УДК 622.276

А.А.МОЛЧАНОВ, *д-р техн. наук, профессор, molgeo@yandex.ru*
А.В.МАКСЮТИН, *канд. техн. наук, ассистент, maksyutin_av@mail.ru*
Р.Р.ХУСАИНОВ, *аспирант, khusainov_r_r@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

A.A.MOLCHANOV, *Dr. in eng. sc., professor, molgeo@yandex.ru*
A.V.MAKSYUTIN, *PhD in eng. sc., assistant lecturer, maksyutin_av@mail.ru*
R.R.KHUSAINOV, *post-graduate student, khusainov_r_r@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining University

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННО-ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РОССИИ

Представлен анализ текущего состояния добычи нефти на месторождениях России и мира. Описана технология плазменно-импульсного воздействия, принцип работы и основные технические характеристики аппаратуры. Приведена методика экспериментальных исследований влияния комплексной технологии на фильтрационные свойства нефти Усинского нефтяного месторождения. Представлены результаты фильтрационных исследований высоковязкой нефти в призабойной зоне пласта после обработки плазменно-импульсным и физико-химическим воздействиями с моделированием различных термобарических условий.

Ключевые слова: высоковязкая нефть, вязкость, фильтрационные исследования, плазменно-импульсное воздействие.

RESULTS OF RESEARCHES AND TRIAL INTRODUCTION OF PLASMA-PULSE ACTION TECHNOLOGY ON DEPOSITS OF RUSSIA

In this article the analysis of the current condition of oil recovery at deposits of Russia and the world is presented. The technology of plasma-pulse influence, the operation principle and the basic technical characteristics of equipment are described. The technique of experimental research of the complex technology influence on oil filtration properties of the Usinsk oil deposit is resulted. Results of the filtration research of high-viscous oil in bottom hole formation after plasma-pulse and physical-chemical treatment in various thermobaric conditions are shown.

Key words: highly viscous oil, viscosity, filtration researches, plasma-pulse action.

В настоящее время более 60 % запасов нефти приурочено к коллекторам с трудноизвлекаемыми запасами. Такие коллекторы характеризуются низкой проницаемостью, значительными остаточными запасами, большой глубиной залегания, высокой вязкостью нефти, наличием подгазовых зон, начальными пластовыми давлениями, близкими к давлению насыщения нефти газом и другими особенностями. Разработка таких месторождений традиционными методами (различные виды природного режима залежи и стационарного заводнения) характеризуется низкими технико-экономическими показателями и низкой нефтеотдачей (менее 20-30 %). В условиях истощения активных запасов нефти внимание к трудноизвлекаемым запасам значительно возрастает. Согласно наиболее полной и современной классификации залежей [1], к категории трудноизвле-

каемых запасов нефти (ТЗН) относятся эксплуатационные объекты со следующими геолого-физическими и физико-химическими характеристиками пластовых систем:

- залежи нефти в низкопроницаемых (проницаемость менее 0,05-0,20 мкм^2), низкопродуктивных, терригенных коллекторах;
- залежи высоковязких нефтей (с вязкостью более 30-50 мПа·с);
- залежи нефти в карбонатных коллекторах;
- залежи нефти, приуроченные к неоднородным слоистым терригенным коллекторам, характеризующимся малой нефтенасыщенностью;
- залежи нефти в водонефтяных зонах;
- остаточные запасы нефти в обводненных залежах на средней и поздней стадиях разработки;
- залежи нефти с начально-неоднородным и пониженным нефтенасыщением коллекторов.

Высоковязкие нефти относятся к трудноизвлекаемым запасам углеводородов и отличаются от обычных нефтей повышенной вязкостью в естественных условиях и комплексным составом. В состав высоковязких нефтей обычно входят такие соединения, как нафтеновые кислоты, сульфокислоты, простые и сложные эфиры, редкие цветные металлы, что повышает ее ценность. Необходимость промышленного освоения месторождений высоковязкой нефти в России обусловлено ростом потребности в углеводородах, изменением структуры запасов нефти с преобладанием тяжелых и высоковязких нефтей [3].

Промышленное освоение месторождений высоковязких нефтей требует использования специальных технологий добычи, которые, как правило, требуют повышенных энергетических и материальных затрат, но не всегда приносят положительный результат. Так, анализ применения технологии влажного внутрипластового горения на месторождениях Республики Татарстан показал, что добытая тяжелая нефть теряет до 75 % содержащихся в ней ценных металлов [2]. На данный момент проблема поиска высокоэффективных методов увеличения нефтеотдачи пластов на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами, в том числе на месторождениях высоковязких нефтей, является актуальной.

