

ВЛАДИМИР АБРАМОВ, д. т. н., **ИГОРЬ ЕРЕМЕНКО**, д. х. н., академик, **ВЛАДИМИР НОВОТОРЦЕВ**, д. х. н., академик, **АНДРЕЙ ПЕЧКОВ**, к. т. н., Институт общей и неорганической химии РАН
ВАДИМ БАЯЗИТОВ, к. т. н., генеральный директор ООО «ВИАТЕХ»
ИГОРЬ ЕСИПОВ, д. ф.-м. н., Акустический институт им. Н. Н. Андреева
ГАЙДАР АПАСОВ, ТИМУРГАЛЕЙ АПАСОВ, к. т. н., Тюменский государственный нефтегазовый университет

Ультразвуковое воздействие на пласт

ПРЕИМУЩЕСТВА И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ АКУСТИЧЕСКОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ

В ПОСЛЕДНЕЕ ВРЕМЯ В КОМПЛЕКСЕ СОВРЕМЕННЫХ МУН ВСЕ БОЛЬШЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИОБРЕТАЮТ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ. СРЕДИ НИХ НАИБОЛЕЕ РАЗВИТЫМИ В ТЕОРЕТИЧЕСКОМ И АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ АСПЕКТАХ, ОСОБЕННО ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПЛАСТ И ПЗП ИЗ СКВАЖИН, ЯВЛЯЮТСЯ МЕТОДЫ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, ПРЕЖДЕ ВСЕГО — УЛЬТРАЗВУКОВОГО.

В нефтегазодобывающей отрасли России идет постепенное ухудшение структуры запасов. Растет доля трудноизвлекаемых запасов и количество низкодебитных скважин в эксплуатации.

Поиски ученых, работающих в области создания новых технологий для разработки нефтяных месторождений, привели к появлению разнообразных способов воздействия на пласт. Однако большая их часть имеет ограниченную практическую пользу, поскольку одни методы требуют использования дефицитных и дорогих материалов, другие слишком сложны для практической реализации, третьи могут вызвать необратимые негативные изменения как в пласте, так и в окружающей среде.

Перспективным направлением является создание общедоступной технологии для разработки большинства нефтяных залежей. В комплексе современных МУН все более значимое место приобретают геофизические методы.

В этой группе сегодня наибольшее развитие получили методы акустического воздействия, прежде всего ультразвуковые (УЗ). Теоретические и аппаратурно-технологические аспекты таких МУН имеют хорошую проработку, особенно для технологий УЗ-воздействия на пласт и ПЗП из скважин.

Моделирование процессов при УЗ-воздействии

При взаимодействии акустического поля с фазами горных пород достигается увеличение их проницаемости благодаря изменениям структуры пустотного пространства, разрушению минеральных солейотложений, акустической дегазации и снижению вязкости нефти, вовлечению в разработку низкопроницаемых и закольматированных пропластков пород продуктивного пласта.

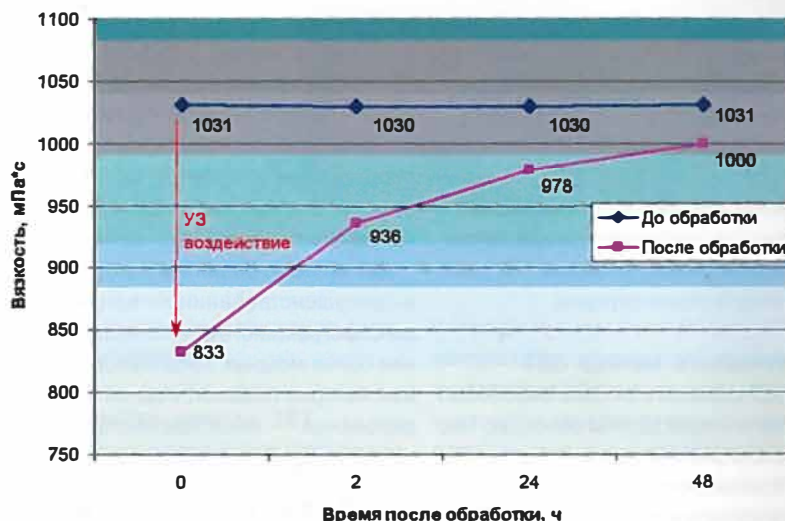


РИС. 1. ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ НЕФТИ ПОСЛЕ УЗ ОБРАБОТКИ

