УДК: 622.245

Э.А.ЗАГРИВНЫЙ, А.Е.КОЗЯРУК, С.Н.БАТАЕВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

СКВАЖИННЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ БУРЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ

Рассмотрены электротехнологии термобурения глубоких скважин в ледовых отложениях и электротермические установки для повышения нефтеотдачи пластов с тяжелой высоковязкой нефтью. Приведены характеристики скважинного электрического нагревателя и результаты укрупненной технико-экономической оценки эффективности электротермических комплексов.

Electrotechnologies of thermal drilling of deep boreholes in the ice expance and electrothermal units for the heavy oil seams extracting increasing are considered. References of the hole electroheater and results of the rough technical and economic assessment of electrothermal units efficiency are listed.

Одним из направлений деятельности кафедры электротехники и электромеханики СПГГИ являются работы по созданию технических средств для скважинных электротехнологий. Исторически эти работы проводятся совместно с кафедрой технологии и техники бурения скважин. В семидесятых годах прошлого века в нашем институте под руководством профессора Б.Б.Кудряшова активно выполнялись исследования ледовых отложений Антарктиды на ст.Восток бурением глубоких скважин. Мощность отложений в этом районе составляет около 4000 м. Учитывая суровые климатические условия и сложность доставки на ст.Восток грузов, была поставлена задача создания термобурового комплекса, включающего в себя термобуровой снаряд малого диаметра (112 мм), грузонесущий кабель диаметром не более 12 мм для передачи электроэнергии мощностью 12-15 кВт на глубину до 4000 м, серийный геофизический подъемник с регулируемым электроприводом постоянного тока. Такой комплекс был создан [5] и успешно прошел испытания на ст.Восток, впервые пробурив скважину до отметки 2000 м.

Поставленная задача по передаче энергии заданной мощности на указанные глубины по грузонесущему кабелю диаметром 12 мм была выполнена при использовании двойного преобразования электроэнергии повышенной частоты (3 кГц). Для этого по техническому заданию нашего института были разработаны и изготовлены в ЛЭТИ тиристорный преобразователь частоты (f = 3 кГц, $U_н$ = 2,5 кВ), на опытном заводе ТашНИКИ (Ташкент) коаксиальный грузонесущий силовой кабель ($U_н$ = 2500 В, $I_н$ = 20 А).

В термобуровом снаряде, разработанном и изготовленном в Горном институте, устанавливались понижающие трансформаторы с выходным напряжением 25-30 В, от которых получали питание коронка-нагреватель (индукционная или омическая), устройство обогрева водоподъемной системы и насос. Разработанный комплекс после модернизации может быть использован в нефтедобывающей промышленности для очистки насосно-компрессорных труб (НКТ) от асфальтосмолистых и парафиновых отложений, а также депарафинизации призабойных зон скважин на глубинах до 3000 м.

Продолжая работы по созданию мощных скважинных нагревателей, на кафедре электротехники и электромеханики разработан электродный нагреватель (СЭН) мощностью свыше 500 кВт для теплового воздействия на продуктивные пласты с тяжелой высоковязкой нефтью [6].

Известно, что разведанные запасы тяжелых нефтей превышают оставшиеся запа-

сы легких нефтей в 5-7 раз. Нефтеотдача пластов с тяжелой нефтью на естественном режиме добычи не превышает 6-15 %. Практически безальтернативными методами добычи этих нефтей считаются термические методы. В России этими методами охвачено менее 3 % площадей от возможных. Основная причина сложившегося положения – отсутствие дорогостоящего термоэнергетического оборудования [1, 2].

На основе СЭН совместно с кафедрой технологии и техники бурения скважин спроектирован электротермический комплекс для теплового воздействия на пласты с тяжелой нефтью [3, 4, 7].

Физическое моделирование и промысловые испытания показали, что отбор нефти после обработки горячей водой гораздо ниже (в кратное число раз), чем при сухости пара 0,27 и тем более при сухости пара 0,63 [3, 4].

Обобщая приведенные данные по традиционным технологиям паротеплового воздействия (ПТВ), можно указать следующие основные недостатки:

1. Значительные потери теплоты в трубопроводах на поверхности и в скважине на глубинах свыше 1000 м.

2. Сухость пара на забое при глубинах свыше 1000 м близка к нулю даже при использовании термоизолированных труб.

3. Высокая капиталоемкость теплоэнергетического оборудования.

4. Потери при сжигании добытых углеводородов в парогенераторах (нефть, газ) по энергетическому эквиваленту составляют более 20 %.

5. Высокая загрязненность атмосферы вредными оксидами азота и серы, что в ряде случаев вынуждает прибегать к запретам применения огневых парогенераторов (некоторые нефтедобывающие компании США для производства пара используют электроэнергию местных электростанций).

Разработана методика определения основных параметров СЭН: диаметра и длины, теплового потока, масса заливаемой воды, электрической мощности.

Конструкция рассматриваемого СЭН позволяет реализовывать мощности свыше 1000 кВт и в настоящее время ограничивается пропускной способностью погружных кабельных линий, используемых для питания центробежных нефтяных насосов. Выпускаемые для этой цели трехжильные бронированные кабели отечественного (КППБКТ, КППБПТ) и зарубежного производства на рабочее напряжение до 4 кВ и токи 100-130 А при включении нагревателя по схеме «фаза – 3 жилы кабеля параллельно – СЭН – обсадная колонна и НКТ параллельно – нейтраль трансформатора» способны передавать на глубины 1000-1500 м не менее 1000 кВт.

В качестве источников питания группы СЭН могут быть использованы серийные силовые трансформаторы мощностью 10-16 МВА, напряжением 35/3 кВ, что эквивалентно применению традиционных парогенераторов с паропроизводительностью до 20 т/ч. Основные конструктивные параметры СЭН (длина, наружный диаметр) определяются диаметром обсадной колонны и мощностью продуктивного пласта, а также удельной тепловой мощностью СЭН.