Статья посвящена результатам исследований влияния плазменно-импульсного воздействия (ПИВ) на интенсификацию притока на месторождениях высоковязких нефтей. Обработка эксплуатационных скважин производится аппаратурой, спускаемой в скважину на стандартном трехжильном кабеле с помощью геофизической лебедки каротажного подъемника. По геофизическому кабелю осуществляется питание скважинной аппаратуры электрическим током, управление работой глубинного блока и контроль режима работы аппаратуры и параметров обработки скважин. Время обработки и количество импульсов воздействия на пласт определяется мощностью и параметрами продуктивного интервала. Данная технология разработана на кафедре геофизики Санкт-Петербургского государственного горного университета под руководством профессора А.А.Молчанова совместно с научно-производственным центром «ГеоМИР» [4].

Проведены фильтрационные исследования нефти, в результате которых были получены зависимости подвижности нефти и коэффициента подвижности нефти от градиента давления. Для обработки образцов продуктивного пласта технологией ПИВ изготовлен экспериментальный стенд. Образцы керна до и после обработки исследовались на установке FDES-645 по оценке качества повреждения пласта с моделированием термобарических условий нефтяных месторождений («Coretest Systems Corporation», США).

Проведены фильтрационные исследования нефти верхнего карбона территории Татарстана (рис.1, *а*, *б*) и Усинского нефтяного месторождения (рис.1, *в*, *г*). Выполнено моделирование обработки призабойной зоны добывающей скважины с закачкой водных растворов щелочи. Целесообразность использования водных растворов щелочей связано с их способностью снижать поверхностное натяжение на

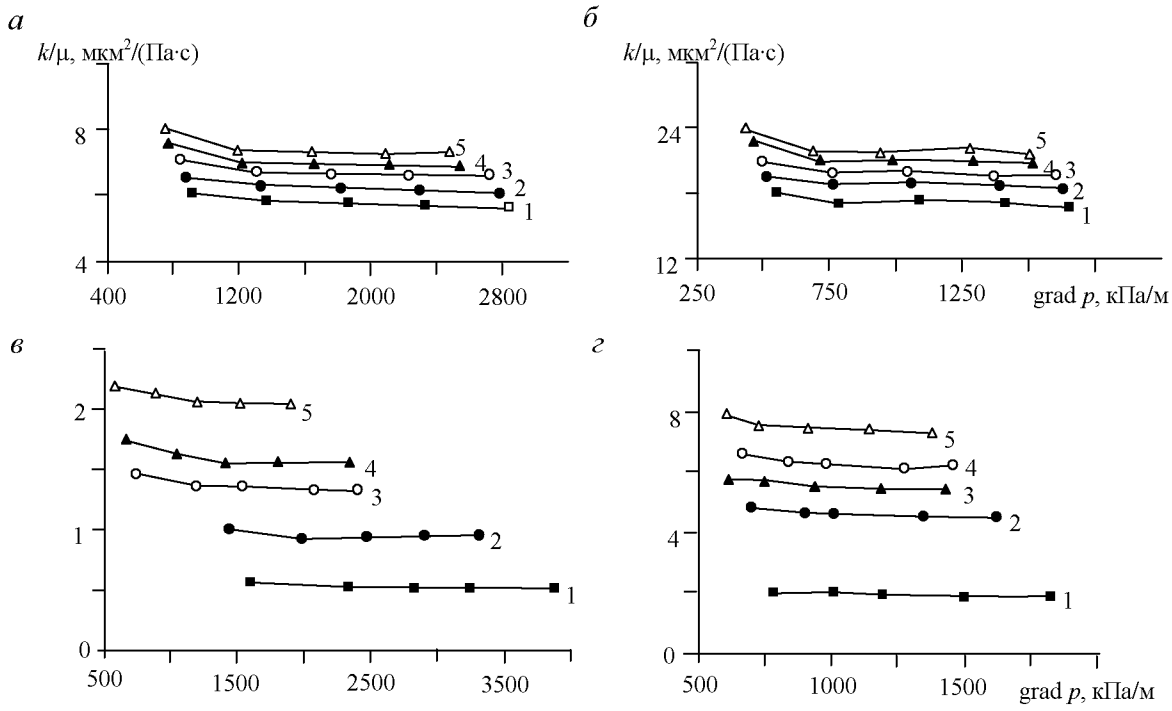


Рис.1. Зависимость подвижности нефти от градиента давления в образце породы при различных температурах: *а* и *б* – нефть верхнего карбона; *в* и *г* – нефть Усинского нефтяного месторождения; *а* и *в* – при температуре 30 °С; *б* и *г* – при температуре 50 °С

