

DOI 10.25689/NP.2018.4.250-260

УДК 621.482

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ

¹Гуторов Ю.А., ²Габдрахманова К.Ф., ²Измайлова Г.Р., ³Ахмадеев Р.Н.

¹РКНТЦ «Нефтяная долина»

²Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Октябрьском

³ООО «Технопромсервис»

FACILITY FOR CONVERTING GEOTHERMAL ENERGY INTO ELECTRIC ENERGY FOR LOW-TEMPERATURE OIL WELLS

¹Gutorov Yu.A., ²Gabdrakhmanova K.F., ²Izmailova G.R.,

³Akhmadeev R.N.

¹RKNTC Neftyanaya Dolina

²Ufa State Petroleum Technical University, Oktyabrsky Branch

³Tekhnopromservis

E-mail: gulena-86@mail.ru

Аннотация. В работе дается описание конструкции устройства, которое позволяет утилизировать геотермальную энергию низкотемпературной нефтяной скважины и преобразовать ее в электрическую, что в современных условиях преобладающей доли трудноизвлекаемых запасов нефти на месторождениях России, позволяет существенно сократить себестоимость добычи одной тонны нефти и повысить коэффициент ее извлечения в наименее благоприятных геотермальных условиях, характеризующихся максимальной температурой продуктивного пласта не более 45-50 °С, характерной для большинства нефтяных месторождений Урало-Поволжского региона.

Ключевые слова: геотермальный градиент, трудноизвлекаемые запасы нефти, топливные элементы, бинарная схема преобразования геотермальной энергии в электрическую.

Abstract. This paper presents the equipment used for utilization of geothermal energy from a low-temperature oil well and conversion it into electric energy. Considering the prevailing share of unconventional oil reserves in the Russian fields, this provides significant reduction of oil production cost per one ton and increase of oil recovery factor in the least favorable conditions characterized by maximum reservoir pressure of 45-50°C, which is typical of the most oil fields in the Urals-Volga region.

Key words: *geothermal gradient, unconventional reserves, fuel cells, binary scheme of converting geothermal energy into electric energy*

Предлагаемое устройство относится к средствам извлечения геотермальной энергии из продукции низкотемпературных нефтегазовых скважин и может использоваться в качестве альтернативного источника электрической энергии.

Известен способ извлечения геотермальной энергии из добытой продукции действующей высокотемпературной ($>80^{\circ}\text{C}$) нефтяной скважины, который реализуется с помощью геотермальной установки, расположенной на участке нефтяного месторождения с повышенным геотермическим градиентом на забое скважины, содержащей электропогружной насос для подъема добываемой продукции, представляющей собой смесь нефти с водой, из скважины на поверхность. К электропогружному насосу проведен электрокабель для питания от шкафа управления. Под электропогружным насосом установлен сепаратор для отделения нефти от сопутствующей воды [1].

Добываемая продукция на поверхности направлена по отдельности в продуктопровод для воды и в нефтепровод.

Геотермальная установка содержит наземный блок теплонасоса с внутренним замкнутым контуром, проходящим через испаритель, конденсатор, компрессор и редукционный клапан, предназначенный для утилизации тепловой энергии недр для обогрева бытовых и производственных помещений.

Через испаритель также проходит отвод продуктопровода, а через конденсатор проходит отвод теплопровода.

Известная геотермальная установка предназначена для извлечения геотермальной энергии из добытой продукции действующей нефтяной скважины, расположенной на нефтяном месторождении с повышенным геотермическим градиентом, обеспечиваемым высокой температурой разрабатываемого нефтяного пласта, и может быть рентабельной даже при ее преобразовании в электричество при пластовой температуре около 100 град. С и выше.

На территории нефтяных месторождений, например, Урало-Поволжского региона, в эксплуатации находится значительный фонд скважин, имеющих температуру на забое от 30 до 45 град. С, в которых применение описанного способа и устройства становится не рентабельным с точки зрения утилизации геотермальной энергии с целью преобразования ее в электричество.

