

УДК 622.276.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

USE OF ELECTROTREATMENT METHOD FOR OIL RECOVERY ENHANCEMENT

О. В. Смирнов, А. Е. Козярук, К. В. Кусков, А. Л. Портнягин, А. В. Сафонов

O. V. Smirnov, A. E. Kozyaruk, K. V. Kuskov, A. L. Portnyagin, A. V. Saphonov,

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург

Тюменское высшее военно-инженерное командное училище, г. Тюмень

Ключевые слова: нефть; увеличение дебита скважин; электрообработка;

электровоздействия; высокая частота

Key words: oil; wells flow rate increase; electrotreatment; electric stimulation; high frequency

Эффективность методов интенсификации добычи нефти может быть увеличена внедрением электротехнологий, включая электромагнитную обработку. Спектр способов электровоздействия на призабойную зону скважины для увеличения ее дебита достаточно ограничен. При этом используемое оборудование и порядок производства работ системно связаны с преобладающими электрокинетическими эффектами, проявляющимися при реализации электротехнологий. Для расширения практики применения электровоздействий необходимо отслеживание достижений в этом направлении.

Несмотря на то, что использование электрообработки для воздействия на многофазные углеводородные дисперсные системы начинает постепенно занимать все большее место в нефтегазовых технологиях, успехи в этом направлении еще довольно ограниченные, хотя и выполнено большое количество работ у нас и за рубежом. Такое положение связано с тем, что при электрообработке систем с жидкой или твердой дисперсионной средой в большинстве из них протекают различные взаимосвязанные процессы, что затрудняет технологическое оформление процесса. Значительный разброс характеристик нефтесодержащих пластов, например по составу, дисперсности, электропроводности и т.д., делает целесообразным использование лишь некоторых из классифицируемых электротехнологий [1–3].

Возможно применение электромагнитного поля, в том числе сверхвысокой частоты, как для прогрева, так и для разделения пластовых многофазных систем с частотами, используемыми в радиолокационных технологиях.

Накопление в скважинах, нефтепромысловом оборудовании и трубопроводах минеральных и органических примесей, природных и техногенных, создает проблему декольматации и предотвращения загрязнений контактных поверхностей. В литературе мало обзоров практических работ, цель которых — обобщение на теоретической основе результатов производственных электротехнологий. Недостаток информации о механизме явлений в примененном конкретном виде электротехнологии, непонимание приоритета параметров и отсутствие контроля за их изменением, низкий уровень техники эксперимента часто приводят практиков к необоснованно негативным выводам [3].

Вследствие падения средней проектной нефтеотдачи в последние десятилетия потери потенциальных извлекаемых запасов нефти составляют примерно 14 млрд т., что сравнимо с общим количеством извлеченной нефти. Падение проектной нефтеотдачи объясняется ухудшением структуры запасов, увеличением доли трудноизвлекаемой нефти до более 60 %, включая вязкую, и отсутствием политики создания инновационных технологий предотвращения падения нефтеотдачи.

Процент извлекаемости нефти в России составляет 28–30 %. Трудноизвлекаемые запасы представлены сложными коллекторами низкой пористости, слабой проницаемости и больших глубин. Возникает необходимость извлечения тех дополнительных запасов, которые раньше были недоступны. Это использование сверхглубоких скважин, добыча из более глубоких коллекторов и шельфа России. В США, где структура запасов гораздо хуже, чем в России, процент извлекаемости нефти составляет 50 % за счет внедрения инновационных технологий.

Отложения асфальтосмолопарафиновых веществ (АСПО) снижают дебит добывающих скважин и пропускную способность нефтесборных коллекторов. Поэтому работы, направленные на удаление и предупреждение их появления с использованием электрообработки, являются актуальными для предприятий, добывающих нефть, потенциально склонную к парафиноотложению.

