УДК 642.245

Э.А.ЗАГРИВНЫЙ, *д-р техн. наук, профессор, Slava19887@yandex.ru*
В.И.МАЛАРЕВ, *канд. техн. наук, доцент, Slava19887@yandex.ru*
В.О.ЗЫРИН, *аспирант, 8(952)249-67-07*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

E.A.ZAGRIVNY, *Dr. in eng. sc., professor, Slava19887@yandex.ru*
V.I.MALAREV, *PhD in eng. sc., associate professor, Slava19887@yandex.ru*
V.O.ZYRIN, *post-graduate student, 8(952)249-67-07*
Saint Petersburg State Mining University

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ЗАБОЙНЫМ ПАРОГЕНЕРАТОРОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ С ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТЬЮ

Рассмотрены электротермический комплекс на основе забойного скважинного электропарогенератора для термического воздействия на продуктивные пласты высоковязкой нефти и система управления этим комплексом. Предложенная система управления позволяет автоматически поддерживать заданные технологические параметры в зависимости от режимов работы комплекса.

***Ключевые слова*:** добыча высоковязкой нефти, нефтеотдача, забойный скажинный парогенератор.

ELECTROTHERMAL COMPLEX WITH DOWNHOLE ELECTROSTEAM GENERATOR'S AUTOMATION TO AID IN LAYER WITH HIGH VISCOSITY OIL RECOVERY

The electrothermal complex on a basis of face electrosteam and gas generator for thermal influence on productive layers of high viscosity oil and a control system of this complex is considered. This control system allows to support automatically the set technological parameters depending on operating modes of a complex.

***Key words*:** extraction oil of high viscosity, oil recovery, downhole electrosteam generator.

Для повышения нефтеотдачи пластов во всех нефтедобывающих странах используют различные методы увеличения нефтеотдачи (МУН), наиболее перспективными из которых являются тепловые методы [1].

В Санкт-Петербургском государственном горном университете разработаны и запатентованы электротермические комплексы более 1000 кВт, применение которых позволит снизить потери энергии и повысить качество теплоносителей (пара, воды), нагнетаемых в пласт высоковязкой нефти. Комплекс позволяет выполнять технологические операции по паротепловому (ПТВ), импульсно-дозированному тепловому (ИДТВ) и термогидродинамическому воздействию. Добычной электротермический участок (рис.1) включает: 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 прямоточный электропарогенератор, помещенный в обсадную колонну, питание которого осуществляется по погружным кабельным линиям; регулируемый

электропривод насоса и схему управления величиной силы тока нагревателя или парогенератора [2]. Скважинное электротермическое устройство получает питание по схеме фаза – три жилы погружной линии параллельно – НКТ, обсадная колонна – нейтраль.

В состав электротехнического комплекса тепловой обработки призабойной зоны скважин входит скважинный электропарогенератор (ЭПГ), который закреплен на конце колонны насосно-компрессорных труб (НКТ) (рис.2).

Электропарогенератор состоит из металлического корпуса, выполненного в форме цилиндра. Центральный токопровод закреплен в верхней части корпуса через проходной изолятор. Внутри корпуса на токопровод нанизаны диски-электроды. С токопроводом соединены размещенные через интервалы с термостойкими изоляторами фазные электроды. Между фазными электродами находятся с большим центральным отверстием металлические диски-электроды, которые соединены с корпусом устройства. Вода подается с поверхности по трубам, а в парогенератор поступает по центральному отверстию внутри токовода. Электропарогенератор работает следующим образом. По силовому кабелю на фазные электроды подают напряжение, после чего от фазных электродов через воду к нулевым электродам потечет ток, вызывая нагрев воды, кипение и образование пара, который подается в забой, где происходит тепловая обработка призабойной зоны.

При разработке были составлены требования к системе управления. Система управления процессом термического воздействия на пласт должна обеспечить реализацию следующих режимов работы:

1. Ручное задание мощности скважинного электропарогенератора и стабилизацию заданного значения мощности $P_{зад}$ с точностью не менее чем ±2 %.

2. Автоматическое задание и поддержание на заданном уровне с точностью не менее ±3 % частоты вращения питательного насоса при изменении производительности Q (кубический метр в секунду) от нуля до $Q_{ном}$. Регулирование осуществляется посредством преобразователя частоты в цепи статора двигателя.