Анализ показал, что решение поставленной проблемы возможно только путем увеличения пластовой температуры до необходимого уровня с помощью внешних источников тепловой энергии.

Известно изобретение [2], в котором в качестве источника тепла в нагревателе использовано безгазовое топливо, компоненты которого, реагируя между собой, при определенных условиях взаимодействия, образуют полностью конденсированные продукты реакции. В частности, таким безгазовым топливом может служить железоалюминиевый термит с инертной добавкой, в результате реакции горения которого образуются твердые (порошкообразные) продукты реакции и выделяется большое количество тепла. Обычно температура горения термитного топлива находится в пределах 1800-2400°C, но ее можно регулировать (снижать) до необходимой величины, введением различного количества инертной добавки, в качестве которой используют, например, оксид алюминия.

В результате прогрева прискважинной зоны пласта происходит очистка интервала перфорации асфальтосмолистых и парафиновых отложений и увеличивается интенсивность притока нефти в скважину в том числе и за счет снижения ее вязкости в ПВЗ.

В известном изобретении [2] нагревали служат для обеспечения реакции горения с выделением большого количества тепла и не могут служить источником электроэнергии, например, для скважинного электродвигателя с насосом, обеспечивающего подачу добываемой продукции на поверхность.

Известны «топливные элементы», в которых электроэнергия вырабатывается в процессе физико-химических реакций в топливном элементе, сопровождаемых выделением тепла, и может быть использована для обеспечения работы электродвигателя [3].

Твердооксидные (твёрдоо́кисные) то́пливные элемéнты (англ. Solid-oxide fuel cells, SOFC) — разновидность топливных элементов, электролитом в которых является керамический материал (например, на базе диоксида циркония), проницаемый для ионов водорода и кислорода. Уникальной особенностью такого «топливного элемента» является то, что сырьем для него служит атомарный водород, содержащийся в добываемой из продуктивного пласта нефти, в процессе утилизации которого вырабатывается большое количество тепловой и электрической энергии [4]. Батарея из специально подобранных «топливных элементов» может не только обеспечить нагрев призабойной зоны пласта до необходимой температуры, но также обновременно вырабатывает электроэнергию необходимой для питания УЭЦН мощности.

Предлагаемое устройство решает задачу повышения рентабельности процесса утилизации геотермальной энергии из добываемой продукции действующей низкотемпературной нефтяной скважины, в том числе за счет снижения расхода электроэнергии, необходимой для

функционирования скважинного и наземного оборудования и повышения продуктивности объекта эксплуатации за счет снижения вязкости нефти в процессе длительного прогрева.

Указанная задача решается тем, что в устройстве для утилизации геотермальной энергии из добытой продукции действующей низкотемпературной нефтяной скважины, содержащем скважинный насос с электродвигателем, скважинный сепаратор для разделения продукции нефтяной скважины на нефть, подаваемую на поверхность, и воду, подаваемую по трубопроводу на вход наземного блока преобразования тепловой энергии пласта в электрическую, указанный сепаратор в скважине установлен на жесткой подвеске, закрепленной на устье скважины, к сепаратору жестко подсоединен при помощи отрезка насосно-компрессорной трубы (НКТ) центробежный насос с электродвигателем, ниже которого размещен блок батареи из топливных элементов, электрически соединенный с указанным электродвигателем.

На рис.1. приведена принципиальная схема предлагаемого устройства. Устройство для извлечения геотермальной энергии из добытой продукции действующей низкотемпературной нефтяной скважины содержит размещенный в скважине 1 с обсадной трубой 2 и цементным кольцом 3 скважинный сепаратор 4, который установлен на подвеске 5, жестко закрепленной на устье скважины 1. Сепаратор 4 разделяет скважинную продукцию на нагретую нефть, которую подают по нефтепроводу 6 на поверхность, и нагретую воду, которую подают по водопроводу 7 на вход наземного блока преобразования тепловой энергии пласта в электрическую 8. К сепаратору 4 жестко подсоединен при помощи отрезка НКТ 9 электроцентробежный насос 10 (ЭЦН) с электродвигателем 11 (ЭД), разделенные приемным фильтром 12. Ниже электродвигателя 11 размещен блок топливных батарей 13 с термоэлементами ТЭ1...ТЭ4, электрически соединенный с

с одной стороны подключен к теплообменнику 15, а с другой стороны – к парогенератору 17 с электротурбиной 18, компрессору 19 и конденсатору 20, при этом электротурбина 18 соединена силовой линией 21 с компрессором 19.

