

## **ЗАБОЙНЫЙ ЭЛЕКТРОТЕРМОГЕНЕРАТОР ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОДУКТИВНЫЕ ПЛАСТЫ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ**

Рассмотрены проблемы добычи высоковязкой нефти и разработки мелких месторождений, предложены пути их решения. Подробно освещены современные электротермические комплексы для теплового воздействия на пласт на основе скважинного электродного нагревателя и скважинного прямоточного парогенератора. Рассмотрена конструктивная схема комбинированного электротермогенератора, принцип его работы. Указаны преимущества применения электротермогенератора.

Problems in extraction of high-viscosity oil and development small-scale fields are considered and possible ways of their solution are offered. Modern electro thermal complexes for thermal bed stimulation based on down-hole electrode heater and down-hole mono-tube steam generator are described in detail. A design of a combined electric thermogenerator and its operating principles are studied. Advantages in application of the electric thermogenerator are described.

Интенсивная разработка месторождений легкоизвлекаемых маловязких нефтей способствует непрерывному росту разведанных запасов нефти повышенной и высокой вязкости в общем балансе запасов углеводородов во всем мире. Месторождения нефти высокой вязкости представляют значительный резерв для наращивания объемов добычи. Например, в Республике Коми около 44 % запасов нефти характеризуются плотностью более 0,9. В последнее время особый интерес также представляют мелкие месторождения, извлекаемые запасы которых не превышают 3 млн т и могут быть представлены нефтями различной вязкости. В будущем запасы мелких месторождений будут становиться основными объектами разработки ввиду стремительного уменьшения запасов основных эксплуатируемых залежей\*. Для повышения нефтеотдачи мелких месторождений нецелесообразно применять широко распространенные, хорошо зарекомендовавшие себя на крупных месторождениях методы, например такие, как традици-

онные технологии паротеплового воздействия. Хотя эти методы достаточно успешно применяются на крупных месторождениях, они имеют ряд недостатков, ограничивающих возможность их применения на мелких месторождениях: высокую стоимость теплоэнергетического оборудования, сжигание части добытой нефти или газа в парогенераторах, что для мелких месторождений неприемлемо, так как рентабельность добычи падает, и, конечно, снижение экологической обстановки в районе добычи.

Одним из способов решения проблемы освоения мелких месторождений и месторождений с трудноизвлекаемыми запасами является разработка забойных теплогенераторов. В СПГИ (ТУ) разработаны электротермические комплексы мощностью более 1000 кВт для термического воздействия на пласты высоковязких нефтей. В состав этих комплексов в качестве органа воздействия на пласт входят скважинный электродный нагреватель (СЭН) или скважинный прямоточный электропарогенератор (ЭПГ)\*. До-

\* Макаревич В.Н. Мелкие и трудноосваиваемые месторождения нефти Северо-Запада России / В.Н.Макаревич, О.М.Прищепа, Б.И.Давыденко // Нефть. Газ. Промышленность. 2006. № 4.

\* Батаев С.Н. Электротехнические комплексы на основе забойных тепло- и парогенераторов для термических воздействий на нефтяные пласты // Записки Горного института. СПб, 2004. Т.159(1).