Успешность внедрения новых УЗ-методов ПНП во многом зависит от понимания механизмов и особенностей процессов, возникающих при воздействии на продуктивный пласт. Поэтому были построены модели и лабораторные установки, идентичные модели пласта, и на них испытаны подобные физические явления и процессы, протекающие в нефти и пласте при УЗ-воздействии.

Нами были проведены эксперименты по оценке влияния УЗ-обработки на изменение вязкости нефти. Исследовалась нефть Лузановского месторождения. Использовался ультразвуковой генератор TS4M1, волноводно-излучающая система, рассчитанная на 23,5 кГц. Изменения реологических свойств нефти замерялись вязкозиметром SX-80. Исследовались изменения вязкости

РИС. 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ МОДЕЛИ БИО ПРОНИЦАЕМОЙ СРЕДЫ С $M=0,2$ И $K=0,1$ Д.

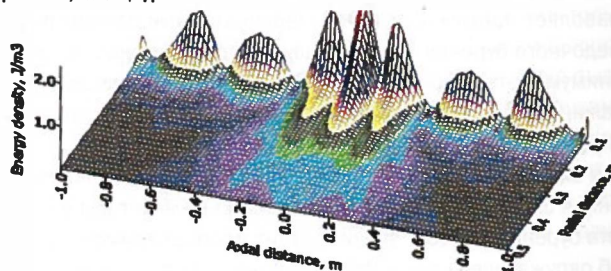




РИС. 3. БАРОКАМЕРА, МОДЕЛИРУЮЩАЯ КОНСТРУКЦИЮ СКВАЖИНЫ, С ГИДРОФОНАМИ

нефти после УЗ обработки в течение 3 мин. Во избежание влияния теплового воздействия УЗ-обрабатываемая проба находилась в водяной бане.

Эксперименты показали, что непосредственно после УЗ-обработки наблюдалось заметное уменьшение вязкости нефти (рис. 1), однако в течение 48 часов происходила релаксация, в результате которой вязкость вновь приближалась к своему исходному значению. Снижение вязкости объясняется разрушением циклических структур в обрабатываемой нефти под действием ультразвуковых колебаний. Такое уменьшение вязкости нефти, безусловно, оказывает влияние на процессы, происходящие в призабойной зоне скважины после УЗ-обработки (УЗО).

Явления, способствующие ПНП

Частично явления, происходящие в пласте в процессе УЗО, могут быть описаны с помощью теории, которая показывает, что влияние акустического воздействия на фильтрационные характеристики коллекторов может быть связано с различием инерционных свойств твердой фазы и флюида-поро-зополнителя.

В данной теории рассматривается так называемая среда био, которая является сплошной насыщенной флюидом проницаемой пористой двухфазной средой, состоящей из упругого скелета и жидкости, которая занимает связанные и взаимопроницающие области. Основой упомянутой выше теории является положение о двух продольных волнах, возникающих в насыщенной пористой среде при УЗ-воздействии.

При УЗО происходит заметный нагрев нефти, вызванный диссипацией акустической энергии. К тому же эффективность работы скважинных магнитоотриксционных излучателей не превышает 50%, что при малых дебитах, характерных для обрабатываемых скважин, приводит к значительному разогреву корпуса прибора. Важным эффектом, имеющим место при УЗ-воздействии, является увеличение теплопроводности пород. Поскольку теплопроводность в акустическом поле увеличивается, тепло более интенсивно передается в пласт.