Глубина залегания пластов с высоковязкой нефтью в основном составляет 200-1000 м и реже 1000-2000 м. Мощность этих пластов составляет 3-30 м и более. Поэтому при проектировании электротермических комплексов для конкретных условий необходимо задать мощность, наружный диаметр и длину СЭН, которая должна быть соизмерима с мощностью пласта. При этом удельная тепловая мощность СЭН может быть принята в пределах $(2\text{-}6)\cdot10^5$ Вт/м^2.

Для реализации эффективного термогидродинамического воздействия СЭН должен обеспечивать нагревание пластовой жидкости в зоне обработки до кипения, что в свою очередь определяет давление и температуру внутри СЭН. Наиболее употребительные давления нагнетания пара при термических способах добычи нефти 4-10 МПа, реже 12-14 МПа. Указанные режимы ПТВ могут быть достигнуты при температурах жидкости-теплоносителя СЭН в диапазоне 280-360 °С.

Проведена укрупненная технико-экономическая оценка стоимостей дополнительно добытой нефти и затраченной электроэнер-

гии при использовании скважинных электротермических комплексов для условий Усинского месторождения тяжелой нефти. Приняты следующие исходные данные: мощность силового трансформатора – 10 МВА; давление нагнетания пара – 10-12 МПа; расход энергии на производство 1 т пара – 700 кВт·ч; паронефтяной фактор – 0,5 т/т; стоимость 1 т нефти – 100 у.е.; стоимость 1 кВт·ч электроэнергии – 0,8 руб.; число рабочих дней в году – 300.

Стоимость электроэнергии не превышает 6-8 % от стоимости дополнительно добытой нефти. Следует заметить, что полученная оценка может считаться пессимистической, так как при использовании СЭН количество вносимой в пласт тепловой энергии не зависит от глубины залегания пласта в отличие от традиционного способа воздействия на продуктивные пласты.

Технология термического воздействия на продуктивные пласты с использованием СЭН имеет следующие преимущества:

- низкие потери энергии (не более 5 %);
- низкая капиталоемкость одного комплекта оборудования, позволяющая постепенно наращивать производительность до требуемой;
- возможность проведения ПТВ при заполненной жидкостью скважине;
- использование как в зонах распространения многолетнемерзлых пород, так и при разработке шельфовых месторождений
- реализация методов импульсно-дозированного и термогидродинамического воздействия;
- пониженные требования к качеству закачиваемой в пласт воды;
- получение пара с сухостью 0,8-1 на глубинах свыше 1000;
- при эксплуатации обводненных месторождений возможность проводить ПТВ без подачи воды с поверхности.

Комплекс экспонировался на Брюссельской международной выставке «Эврика-2001» и был отмечен золотой медалью с отличием.

Широкое применение скважинного электротермического оборудования в регионах с высокой электровооруженностью позволит снизить стоимость термических скважин, автоматизировать процесс термообработки, за счет высокой маневренности увеличить число добычных скважин и получить экологически чистые и ресурсосберегающие технологии термической добычи тяжелых высоковязких нефтей.

Для успешного проведения термического воздействия в зоне продуктивного пласта перед установкой СЭН необходимо очистить от песка, шлама, грязи и т.д. заданный интервал скважины. Для этой цели совместно с кафедрой ТТБС разработан колонковый электромеханический буровой снаряд на грузонесущем кабеле [8]. Кроме указанной операции, электромеханический снаряд может использоваться для очистки призабойных зон добывающих скважин, эксплуатирующих пласты с выносом песка (с пескопроявлением).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Байбаков Н.А.* Термические методы добычи нефти в России и за рубежом / Н.А.Байбаков, А.Р.Гарушев, Д.Г.Антониади и др.; ВНИИОЭНГ. М., 1995.

2. *Бурже Ж.* Термические методы повышения нефтеотдачи пластов / Ж.Бурже, М.Комбарну, П.Сурио. М.: Недра, 1989.

3. *Загривный Э.А.* Электротермический комплекс на основе скважинного электродного нагревателя мощностью более 500 кВт для теплового воздействия на продуктивный пласт высоковязкой нефти / Э.А.Загривный, А.Е.Козярук, С.Н.Батаев // Электротехника. 2003. № 5.

4. *Загривный Э.А.* Разработка электротехнических комплексов и технологий теплового воздействия на продуктивные пласты для интенсификации добычи нефти / Э.А.Загривный, А.Е.Козярук, Б.Б.Кудряшов, А.Н.Сиротский // Научные исследования высшей школы по экологии и рациональному природопользованию; СПГГИ. СПб, 2000.

5. *Загривный Э.А.* Результаты полевых испытаний высокочастотного комплекса ТБС-112ВЧ при бурении глубоких скважин в низкотемпературном ледниковом покрове (ст.Восток) / Э.А.Загривный, Б.С.Моисеев, А.М.Шкурко // Зап. ЛГИ. Т.105. 1985.

6. Патент РФ № 2169830. Устройство тепловой обработки призабойной зоны скважины / Э.А.Загривный, А.Н.Сиротский. Опубл. 12.07.2001.

7. Патент РФ № 2208145. Устройство для тепловой обработки призабойной зоны скважины / В.С.Литвиненко, Б.Б.Кудряшов, Э.А.Загривный, Г.Н.Соловьев. Опубл. 10.07.2003.

8. Патент РФ № 2209912. Колонковый электромеханический буровой снаряд / В.С.Литвиненко, Б.Б.Кудряшов, Г.Н.Соловьев, Э.А.Загривный, Н.И.Васильев. Опубл. 10.08.2003.