Добытая нефть по нефтепроводу 6 подается на АГЗУ 22 (автоматическая групповая замерная установка) для учета, а охлажденная вода после теплообменника 15, поступает на БНС 23 (блочная насосная станция) и далее направляется в нагнетательную скважину (на рис. 1. не показана).

Часть энергии, вырабатываемой наземным блоком преобразования тепловой энергии пласта в электрическую 8, подается на компрессор 19, а часть энергии подается на обеспечение питанием АГЗУ 22 и БНС 23.

Устройство работает следующим образом.

Перед работой с предлагаемым устройством осуществляют его сборку из следующих блоков: скважинный сепаратор 4 устанавливают на подвеске 5, к сепаратору 4 жестко подсоединяют при помощи отрезка НКТ 9 ЭЦН 10 с электродвигателем 11, разделенные приемным фильтром 12, ниже электродвигателя 11 размещают блок топливных батарей 13, электрически соединенный с ЭД 11. При этом перед спуском в скважину топливные батареи активируют от источника электроэнергии, который в дальнейшем при работе в скважине не используется, так как в результате физико-химической реакции в блоке топливных батарей происходит выработка электроэнергии, которой питается указанное скважинное оборудование, и выделение большого количества тепла.

Сборку спускают в скважину 1 так, чтобы блок топливных батарей 13 находился на уровне интервала перфорации 14, для чего рассчитывают длину отрезка НКТ 9. Подвеску 5 жестко закрепляют на устье скважины.

Поскольку блок топливных батарей 13 размещен на уровне продуктивного пласта, вскрытого перфорацией 14, то при выделении

большого количества тепла во время процесса физико-химических реакций в топливных батареях происходит прогрев пласта и добываемой пластовой жидкости до температуры около 150-200 град.С. Тип топливных батарей подбирают таким образом, чтобы обеспечивалась выработка электроэнергии достаточной мощности для работы скважинного электродвигателя 11, приводящего в действие насос 10 и сепаратор 4.

В результате прогрева призабойной зоны пласта на уровне перфорации 14 происходит снижение вязкости нефти в добываемой пластовой жидкости, что способствует росту ее дебита согласно формуле Дарси:

$$Q_n = \frac{\Delta P \cdot K_{np} \cdot h}{\mu}, \quad (1)$$

где:

Q_n – дебит нефти, м³,

ΔP – разница между пластовым и забойным давлением, МПа,

K_{np} – коэффициент проницаемости, мДа,

h – толщина пласта, м,

μ – коэффициент вязкости, Па·с.

Нагретая пластовая жидкость (смесь нефти и воды) до 100-150 °С поступает на фильтр 12 насоса 10 и через НКТ 9 поступает в сепаратор 4.

Во время работы сепаратор 4 разделяет пластовую жидкость на нагретую нефть, которую подают на поверхность по нефтепроводу 6, и нагретую воду, которую подают по водопроводу 7, входящему в первичный контур с теплообменником 15 наземного блока преобразования тепловой энергии пласта в электрическую 8.

В теплообменнике 15 происходит обмен температурой нагретой воды с легкоиспаряющимся хладагентом, который в парогенераторе 17 превращается в пар, поступающий затем на электротурбину 18, и далее на компрессор 19 и конденсатор 20, где пар переходит в жидкую фазу и снова попадает в теплообменник 15.

