УДК 622.245

Э.А.ЗАГРИВНЫЙ, *д-р техн. наук, профессор, zagrivniy@yandex.ru*
В.И.МАЛАРЕВ, *канд. техн. наук, доцент, malarev@ yandex.ru*
Е.Е.ВАСИЛЬЕВА, *инженер, 328-82-67*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

E.A.ZAGRIVNY, *Dr. in eng. sc., professor, zagrivniy@yandex.ru*
V.I.MALAREV, *PhD in eng. sc., associate professor, malarev@ yandex.ru*
E.E.VASILIEVA, *engineer, 328-82-67*
Saint Petersburg State Mining University

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ НА ОСНОВЕ ЗАБОЙНОГО СКВАЖИННОГО ЭЛЕКТРОПАРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОДУКТИВНЫЕ ПЛАСТЫ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ

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, термические технологии добычи, паронефтяной фактор, забойные электротермические устройства, забойный скважинный электронагреватель, система управления, регулируемый электропривод.

ELECTROTHERMAL COMPLEX INCLUDING STEAM AND GAS ELECTROGENERATOR FOR THERMAL INFLUENCE TO PRODUCTIVE LAYERS OF THE HIGHLY VISCOUS OIL CONTROL SYSTEM

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, thermal technologies of extraction, steam-oil factor, face electrothermal devices, face well electroheater, control system, the adjustable electric drive.

Состояние ресурсной базы углеводородного сырья в России и мире в целом характеризуется значительным увеличением доли трудноизвлекаемых запасов в низкопроницаемых коллекторах с нефтями повышенной и высокой вязкости.

Особую важность приобретает рациональное освоение широко распространенных залежей тяжелых высоковязких нефтей (ВВН), мировые запасы которых приблизительно в 7 раз превышают запасы легких нефтей (более 700 млрд т).

Безальтернативными методами нефтеотдачи отечественными и зарубежными специалистами признаны термические методы (ТМ) воздействия на продуктивные пласты ВВН.

К наиболее широко применяемым в Европейской части термическим методам увеличения нефтеотдачи относятся:

1) вытеснение нефти при постоянном нагнетании горячей воды или пара;

2) циклическое паротепловое воздействие (ПТВ);

3) импульсно-дозированное тепловое воздействие (ИДТВ).

К недостаткам традиционных термических методов добычи ВВН можно отнести высокие материало- и капиталоемкость теплоэнергетического оборудования, потери теплоты в трубопроводной системе и скважине, а также снижение эффективности процесса из-за сжигания части добытого сырья (нефти, газа) в парогенераторах и ухудшение экологической обстановки в районах нефтедобычи.

Одним из перспективных направлений развития термических методов добычи является разработка забойных теплогенераторов. В Санкт-Петербургском государственном горном университете разработаны и запатентованы в РФ электротермические комплексы более 1000 кВт, применение которых позволит снизить потери энергии и повысить качество теплоносителей (пара, воды), нагнетаемых в пласт ВВН [1].

Целью работы является дальнейшее совершенствование забойных электродных нагревателей и парогенераторов мощностью свыше 1000 кВт. Разрабатываемое скважинное электротермическое оборудование должно обеспечить тепловое воздействие на призабойные зоны добычных и нагнетальных скважин с использованием пластовой жидкости (товарной воды), а также допускать применение термохимических методов повышения нефтеотдачи пластов ВВН [2].

Рассматриваемый в работе комплекс позволяет выполнять технологические операции по паротепловому воздействию, импульсно-дозированному тепловому воздействию и термогидродинамическому воздействию. Для этого в состав комплекса (рис.1) включены насос с регулируемым электроприводом, емкость с котловой водой, насосно-компрессорные трубы (НКТ), по которым котловая вода через диэлектрическую вставку и водоподающий узел с обратным клапаном поступает в изолированный интервал скважины. Автоматическое поддержание заданных технологических параметров (напряжение U, ток I, расход котловой воды q, частота вращения насоса ω) обеспечивается системой управления (СУ).