1 – до обработки ПИВ; 2 – после 20 импульсов обработки ПИВ; 3 – после 20 импульсов обработки ПИВ и закачки водного раствора щелочи; 4 – после 40 импульсов обработки ПИВ; 5 – после 40 импульсов обработки ПИВ и закачки водного раствора щелочи

границе раздела нефть – порода, а также взаимодействовать с органическими кислотами нефти и образовывать поверхностно-активное вещество.

Отметим, что подвижность нефти верхнего карбона после обработки увеличилась на 27-35 %, а подвижность нефти Усинского нефтяного месторождения при $T = 50$ °С возросла в 3,6-4,2 раза с учетом обработки технологией ПИВ и закачкой водного раствора щелочи (рис.1, *г*). Установлено, что проведение закачки водного раствора щелочи при обработке технологией плазменно-импульсного воздействия позволило увеличить подвижность нефти k/μ на 90-120 % при одном и том же градиенте давления.

Проведены исследования по изучению влияния ПИВ на пористую среду породы - коллектора путем измерения капиллярного давления в порах естественного керна терригенных отложений, насыщенного моделью пластовой воды. Согласно результатам исследований, капиллярное давление водонасыщенного образца керна после обработки ПИВ повысилось в 1,5-2,0 раза при насыщении менее 40 %, что свидетельствует об увеличении фильтрационного сопротивления по отношению к водной фазе (рис.2). Полученный эффект объясняется процессом гидрофобизации коллектора, в частности, изменением характера смачиваемости пористой среды керна при обработке ПИВ. Применение данной технологии в приза-

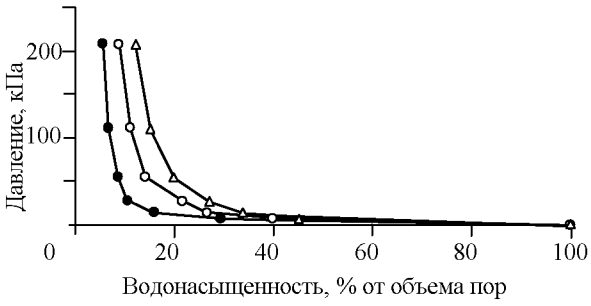


Рис.2. Влияние технологии ПИВ на капиллярное давление керна в зависимости от степени обработки

1 – до обработки; 2 – после 20 импульсов обработки; 3 – после 40 импульсов обработки.

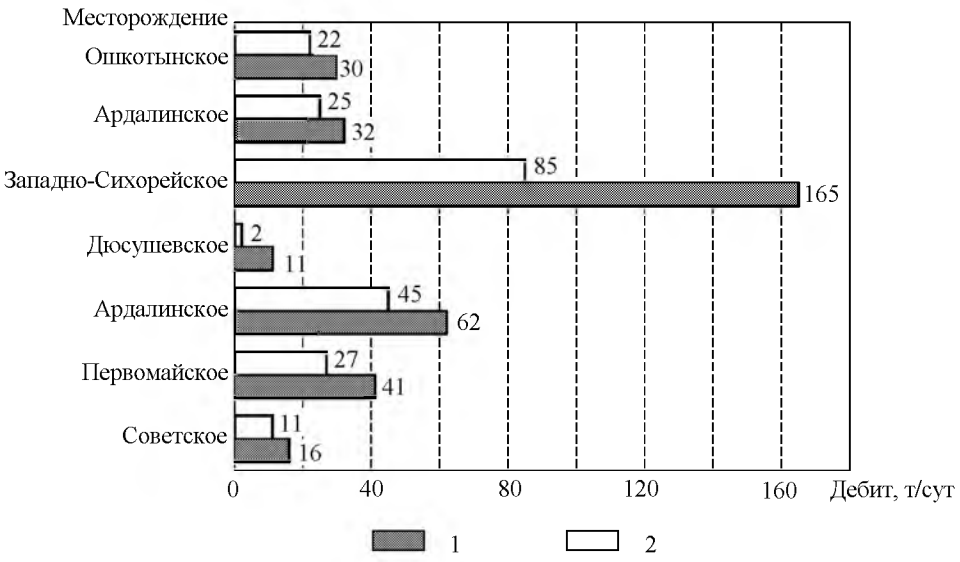


Рис.3. Дебит продуктивных нефтяных пластов месторождений России до (1) и после (2) плазменно-импульсного воздействия

бойной зоне пласта позволит снизить обводненность добываемой продукции и увеличить дебит скважины по нефти.

