**УДК 532.59, 532.546.**

# ВОЛНОВАЯ МОБИЛИЗАЦИЯ ЗАЩЕМЛЕННЫХ В ПОРОВЫХ КАНАЛАХ КАПЕЛЬ УГЛЕВОДОРОДОВ

**Губайдуллин А.А., Конев С.А.**

*Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики СО РАН, Тюмень, Россия*

Исследования выполнены в рамках программы фундаментальных исследований Президиума РАН Фундаментальные проблемы механики взаимодействий в технических и природных системах» (Проект 23-15).

## АННОТАЦИЯ

На экспериментальной установке, в которой использована двумерная прозрачная модель реального керна, изучено влияние амплитудно-частотных характеристик вибрационно-акустического воздействия на мобилизацию капель нефти, защемленных в сужениях поровых каналов при ее вытеснении дистиллированной водой и мицеллярным раствором.

## ВВЕДЕНИЕ

Исследования, связанные с воздействием упругих волн на нефтяные месторождения, начались в 50-ых годах 20 века после Южного Калифорнийского землетрясения в июле 1952. Однако механизм повышения нефтеотдачи при землетрясениях весьма сложен и может быть связан не только с последствиями сейсмических колебаний, но и растрескиванием породы и другими эффектами, связанными с землетрясениями.

Пик промышленных испытаний вибрационного, акустического и ультразвукового воздействия на пласт для повышения нефтеотдачи в США и Советском Союзе приходится на конец 70-х - начало 80-х годов прошлого столетия. Отдельные примеры рентабельного повышения нефтеотдачи при вибро-акустическом воздействии в масштабах месторождения (США, Китай) стимулировали в последнее время значительный интерес к подобным исследованиям [1].

Существуют различные точки зрения относительно основных механизмов вибро-акустического воздействия на фильтрационные процессы. К ним относят:

1) влияние на неоднородность структуры и напряженного состояния многопластовой системы в целом;

2) автоколебательные и нелинейные фильтрационные процессы в водонефтенасыщенных пластах и возможность их резонансного взаимодействия с сейсмическими волнами;

3) выделение газа из пластовой жидкости;

4) изменение реологических характеристик пластовых жидкостей;

5) проявление капиллярных эффектов при течении жидкостей в поровых каналах;

6) изменение характеристик смачиваемости поверхности пор и др.

В некоторых работах прирост дебита на скважинах при акустическом воздействии объясняется разгазированием жидкости. Другие авторы настаивают на капиллярных механизмах повышения нефтеотдачи при вибрационном и акустическом воздействии на пласт. Современное состояние прикладных разработок применения вибро-акустического воздействия на пласт для повышения нефтеотдачи характеризуется тенденцией к развитию лабораторных исследований и промышленных испытаний [2].

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ТЕХНИКА

В работе, на специально изготовленной и собранной экспериментальной установке для исследования вибрационно-акустического воздействия на пористые структуры, в которой использована двумерная прозрачная модель реального керна, изучено влия-

ние амплитудно-частотных характеристик вибрационно-акустического воздействия на мобилизацию капель углеводородов (нефть [3] и керосин [4]), защемленных в сужениях поровых каналов при вытеснении дистиллированной водой. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

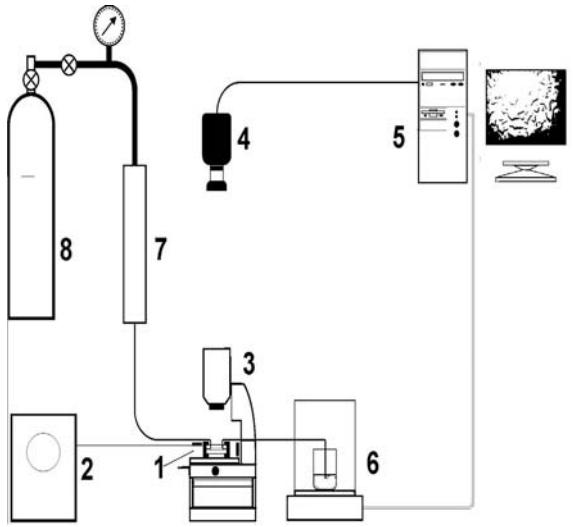


Рис.1 Схема экспериментальной установки: 1 – пористый образец в термостатесвибраторами,2-генератор, 3 - микроскоп, 4 - цифровая видео камера, 5 - компьютер, 6 - электронные весы, 7 - ресивер, 8 - газовый баллон.

