

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ПОЛЕ УПРУГИХ ВОЛН

М.Т.Абасов, А.С.Стреков, Ю.Н.Литвишков, А.А.Гаджиев

*Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А*

Приводятся результаты лабораторных экспериментов по влиянию низкочастотных упругих колебаний в диапазоне частот от 6 до 12 Гц на особенности поведения углеводородных жидкостей. Установлено разделение капель углеводородных жидкостей в определенной области их плотностей на более мелкие по размеру капли различной вязкости и их отрыв от твердой поверхности в зависимости от параметров упругих колебаний. Возможной причиной этого является изменение надмолекулярной структуры углеводородных жидкостей и, как следствие этого, изменение соотношения работ адгезии и когезии под влиянием низкочастотных колебаний. Обсуждаются также причины изменения вязкости нефтей в зависимости от их плотности при вибровоздействии на нефтяной пласт.

Введение

Известно, что практически все методы увеличения нефтеотдачи (МУН), в том числе и волновые методы, направлены на увеличение подвижности нефти. В то же время принципиальным отличием волновых методов от всех других является то, что данные методы относятся к технологиям объемного воздействия на пласт, т.е. они обладают значительным радиусом действия (от нескольких сотен метров до нескольких километров), экологической чистотой и оказывают влияние на свойства всей пластовой системы (фильтрационно-емкостные свойства пористой среды, свойства нефтей, вод, насыщающих нефтяной пласт, смачиваемость нефтяного коллектора, скорость фильтрации флюидов) (Абасов и др., 2004; Абасов и др., 2005; Аллакулов, 1991; Ащепков, 2004; Барабанов, 2002; Боголюбов и др., 2000; Везиров и др., 1999 а; Исаков и др., 2004; Лопухов, 1990; Погосян и др., 1989; Садовский и др., 1986; Свалов, 1999; Симкин, 1999; Симонов и др., 2000, Kərimov və b., 2003; Nəzərov və b., 2004 и др.).

Постановка задач исследований

Промысловые испытания вибросейсмических МУН на Гюнешлинском, Жирновском, Павловском, Правдинском, Северо-Салымском, Суторминском, Шкаповском, Чангыр-Ташском и некоторых других нефтяных месторождениях показали их высокую эффективность: отмечались рост добычи нефти и снижение обводнен-

ности продукции (Белоненко и др., 2000; Исаков и др., 2004; Мерзляков и Попов, 2004; Мохов и др., 2004; Николаевский, 1996; Симонов и др., 2000; Kərimov və b., 2003 и др.). При этом как проведенные лабораторные исследования (Снарский, 1982), так и промысловые испытания (Белоненко и др., 2000; Казаков, 2003; Мерзляков и Попов, 2004) выявили, что дополнительно полученная в результате вибровоздействия нефть отличается от ранее добываемой на этом же месторождении нефти визуально, а также большей плотностью и вязкостью. На основании изменения физико-химических свойств нефтей после проведения вибровоздействия Белоненко и др. (2000), Казаков (2003), Мерзляков и Попов (2004) делают вывод о том, что дополнительная нефть – это нефть добытая из запасов, которые ранее не могли быть вытеснены из пласта закачиваемой водой, т.е. в результате вибровоздействия увеличились извлекаемые запасы нефти.

С другой стороны, на основании проведенных лабораторных исследований и опыта промысловых испытаний различных модификаций виброволнового воздействия на призабойную зону и пласт получено, что при вибровоздействии в целом наблюдается разжижение пластовых флюидов, изменение реологических характеристик нефтей, снижение их плотности, эффективной вязкости и рост подвижности всей пластовой системы (Ащепков, 2004; Везиров и др., 1998; Везиров

и др., 1999 б; Гадиев, 1977; Горбачев и др., 2002; Еникеев и Хайбуллин, 1986; Свалов, 2003; Сургучев и др., 1991 и др.).

Признавая в целом, что дополнительно добытая нефть при применении волновых МУН – это нефть, добытая из запасов, которые ранее не могли быть вытеснены из пласта закачиваемой водой, все же на основании вышеприведенных данных следует признать, что в механизме влияния волновых МУН на свойства углеводородных жидкостей остались еще нерешенные проблемы, которые требуют своего дальнейшего исследования.

В связи с этим изучение особенностей поведения углеводородных жидкостей в поле упругих волн, несомненно, имеет большой научный и практический интерес.

Методика проведения экспериментов, результаты экспериментов и их обсуждение

Изучение особенностей поведения углеводородных жидкостей в поле упругих волн было проведено на установке, состоящей из следующих элементов: генератор низкочастотных колебаний, регулятор частот, прозрачная кювета для визуализации экспериментов, которая механически связана с генератором низкочастотных колебаний, катетометр. В прозрачную кювету, заполненную дистиллированной водой, помещалась кварцевая пластинка, которая крепилась к независимой подвеске. Для лучшего обзора капли углеводородной жидкости, посаженной снизу на кварцевую пластинку, кювета освещалась боковым источником света.