Таким образом, с целью повышения эффективности эксплуатации добывающих скважин можно рекомендовать применение технологии ПИВ для направленного регулирования фильтрационных характеристик призабойной зоны пласта.

Результаты исследований подтверждены результатами опытно-промышленного внедрения технологии ПИВ на месторождениях России. Применение плазменно-импульсной технологии в различных геолого-технических условиях месторождений с терригенными и карбонатными коллекторами и тяжелыми нефтями в России (Волго-Уральский, Западно-Сибирский, Северо-Западный нефтегазоносные регионы страны) показало высокую эффективность, что подтверждается геофизическими исследованиями до и после применения воздействия (рис.3) [5].

Опыт применения технологии плазменно-импульсного воздействия показывает, что даже в скважинах месторождений с трудноизвлекаемыми запасами углеводородов с коллекторами с пористостью 2-3 % и проницаемостью 1,5-3 мД можно получить многомесячный эффект повышения дебита скважин и снижения содержания воды в добываемом флюиде. Анализ результатов внедрения показал, что длительность эффекта от воздействия технологии ПИВ составляет от 6 до 24 месяцев и более в зависимости от свойств коллектора и стадии разработки месторождения.

Обобщая результаты лабораторных работ и опытно-промышленного внедрения технологии ПИВ, можно сделать вывод о необходимости продолжения экспериментальных исследований с целью обоснования высокоэффективных комплексных технологий интенсификации добычи и повышения нефтеотдачи пластов на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами нефти.

Исследования выполнены при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белонин М.Д.* Проблемы сырьевого обеспечения ТЭК России / М.Д.Белонин, В.П.Якуцени // Сырьевая база углеводородного сырья и его прогноз. Нетрадиционные источники углеводородного сырья. СПб, 2004. С. 4-17.

2. *Искрицкая Н.И.* Экономическая оценка инноваций ВНИГРИ при освоении месторождений высоковязких нефтей и природных битумов// Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2006. № 1. С. 1-12.

3. *Мищенко И.Т.* Выбор способа эксплуатации скважин с трудноизвлекаемыми запасами / И.Т.Мищенко, Т.Б.Бравичева, А.И.Ермолаев. М., 2005. 448 с.

4. Пат. 2248591 РФ. МПК[7] G 01 V 1/157. Скважинный источник упругих колебаний / Е.П.Большаков, Д.Н.Дмитриев, Б.А.Иванов, А.А.Молчанов, О.П.Печерский, В.В.Сидора, Б.П.Яценко; «Импортно-экспортная торгово-промышленная фирма «Рост». Заявка 2003100022/28. Заявл. 04.01.2003. Опубл. 20.03.2005. Бюл. № 8.

REFERENCES

1. *Belonin M.D., Yakuceni V.P.* Problems of raw maintenance of a fuel and energy complex of Russia // Raw-material base of hydrocarbonic raw materials and its forecast. Nonconventional sources of hydrocarbonic raw materials. Saint Petersburg, 2004. P. 4-17.

2. *Iskritskaya N.I.* Economic estimation of VNIGRI innovations at development of high oil deposits and natural bitumens // Oil and gas geology. The theory and practice. 2006. № 1. P. 1-12.

3. *Mishenko I.T., Bravicheva T.B., Ermolaev A.I.* Choice of a way of operation of chinks with hardly exploiting stocks. Moscow, 2005. 448 p.

4. Pat. 2248591 RF. MPK[7] G 01 V 1/157. Source of elastic fluctuations for chinks / E.P.Bolshakov, D.N.Dmitriev, B.A.Ivanov, A.A.Molchanov, O.P.Pecherskiy, V.V.Sidora, B.P.Yacenko; Import-export commercial and industrial firm «Rost». Заявка 2003100022/28; Declared 04.01.2003; Publ. 20.03.2005. Bul. № 8.