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, maksyutin_av@mail.ru*
R.R.KHUSAINOV, *post-graduate student, khusainov_r_r@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining University

ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМЕННО-ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ

Представлена оценка доли трудноизвлекаемых нефтей в общей структуре запасов. Изучены особенности проявления аномалий вязкости, влияние структурообразования нефти, предложены методы, способствующие ослаблению проявления тиксотропных свойств высоковязких нефтей. Приведены методика и результаты экспериментальных исследований влияния технологии плазменно-импульсного воздействия на реологические свойства высоковязкой нефти.

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

MEASURING THE CONTINUITY EFFECT OF PLASMA-PULSE ACTION ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF HEAVY HIGHLY VISCOUS OIL

This article deals with the measuring of part of the hardly exploiting oil from the general oil reserves(Heavy Oil).The work includes the study of the specificities of the occurrence of such anomalous viscosities, the effect on structurally formed oil, the given applicable methods, the capacity of reducing the emergence of thixotropic properties of viscous oil. The technique of experimental researches and results of studying the influence of the plasma-pulse action based on the rheological properties of a highly viscous oil deposits is analysed.

Key words: Highly viscous oil, viscosity, rheological researches, thixotrophy, plasma-pulse action.

Более половины открытых нефтяных месторождений содержат запасы трудноизвлекаемой нефти по качеству сырья (тяжелая, высоковязкая) либо по условиям залегания (проницаемость коллекторов менее 0,05 мкм^2). Месторождения с трудноизвлекаемыми запасами (ТЗН) характеризуются низкими и неустойчивыми дебитами скважин, эксплуатация которых находится на грани рентабельной разработки в современных условиях. Их освоение требует использования более дорогостоящих технологий. Суммарная доля трудноизвлекаемой нефти в текущих разведанных запасах России к настоящему моменту превысила 60 %. Негативным показателем в структуре запасов крупных разрабатываемых месторождений является их высокая выработанность, а оставшаяся часть содержит в основном трудноизвлекаемые запасы нефти. Тенденция увеличения доли трудноизвлекаемой нефти в запасах будет расти и в будущем. В связи с этим возрастет актуальность вовлечения в рентабельную разработку трудноизвлекаемых запасов. Основной путь решения этой проблемы – разработка новых экономичных высокоэффективных технологий добычи нефти.

Вместе с негативными чертами изменения структуры запасов в сторону их общего уменьшения при увеличении доли

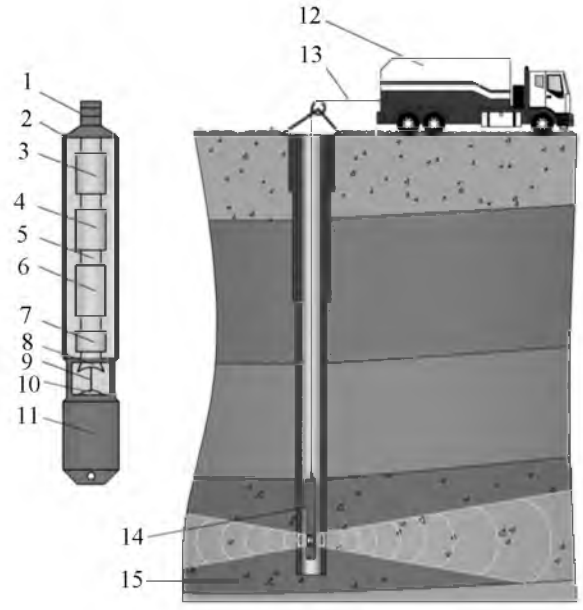


Рис.1. Схема обработки призабойной зоны пласта технологией плазменно-импульсного воздействия

1 – соединение с геофизическим кабелем; 2 корпус скважинного прибора; 3 – высоковольтный трансформатор; 4 – высоковольтный блок; 5 – соединительные линии; 6 – блок накопительных конденсаторов; 7 – устройство управления прибором; 8 и 10 – электроды излучателя; 9 – плазменный канал; 11 – корпус с устройством для формирования плазменного канала; 12 – каротажный подъемник; 13 – геофизический кабель; 14 – источник плазменно-импульсного воздействия; 15 – продуктивный пласт

трудноизвлекаемой нефти необходимо отметить и ряд позитивных: например, тяжелая нефть требует дорогостоящих технологий разработки, но и может быть источником дефицитных редких металлов, что позволяет рассматривать ее как комплексное сырье, повышающее ее товарную ценность. В частности, в США, Канаде, Венесуэле, Швеции налажено промышленное извлечение из тяжелых нефтей и битума ванадия, никеля, ртути и других элементов.*

Наиболее распространенные методы воздействия на продуктивные пласты с целью интенсификации режима работы нефтегазовых скважин и повышения нефтеотдачи (закачка реагентов, тепловые, физико-химические, волновые, механические и микробиологические методы) дают определенный положительный эффект. Их эффективность в разных геологических условиях различна и каждая технология имеет определенные ограничения и недостатки. От методов интенсификации требуют высокой экономической эффективности, безопасности и экологичности воздействия. Поэтому необходимо активное проведение исследований в направлении оценки целесообразности использования и разработки рекомендаций к применению технологий интенсификации на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами нефти с целью повышения нефтеотдачи пластов.