Скважинный электропарогенератор получает питание от однофазного источника переменного напряжения. Регулирование тока осуществляется с помощью однофазного тиристорного регулятора. Изменение угла открывания двух встречно-параллельно включенных тиристоров осуществляется посредством системы управления (СУ). Величина тока в нагревательном элементе контролируется с помощью внутренней обратной связи по мощности [3]. По исходным и полученным в результате расчета данным в соответствии с функциональной схемой управления термическим комплексом и схемой векторной системы управления электроприводом произведена разработка структурной схемы электротермического комплекса и системы автоматического управления. Разработка проведена в среде Mathlab при помощи пакета программирования Simulink.

Схема работает следующим образом. При подаче напряжения на контакты A, B тиристорного регулятора тока на его выходе формируются импульсы определенной амплитуды и частоты, которые подаются в силовую часть схемы парогенератора. При помощи блока Discrete RMS Value определяется значение мощности парогенератора $P_{изм}$, которая подается на вход пи-регулятора мощности. На основании сигнала ошибки от сумматора пи-регулятор отрабатывает отклонение мощности от задания, на выходе блока получаем значение угла открывания тиристоров регулятора тока, которое подается на вход блока управляющих импульсов control. Включение электропривода питательного насоса осуществляется подачей напряжения от источника постоянного тока на контакты плюс, минус инвертора Universal bridge1 и подачей управляющих импульсов с блока pulses на вход инвертора. Формирование задания частоты вращения привода осуществляется при помощи обратной связи по мощности парогенератора. Задание поступает на вход задатчика интенсивности.

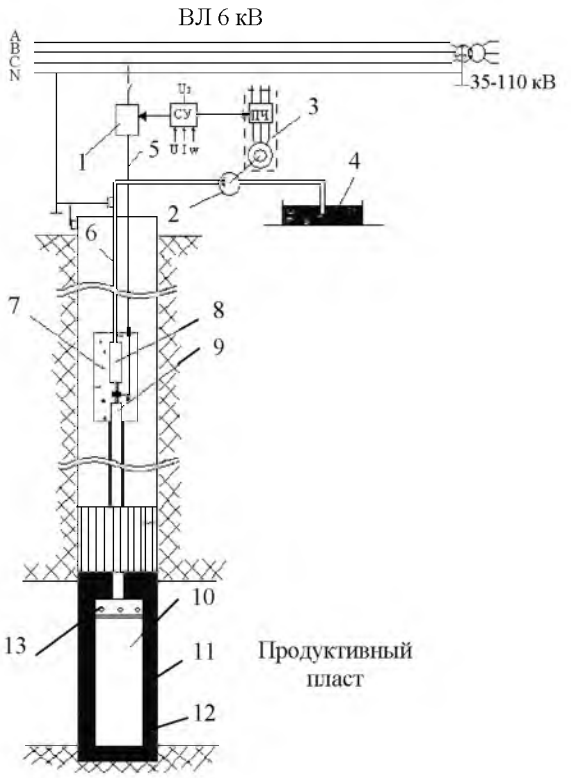


Рис.1. Схема электротермического комплекса

1 – регулятор тока; 2 – насос; 3 – регулируемый электропривод; 4 – рабочая жидкость; 5 – силовой кабель; 6 – НКТ; 7 – маслозаполненное вводное устройство; 8 – диэлектрическая вставка; 9 – термостатный пакер; 10 – скважинный электродный нагреватель; 11 – обсадная колонна; 12 – пластовая жидкость; 13 – паровыпускное отверстие