Режим ПТВ реализуется при заданных часовых расходах тепловой энергии и котловой воды, которые обеспечивают определенное количество пара в зоне продуктивного пласта с сухостью, зависящей от соотношения часовых количеств энергии и воды. Режим ИДТВ обеспечивается чередующимися импульсами ПТВ и подачей котловой воды с увеличенными часовыми расходами, чем достигается ускоренное продвижение теплового фронта и снижение ПНФ.

Скважинное электротермическое устройство получает питание по схеме фаза – три жилы погружной линии параллельно – НКТ, обсадная колонна – нейтраль. Такие системы широко применяются для электроснабжения специальных установок (электрифицированные железные дороги, где по этой схеме питаются электровозы напряжением 3 кВ на постоянном токе и 25 кВ – на переменном). На схеме (рис.2) куст добычных скважин 1-6, в центре которого размещена нагнетательная скважина 7. Такая семиточечная система разработки применяется, в частности, при добыче тяжелой нефти на Усинском месторождении. Силовой трансформатор мощностью 10-16 МВ·А и напряжением 35-110/6-10 кВ с обмотками, соединенными по схеме звезда – звезда с заземленной нейтралью вторичной обмотки, по воздушным линиям ВЛ31 и ВЛ32 питает электроэнергией куст скважин 1-6. Высоковольтное и низковольтное электрооборудование размещено в передвижных контейнерах К1-К6 (рис.3).

Воздушные линии ВЛ31 и ВЛ32 выполнены изолированными проводами, установленными на деревянных переносных опорах с полиэтиленовыми изоляторами. Такие опоры широко применяются на открытых горных работах и позволяют сооружать по несколько километров линий электропередач в день при малых трудовых затратах.