В настоящее время простаивают около 120 тыс. скважин, которые можно ввести в действие и получить еще десятки миллионов тонн нефти. В условиях спада объема добычи нефти представляется весьма целесообразным освоение широко распространенных залежей высоковязкой нефти (ВВН), мировые запасы которой приблизительно в 7 раз превышают запасы легкой нефти. В естественном режиме эксплуатации скважин ВВН нефтеотдача составляет не более 6–15 %.

В России большинство технологий консервативны, и только 20 % приходится на внедрение новых технологий. В ближайшее время рынок может востребовать эти технологии, в том числе и технологию электрообработки. По данным из различных источников, при использовании электрообработки скважин возможно снижение обводненности добываемой жидкости, восстановление их производительности, отсечка газовых конусов, а также восстановление характеристик нагнетательных скважин. Объектами применения технологии являются как терригенные, так и карбонатные коллекторы с глубиной залегания до 2 000 м и 3 000 м соответственно. Электрообработке подвергаются скважины с обводненностью 40–85 % и дебитом по жидкости 10–85 м³/сутки.

При электрообработке нефтяного пласта импульсами соответствующей напряженности происходит поляризация частиц грунта, капель или твердых агрегатов частиц и жидких структур пласта, что приводит к изменениям порового пространства полидисперсной среды и фазы и, как следствие, объемных структур фильтрационных потоков. Таким образом, в результате электрообработки пласта, сопровождающейся активным электроосмосом [3], происходит перемещение жидкой среды в поровом пространстве относительно породы и высоковязкой нефти, изменяется общая структура фильтрационных потоков в породе, и обводненность добываемой нефти снижается.

Электропаротепловое воздействие на призабойную зону путем нагнетания теплоносителя применяют для улучшения фильтрационных свойств пород, удаления парафинов, смол и солей; периодического прогрева пород пласта вокруг скважины, сохранения фильтрационных свойств пород; ликвидации последствий проникновения в пласт фильтрата бурового раствора. При этом происходит увеличение дебита в отдельных случаях с 0,5 до 5–15 т/сутки после электропаротепловой обработки, а в некоторых скважинах до 100 т/сутки, продление эффективной эксплуатации нерентабельных скважин от 60 до 500 дней.

Размер зоны с ухудшенной проницаемостью пород и причину снижения фильтрационных свойств устанавливают по результатам термогидродинамических исследований состояния и свойств прискважинной части пласта, а также по данным пробных обработок забоев контрольных скважин. В национальном минерально-сырьевом университете «Горный», г. Санкт-Петербург (д. т. н., проф., зав. каф. электротехники, электроэнергетики, электромеханики А. Е. Козярук и др.), разработан и изготовлен, в том числе для испытаний, полноразмерный образец скважинного стендового электропарогенератора для повышения нефтеотдачи пластов высоковязкой нефти.

Забойные устройства-электропарогенераторы (ЭПГ) [4–7] могут применяться как для электропаротепловой обработки продуктивного пласта высоковязкой нефти, так и для восстановления гидравлической связи пласта со скважиной, увеличения нефтеотдачи пластов с высоковязкой нефтью и дебита скважин, а также возобновления эксплуатации нерентабельных скважин на нефть, природный газ, на пресные, минеральные и термальные воды.

Технология не предполагает сжигания добытого полезного ископаемого в качестве топлива в отличие от традиционной технологии. Благодаря малой металлоемкости и капиталоемкости электропарогенераторы (ЭПГ) могут применяться малыми нефтяными компаниями для разработки мелких и мельчайших месторождений высоковязкой нефти для введения во вторую эксплуатацию и борьбы с кольматацией. Экономическое сравнение традиционной и электропаротермической технологии также показывает большую эффективность последней.

Возможность генерировать в призабойной зоне насыщенный пар со степенью сухости 0,8 является одним из значимых технологических параметров, что недостижимо для традиционных методов. Это позволяет вносить в пласт равное количество тепловой энергии при нагнетании меньшего объема пара на 15–20 %.