При проведении экспериментов использовались нефти месторождений Сангачалы-дениз плотностью 858 кг/м^3 , вязкостью $28,6 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ с содержанием смол $8,9 \%$, асфальтенов $0,35 \%$, парафина 9% и межфазным натяжением на границе с водой $23,1 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$; Биби-Эйбат плотностью 877 кг/м^3 , вязкостью $18,9 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ с содержанием смол $6,5 \%$, асфальтенов $0,12 \%$, парафина $0,76 \%$ и межфазным натяжением на границе с водой $24,6 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$; Пираллахи плотностью 926 кг/м^3 , вязкостью $157 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ с содержанием смол 14% , асфальтенов $0,8 \%$, парафина 2% и межфазным натяжением на границе с водой $3,1 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$, а также искусственно созданная в массовом соотношении один к одному смесь мазут-ок-

тан плотностью 834 кг/м^3 , вязкостью $58,4 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ и межфазным натяжением на границе с водой $20,7 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$.

Как видно из выше представленных данных, согласно классификации, приведенной в работе (Бурже и др., 1984), искусственно созданную углеводородную смесь и нефть месторождения Сангачалы-дениз, исходя из их плотности, можно отнести к легким нефтям ($\rho < 0,87$), нефть месторождения Биби-Эйбат – к средним ($\rho = 0,87-0,92$), а нефть месторождения Пираллахи – к тяжелым ($\rho > 0,92$).

В проведенных экспериментах вначале кварцевые пластинки выдерживались в течение 24 часов в 30% водном растворе хромового ангидрида. Затем пластинки промывались дистиллированной водой с последующей проверкой их на нейтральность лакмусовой бумажкой и помещались в сушильный шкаф, где они выдерживались в течение 3-4 часов. Такие пластинки считались готовыми для проведения экспериментов.

Эксперименты проводились следующим образом. Подготовленную кварцевую пластинку, закрепленную на независимой подвеске, помещали горизонтально в кювету с дистиллированной водой при температуре 25°C . По истечении времени выдержки 30 мин. в дистиллированной воде на пластинку для получения воспроизводимых результатов сажалась снизу небольшая постоянных размеров (диаметр основания находился в пределах 3-4 мм) капля углеводородной жидкости. Во время опытов и замера размеров капли углеводородной жидкости пластинка находилась в горизонтальном положении. Горизонтальность пластинки контролировалась катетометром. Для приведения капли углеводородной жидкости на кварцевой пластинке в равновесное состояние время выдержки ее до вибровоздействия составляло 30 мин.

Вибровоздействие производилось при частотах вибрации и амплитудах соответственно 6 Гц и 1,06 мм; 10 Гц и 1,67 мм; 12 Гц и 1,27 мм. Выбор этих частот вибрации, с одной стороны, был связан с тем, что они находятся в диапазоне доминантных частот 1-300 Гц (Боголюбов и др., 2000; Николаевский, 1996), а с другой стороны, с тем, что при применении вибровоздействия с земной поверхности оптимальными оказываются низкие час-

тоты 10-20 Гц (Симонов и др., 2000; Николаевский и др., 2006). При проведении экспериментов проводились визуальные наблюдения за поведением углеводородных жидкостей в поле упругих волн с одновременной съемкой на видеокамеру.

Помимо визуальных наблюдений, о характере влияния упругих волн на поведение углеводородных жидкостей судили по изменению краевых углов избирательного смачивания, работы смачивания $W_{см}$ и работы адгезии $W_{ад}$. Значение краевых углов избирательного смачивания и высоты капли до и после вибровоздействия определялось из результатов 5-7 измерений. Среднеквадратичная ошибка при определении краевых углов избирательного смачивания в большинстве случаев не превышала $\pm 2^\circ$.

Методика определения статических краевых углов избирательного смачивания с помощью катетометра по измерениям высоты капли h и диаметра основания капли d изложена в работе (Абасов и др., 2005; Фролов, и др., 1986). Расчет $\cos \theta$ проводился по уравнению, приведенному в работе (Фролов и др., 1986).

Для расчета работы адгезии использовалось уравнение Дюпре-Юнга (Фролов, и др., 1986)

$$W_{ад} = \sigma_{ув} (1 + \cos \theta),$$

а для расчета работы смачивания

$$W_{см} = \sigma_{ув} \cos \theta,$$

где $\sigma_{ув}$ - межфазное натяжение на границе углеводородная жидкость – вода.

Полученные результаты в виде средних значений сведены в табл.1,2, а на рис.1, 2, 3, 4 представлены наиболее характерные данные из визуальных наблюдений о поведении углеводородных жидкостей различной плотности в поле упругих волн из каждой серии экспериментов.

Визуальные наблюдения за поведением посаженных на кварцевую пластинку капель всех исследуемых углеводородных жидкостей показали, что сразу же после приложения упругих волн они теряют свою неподвижность и возбуждается колебательный режим их дви-

жения относительно положения равновесия (см. рис 1,2,3,4). Дальнейшее поведение капля углеводородных жидкостей в поле упругих волн определяется как их физико-химическими свойствами (вязкость и плотность, коэффициент межфазного натяжения), так и параметрами упругих волн (частота вибрации, амплитуда) (см. табл.1,2).

