УДК 622.276

А.А.МОЛЧАНОВ, *д-р техн. наук, профессор, molgeo@mail.ru*
И.Е.ДОЛГИЙ, *д-р техн. наук, профессор, dol-@mail.ru*
А.В.КОЗЛОВ, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, akozlov@spmi.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

A.A.MOLCHANOV, *Dr. in eng. sc., professor, molgeo@mail.ru*
I.E.DOLGIY, *Dr. in eng. sc., professor, dol-@mail.ru*
A.V.KOZLOV, *Dr. in geol. & min. sc., professor, akozlov@spmi.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАЗМЕННО-ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ С ВЫСОКОВЯЗКИМИ НЕФТЯМИ

Рассмотрена проблема повышения нефтеотдачи пластов месторождений с трудноизвлекаемыми запасами высоковязких нефтей и битумов. Представлены результаты экспериментальных исследований по снижению эффективной вязкости образцов нефти и увеличения ее подвижности при воздействии перегретого пара с добавлением в теплоноситель незначительных объемов реагента (керосин, дизельное топливо) в 0,001-0,02 % массы. Для повышения нефтеизвлечения рекомендовано применять тепловое и плазменно-импульсное воздействие на пласт. Приведены результаты практического применения технологии в конкретных геологических условиях в сложных терригенных и карбонатных коллекторах.

Ключевые слова: нефтенасыщенный пласт, высоковязкая нефть, битум, плазменно-импульсное воздействие, повышение нефтеотдачи.

SUBSTANTIATING OF PLASMA-PULSE TECHNOLOGY USE TO INCREASE OIL RECOVERY ON HIGH-VISCOSITY OIL FIELDS

The problem to increase of deposit oil recovery with difficult stocks high-viscosity oil and bitumens is considered. Results of experimental research to decrease the effective viscosity of oil samples and increase in mobility are considered at influence of superheated steam with addition in the heat-carrier of insignificant volumes of reagent (kerosene, diesel fuel) in 0,001-0,02 % of weight. It is recommended to apply thermal and plasma-pulse influence on a layer to increase of oil recovery. Results of practical technology application are given in several geological conditions.

Key words: oil recovery, high-viscosity oil, bitumen, plasma-pulse influence, superheated steam.

В настоящее время в мировой практике нефтедобычи используется целый ряд третичных методов добычи нефти. В природе имеется ряд залежей, извлечение нефти из которых обычными способами эксплуатации практически невозможно. К таким залежам, в частности, относятся залежи вязких и высоковязких нефтей и природных битумов.

Мировые запасы высоковязких нефтей и битумов во много раз превышают разведанные и разрабатываемые запасы легких нефтей. Они относятся к категории наиболее трудноизвлекаемых. При разработке в режиме естественного истощения их извлечение при вязкости от 30 до 200 МПа·с составляет в среднем 12 %, а при вязкости более 200 мПа·с не превышает 6-8 %.

Добыча высоковязких нефтей в экономическом отношении, несмотря на налоговые льготы на добычу, не может конкурировать с добычей легких нефтей, поэтому освоение и промышленное внедрение эффективных способов добычи таких углеводородов является важнейшей задачей ввиду ограниченности запасов легких нефтей и постоянно растущих цен на мировом рынке [7].

Главная роль в решении проблемы повышения нефтеотдачи пластов высоковязкой нефти отводится методам, снижающим вязкость пластовой нефти. Одним из эффективных методов является прогрев паром и паротепловое воздействие на продуктивный пласт.

Особое место в группе высоковязких нефтей занимают залежи, находящиеся на глубинах до 600 м. Они характеризуются наиболее высоким значением вязкости (до 16000 МПа·с), сильно окислены, практически лишены легких фракций и имеют низкое пластовое давление. Разработка таких залежей скважинами, пробуренными с дневной поверхности, даже с применением теплового воздействия, обычно технологически затруднена и малоэффективна. Для увеличения нефтеизвлечения из таких объектов должны быть разработаны принципиально новые технологические процессы, сочетающие возможность повышения текучести нефти за счет снижения ее вязкости, уменьшения сопротивления на пути движения к забоям эксплуатационных скважин.