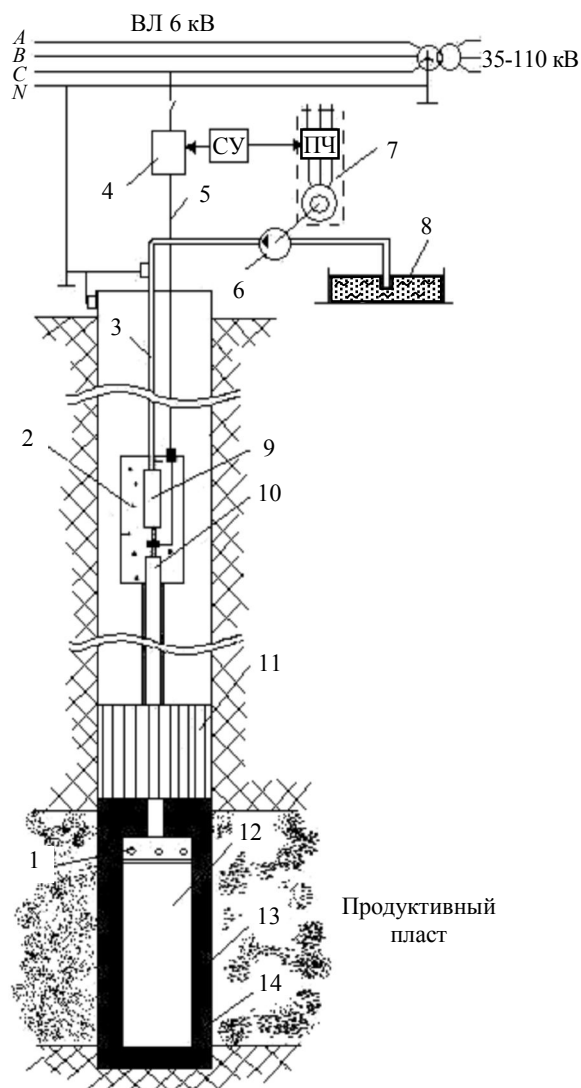


Рис. 1. Электротермический комплекс

- 1 – водоподающий узел с обратным клапаном;  
 2 – маслозаполненное вводное устройство; 3 – насосно-компрессорные трубы; 4 – регулятор тока; 5 – силовой кабель; 6 – насос; 7 – регулируемый электропривод;  
 8 – котловая вода; 9 – диэлектрическая вставка;  
 10 – термостойкий токовод; 11 – термостойкий пакер;  
 12 – скважинный электротермогенератор; 13 – обсадная колонна; 14 – пластовая жидкость  
 ПЧ – преобразователь частоты; СУ – система управления приводом насоса и силой тока нагревателя

бычной электротермический комплекс (рис.1) состоит из следующих элементов: силовой трансформатор мощностью 10-16 МВ·А с первичным напряжением 35-110 кВ; насос для подачи котловой воды в забой к нагревателю или парогенератору; скважинный электродный нагреватель или проточный электропарогенератор, помещенный в обсадную колонну, питание которого осуще-

ствляется по погружным кабельным линиям; регулируемый электропривод насоса и схема управления силой тока нагревателя.

Скважинный электродный нагреватель в стационарном режиме работы с давлением нагнетания теплоносителя в пласт до 12 МПа и номинальным напряжением 6 кВ с докритическими параметрами воды в межэлектродном объеме при давлении до 18 МПа и температурном напоре до 20 °С может реализовать при свободной конвекции пластовой жидкости удельный тепловой поток до 500 кВт/м<sup>2</sup> и единичную мощность свыше 1000 кВт, а СЭН со сверхкритическими параметрами воды при давлении до 40 МПа – тепловой поток и мощность более 30 %. СЭН может обеспечить технологии теплового воздействия, энергетически эквивалентного нагнетанию пара с заданной сухостью. Основными термодинамическими параметрами проточного электропарогенератора являются выделяемая тепловая энергия на интервале нагрева воды до температуры кипения и тепловая энергия, выделяемая на интервале парообразования, при заданной электрической мощности ЭПГ и давлении нагнетания пара в пласт\*.

К недостаткам СЭН можно отнести сложности подачи необходимой энергии для электроснабжения нагревателя, мощность которого свыше 1000 кВт. Эту проблему решают применением современных термостойких кабелей. Пар, полученный в парогенераторе, термически воздействует на пласт и при этом охлаждается и конденсирует в воду, которую приходится откачивать вместе с нефтяной жидкостью, что является существенным недостатком.

В настоящее время разрабатывается забойный электротермогенератор для комбинированного теплового воздействия на пласты высоковязких нефтей (рис.2).

Электротермогенератор состоит из металлического корпуса, выполненного в форме цилиндра. Центральный токопровод закреплен в верхней части корпуса через

\* Там же.

проходной изолятор. Внутри корпуса к токопроводу подключены через интервалы с термостойкими изоляторами фазные электроды. Между фазными электродами размещены перфорированные, выполненные с большим центральным отверстием, нулевые электроды, которые соединены с корпусом. Верхняя часть корпуса, свободная от электродов, образует паровую зону термогенератора.

В отличие от скважинного электродного нагревателя возможно существенное увеличение паровой зоны термогенератора (зоны конвекции) по сравнению с зоной нагрева рабочей жидкости. Эти конструктивные преобразования направлены на улучшение рабочих характеристик устройств для тепловой обработки скважин.