Например, для легкой нефти месторождения Сангачалы-дениз плотностью 858 кг/м^3 на всех исследованных частотах вибрации и амплитудах при колебательном режиме их движения наблюдается изменение формы капли, посаженной на кварцевую пластину, и только на частоте вибрации 10 Гц и при амплитуде 1,67 мм, помимо изменения формы капли, наблюдается изменение ее размеров, разделение ее на отдельные мелкие капли, их отрыв от основной капли и всплытие, а капля, хотя и в уменьшенных размерах, остается на кварцевой пластинке до конца воздействия упругими волнами (см. рис.1). Краевой угол избирательного смачивания, работа адгезии и смачивания при воздействии на нефть месторождения Сангачалы-дениз упругими волнами при частотах и амплитудах соответственно 6 Гц и 1,06 мм, 12 Гц и 1,27 мм не изменяются и остаются такими же, как и до воздействия упругими волнами. При частоте вибрации 10 Гц и при амплитуде 1,67 мм краевой угол избирательного смачивания уменьшается с 143° до 131° , а работа адгезии и смачивания возрастает соответственно с 33,12 и $12,42 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$ до 36,2 и $15,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$ (см. табл. 1, 2).

Для средней нефти месторождения Биби-эйбат плотностью 877 кг/м^3 , помимо изменения формы капли на всех исследованных частотах вибрации, также на частоте вибрации 10 Гц и амплитуде 1,67 мм изменяется размер капли, затем наблюдается отрыв посаженной капли от кварцевой пластинки и ее всплытие, разделение оставшейся на кварцевой пластинке части капли на отдельные, более мелкие капли, их отрыв от твердой поверхности и всплытие (см. рис.2). Краевой угол избирательного смачивания, работа адгезии и смачивания при воздействии на нефть месторождения Бибиэйбат упругими волнами при частотах и амплитудах соответственно 6 Гц и 1,06 мм, 12 Гц и 1,27 мм не изменяются и остаются такими же, как и до воздействия упругими волнами.

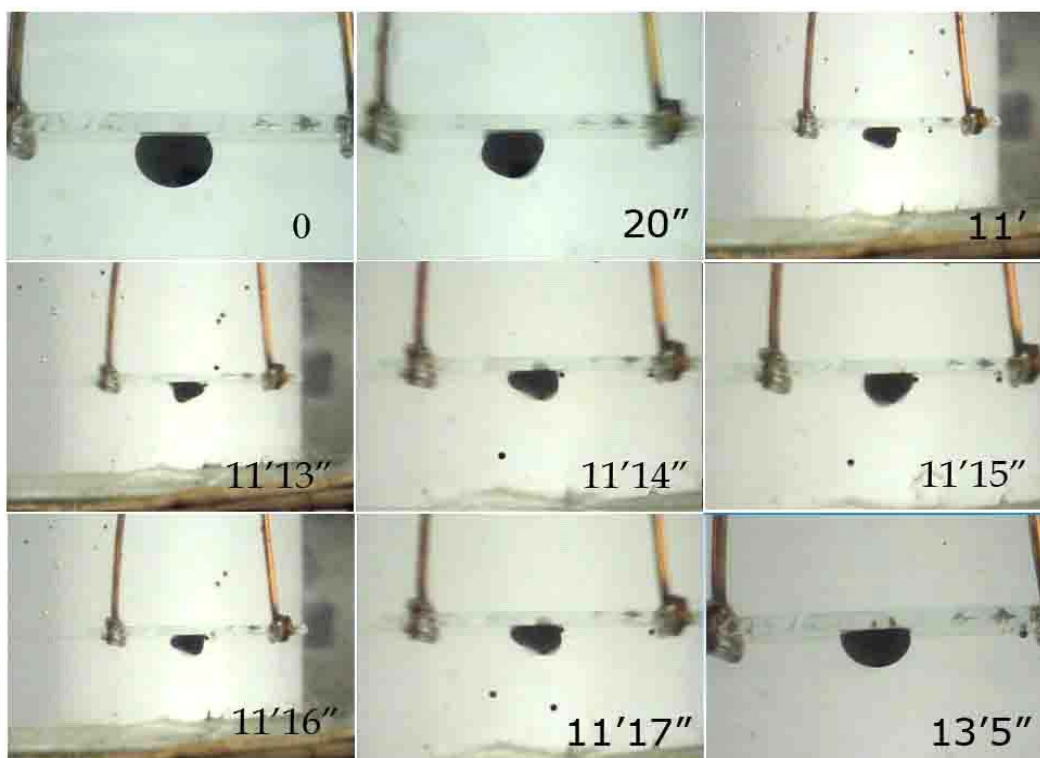


Рис. 1. Поведение нефти месторождения Сангачалы в поле упругих волн при частоте колебаний 10 Гц и амплитуде колебаний 1,67 мм

