, Татарии, Удмуртии и т. д., где геотермический градиент не превышает 2–2,5 °C на 100 м. А *целью исследования* является выбор технологии, позволяющей использовать потенциал низкотемпературных скважин.

2. Методика проведения исследований

При исследовании были использованы:

- метод системного анализа при изучении компоновки устройства для утилизации геотермальной энергии;
- метод сопоставительного анализа при исследовании устройства штангового глубинного насоса (УШГН) и устройства электроцентробежного насоса (УЭЦН).

3. Результаты исследований и обсуждение

В качестве способа решения проблемы предлагаем вариант комплексного решения путем использования не только петротермальной энергии недр, но также и гидрокинетической энергии пластовых вод.

Известно [9], что для подъема на поверхность пластового флюида при эксплуатации нефтегазовых скважин на завершающей стадии разработки, когда пластовое давление ниже гидростатического, широко применяются глубинно-насосное оборудование (ГНО).

Поскольку, как правило, рентабельность эксплуатации нефтегазовых скважин на завершающей стадии разработки является низкой, то нефтедобывающие предприятия широко практикуют мероприятия, обеспечивающие экономию электропотребления ГНО. К ним, в первую очередь, относится использование электроприводов с частотно-регулируемым управлением, которые позволяют изменять производительность ГНО в зависимости от изменения продуктивности эксплуатируемых пластов. Также для экономии электропотребления практикуется применение режима периодической эксплуатации ГНО в то время суток, когда тарифы на оплату электроэнергии являются наиболее низкими.

В тех случаях, когда газовый фактор добываемой продукции является достаточно высокими ($\geq 80-100 \text{ м}^3/\text{т}$), то практикуется использование попутного газа для питания электрогазотурбинных генераторов, вырабатывающих электропитание для ГНО непосредственно на эксплуатационной скважине. Однако такой способ утилизации попутного газа на поздней стадии разработки является экономически не приемлемым, так как в этом случае он является крайне низким для его реализации.

Что касается первых двух из названных способов экономии электроэнергии, то можно сказать, что:

– частотно-регулируемый привод является достаточно дорогостоящим оборудованием, имеющим длительный срок окупаемости;

– использование ГНО в то время суток, когда тарифы на электроэнергию являются наиболее низкими, не всегда себя оправдывает экономически. Это связано с большой вероятностью снижения темпов отбора добываемой продукции в течение времени суток, когда тарифы являются более высокими.

Для более надежной экономии электроэнергии независимо от времени суток и темпа отбора добываемой продукции и величины газового фактора предлагаем оборудовать нагнетательную линию очаговой нагнетательной скважины устройством. Устройство будет состоять из гидротурбинного электрогенератора, утилизирующего кинетическую энергию пластовой воды.

В то же время эксплуатационные (реагирующие) скважины оборудуются на устье термоэлектрогенераторами, преобразующими тепловую энергию пластового флюида в электрическую. Применение подобных устройств позволит снизить затраты электроэнергии для питания электропривода ГНО и других потребителей электроэнергии на скважине.

Рассмотрим компоновку оборудования для утилизации кинетической и тепловой энергии, содержащейся в жидкости, как транспортируемой в пласт,

так и отбираемой из него. Компоновку рассмотрим на примере пятиточечной эксплуатационной ячейки, являющейся основным составным элементом системы разработки большинства нефтяных месторождений (рис. 1) [10, 11].

Пятиточечная эксплуатационная ячейка включает в свой состав четыре эксплуатационные скважины 1, расположенные по углам равностороннего четырехугольника и нагнетательную (очаговую) скважину 2, расположенную в его центре. Электропитание и управление ГНО (УШГН, УЭЦН на рис. 1 не показаны) осуществляется с помощью шкафа управления 3, электропитание к которому подается по силовой промышленной линии 4 (380 В). Закачиваемая в пласт вода подается на нагнетательную скважину 2 по водоводу 5 с кустовой насосной станции (на рис. 1 не показана). Отводится, добытая через эксплуатационные скважины 1, продукция (нефть) с помощью сборного коллектора 6. Устье на нагнетательной скважине 2 оборудовано гидроэлектрической турбиной 7, через которую проходит жидкость, нагнетаемая по водоводу 5 в нагнетательную скважину 2.