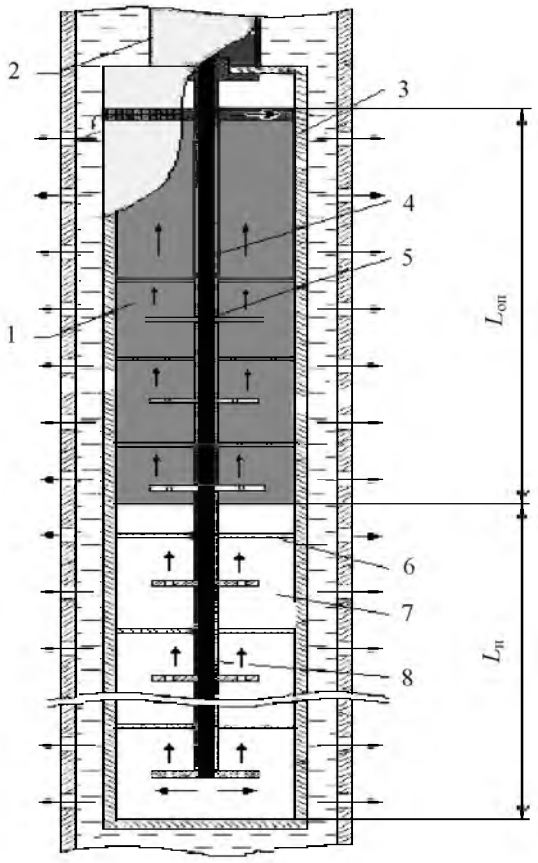


Рис.2. Конструктивная схема ЭПГ

1 – пар; 2 – проходной изолятор; 3 – металлический корпус; 4 – токовод; 5 – центральный токопровод; 6 – диски-электроды; 7 – вода; 8 – термостойкие изоляторы

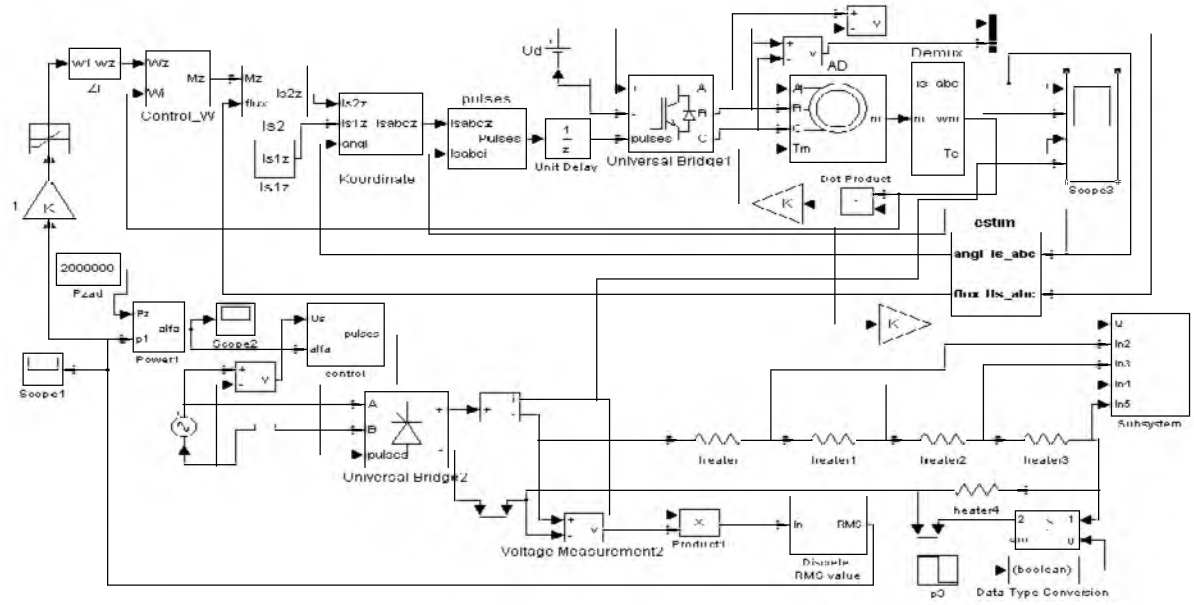


Рис.3. Структурная схема системы управления электротермическим комплексом термического воздействия на пласты высоковязкой нефти

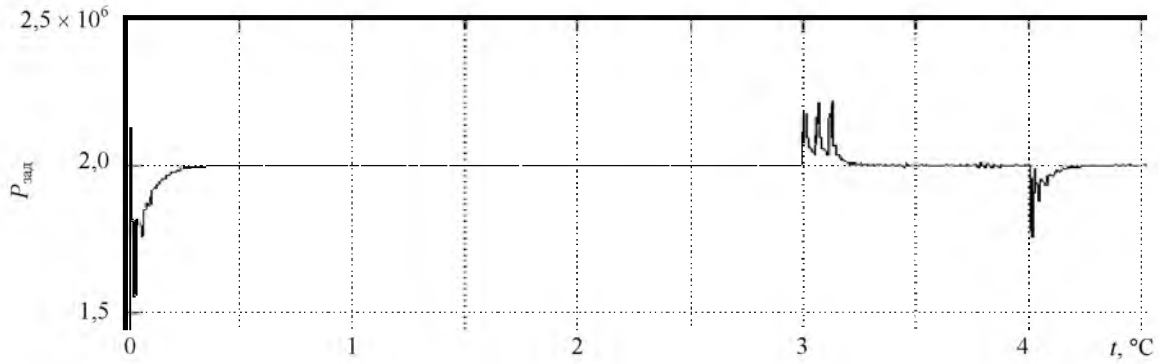


Рис.4. Зависимость мощности скважинного ЭПГ с течением времени от сопротивления котловой воды