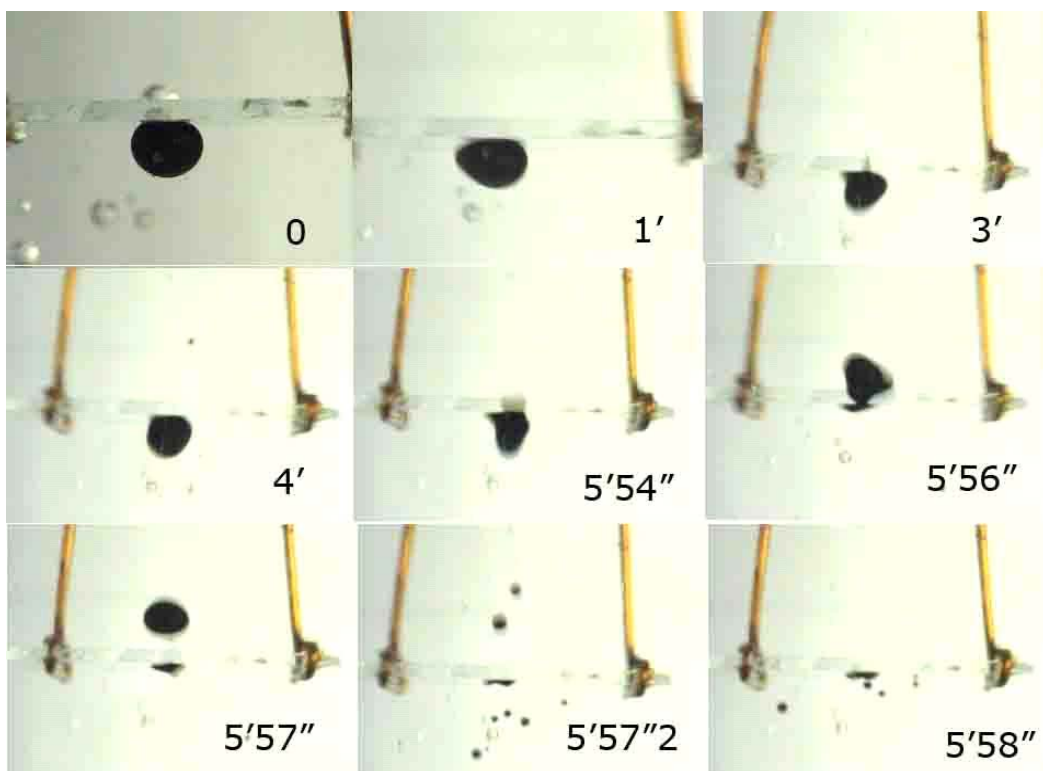


Рис. 2. Поведение нефти месторождения Бибиэйбат в поле упругих волн при частоте колебаний 10 Гц и амплитуде колебаний 1,67 мм

Для тяжелой нефти месторождения Пираллахи плотностью 926 кг/м^3 уже на всех исследованных частотах вибрации и при амплитудах, помимо колебания их относительно положения равновесия и изменения формы капли, вначале наблюдается отрыв большей части капли, а затем оставшейся части от твердой поверхности и их всплытие (см. на рис.3 в качестве примера приведено поведение капли нефти месторождения Пираллахи при частоте вибрации 6 Гц и амплитуде 1,06 мм). При этом замеры, там где была возможность, показали, что в данном случае в поле упругих волн до отрыва капли наблюдается уменьшение краевого угла избирательного смачивания с 168° до 118° , работы адгезии и смачивания – соответственно с 2,49 до $0,34 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$ и с -0,60 до $-2,75 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$.

Что касается искусственно созданной смеси углеводородных жидкостей, то для нее, как и для естественных нефтей, помимо изменения формы капли при колебательном режиме движения на всех частотах вибрации и ам-

плитудах, на частоте вибрации 10 Гц и при амплитуде 1,67 мм наблюдается разделение капли на более мелкие части, их отрыв от основной капли и всплытие. Причем часть основной капли в уменьшенных размерах и некоторые мелкие капли остаются на твердой поверхности до конца воздействия упругими волнами (см. рис. 4). Краевой угол избирательного смачивания, работа адгезии и смачивания при воздействии на искусственно созданную смесь углеводородных жидкостей упругими волнами при частотах и амплитудах соответственно 6 Гц и 1,06 мм, 12 Гц и 1,27 мм не изменяются и остаются такими же, как и до воздействия упругими волнами.

Проведенные исследования также показали, что физико-химические свойства углеводородных жидкостей определяют не только особенности их поведения в поле упругих волн, но и время наступления проявления этих особенностей, и время, в течение которого эти особенности наблюдаются (см. табл.1 и рис. 1,2,3,4).