Часть энергии, вырабатываемая электротурбиной 18, подается по силовой линии 21 на компрессор 19, а часть энергии подается на обеспечение питанием АГЗУ 22 и БНС 23.

Таким образом, за счет оснащения топливными элементами глубинного оборудования для добычи скважинной продукции, решается задача прогрева призабойной зоны и самого продуктивного пласта до температуры около 150-200 °С и тем самым повышается дебит скважины, а также задачу обеспечения электроэнергией скважинного и наземного электрооборудования, что обеспечивает значительную экономию энергоресурсов, поступающих от внешних (наземных) источников электроэнергии и, соответственно, значительно снижает себестоимость добычи одной тонны нефти, что является достаточно актуальным для большинства нефтяных месторождений Урало-Поволжского региона, находящихся на завершающей стадии эксплуатации.

Предварительные расчеты экономии энергоресурсов за счет применения топливных элементов на эксплуатационных скважинах одного из нефтедобывающих предприятий ПАО «Татнефть», разрабатывающих Ромашкинское месторождение, показали, что себестоимость добычи одного барреля нефти может быть снижена с 7,7 долларов до 6,5, т.е. на 20 %.

Список литературы

1. Ахмадиев Р.Н., Гуторов Ю.А., Способ извлечения геотермальной энергии из добытой продукции действующей нефтяной скважины // Патент РФ №23992913 от 04.06.2015 г.
2. Генкин А.П., Гончаров Е.В., Гужиев А.В. и др. Способ повышения продуктивности нефтяных и газовых скважин и скважинный нагреватель для его осуществления // Патент РФ №2168008 от 26.06.1999 г.
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/твердооксидный> топливный элемент.
4. Мишин С.Н. Автомобиль на топливных элементах – АТЭЛ-3 // журнал «За рулем», М., 2018 г. - №3. – с.13-19.

Сведения об авторах

Гуторов Юлий Андреевич, доктор технических наук, заместитель директора по научно-исследовательской работе, региональный координационный научно-технический центр «Нефтяная долина», академик РАЕН, г. Октябрьский, Республика Башкортостан, Российская Федерация.

E-mail: gutorov70@mail.ru

Габдрахманова Клара Фаткуллиловна, кандидат педагогических наук, профессор РАЕН, доцент кафедры Информационных технологий, математики и естественных наук Филиала ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Октябрьском, г. Октябрьский, Республика Башкортостан, Российская Федерация.

E-mail: klara47@mail.ru

Измайлова Гульнара Ришадовна, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры Разведки и разработки нефтяных и газовых скважин Филиала ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Октябрьском, г. Октябрьский, Республика Башкортостан, Российская Федерация.

E-mail: gulena-86@mail.ru

Ахмадеев Расим Наилович, кандидат технических наук, директор ООО «Технопромсервис», г. Октябрьский, Республика Башкортостан, Российская Федерация.

E-mail: klimotechnika@mail.ru

Authors

Gutorov Yu.A., Dr.Sc, Deputy Director for Research and Development, Regional R&D center Neftyanaya Dolina, Member of RANS, Oktyabrsky, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

E-mail: gutorov70@mail.ru

Gabdrakhmanova K.F., PhD, Member of RANS, Assistant Professor in Information Technologies, Mathematics and Science, Ufa State Petroleum Technical University – Oktyabrsky Branch, Oktyabrsky, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

E-mail: klara47@mail.ru

Izmailova G.R., PhD, Assistant Professor in Oil and Gas Exploration and Production, Ufa State Petroleum Technical University – Oktyabrsky Branch, Oktyabrsky, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

E-mail: gulena-86@mail.ru

Akhmadeev R.N., PhD, Director of ООО Tekhnopromservis, Oktyabrsky, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

E-mail: klimotechnika@mail.ru

Измайлова Гульнара Ришадовна

452607, Российская Федерация, Республика Башкортостан

г. Октябрьский, ул. Девонская, 54а

тел: +7(937)1672013

E-mail: gulena-86@mail.ru