В комплексе ЭПГ выполняет технологические операции по электропаротепловому воздействию (ЭПТВ), импульсно-дозированному тепловому воздействию (ИДТВ) и термогидродинамическому воздействию. Для этого в состав комплекса включены устройство тепловой обработки призабойной зоны, насос с регулируемым электроприводом, емкость с котловой водой, насосно-компрессорные трубы (НКТ), водоподающий узел с обратным клапаном. Поддержание заданных технологических параметров (напряжение, ток, расход котловой воды, частота вращения насоса) обеспечивается АСУ ТП.

Режим ЭПТВ 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 ЭПТВ и подачей котловой воды с увеличенными часовыми расходами, чем достигается ускоренное продвижение теплового фронта и снижение ПНФ.

При подаче воды с заданным расходом электрическая мощность реализуется на интервалах нагрева до кипения воды и интервалах парообразования. При увеличении расхода воды в полости корпуса нагревателя количество токопроводящих участков на интервалах растет, и, соответственно, увеличиваются ток и мощность. При уменьшении расхода воды в полости корпуса нагревателя ток и мощность снижаются. Таким образом, изменяя производительность насоса, можно регулировать мощность и ток питающей погружной кабельной линии.

Возможно использование метода при устройстве горизонтальных скважин, в одну из которых закачивается пар. В результате ВВН разжижается, и эту нефть можно извлекать.

Из ряда разрабатываемых и защищенных патентами РФ забойных ЭПГ наиболее приемлемыми для реализации является ЭПГ по патенту РФ № 2282018 [7]. Его конструкция отличается оптимальной технологичностью изготовления, невысокими требованиями к прочности герметичностью корпуса, высокой надежностью работы проходного изолятора и изоляции.

Электротепловая обработка скважин является наиболее простым и доступным способом поддержания повышенной температуры при обогреве скважин, скважинного оборудования, призабойной зоны пласта.

Способ электронагрева нефтескважины нефтедобывающего комплекса заключается в пропускании электрического тока через составляющие призабойной зоны для нагрева Джоулевым теплом. При этом электрическая цепь может быть образована электродами, колоннами насосно-компрессорных труб, погружным контактом, обсадной колонной и другими электропроводящими компонентами конструкции. Входные зажимы электрической цепи соединены с регулируемым источником электрической мощности. Электропрогрев может осуществляться циклически и стационарно, температура на забое через некоторое время непрерывного прогрева стабилизируется.

Электронагрев выкачиваемой скважинной жидкости является одним из эффективных способов борьбы с асфальтосмолопарфиновыми отложениями (АСПО). Снижение вязкости добываемой нефти способствует увеличению дебита нефтескважин. Применение в установках прямого электронагрева с использованием силовой электроники, а именно — преобразователей частоты (ПЧ), позволяет обеспечить оптимальную частоту переменного тока электронагрева, его плавное регулирование, высокую надежность и экономичность системы депарафинизации нефтескважин. Разработка и исследование ПЧ для установок электронагрева является весьма актуальной задачей.

В общем случае для реализации технологии электропрогрева исследователи предлагают несколько схем подключения к скважинам [8–11]. Например, схему подключения двух рядом расположенных скважин к колонным головкам. Источником питания служит дизель-генератор с понижающим трансформатором или высоковольтный трансформатор. С выхода силового блока разнополярный импульсный ток через силовые кабели подается на металлическую арматуру устьев двух намеченных для электровоздействия скважин. Продолжительность электровоздействия на пласт составляет 20–30 часов. Предлагается схема подключения к колонной головке одной скважины с использованием заземления. В качестве заземления используются металлические стержни, которые выполняют роль второго электрода.

В работах [8–10] и ряде других сообщается, что по схеме подключения двух скважин на месторождениях Западной Сибири был увеличен дебит 450 скважин при существенном снижении их обводненности. Указывается, что время действия эффекта в среднем составило 32,4 месяца. Для внедрения электротепловой обработки представляют интерес более 19 тыс. скважин с глубиной до 1 400 м и дебитом до 20 т/сутки. Нагретая зона распространяется примерно на 20–50 м вверх и на 10–20 м вниз от места установки электронагревателя. Эффект прогрева держится примерно 3–4 месяца. Снижение вязкости достигает более 30 % нефти.