Достаточно мало изученным, но перспективным направлением в этой области является применение виброволновых методов воздействия на продуктивный пласт. Настоящая статья посвящена результатам исследований влияния плазменно-импульсного воздействия (ПИВ) на интенсификацию притока на месторождениях тяжелых нефтей. Обработка эксплуатационных скважин производится аппаратурой (рис.1), 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. Технология разработана на кафедре геофизики Санкт-Петербургского государственного горного университета под руководством профессора А.А.Молчанова совместно с научно-производственным центром «ГеоМИР».**

---

* *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.

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.

** 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.

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; LLC «Import-export commercial and industrial firm «Rost». 2003100022/28; Declared 04.01.2003; Publish 20.03.2005, Bul. № 8.

Однако особенности и механизм действия исследуемой технологии на пластовую систему в целом пока изучены недостаточно. В этой связи задачи исследований по изучению влияния ПИВ на реологические свойства высоковязкой нефти и фильтрационные характеристики продуктивного пласта с целью последующей разработки и обоснования новых эффективных комплексных технологий интенсификации добычи нефти на месторождениях ТЗН являются актуальными в нефтегазовой отрасли.

Работа направлена на изучение особенностей проявления аномалий вязкости, влиянию структурообразования нефти, выявлению методов, способствующих ослаблению проявления тиксотропных свойств высоковязких нефтей, а также определению длительности эффекта от обработки ПИВ. В качестве количественной характеристики явления тиксотропии выбрана площадь петли гистерезиса, которая образуется кривыми течения жидкости при изменении скорости сдвига. При этом учитывается, что темп тиксотропного упрочнения нефти растет с увеличением содержания асфальтенов, вследствие чего образуется прочная структура.

Площадь петли гистерезиса имеет размерность энергии, отнесенной к объему образца, подвергнутого сдвигу, и определяет величину энергии, необходимой для разрушения тиксотропной структуры. Изучение реологических свойств жидкости проводилось при задаваемом и контролируемом значении скорости сдвига, при этом определялись параметры напряжения сдвига. Сущность работы состояла в изучении реологических свойств высоковязких нефтей (эффективная вязкость, предельное напряжение сдвига, энергия тиксотропии и вязкоупругие свойства) до и после воздействия упругими импульсами аппаратурой плазменно-импульсного воздействия (ПИВ).

На рис.2, *а* представлен общий вид петли гистерезиса, полученной в процессе исследования в 2009 г. В 2010 г. исследования были проведены повторно (рис.2, *б*). На рис.2 отчетливо видно снижение площади петли гистерезиса и напряжения сдвига после обработки ПИВ. Видно также, что эффект от обработки остался почти стабильным в течение длительного времени.

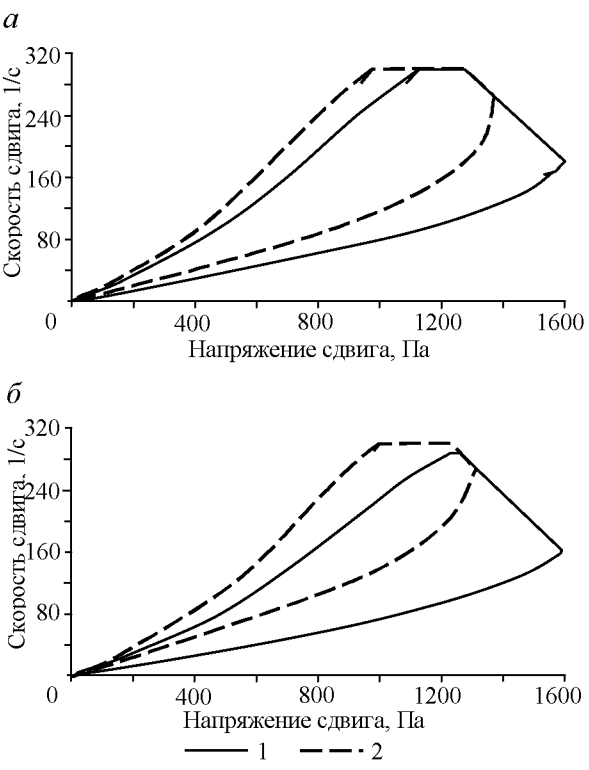


Рис.2. Реологические кривые прямого и обратного хода высоковязкой нефти Усинского месторождения (петля гистерезиса) при $T = 10$ °С, полученные в 2009 (*а*) и 2010 (*б*) годах

1 и 2 – до и после воздействия

Обобщая результаты исследований, можно сделать общий вывод о необходимости продолжения исследований ПИВ с увеличением значений интенсивности обработки, а также изучения фильтрации аномальной (неньютоновской) нефти совместно с физико-химическим и тепловым воздействиями. Значительный интерес представляет исследование влияния ПИВ на низкопроницаемые продуктивные пласты для последующего использования данной технологии на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами нефти.

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