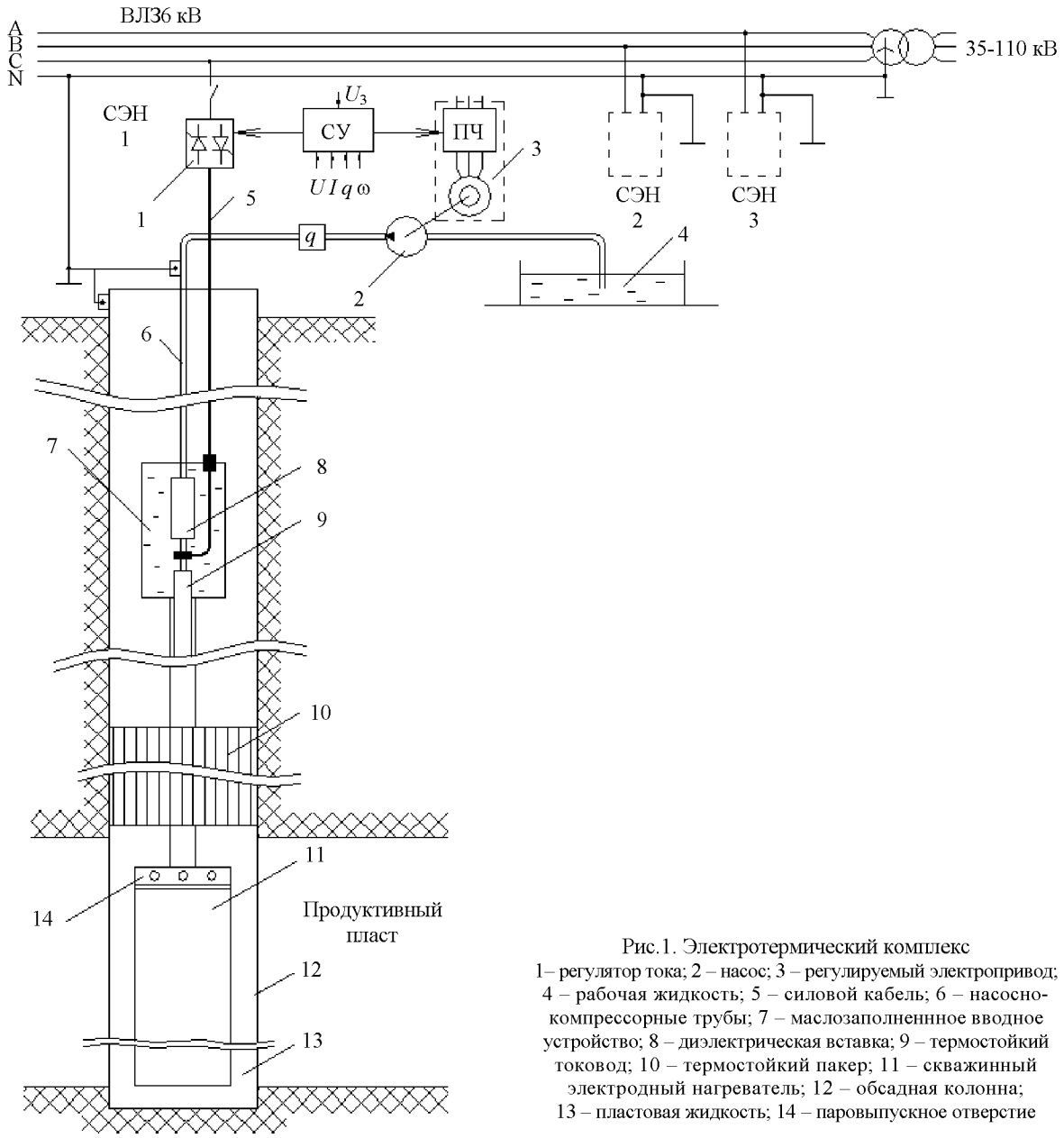


Рис.1. Электротермический комплекс
1– регулятор тока; 2 – насос; 3 – регулируемый электропривод; 4 – рабочая жидкость; 5 – силовой кабель; 6 – насосно-компрессорные трубы; 7 – маслозаполненнное вводное устройство; 8 – диэлектрическая вставка; 9 – термостойкий токовод; 10 – термостойкий пакер; 11 – скважинный электродный нагреватель; 12 – обсадная колонна; 13 – пластовая жидкость; 14 – паровыпускное отверстие

К добычным скважинам 1-6 подается электроэнергия напряжением 0,4 кВ. В передвижных контейнерах К1-К6 размещены высоковольтная ячейка с однополюсным вакуумным выключателем (или однополюсный выключатель нагрузки, или разъединитель) при выполнении электроснабжения участка по упрощенной схеме, тиристорный преобразователь частоты для питания регулируемого электропривода питательного насоса, распределительного устройства низкого напряжения, высоковольтного тиристорного регулятора тока ЭПГ и шкафа управления, в котором размещены пульт управления режимами электротермического комплекса, регуляторы тока ЭПГ и расхода питательного насоса, приборы контроля (напряжения, тока, мощности, давления, расхода питательного насоса) и учета расхода электрической энергии и котловой воды, релейная токовая защита ЭПГ.

Система управления процессом термического воздействия на продуктивный нефтяной пласт должна обеспечивать реализацию следующих режимов работы комплекса:

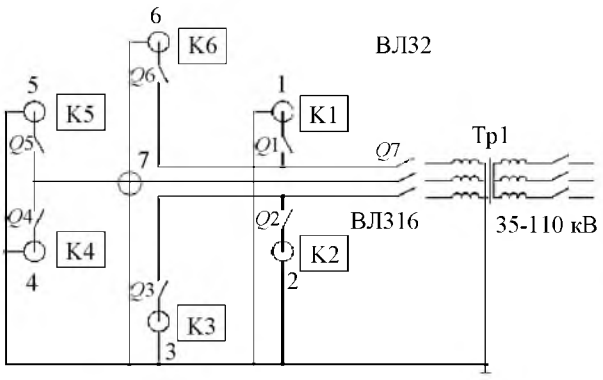


Рис.2. Принципиальная схема электроснабжения электротермического участка

1-6 – добычные скважины; 7 – нагнетательная скважина; К1-К6 – передвижные контейнеры

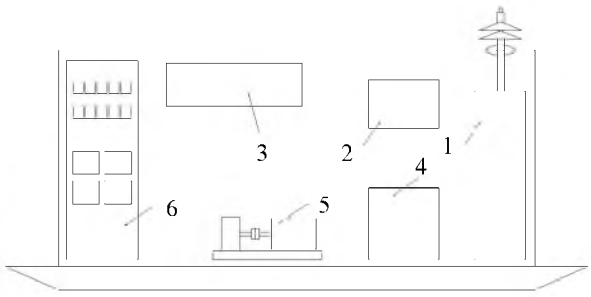


Рис.3. Размещение оборудования в передвижном контейнере

1 – высоковольтная ячейка; 2 – тиристорный преобразователь частоты; 3 – распределительное устройство нужного напряжения; 4 – тиристорный регулятор тока; 5 – насосный агрегат; 6 – шкаф управления приборов контроля, учета и защит