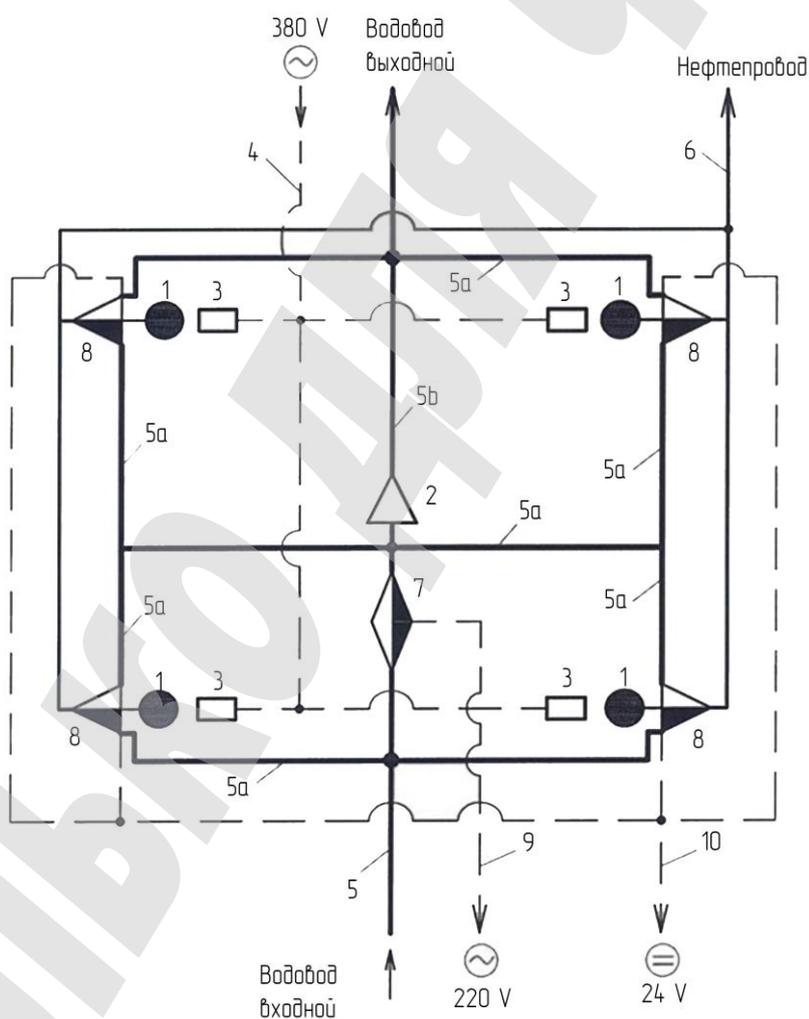


Рис. 1. Схема оснащения пятиточечной промысловой ячейки оборудованием для утилизации геотермальной и гидрокинетической энергии:

- 1 – эксплуатационные скважины; 2 – нагнетательная скважина; 3 – шкаф управления ГНО; 4 – силовая линия ~380 В; 5 – водовод; 6 – нефтепровод сборный; 7 – гидроэлектротурбина; 8 – термоэлектрические модули;
- 9 – силовая линия ~220 В; 10 – силовая линия=24 В

Устье эксплуатационных скважин 1, в свою очередь, оборудовано термоэлектрическими модулями 8, содержащими в своей конструкции теплообменники (на рис. 1 не показаны), через которые проходит поступающий из скважины 1 пластовый флюид, имеющий температуру выше наземной. И с другой стороны в них поступает вода из системы ППД, подводимая по специальным наземным водоводам меньшего диаметра 5а.

Вырабатываемая гидроэлектрической турбиной электроэнергия напряжением до 220 В отводится по силовой линии 9 и через трансформатор (на рис. 1 не показан) поступает в промышленную сеть промысла. А электроэнергия, вырабатываемая термоэлектрическими модулями 8 напряжением до 24 В постоянного тока, суммируется со всех термоэлектрических преобразователей 8. Полученная энергия направляется по линии 10 на питание телесистемы АСУ-ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом).

Работает предлагаемое устройство комплексной утилизации кинетической и тепловой энергии, генерируемой в процессе эксплуатации отдельной промысловой ячейки, следующим образом (рис. 1). Питание ГНО (на рис. 1 не показано), расположенного в эксплуатационных скважинах 1 осуществляется по основной силовой линии 4 через соответствующие шкафы управления 3. Нагнетание в пласт воды осуществляется через очаговую скважину 2, в которую она подается по входной линии 5б на следующую промысловую ячейку (на рис. 1 не показана). На устье очаговой скважины 2 во входном водоводе 5 вмонтирована гидроэлектротурбина 7, которая приводится в движение кинетической энергией движущейся по водоводу 5 пластовой водой. Гидроэлектротурбина 7 преобразует ее в электрическую энергию переменного тока напряжением до 220 В, которая отводится от нее по силовой линии 9 для последующего потребления.