Комбинированный забойный электротермогенератор для тепловой обработки призабойной зоны скважин работает следующим образом. По питающему силовому кабелю на фазные электроды устройства, заполненного токопроводящей жидкостью, подают напряжение, после чего от фазных электродов через жидкость к нулевым электродам потечет ток, вызывая нагрев, кипение и образование пара, что приведет к теплообмену между стенкой корпуса и внутрискважинной жидкостью, производя в дальнейшем тепловую обработку призабойной зоны. При работе увеличивается давление внутри корпуса, жидкость превращается в пар, при этом снижается уровень рабочей жидкости с освобождением электродов, что приводит к уменьшению тока устройства. При остывании и конденсации пара уровень жидкости в корпусе восстанавливается, сопротивление электротермогенератора принимает первоначальное значение. Тепловая обработка призабойной зоны происходит не только за счет энергии, выделяющейся на интервале нагрева, но и за счет энергии, выделяющейся при конденсации пара в верхней паровой зоне. Быстрый переход воды в обрабатываемой замкнутой зоне скважины в пар (около 5 мин) будет способствовать, на-

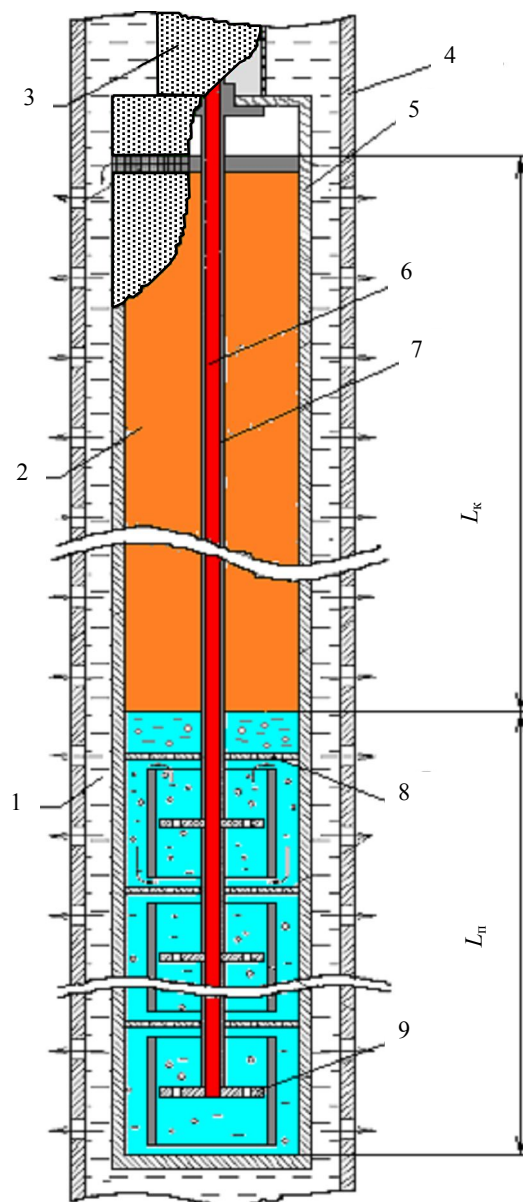


Рис.2. Скважинный комбинированный электротермогенератор

- 1 – внутрискважинная жидкость; 2 – паровая зона электротермогенератора; 3 – конец колонны НКТ;
- 4 – эксплуатационная колонна; 5 – корпус электротермогенератора; 6 – центральный токопровод;
- 7 – термостойкие изоляторы; 8 – нулевые электроды;
- 9 – фазные электроды
- $L_p$  – длина зоны парообразования;  $L_k$  – длина зоны конденсации

ряду с тепловым, интенсивному гидродинамическому воздействию на пласт.

Основным термодинамическим параметром термогенератора является выделяемая тепловая энергия на интервалах нагрева при заданной электрической мощности.

Мощность термогенератора ограничивается либо максимальной мощностью, передаваемой по погружной кабельной линии, либо удельной мощностью, реализуемой на единице поверхности теплоотдачи. С помощью современных кабелей можно передать в скважину более 1 МВт. Поэтому выбор параметров термогенератора связан с принимаемой удельной мощностью, кото-

рая исключает возникновение пленочного кипения скважинной жидкости. Эта величина зависит от температуры, давления, состава и скорости циркуляции скважинной жидкости\*.

В настоящее время разрабатывается физическая модель комбинированного электротермогенератора для определения его основных физических параметров.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Э.А.Загивный*

---

\* Макаревич В.Н. Мелкие и трудноосваиваемые месторождения нефти Северо-Запада России / В.Н.Макаревич, О.М.Прищепа, Б.И.Давыденко // Нефть. Газ. Промышленность. 2006. № 4.