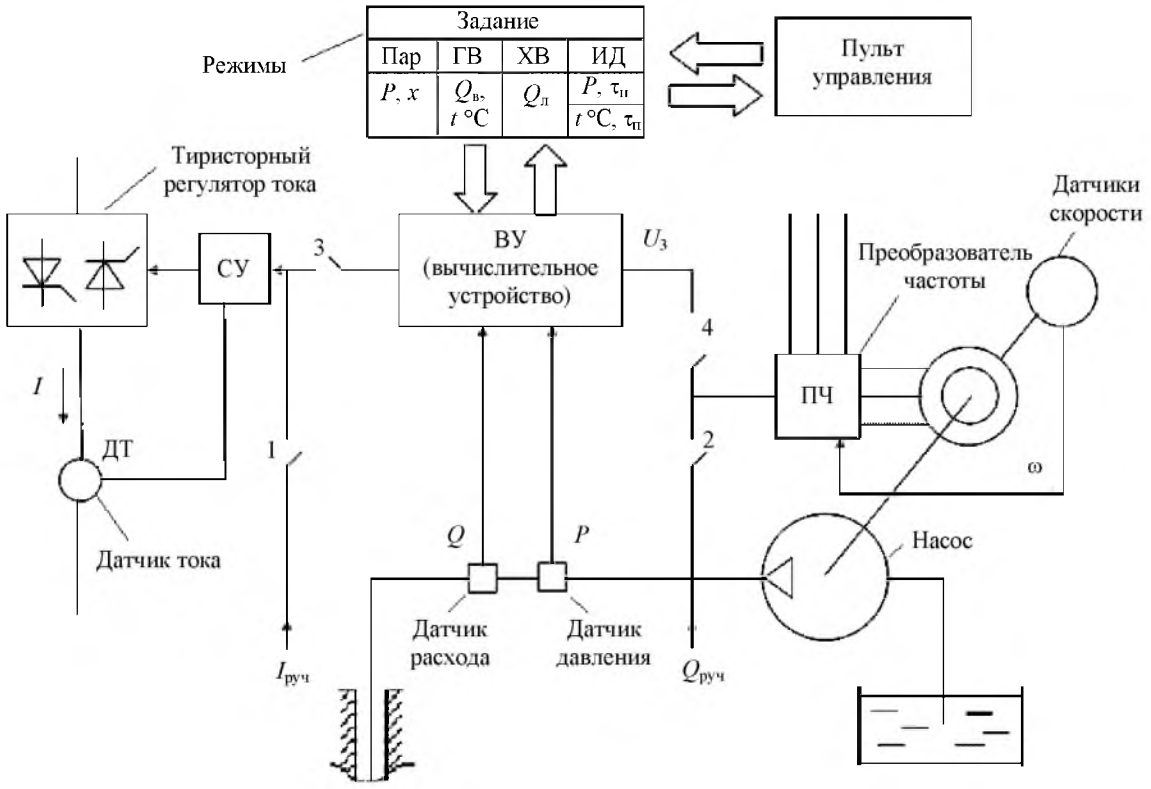


Рис.4. Функциональная схема управления электротермическим комплексом

1, 2 – ключи при ручном режиме; 3, 4 – ключи при автоматическом режиме

1. Ручное задание тока скважинного электропарогенератора и стабилизация заданного значения тока $I_{зад}$ с точностью не менее чем ±2 %. Эта же система должна обеспечивать токовую отсечку на уровне максимального тока I_{max}.

Скважинный электропарогенератор получает питание от однофазного источника переменного напряжения. Регулирование тока нагревателя осуществляется с помощью однофазного тиристорного регулятора. Изменение угла открывания двух встречно-

параллельно включенных тиристоров осуществляется посредством системы управления. Величина тока в нагревательном элементе контролируется с помощью внутренней обратной связи по току.