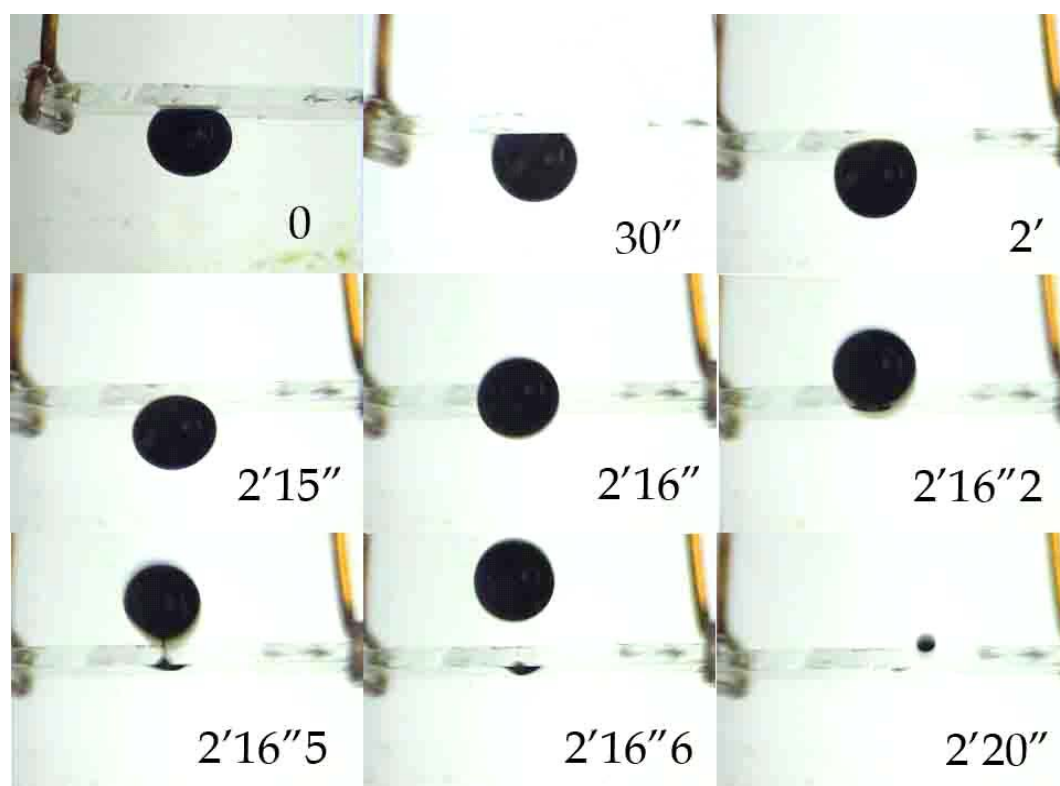


Рис. 3. Поведение нефти месторождения Пираллахи в поле упругих волн при частоте колебаний 6 Гц и амплитуде колебаний 1,06 мм

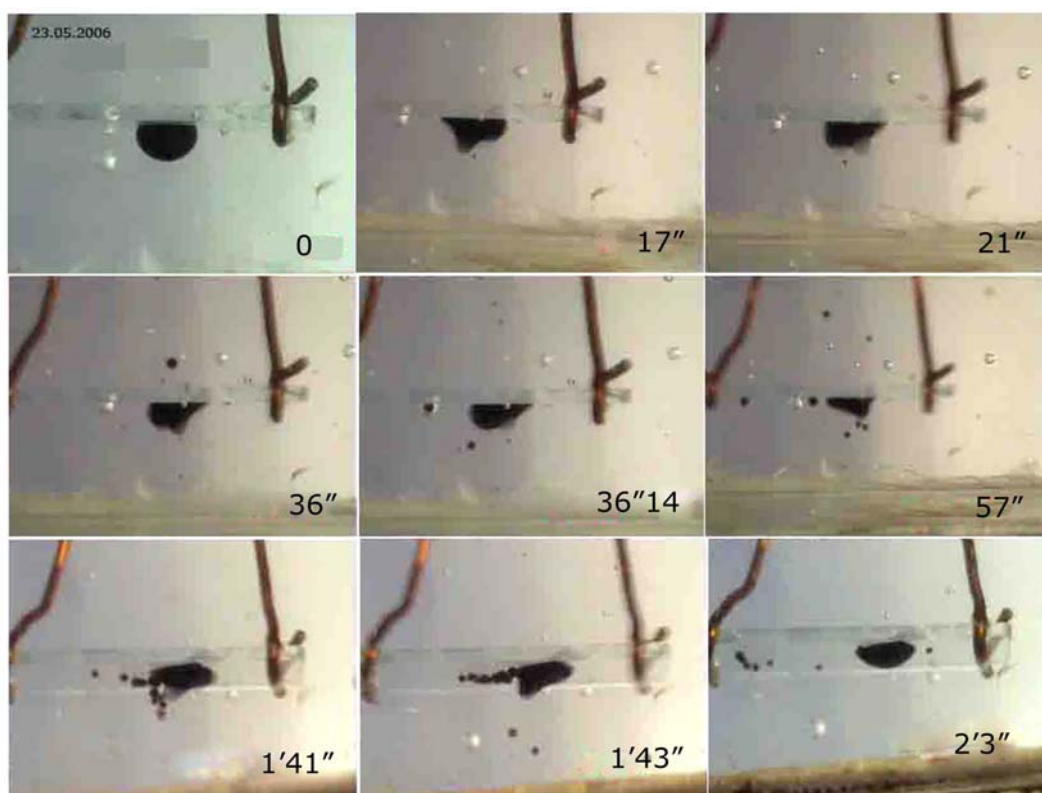


Рис.4. Поведение углеводородной жидкости мазут-октан в поле упругих волн при частоте колебаний 10 Гц и амплитуде колебаний 1,67 мм

Так, для легкой нефти месторождения Сангачалы-дениз плотностью 858 кг/м^3 на частоте вибрации 10 Гц и при амплитуде 1,67 мм эффект от воздействия упругими волнами (разделение ее на отдельные мелкие капли, их отрыв от основной капли) наступает на 660 секунде, а сам эффект длится 785 секунд (см. табл.1 и рис. 1).

Для средней нефти месторождения Бибиэбат плотностью 877 кг/м^3 при частоте вибрации 10 Гц и амплитуде 1,67 мм при общей длительности эффекта 358 секунд эффект от воздействия упругими волнами (отрыв капли от кварцевой пластинки) наблюдается на 356 секунде, а разделение оставшейся на кварцевой пластинке части капли на отдельные, более мелкие капли, их отрыв от твердой поверхности и всплытие происходят всего за две секунды до конца эффекта (см. табл.1 и рис. 2).