В скважину электронагреватель спускают одновременно с глубинным насосом. Компонировку электронагревателя и насоса рекомендуется производить так, чтобы вся толщина продуктивного пласта омывалась горячей нефтью. Самой эффективной считается установка электронагревателя в нижней части пласта, а насоса — в верхней.

По данным некоторых промыслов в Узбекистане, после 5–7-суточного электропрогрева нагревателем мощностью 10,5 кВт и последующего его отключения температура на забое падает со скоростью примерно 3–5 градусов в час, что делает целесообразным сразу же начинать повторную эксплуатацию скважины.

Успешно интенсифицируется добыча нефти с помощью скважинного стационарного электронагревателя производства ООО «Псковгеокабель».

Практически во всех скважинах отмечалось снижение обводненности добываемой нефти, стабилизировалась работа пласта. Кроме того, при эксплуатации установок электропрогрева скважин, особенно в северных районах, происходит очищение прилегающих трубопроводов, в результате чего одновременно с прекращением дополнительных работ по очистке лифта скважины исключается тепловая обработка выкидных линий и близлежащих (до 500 м) трубопроводов, даже при низких (до -40°C) температурах.

Постепенный прогрев околоскважинного пространства, занимающий в зависимости от широты около 30–45 суток, позволяет перевести установку в энергосберегающий режим, при этом увеличивается срок службы самого нагревательного кабеля. Установка электро-

прогрева скважин уверенно работает на скважинах с дебитом до 150 м³, при максимальной глубине парафинообразования 1 800 м, что позволяет значительно поднять производительность и продлить срок работы скважины между ремонтами.

При *электродинамическом воздействии* высоковольтным конденсаторным диэлектрическим разрядом в жидкой среде происходит формирование канала проводимости с последующим его расширением до схлопывающейся низкотемпературной плазменной каверны, образующей ударную волну и волны сжатия. Процесс расширения канала по окончании разряда переходит в процесс расширения газового пузыря, который схлопывается и расширяется несколько раз. Физические процессы, происходящие при высоковольтном разряде в газе, твердых телах, жидкостях, достаточно схожи, что позволяет эффективно его использовать для воздействия на многофазные системы. За доли микросекунды пробой в проводящей среде происходит по механизму диэлектрического и сопровождается интенсивным световым, звуковым и электромагнитным излучением широкого спектра. Ударная волна с давлением на фронте выше тысячи атмосфер распространяется и разрушает кольматирующие образования. Существенными параметрами электрогидравлической обработки, определяющими ее эффективность, являются давление ударной волны и число генерируемых импульсов вдоль интервала перфорации.

Устройство для электрогидравлической обработки скважины состоит из наземной части и скважинного блока, электрически соединенных между собой. Скважинный блок состоит из зарядного устройства, тормозного сопротивления, конденсаторов, разрядника и электродной системы. При достижении на конденсаторах напряжения, равного пробивному, за счет энергии накопительного конденсатора происходит разряд.

Возможно получение импульсов электрического тока без пробоя разрядного промежутка. Для получения импульса высокой токовой амплитуды и мощности, накопления энергии используется конденсаторный блок.

Скважинным блоком проводят электрообработку импульсами высокого напряжения с последовательным перемещением устройства вдоль перфорации. После этого за счет увеличения проницаемости продуктивных пород происходит увеличение дебита. Время обработки скважины зависит от особенностей структуры забоя.

Так как обработка призабойной зоны конденсаторными импульсами сопровождается тепловыми явлениями, в какой-то степени метод импульсного воздействия является не только электродинамическим, но и электротепловым [8], что позволяет обоюдно заимствовать элементы конструкторских решений устройств электровоздействий в скважине.