2. Ручное задание и поддержание на заданном уровне с точностью не менее ±2 % давления питательного насоса $P_{зад}$ при изменении производительности $Q_в$ (кубические метры в секунду) от нуля до $Q_{ном}$. Регулирование осуществляется посредством преобразователя частоты в цепи статора двигателя. Статический момент питательного насоса с некоторым приближением можно представить вентиляторной характеристикой вида

$$M_c = C\omega_r^2 + M_{c0},$$

где M_c – момент сопротивления насоса; M_{c0} – момент холостого хода; ω_r – скорость вращения.

Поскольку при построении системы управления не используют сложные векторные законы частотного регулирования, можно ограничиться простым законом скалярного управления:

$$U_m / f_{i.\div} = \text{const}.$$

3. При ручном управлении током скважинного электронагревателя и давлением питательного насоса эти два технологических параметра задаются оператором независимо друг от друга. При этом обеспечивается следующий режим парообразования на забое. При максимальном токе нагревателя I_{max} в соответствии с известными таблицами состояния вода – пар [3] необходимо обеспечивать такую подачу воды, при которой соблюдается условие:

$$P_{ý} = U_{íì}\ I_{max} = W_0,$$

где $P_э$ – часовая мощность скважинного электронагревателя, кВт; W_0 – энтальпия пара,

$$W_0 = W_ê + W_ï,$$

$W_к$ – энергия, которую необходимо затратить на нагрев воды до температуры кипения $T = T_к$, °С; $W_п$ – энергия парообразования.

Комплекс включает систему управления током скважинного нагревателя и систему частотного регулирования электроприводом питательного насоса (рис.4).

Очевидно, что каждому значению часовой мощности $P_э$ при работе скважинного нагревателя должна соответствовать вполне определенная производительность питательного насоса $Q_в$. Обеспечить строгое соответствие этих двух параметров с помощью ручного управления достаточно сложно. Если к этому добавить, что помимо режима парообразования на забое в комплексе должны быть также предусмотрены режимы горячей и холодной воды, автоматизация комплекса в дальнейшем будет необходима [4]. В режиме горячей воды скважинный электронагреватель должен работать с максимальным током I_{max} и питательный насос должен работать с максимальной производительностью Q_{max}. Это значит, что этот режим является предельным для установленного оборудования. В режиме холодной воды скважинный электронагреватель отключен от источника электроэнергии (тиристоры регулятора напряжения полностью закрыты). При этом ток нагревателя равен нулю, а питательный насос должен попрежнему работать с максимальной производительностью Q_{max}.

Поскольку выходные параметры главных элементов комплекса (энергия скважинного электронагревателя W и производительность питательного насоса Q) являются нелинейной (в первом приближении) квадратичной функцией выходных параметров (тока скважинного электронагревателя I и частоты вращения двигателя питательного насоса ω_r), объединение систем управления составными частями комплекса должно быть выполнено на основе микроконтроллера, в котором исходная информация о желаемом состоянии комплекса должна быть в виде таблицы вода – пар.

ЛИТЕРАТУРА

1. *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.

2. *Загривный Э.А.* Перспективы развития методов повышения нефтеотдачи пластов с тяжелой высоковязкой нефтью / Э.А.Загривный, Е.Е.Мельникова // Материалы конференции «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». 2006.

3. *Кутателадзе С.С.* Теплопередача при конденсации и кипении. М.-Л.: Машиностроение, 1952.

4. *Лукас В.А.* Теория управления техническими системами: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005.

REFERENCES

1. *Zagrivniy E.A.* Electrothermal a complex on a basis скважинного an electrode heater capacity more than 500 kw for thermal influence on a productive layer высоковязкой oil / E.A.Zagrivniy, A.E.Kozjaruk, S.N.Bataev // Electrical engineering. 2003. № 5.

2. *Zagrivniy E.A., Melnikova E.E.* Ways of development methods to increase of petrofeedback of layers with heavy oil // Materials of conference «Science and the newest technologies by searches, investigation and development of deposits of minerals». 2006.

3. *Kutateladze S.S.* Heat transfer on condensation and boiling // Moscow-Leningrad: Mashinostroenie, 1952.

4. *Lukas V.A.* Technical systems management theory: the manual. Ekaterinburg: Publishing house UGGU, 2005.