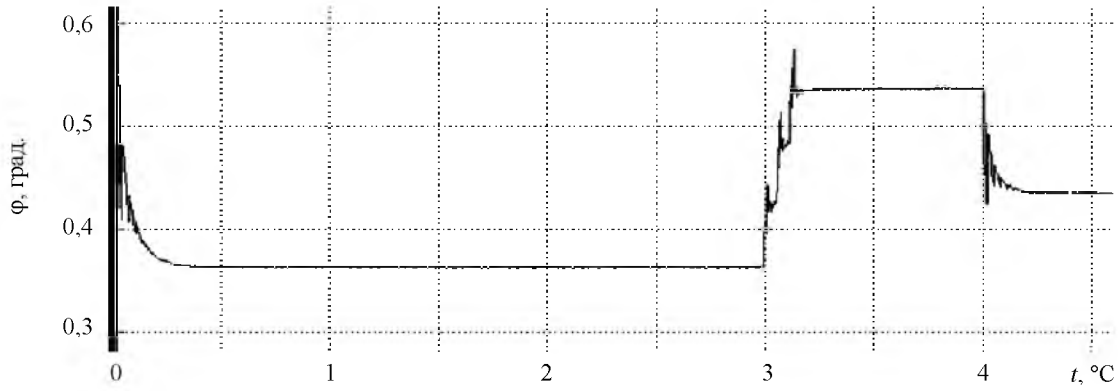


Рис.5. Зависимость угла открывания тиристоров регулятора тока с течением времени от сопротивления ЭПГ

В схеме (рис.3) реализовано внешнее воздействие, выраженное в изменении сопротивления парогенератора (например, при изменении удельного сопротивления котловой воды). Через 4 с после включения в цепь парогенератора размыканием ключа подключается блок heater4, увеличивая общее сопротивление схемы.

Как видно из графиков (рис.4) при изменении сопротивления котловой воды (сопротивления межэлектродного промежутка) система управления отрабатывает отклонение мощности от заданной величины $P_{зад}$: при уменьшении сопротивления (нагрев котловой воды, уменьшение ее удельного сопротивления, $t = 3$ с) мощность возрастает, при этом угол открывания тиристоров увеличивается с 0,37 до 0,54, а мощность уменьшается. При увеличении сопротивления мощность уменьшается, угол открывания уменьшается до 0,44, а мощность увеличивается (рис.5).

Таким образом, система управления отвечает требованиям электромеханического комплекса для термического воздействия на пласты высоковязких нефтей. Она обеспечивает устойчивое регулирование мощности в заданных пределах в начале работы при увеличении температуры котловой воды, что сказывается на общем уменьшении сопротивления электропарогенератора, отрабатывает внешние возмущения, выраженные в изменении удельного сопротивления котловой воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Антониади Д.Г.* Настольная книга по термическим методам добычи нефти / Д.Г.Антониади, А.Р.Гарушев, В.Г.Ишханов. Краснодар: Советская Кубань, 2000.

2. *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.

3. Перспективы использования забойных электротермических комплексов для повышения нефтеотдачи пластов с тяжелой высоковязкой нефтью / Э.А.Загривный, А.Е.Козярук, В.И.Маларев, Е.Е.Мельникова // Электротехника. 2010. № 1.

REFERENCES

1. *Antoniadi D.G., Garushev A.R., Ishanow W.G.* Handbook on thermal oil recovery metod. Krasnodar: Sovetskaya Kuban, 2000.

2. *Zagrivny E.A., Kozyaruk A.E., Bataev S.N.* Electrothermal complex on bases of electrosteam and gas generator power of more than 5000 kW for thermal influence on productive layers of oil with high viscosity // Electrical engeneering. 2003. N 5.

3. *Zagrivny E.A., Kozyaruk A.E., Malarev V.I., Melnikova E.E.* Prospects for the use of downhole electrothermal systems for enhanced oil recovery from heavy high-viscosity oil // Electrical. 2010. N 1.