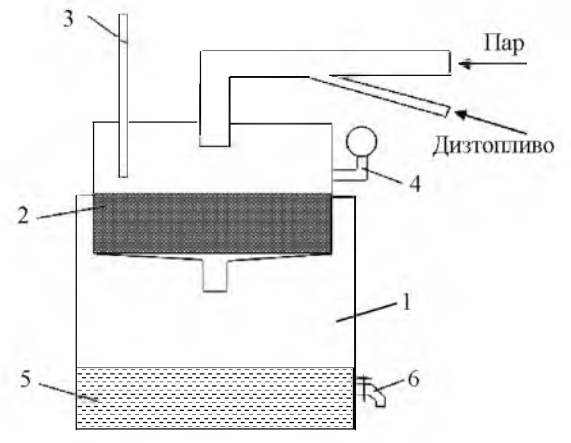


Рис.1. Схема испытания нефтенасыщенных образцов керна

1 – емкость для образца; 2 – образец нефтенасыщенной породы; 3 – термометр; 4 – манометр; 5 – вытесненная нефть; 6 – сливной кран

Известно много способов воздействия на нефтяной пласт с целью снижения вязкости нефти и увеличения ее подвижности (патенты 4487262 США; 1172159 Канада; 4166502 США. Однако за счет этих методов воздействия из пласта может быть отобрана только та часть нефти, которая находится в порах и трещинах, а пленочная нефть за счет большого сцепления с горными породами коллектора отобрана быть не может. Для отбора пленочной нефти необходимо помимо прогрева пласта создать условия отмыва пленочной нефти из коллектора. Этого можно достигнуть, введя в теплоноситель растворитель пленочной нефти.

По схеме (рис.1) испытывались нефтенасыщенные образцы породы с добавлением в теплоноситель реагента (керосин, дизельное топливо) в количествах, составляющих 0,001-0,020 % массы. Результаты экспериментов приведены в таблице и на рис.2.

Результаты экспериментальных исследований

Температура, К	Давление газа, МПа	Время, ч	Объем растворителя, % по весу	Коэффициент нефтеотдачи
330	0,1	1	0,001	–
	0,2		0,005	43
	0,3		0,010	52
	0,4		0,020	57
340	0,1	1	0,001	40
	0,2		0,005	43
	0,3		0,010	55
	0,4		0,020	58
350	0,1	1	0,001	40
	0,2		0,005	45
	0,3		0,010	56
	0,4		0,020	60
360	0,1	1	0,001	42
	0,2		0,005	46
	0,3		0,010	58
	0,4		0,020	62

Экспериментально было подтверждено, что при температуре теплоносителя 330-360 К коэффициент нефтеотдачи при введении растворителя в пределах 0,005 % массы увеличивается на 43-46 %.

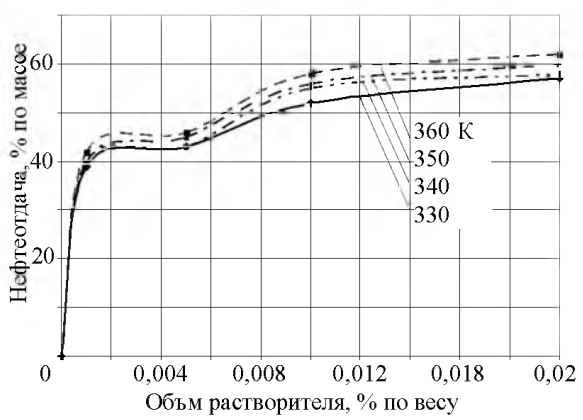


Рис.2. Зависимость нефтеотдачи образца от объема растворителя пленочной нефти

Результаты экспериментальных работ были опробированы на Ярегском месторождении высоковязких нефтей в Республике Коми. В нефтяной пласт вместе с паром с помощью дозировочных агрегатов HDP 2,5/400 K/D 13 A/B подавался растворитель (дизельное топливо) из расчета на первой стадии закачки 12,5 кг на 1 т добываемой нефти. После 14 дней закачки количество растворителя было уменьшено на 50 %.

За счет такой обработки пласта было получено за 4 мес. из 16 скважин 151 т нефти, т.е. увеличение составило около 85 %. Промышленный эксперимент подтвердил целесообразность ввода растворителя пленочной нефти в теплоноситель.

В настоящее время такая технология позволяет получать дополнительно на 1 т закачиваемого в пласт теплоносителя 0,5-0,7 т нефти.

Воздействие на нефтяные закачки с высоковязкой нефтью перегретым паром и растворителем не до конца решает проблему эффективной разработки таких месторождений.

Для увеличения нефтеотдачи пластов была предпринята попытка плазменно-импульсного воздействия (ПИВ) на нефтяную залежь как многофакторную динамическую диссипативную систему.