Для тяжелой нефти месторождения Пираллахи плотностью 926 кг/м^3 при частоте вибрации 6 Гц и амплитуде 1,06 мм при общей длительности эффекта 140 секунд отрыв

основной части капли от кварцевой пластинки при воздействии упругими волнами наступает на 135 секунде, а оставшейся части – на 140 секунде (см. табл.1 и рис. 3).

Для искусственно созданной смеси углеводородных жидкостей, как и для естественных нефтей, помимо изменения формы капли при колебательном режиме движения на всех частотах вибрации и амплитудах, на частоте вибрации 10 Гц и при амплитуде 1,67 мм уже на 17 секунде наступает разделение капли, которое постепенно нарастает, и к 57 секунде множество капель находится как на кварцевой пластинке, так и во взвешенном состоянии в дистиллированной воде. В результате к концу эффекта на 123 секунде от воздействия упругих волн на кварцевой пластинке остаются основная капля уменьшенных размеров и несколько отделившихся от нее капель меньших размеров (см. табл.1 и рис. 4).

Прежде чем перейти к обсуждению полученных результатов необходимо отметить следующее.

Ранее Гадиевым С.М. (1977) было установлено уменьшение межфазного натяжения при вибровоздействии, а нами (Абасов и др., 2004) – резкое уменьшение удельной поверхностной энергии межфазной границы раздела системы углеводородная жидкость – дистиллированная вода, связанное с резонансным поглощением энергии системой в диапазоне частот и амплитуд, характерных для каждой конкретной системы, т.е. системам углеводородная жидкость – вода свойственна зависимость отклика от частоты воздействия (частотная избирательность).

С другой стороны, известно, что, исходя из коллоидной природы нефти, предполагается микромицеллярная модель ее структурной единицы. Ядрами микромицелл являются частицы углерода, карбенов и карбидов, окруженные адсорбированными асфальтенами. Вокруг ядра располагаются последовательно сольватные слои компонентов с все меньшим молекулярным весом, переходящие в интермицеллярную жидкость с минимальной энергией межмолекулярного взаимодействия. При воздействии на каплю углеводородной жидкости упругими волнами возрастает кинетическая энергия движения микромицелл. Вследствие этого происходит слияние микромицелл в более крупные мицеллярные структуры и, в конечном счете, процесс агрегации завершается фракционированием и вытеснением интермицеллярной жидкости на периферию капли углеводородной жидкости. При этом становится заметной граница раздела ядра и оболочки капли углеводородной жидкости.

Таким образом, та или иная микромицеллярная структура нефти, а соответственно ее вязкость, межфазное натяжение на границе с той или иной жидкостью должны формироваться в соответствии с углеводородным составом нефти, характером и интенсивностью внешнего воздействия (частота и амплитуда вибровоздействия).

В свете вышеизложенного, особенности (механизм) поведения углеводородных жидкостей в поле упругих волн можно представить следующим образом.

Как отмечалось выше, при воздействии упругих волн на каплю углеводородной жидкости в дистиллированной воде она теряет свою неподвижность, и возбуждается колеба-

тельный режим ее движения относительно положения равновесия. При этом в углеводородной жидкости имеет место сразу несколько процессов. С одной стороны, при воздействии на каплю углеводородной жидкости упругими волнами происходит слияние микромицелл в более крупные мицеллярные структуры и вытеснение интермицеллярной жидкости на периферию капли. Становится заметной граница раздела ядра и оболочки капли углеводородной жидкости, что подтверждается экспериментально практически для всех исследованных углеводородных жидкостей (см. рис. 1,2,3,4). С другой стороны, из-за изменения надмолекулярной структуры углеводородной жидкости меняется ее вязкость и межфазное натяжение на границе с дистиллированной водой, а также характер смачивания кварцевой пластинки. При этом, как показали результаты экспериментов, в зависимости от физико-химических свойств углеводородной жидкости возможны два варианта поведения капли в поле упругих волн.

Первый вариант в основном присущ легким и средним нефтям, когда работы адгезии W_{ad} и смачивания велики и практически не изменяются в поле упругих волн (см. табл.2), а потому достаточны для удержания капли углеводородной жидкости на поверхности кварцевой пластинки, однако работа когезии W_k при этом недостаточна для сохранения целостности капли углеводородной жидкости.

Поэтому в случае, когда собственный колебательный режим капли углеводородной жидкости постепенно возбуждается и наступает момент, когда он становится равным по частоте подводимым колебаниям упругих волн, и, если частота колебания капли становится равной по фазе частоте колебаниям упругих волн, наступает явление резонанса. В результате наблюдается разрыв капли при этом на более мелкие части, причем, по-видимому, уносятся более легкие составляющие углеводородной жидкости, а более тяжелые составляющие остаются в виде капель меньшего размера на кварцевой пластинке (см. рис. 1,2,3).

Второй вариант, который присущ тяжелым углеводородным жидкостям, это когда работа адгезии W_{ad} мала и уменьшается в по-

ле упругих волн (см. табл.2), а потому недостаточно для удержания капли углеводородной жидкости на поверхности кварцевой пластинки, работа же когезии W_k достаточно велика для сохранения целостности капли углеводородной жидкости. В результате наблюдается сохранение целостности капли и практически ее полный отрыв от твердой поверхности при всех исследованных частотах и амплитудах упругих волн, а не только при явлении резонанса (см. рис. 4).