Электромагнитное воздействие в широком диапазоне частот на призабойную зону проводят на месторождениях битума, вязких и парафинистых нефтей, скважины которых эксплуатируются с открытыми забоями. Метод основан на использовании внутренних источников тепла, возникающих при воздействии на пласт высокочастотного электромагнитного поля — СВЧ (диапазон частот 13–80 МГц). Комплекс используемой аппаратуры состоит из наземного высокочастотного электромагнитного генератора мощностью до 60 кВт и спускаемого в скважину электромагнитного излучателя. Зона воздействия определяется способом создания излучения (в одной скважине или между несколькими), напряженностью и частотой электромагнитного поля, а также электрическими свойствами пласта. В отличие от электротепловой обработки глубинным электронагревателем распределение температур в пласте мало зависит от величины притока жидкости в скважину. Помимо тепловых эффектов электромагнитное воздействие приводит к снижению температуры начала кристаллизации парафина и появлению дополнительных градиентов давления за счет силового воздействия электромагнитного поля на пластовую жидкость.

Электромагнитное воздействие как радиотехнический метод может реализоваться с использованием одно- и разнополярных импульсов. Обнаружение и идентификация различных объектов, оценка их расположения и определения импульсных характеристик отклика разнообразных объектов нефтегазового комплекса предполагает дальнейшее изучение методик идентификации посредством направленного излучения и приема отраженных от объектов радиоволн, что связано с совершенствованием импульсной техники.

Возможно использование технологии СВЧ при решении задач разжижения транспортируемых нефтепродуктов в случае достаточно низких температур. При этом необходимо обеспечить поступление энергии внутрь продукта для его разогрева изнутри. Это достигается выбором длины волны излучения применительно к линейным размерам «диэлектрика», другими словами — линейным размерам емкости, в которую заключен продукт. При СВЧ-

колебаниях в диапазоне частот от 400 МГц до 3 ГГц длина волны во много раз меньше линейных размеров емкости (0,1 м), что позволяет решить требуемую задачу.

Если рассматривать аналогичную задачу применительно к разжижению нефти, добываемой в районах с низкими температурами, то необходимо уменьшить длину волны в несколько раз, так как линейные размеры трубопровода многократно снижаются и имеют порядок 0,06–0,1 м. Следовательно, для обеспечения адекватного соотношения между длиной волны и диаметром трубы необходимо увеличить частоту излучения с минимальным порогом не ниже 120–130 ГГц. При этом излучатель, устанавливаемый в центре трубы, не должен иметь соприкосновения с извлекаемым продуктом. Учитывая, что существующие коаксиальные волноводы могут иметь размер до 0,01 м, приемлемо минимальное значение частоты порядка 150 ГГц. При этом низкая теплопроводность нефти не только не препятствует разогреву, а, напротив, способствует ему. Излучаемые колебания, проходя через продукт, многократно переотражаются от стенок трубы почти без потерь. При этом перегрев трубопровода исключается за счет интенсивного теплообмена со слоями породы. Разогрев вещества происходит за счет энергии межмолекулярного трения, возникающего под воздействием высокочастотного электромагнитного поля.

Эффективность преобразования высокочастотной энергии в энергию нагрева прямо зависит от длины волны, диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь разогреваемого вещества. Благодаря диэлектрическим потерям в загустевшем нефтепродукте возможно согласование СВЧ-генератора и нефтепровода, при котором более 80–90 % электромагнитной энергии преобразуется внутри продукта в тепло.

Известны работы, в которых приведены результаты натурного моделирования разогревания битума в цистернах. Результаты показывают, что для нагрева 10 т битума до 100 °С паром требуется 7,5 суток, СВЧ-излучением — 1,5 суток.

Использование специальной формы импульсов тока может обеспечить сохранность обсадных колонн, так как в этом случае отсутствуют электрохимические эффекты. Исследования, проведенные в США (обследовался цементный камень в верхней части обсадных колонн и состояние самих колонн после проведения электрообработки), показали, что электрообработка не разрушает цементный камень и не вызывает коррозии колонны. Более того, электрообработка воды затвердения увеличивает его прочность и снижает время схватывания.