На выкидных линиях 6 каждой эксплуатационной скважины 1 смонтированы термоэлектрические источники тока 8. Источники тока 8 преобразуют разницу в температурах между пластовой жидкостью, добываемой из скважины 1, и водой, закачиваемой в очаговую скважину 2.

Энергия, вырабатываемая каждым термоэлектрическим преобразователем 8 в виде постоянного тока напряжением до 24 В, суммируется с помощью силовой линии 10 и направляется для последующего потребления в телесистему АСУ-ТП.

4. Выводы

В ходе исследования показано, что прямая утилизация низкотемпературной геотермальной энергии в нефтедобывающих регионах, находящихся на поздней стадии разработки путем ее преобразования в электрическую, является экономически не выгодной. Выявлено, что повысить экономическую рентабельность утилизации низкотемпературной геотермальной энергии можно за счет ее сочетания с утилизацией гидрокинетической энергии воды, нагнетаемой через систему ППД (поддержание пластового давления). Также установлено, что утилизацию

низкотемпературной геотермальной энергии можно осуществлять с помощью термоэлектрических элементов (ТЭЭ). ТЭЭ устанавливаются на выкидной линии эксплуатационных скважин, расположенных вблизи нагнетательной скважины. Процесс утилизации гидрокинетической энергии можно осуществлять с помощью гидроэлектротурбины, устанавливаемой внутри нагнетательной линии (водовода).

Результаты исследования будут полезны нефтедобывающим компаниям в качестве решения вопроса энергоэффективности в самой отрасли.

Литература

1. Horne, R. N. (2015). Introduction to the World Geothermal Congress 2015 Technical Program. *World Geothermal Congress 2015*. Melbourne: IGA, 15.
2. Bertani, R. (2016). Geothermal power generation in the world 2010–2015 update report. *Geothermics*, 60, 31–43. doi: <http://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.11.003>
3. Lund, J. W., Boyd, T. L. (2016). Direct utilization of geothermal energy 2015 Worldwide review. *Geothermics*, 60, 66–93, doi: <http://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.11.004>
4. Lund, J. W., Boyd, T. L. (2015). Direct utilization of geothermal energy 2015 Worldwide review. *World Geothermal Congress 2015*. Melbourne: IGA, 31.
5. Gabdrakhmanova, K. F., Izmailova, G. R., Larin, P. A., Vasilyeva, E. R., Madjidov, M. A., Marupov, S. R. (2018). Nomogram Method as Means for Resource Potential Efficiency Predicative Aid of Petrothermal Energy. *Journal of Physics: Conference Series*, 1015, 032036. doi: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1015/3/032036>
6. Гейман, Л. М. (1989). *Разработка инженерно-информационных основ изучения эволюции научно-технического освоения недр Земли*. Москва: Московский Горный Институт. Available at: <http://cheloveknauka.com/razrabotka-inzhenerno-informatsionnyh-osnov-izucheniya-evolyutsii-nauchno-tehnicheskogo-osvoeniya-nedr-zemli>
7. Яковлев, Б. А.; Липаев, А. А. (Ред.) (1996). *Прогнозирование нефтегазоносности недр по данным геотермии*. Москва: Недра, 240.
8. Яковлев, Б. А., Липаев, А. А., Сингатуллин, М. Р. (1983). Экспериментальное исследование тепловых свойств горных пород в различных термодинамических условиях. *Нефтяное хозяйство*, 5, 43–45.
9. Гиматудинов, Ш. К. (1974). *Справочная книга по добычи нефти*. Москва: Недра, 704.
10. Ахмадиев, Р. Н., Ахмедшин, Р. М., Ахмедшин, Д. Р. Габдрахманова, К. Ф., Гуторов, Ю. А. (2017). Пат. № 177203 РФ. *Устройство для эксплуатации геотермальной скважины*. Оpubл. 22.06.2017.
11. Ахмадиев, Р. Н., Габдрахманова, К. Ф., Измайлова, Г. Р., Габдрахимов, В. Э., Гуторов, Ю. А. (2018). Пат. № 186377 РФ. *Устройство для извлечения геотермальной энергии из добытой продукции действующей низкотемпературной нефтяной скважины*. Оpubл. 28.04.2018.