Заключение

Таким образом, проведенный цикл лабораторных экспериментов выявил, что механизм влияния упругих волн на поведение углеводородных жидкостей связан с изменением надмолекулярной структуры углеводородной жидкости и, как следствие, изменением соотношения сил межмолекулярных взаимодействий в самой углеводородной фазе, между жидкими фазами (углеводородная жидкость и дистиллированная вода) и фазе с твердой поверхностью, и базирующихся на них значениях работ когезии жидкости W_k и адгезии жидкости к твердому телу W_a . При этом эффект разрыва капель легких и средних углеводородных жидкостей на несколько отдельных капель различного размера и вязкости в поле упругих волн определяется преодолением сил когезии углеводородной жидкости в результате резонансного возбуждения собственных колебаний углеводородных капель в определенном диапазоне частот и амплитуд вибрации.

На основании экспериментальных данных, которые, хотя и получены в отсутствии пористой среды и течения воды, все же можно сделать некоторые предположения по поводу изменения свойств (вязкости) углеводородных жидкостей, имеющих место при вибровоздействии на нефтяной пласт. Если вибровоздействие проводится на нефтяных пластах, насыщенных легкими и средними нефтями, то в результате разделения капель нефти при резонансном возбуждении собственных колебаний на капли меньшего размера различной вязкости, их отрыва от твердой поверхности и постепенного выноса части капель малой вязкости из пласта вязкость добываемой нефти

будет непрерывно расти, что можно наблюдать в промысловых условиях. Если же вибровоздействие проводится на нефтяных пластах, насыщенных тяжелыми нефтями, или же при частотах и амплитудах вибрации, не соответствующих резонансному возбуждению капель легкой и средней нефтей, то в этом случае капли нефти не разделяются на капли меньшего размера различной вязкости, а отрываются от твердой поверхности, не нарушая своей целостности. В связи с этим в случае вибровоздействия на подобные нефтяные пласты не будет наблюдаться роста вязкости добываемой нефти, а, наоборот, может наблюдаться снижение ее вязкости.

В заключение, хотелось бы отметить, что полученные данные о процессах, протекающих в углеводородных жидкостях в поле упругих волн, дают основание предполагать возможность разработки новых технологий и повышения эффективности нефтедобычи с помощью целенаправленного вибровоздействия на нефтяные пласты.

ЛИТЕРАТУРА

- АБАСОВ, М.Т., СТРЕКОВ, А.С., АББАСОВ, М.И., ЛИТВИШКОВ, Ю.Н., МУЗАФФАРОВ, Г.Э. 2004. Влияние вибровоздействия на удельную поверхностную энергию на границе раздела системы углеводородная жидкость – вода. *Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле*, 3, 56-62.
- АБАСОВ, М.Т., СТРЕКОВ, А.С., АББАСОВ, М.И., ЛИТВИШКОВ, Ю.Н., ГАДЖИЕВ, А.А. 2005. Влияние вибровоздействия на избирательные смачивающие характеристики систем твердое тело – вода – углеводородная жидкость. *Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле*, 3, 57-63.
- АЛЛАКУЛОВ, П. 1991. Влияние волновых процессов на показатели фильтрации в пористой среде. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 21.
- АЩЕПКОВ, М.Ю. 2004. Перспективы применения технологии увеличения нефтеотдачи дилатационно-волновым воздействием на продуктивные пласты. *Нефтепромысловое дело*, 2, 18-22.
- БАРАБАНОВ, В.Л. 2002. Влияние сейсмического воздействия на смачиваемость коллекторов и возможность резонансного возбуждения пульсаций тонких пленок и капель нефти. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 5, 67-72.
- БЕЛОНЕНКО, В.Н., ПАВЛОВ, М.В., МАКУРОВ, А.Д., ФОМИЧЕВ, В.Ф., ТИЩЕНКО, И.В. 2000. Результаты применения вибросейсмической технологии на Суторминском месторождении. *Нефтепромысловое дело*, 8-9, 18-22.