Установка состоит из пористого образца, помещенного в медный термостат с вибраторами (1), вибрационно-акустическое воздействие производится пьезокерамическими вибраторами, встроенными в блок термостатирования и расположенными в вертикальной и горизонтальной плоскости, что позволяет производить воздействие различной геометрии. На пьезокерамические вибраторы с генератора (2) подается напряжение заданной частоты (1-20 000 Гц) и амплитуды (1-100 В), что позволяет вибратору совершать колебания с амплитудой до 1.0 мкм. Для визуализации эксперимента используется микроскоп (3) и цифровая видеокамера (4). В качестве пористого образца используется прозрачная модель пористой среды, изготовленная фотолитографическим способом и отображающая структуру пор реальной горной породы (керн из нефтяного пласта). Компьютер (5) позволяет проводить обработку видеоизображений, полученных на различных пространственных масштабах (от масштаба пор до масштаба модели). Высокочувствительные электронные весы (6), сопряженные с компьютером, используются для измерения расхода фильтрующихся жидкостей. Газовый баллон (7) и ресивер (8) позволяют задавать большие перепады давления на входе и выходе модели при первичном вытеснении нефти дистиллированной водой. Далее, в экспериментах по вытеснению остаточной нефти в акустическом поле, постоянный расход фильтрующей жидкости и фиксированное давление на входе модели задавалось водяным столбом. Через насыщенную нефтью (или керосином) модель, при давлении на входе 0.2 МПа, в течение 1-5 часов фильтровали дегазированную воду, до момента прекращения появления нефти на выходе модели. Далее создавали постоянный расход жидкости через модель с остаточной нефтью при фиксированном давлении на входе. Давление на входе меняли от 0.005 до 0.02 МПа (от 50 до 200 см водного столба), с интервалом в 0.001 МПа (10 см). При каждом фиксированном давлении на входе, плавно изменяли частоту вибро-акустического воздействия от 1 до 20 000 Гц на максимальной амплитуде, при этом наблюдали за поведением нефтяных капель, защемленных в сужениях поровых каналов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Некоторые результаты исследования представлены на рисунках 2 и 3. На рисунке 2 показано проскальзывание капли нефти, защемленной в сужении поры, при давлении на входе 0.014 МПа и вибрационно-акустическом воздействии на частоте 1.2 кГц. На рисунке представлены три последовательных кадра видеосъемки с разницей в 0.1с.

Видно, как часть капли преодолевает сужение порового канала и отрывается, сливаясь с другой неподвижной каплей, большего размера. Скорость проскальзывания составляет 50-100 мкм\с, по нашим оценкам.

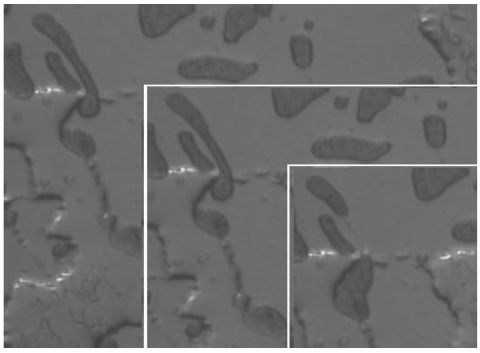

Рис.2 Мобилизация капли нефти, защемленной в сужении порового канала, при вытеснении дистиллированной водой в акустическом поле частотой 1.2 кГц.