Плазменно-импульсная технология позволяет очищать призабойную зону и, воздействуя на пласт, возбуждает в нем резонанс, что позволяет получать широкий спектр эффектов. Появились сообщения о разработке идеального нелинейного широкополосного источника периодических колебаний, способных вызвать резонанс в пласте. Незначительные поставки энергии в пласт позволяют обрабатывать и высоковязкие нефти в сложных коллекторах.

В [12–13] в результате плазменной обработки пласта появляется мощный упругий широкополосный импульс. Высокие частоты этого импульса воздействуют на призабойную зону, а более низкие частоты распространяются по пласту на расстояние от 400 м до 2 км. Скважины, которые находятся в этой зоне, тоже начинают работать. Энергоемкость устройства составляет 1,5 кДж.

Таким образом, основные процессы, возникающие в нефтяном пласте и в призабойном пространстве при их электрообработке, связаны с изменением фильтрационных параметров продуктивного пласта и фазового равновесия флюида. Электротехнология оказывает комплексное воздействие на призабойную зону и продуктивный пласт, снижая обводненность добывающих скважин и повышая нефтеотдачу пласта. При циклической электрообработке призабойная зона прогревается периодически. До охлаждения пород потоком нефти проводимость их в прогретой зоне значительно возрастает. Затем следует повторный цикл воздействия и т. д. Продолжительность и периодичность обработок определяют с учетом задаваемого радиуса, свойств пластовой системы, мощности источника электровоздействия, температуры в скважине, которая на забое поддерживается терморегуляторами. По расчетным данным при температуре в скважине 140 °С, мощности электронагревателя 25 кВт и начальной температуре пласта 40 °С для прогрева песчаника на глубину 0,45–0,5 м до 60 °С требуется 4–5 сут. В этом случае эффект от термообработки может продолжаться несколько месяцев.

Как указывалось выше, электровоздействия могут применяться для депарафинизации нефтей и снижения в них асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО). По своим индивидуальным свойствам АСПО могут существенно отличаться, что во многом определяет целесообразность использования для их удаления того или иного метода. Большая часть образцов имеет температуру плавления в интервале 65–75 °С, часть образцов плавится в

интервале 75–82 °С. С увеличением температуры плавления АСПО наблюдается резкое снижение глубины эффективной очистки коллекторов средней протяженности.

Электрообработка перспективна и для технологий предотвращения загрязнений и очистки поверхностей [14, 15] нефтегазового оборудования, включая буровое.

Основными достоинствами технологии электровоздействий на продуктивный пласт при добыче нефти являются следующие:

- природоохранный эффект — для электрообработки пласта применяется только электрическое поле и электрический ток без внесения загрязняющих реагентов;
- технологичность и производительность — можно обрабатывать одновременно несколько скважин с использованием заземления в качестве электрода, отпадает необходимость в проведении спускоподъемных работ;
- высокая экономичность — время электрообработки может не превышать 30 часов, а эффект проявляется, как правило, на следующие сутки.