- БОГОЛЮБОВ, Б.Н., ЛОБАНОВ, В.Н., БРИЛЛИАНТ, Л.С., САШНЕВ, И. А., ПОТАПОВ Г.А. 2000. Интенсификация добычи нефти низкочастотным акустическим воздействием. *Нефтяное хозяйство*, 9, 80-81.
- БУРЖЕ, Ж, СУРИО, П, КОМБАРНУ, М. 1984. Термические методы повышения нефтеотдачи пластов. Недра. Москва. 422.
- ВЕЗИРОВ, Д.Ш., СТРЕКОВ, А.С., МУЗАФФАРОВ, Г.Э., ЗАЛОВ, И.Д. 1998. Влияние вибровоздействия на реологические характеристики нефтей. *Известия АН Азербайджана. Науки о Земле*, 2, 86-90.
- ВЕЗИРОВ, Д.Ш., МУЗАФФАРОВ, Г.Э., ЗАЛОВ, И.Д. 1999а. Фильтрация жидкости через пористую среду в вибрационном поле. В Трудах ИПГНГМ: *Вопросы разработки и физико-химии нефтегазоносных пластов*, 109-112.
- ВЕЗИРОВ, Д.Ш., МУЗАФФАРОВ, Г.Э., ЗАЛОВ И.Д. 1999б. Влияние вибровоздействия на плотность и вязкость нефтей. В Трудах ИПГНГМ: *Вопросы разработки и физико-химии нефтегазоносных пластов*, 137-142.
- ГАДИЕВ, С.М. 1977. Использование вибрации в добыче нефти. Недра. Москва. 159.
- ГОРБАЧЕВ, Ю.И., ИВАНОВ, Н.И., НИКИТИН, А.А., КОЛЕСНИКОВ, Т.В., ОРИЕНТЛИХЕРМАН, Э.И. 2002. Акустические методы повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти. *Нефтяное хозяйство*, 5, 87-91.
- ЕНИКЕЕВ, Р.М. И ХАЙБУЛЛИН, Р.Я. 1986. Влияние циклической барообработки на реологические свойства неньютоновских нефтей. *Известия ВУЗов. Нефть и газ*, 9, 31-33.
- ИСХАКОВ, И.А., ЛОЗИН, Е.В., ГАЙНУЛЛИН, К.Х., АЩЕПКОВ, М.Ю., АЩЕПКОВ Ю.С. 2004. Эффективность применения технологии ДВВ на нефтяных месторождениях АНК «Башнефть». В Трудах Международного технологического симпозиума: *Новые технологии разработки нефтегазовых месторождений*, Россия, Москва, 113-122.
- КАЗАКОВ, А.А. 2003. Новый аспект классификации методов воздействия на пласт. *Нефтепромысловое дело*, 6, 27-31.
- ЛОПУХОВ, Г.П. 1990. Теоретическое обоснование вибросейсмического воздействия на неглубоко залегающие обводненные нефтяные пласты. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 22.
- МЕРЗЛЯКОВ, В.Ф. и ПОПОВ, А.М. 2004. Результаты вибросейсмического воздействия с земной поверхности на Шкаповском нефтяном месторождении. В Трудах Международного технологического симпозиума: *Новые технологии разработки нефтегазовых месторождений*. Россия, Москва, 372-377.
- МОХОВ, М.А., САХАРОВ, В.А., ХАБИБУЛЛИН Х.Х. 2004. Виброволновое и вибросейсмические воздействия на нефтяные пласты. *Нефтепромысловое дело*, 4, 24-28.
- НИКОЛАЕВСКИЙ, В.Н. 1996. Геомеханика и флюидодинамика. Недра. Москва. 448.
- НИКОЛАЕВСКИЙ, В.Н., СТЕПАНОВА, Г.С., НЕНАРТОВИЧ Т.Л., ЯГODOB Г.Н. 2006. Ультразвук определяет отбор нефти при вибровоздействии на пласт. *Нефтяное хозяйство*, 1, 48-50.
- ПОГОСЯН, А.Б., СИМКИН, Э.М. СТРЕМОВСКИЙ, Э.В., СУРГУЧЕВ, М.Л., ШНИРЕЛЬМАН, А.И. 1989. Сегрегация углеводородной жидкости и воды в пористой среде в поле упругих волн. *ДАН*, 11, 575-577.
- САДОВСКИЙ, М.А., АБАСОВ, М.Т., НИКОЛАЕВ, А.В. 1986. Перспективы вибрационного воздействия на нефтяную залежь с целью повышения нефтеотдачи. *Вестник АН СССР*, 9, 40-43.
- СВАЛОВ, А.М. 1999. Научно-методическое обоснование технологий ударно-волнового воздействия на продуктивные пласты. *Нефтяное хозяйство*, 11, 26-27.
- СВАЛОВ, А.М. 2003. Анализ возможностей использования штанговых глубинных насосов в качестве источников ударно-волнового воздействия на продуктивные пласты. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 3, 27-33.
- СИМКИН, Э.М. 1999. Физические основы сейсмических и вибросейсмических методов повышения нефтеотдачи. *Нефтяное хозяйство*, 7, 22-24.
- СИМОНОВ, Б.Ф., ОПАРИН, В.Н., КАНИСКИН, Н.А., ЧЕРЕДНИКОВ, Е.Н., КАДЫШЕВ, А.И., МАСЛЕННИКОВ, В.В. 2000. Вибросейсмическое воздействие на нефтяные пласты с земной поверхности. *Нефтяное хозяйство*, 5, 41-46.
- СНАРСКИЙ, А.И. 1982. Определение влияния инфразвукового поля на скорость фильтрации нефти на элементарной модели пласта. *Известия ВУЗов. Нефть и газ*, 1, 30-32.
- СУРГУЧЕВ, М.Л., ГОРБУНОВ, А.Т., ЗАБРОДИН, Д.П., ЗИСКИН, Е.А., МАЛЮТИНА, Г.С. 1991. Методы извлечения остаточной нефти. Недра. Москва. 347.
- ФРОЛОВ, Ю.Г. и ГРОДСКИЙ, А.С. (Под ред.) 1986. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии. Химия. Москва.
- KƏRİMOV, M.Z., MƏMMƏDOV, N.N., İSMAYİLOV, S.C. 2003. Akustik üsulla neft laylarına təsirin tətbiqinin tədqiqi. T.1. AzNSETLİ. Bakı. 1-7.
- HƏSƏNOV, H.Q., TALİBOVA, X.M., ABİŞOV, S.H., MƏMMƏDOVA, G.A. 2004. Akustik dalğaların neft sənayesində tətbiqi. T. 2. AzNSETLİ. Bakı. 164-172.