Мобилизация капли нефти, обнаруженная при воздействии на частоте 2.0 кГц и при давлении на входе модели 0.015 МПа, представлена на рисунке 3, разница между кадрами 0.05с., скорость проскальзывания капли составила 800-1000 мкм/с.

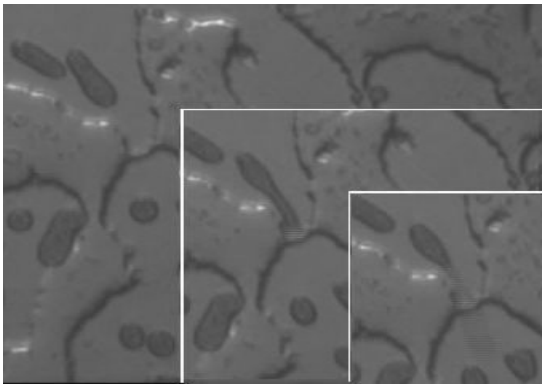

Рис.3 Мобилизация капли нефти, защемленной в сужении порового канала, при вытеснении дистиллированной водой в акустическом поле частотой 2.0 кГц.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, при близких значениях приложенного давлении на входе модели 0.015 МПа и 0.014 МПа, и при близких значениях частот воздействии приводящих к мобилизации капель нефти, скорости проскальзывания отличаются на порядок, что по нашему мнению связано с различием в конфигурации сужений поровых каналов. При вытеснении нефти 0.5% мицеллярным раствором сульфонола, мобилизация капли нефти была обнаружена при давлении на входе 0.01 МПа и волновом воздействии на частоте 0.7 кГц.

Кроме того, в эксперименте наблюдалось, что волновое воздействие приводит к укрупнению ганглий нефти путем их слияния в поровых каналах, особенно при вытеснении нефти мицеллярным раствором.

- Обнаружено, что при вибрационно-акустическом воздействии защемленные капли нефти проскакивают сужение поровых каналов при градиенте давления на порядок меньшем, чем требуется для мобилизации капель без вибрационного воздействия. Так капли нефти, защемленные в сужениях пор, были неподвижны при фильтрации дегазированной воды вплоть до давления 0.2 МПа на входе модели.
- Укрупнение ганглий путем слияния в поровых каналах и проскальзывание сужения поровых каналов при градиенте давления на порядок меньшем, чем требуется для мобилизации капель без вибрационного воздействия, было обнаружено и для капель керосина.
- При вытеснении мицеллярным раствором, проскальзывание капли нефти было обнаружено при более низком давлении на входе модели и более низкой частоте вибрационно-акустического воздействия, чем при вытеснении дистиллированной водой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ганиев Р.Ф., Украинский Л.Е., Андреев В.Е., Котенев Ю.А. Проблемы и перспективы волновой технологии многофазных систем в нефтяной и газовой промышленности-СПб: Недра, 2008.
2. Li W., Vigil R., Beresnev I.A., Iassonov P., Ewing R. /Vibration-induced mobilization of trapped oil ganglia in porous media: Experimental validation of a capillary-physics mechanism// Journal of Colloid and Interface Science, 289, 2005, pp.193–199. C.
3. Губайдуллин А.А., Конев С.А., Саранчин С.Н. Экспериментальное исследование вибро-акустического воздействия на фильтрацию углеводородных систем в пористых средах// Нефть и газ Западной Сибири: Материалы всероссийской научно-технической конференции. Т.1. - Тюмень, 2009. – С. 70-72.
4. Губайдуллин А.А., Конев С.А., Саранчин С.Н. Экспериментальное исследование вибрационно-акустического воздействия на вытеснение остаточных углеводородов в пористой среде// Тезисы докладов Российской конференции «Многофазные системы: природа, человек, общество, технологии», посвященной 70-летию академика Р.И. Нигматулина.-Уфа: Изд-во Нефтегазовое дело, 2010, С. 95-96.