Фундаментальные исследования, выполненные в Научном центре нелинейной волновой механики и технологии РАН, в области нелинейной волновой механики гидромеханических систем на основе новых, открытых в процессе создания волновой технологии, явлений и эффектов, позволили эффективно производить резонансную накачку энергии в обрабатываемые среды, тем самым многократно (до нескольких десятков раз) интенсифицировать технологические процессы.

Теория самоорганизации показывает, что траектория в фазовом пространстве, описывающая эволюцию системы со сложноорганизованной внутренней структурой, оказывается очень чувствительной к малым возмущениям, обладая многими точками бифуркации (самоорганизация) открытых систем, их переходу от хаоса к порядку и наоборот [3].

Таким образом, нефтяной пласт может рассматриваться в качестве открытой диссипативной нелинейной системы, способной к самоорганизации и содержащей огромный источник непознанной и потому невостребованной энергии, которая в процессе эксплуатации неразрывно нелинейно связана с добывающими и нагнетательными скважинами.

Следовательно, продуктивную залежь можно рассматривать как совокупность колебательных систем, на которую можно воздействовать путем внешних вынужденных колебаний.

Моделирование нелинейных процессов, происходящих в продуктивном пласте, позволяет нам рассматривать продуктивную залежь как совокупность колебательных систем (нелинейный осциллятор в неравновесной упругой среде), на которую можно воздействовать путем внешних вынужденных колебаний. Важно, чтобы воздействие было периодическим.

Исходя из этого, была разработана технология ПИВ с использованием генератора накачки. Такими возможностями обладает разработанный коллективами ученых и конструкторов Горного университета, НИИФА, ООО НПЦ «ГеоМИР», ООО «NOVAS ENERGY SERVISE» скважинный высоковольтный плазменно-импульсный генератор упругих колебаний для воздействия на призабойную зону пласта и пласт в целом, имеющий достаточную мощность, чтобы разрушить закольматированное пространство прискважинной зоны, но при этом сохранять целостность цементного кольца [1, 4, 5]. Применение «взрывной» калиброванной проволоки для инициро-

вания электрического пробоя в междуэлектродном пространстве способствует образованию устойчивой «холодной» плазмы независимо от электропроводности скважинного флюида и гидростатического давления окружающей среды.

Процесс образования плазмы сопровождается упругими импульсами длительностью 50 мкс с частотным спектром от единиц герц до нескольких десятков килогерц, давлением в импульсе более 10^3 МПа и температурой свыше 25000 °С.

Особенностью предлагаемой технологии скважинного плазменно-импульсного воздействия является воздействие не только на призабойную зону, но и на пласт в целом благодаря глубокому проникновению сейсмоакустической волны в пласт и созданию в пласте резонансных процессов.

Необходимое количество периодических импульсов «накачки» зависит от горно-геологических, фильтрационно-емкостных и других особенностей залежи, свойств пластовых флюидов и рассчитывается по специальной методике. Инициируемые импульсы через равные промежутки времени с определенным давлением на начальном этапе создают ударную волну, которая в упругой среде вызывает упругие резонансные на доминантных частотах колебания во всей газожидкостной поровой системе.

Дальность действия плазменно-импульсного воздействия на пласт при определенных геологических условиях может составлять до 1500-1800 м. Поэтому скважины, находящиеся на обрабатываемом пласте, зачастую воспринимают это воздействие. За счет очистки пор коллектора, образования новых трещин, лучшей отмываемости нефти повышается подвижность пластового флюида, уменьшается обводненность и увеличивается дебит добываемой продукции обрабатываемой и реагирующих скважин. Эффект от воздействия продолжается от 3 до 15 и более месяцев.

На рис.3 приведены экспериментальные данные по снижению вязкости нефти за счет ПИВ.

Выполненные исследования плазменно-импульсного воздействия на пористые среды с тяжелыми и высоковязкими нефтями месторождений Татарстана (Ромашкинское месторождение, карбонатный коллектор, плотность нефти 0,84 г/см^3, вязкость 40 МПа·с) и Республики Коми (Усинское месторождение, карбонатный коллектор, плотность нефти 0,87 г/см^3, вязкость 703 мПа·с) подтвердили перспективность применения технологии [2] и показали следующее:

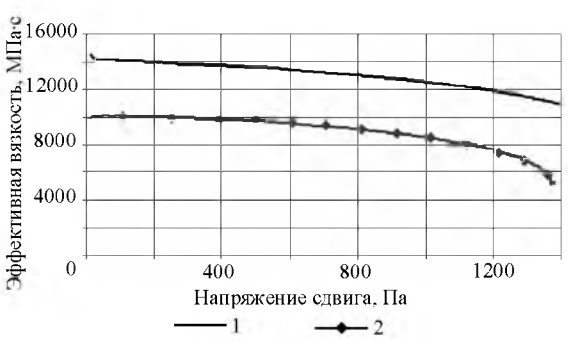


Рис.3. Экспериментальные данные по снижению вязкости нефти Усинского месторождения до (1) и после (2) ПИВ (температура 10 °С)

- снижение интенсивности проявления вязкости, тиксотропных вязкоупругих свойств высоковязких нефтей достигается за счет диспергирующего действия инициируемых упругих волн на основные структурообразующие компоненты нефти – асфальтены;
- технология ПИВ оказывает гидрофобизирующее воздействие на пористую среду пород коллектора, что способствует снижению капиллярных давлений и улучшению фильтрационно-емкостных характеристик продуктивного пласта;
- единовременная плазменно-импульсная обработка пластов приводит к перестройке структуры нефтей, которая сохраняется продолжительное время от 95 и более суток (образцы усинской нефти сохраняют пониженную вязкость после ПИВ уже более двух лет).

Новые перспективы открываются в повышении извлекаемых запасов тяжелых и высоковязких нефтей месторождений с трудноизвлекаемыми запасами при комплексном использовании плазменно-импульсной технологии с температурным и физико-химическим воздействием водных растворов щелочи и кислотных составов [6].

Эффективность технологии ПИВ подтверждается успешной реализацией этой технологии на ряде месторождений со сложными терригенными и карбонатными коллекторами с тяжелыми нефтями в России и за рубежом [4].

В заключение необходимо отметить, что большие перспективы открываются при использовании комплексной технологии обработки пластов месторождений с трудноизвлекаемыми запасами углеводородов, в том числе высоковязких нефтей с закачкой реагентов, прогревом и паротепловым воздействием на залежь с одновременным применением плазменно-импульсного воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гулый Г.А.* Научные основы разрядно-импульсных технологий. Киев, 1990.

2. *Максютин А.В.* Экспериментальные исследования реологических свойств высоковязких нефтей при упругом волновом воздействии // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2009. № 5.

3. *Мирзаджанзаде А.Х.* Моделирование процессов нефтедобычи. Нелинейность, неравномерность, неоднородность / А.Х.Мирзаджанзаде, Р.Н.Хасанов, Р.Н.Бахтизин. М., 2004.

4. *Молчанов А.А.* Плазменно-импульсное воздействие на нефтяную залежь, как на многофакторную динамическую диссипативную систему / А.А.Молчанов, П.Г.Агеев. Тверь, 2011.

5. *Молчанов А.А.* Новые технологии интенсификации режима работы нефтегазовых скважин и повышения нефтеотдачи пластов: Сборник статей Межпарламентской ассамблеи СНГ. СПб, 1995.

6. *Рогачев М.К.* Борьба с осложнениями при добыче нефти / М.К.Рогачев, К.В.Стрижнев. М., 2006.

7. *Тюнькин Б.А.* Опыт надземной разработки нефтяных месторождений и основные направления развития термошахтного способа добычи нефти / Б.А.Тюнькин, Б.Ю.Коноплев. Ухта, 1996.

REFERENCES

1. *Guly G.A.* Scientific Basis discharge-pulse technology. Kiev, 1990.

2. *Maksyutin A.V.* Experimental studies of the rheological properties of viscous oils in elastic wave action / automation, telemetry and communications in the oil industry. 2009. N 5.

3. *Mirzadzhanzade A.Kh., Hasanov R.N., Bakhtizin R.N.* Modeling of processes of oil production. Nonlinearity, irregularity, heterogeneity, Moscow, 2004.

4. *Molchanov A.A. Ageev P.G.* Plasma Impulse impact on the oil reservoir, as a multifactorial dynamic dissipative system. Tver, 2011.

5. *Molchanov A.A.* New technologies intensify operation of oil and gas wells and enhanced oil recovery: Collection of articles of the Interparliamentary Assembly of the CIS. Saint Petersburg, 1995.

6. *Rogachev M.K., Strizhnev K.V.* Management of complications in the extraction of oil. Moscow, 2006.

7. *Tyunkin B.A., Konoplev B.J.* Experience aboveground oil development and the main directions of development termoshahtnogo method of oil extraction. Uhta, 1996.