Список литературы

1. Смирнов О. В. Природоохранные электротехнологии // Безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 1. – С. 24–30.
2. Смирнов О. В., Воробьева С. В., Смирнова В. О. Концепции предотвращения загрязнений контактных поверхностей газового оборудования // Газовая промышленность. – 2014. – № 7. – С. 92–96.
3. Тихомолова К. П. Электроосмос. – Л.: Химия, 1989. – 248 с.
4. Загривный Э. А., Козярук А. Е., Батаев С. Н. Электротермический комплекс на основе скважинного электродного нагревателя мощностью более 500 кВт для теплового воздействия на продуктивный пласт высоковязкой нефти // Электротехника. – 2003. – № 5. – С. 61–69.
5. Загривный Э. А., Козярук А. Е., Маларев В. И. и др. Перспективы использования забойных электротермических комплексов для повышения нефтеотдачи пластов с тяжелой высоковязкой нефтью // Электротехника. – 2010. – № 1. – С. 50–56.
6. Загривный Э. А., Козярук А. Е., Батаев С. Н. Скважинные электротехнологии для бурения и повышения нефтеотдачи продуктивных пластов // Современное состояние и перспективы развития механизации и электрификации горного и нефтегазового производства. Записки горного института. – Том 157. – СПб., 2004. – С. 108–110.
7. Пат. № 2282018. Устройство для тепловой обработки призабойной зоны скважины / В. С. Литвиненко, Э. А. Загривный, А. Е. Козярук, Г. Н. Соловьев; от 15.09.06.
8. Джумашев Р. Т. Повышение нефтеотдачи обводненных пластов методом электродинамического воздействия // Известия вузов. Нефть и газ. – 2010. – № 1. – С. 54–60.
9. Бисембаева К. Т., Мухамбетярова А. Н. Метод интенсификации добычи высоковязкой нефти с применением электротепловой обработки // Молодой ученый. – 2014. – № 7. – С. 111–115.
10. Уметбаев В. Г. Геолого-технические мероприятия при эксплуатации скважин. – М.: Недра, 1989.
11. Белоусов П. Л. Метод интенсификации притоков малодебитных скважин путем воздействия постоянным электрическим током // Математическое и информационное моделирование: сборник научных трудов. Выпуск 5. – Тюмень: Вектор Бук, 2003. – С. 76–80.
12. Молчанов А. А., Бакланов А. А., Блохина Е. С. К вопросу о выборе технологии интенсификации режима работы нефтяных скважин месторождений, находящихся в поздней и завершающей стадиях разработки. – НТЦ «Каротажник». – 2008. – № 5 (170). – С. 121–125.
13. Максютин А. В. Экспериментальные исследования реологических свойств высоковязкой нефти при упругом волновом воздействии // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2009. – № 5. – С. 4–8.
14. Воробьева С. В. К разработке концепции предотвращения загрязнений поверхностей нефтегазового оборудования на основе электротехнологий // Известия вузов. Нефть и газ. – 2006. – № 6. – С. 89–92.
15. Воробьева С. В. Разделение высококонцентрированных дисперсных систем в технологиях регенерации нефтешламов, обезвоживания осадков и обращения с отходами // Известия вузов. Нефть и газ. – 2004. – № 2. – С. 96–102.

Сведения об авторах

Смирнов Олег Владимирович, д. т. н., профессор кафедры «Электроэнергетика», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. +79129275192, e-mail: oleg_smirnov_1940@mail.ru

Козярук Анатолий Евтихевич, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Электротехника, электроэнергетика, электромеханика», Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, тел. 8(812)328869, e-mail: kozjaruk@mail.ru

Кусков Константин Викторович, к. т. н., доцент кафедры «Машиноведение и технология конструкционных материалов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. +79097423000, e-mail: Lisii@bk.ru

Портнягин Алексей Леонидович, к. т. н., заведующий кафедрой «Электроэнергетика», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)416591, e-mail: pal@tsogu.ru

Сафонов Алексей Викторович, к. т. н., заместитель начальника училища по учебной и научной работе, Тюменское высшее военно-инженерное командное училище (военный институт), г. Тюмень, тел. +79199367647, e-mail: sulaco33@yandex.ru

Information about the authors

Smirnov O. V., Doctor of Engineering, professor of the chair «Electrical power engineering», Tyumen State Oil and Gas University, phone: +79129275192, e-mail: oleg_smirnov_1940@mail.ru

Kozjaruk A. E., Doctor of Engineering, professor, head of the chair «Electrotechnics, electric power engineering, electromechanics», National Mineral Resources University, St. Petersburg, phone: 8(812)328869, e-mail: kozjaruk@mail.ru

Kuskov K. V., Candidate of Science in Engineering, associate professor, head of the chair «Machine science and technology of constructional materials», Tyumen State Oil and Gas University, phone: +79097423000, e-mail: Lisii@bk.ru

Portnyagin A. L., Candidate of Science in Engineering, head of the chair «Electrical power engineering», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)416591, e-mail: pal@tsogu.ru

Saphonov A. V., Candidate of Science in Engineering, deputy chief of the military college, Tyumen Higher Military Engineering Officers College (Military Institute), phone: +79199367647, e-mail: sulaco33@yandex.ru