Акустическая дегазация — еще один из эффектов, вызванных акустическим полем. Дегазация жидкости, находящейся при давлении, превышающем давление насыщения, связана главным образом с наличием в ней газовых пузырьков — зародышей. Пульсации стенок пузырьков могут привести к их росту в результате так называемой выпрямленной диффузии. Пузырьки, достигшие определенного максимального размера, схлопываются, что приводит к возникновению ударных волн. Это вызывает появление течений жидкости, способствующих перемешиванию и очистке пор, подвергшихся кольтматации. Дело в том, что в процессе работы излучателя разогревается скважинный флюид, и это ведет к росту давления его насыщения и резкому снижению порога выпрямленной диффузии. В результате может начаться дегазация скважинного флюида и, как следствие, постепенное снижение его плотности по стволу скважины. Возникающая при этом дополнительная депрессия на пласт может вызвать увеличение дебита.

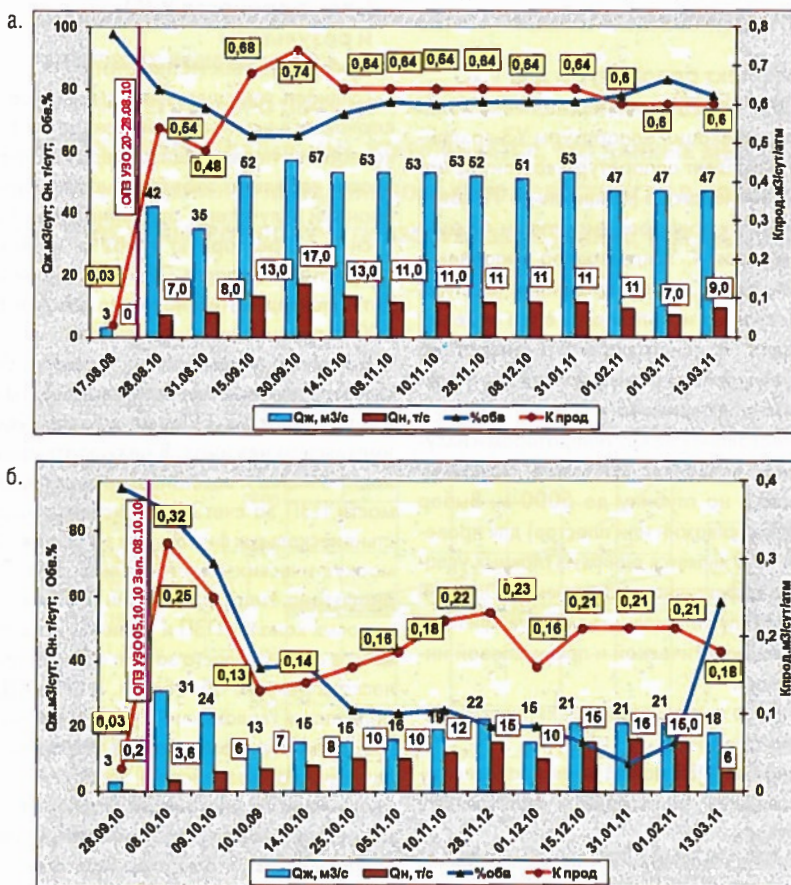
Расчет и моделирование распределения параметров в ПЗП
Эффективную глубину проникновения УЗ-колебаний в пласт проверили на моделях. На рис. 2 представлены результаты расчетов распределения плотности акустической энергии в окрестности скважины. По-



РИС. 4. СКВАЖИНЫЕ ПРИБОРЫ ДИАМЕТРОМ 42 И 102 ММ

становка задачи соответствует точечному ультразвуковому источнику мощностью 1 кВт на частоте 20 кГц, расположенному на оси флюидонаполненной скважины радиусом 8 см. Исследования, проведенные в барокамере, моделирующей конструкцию скважины, качественно подтвердили результаты расчетов. Фотография использованной нами экспериментальной установки приведена на рис. 3. Интенсивное УЗ-поле наблюдалось по всему объему барокамеры.

РИС. 5. ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ СКВАЖИН ДО И ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЗО



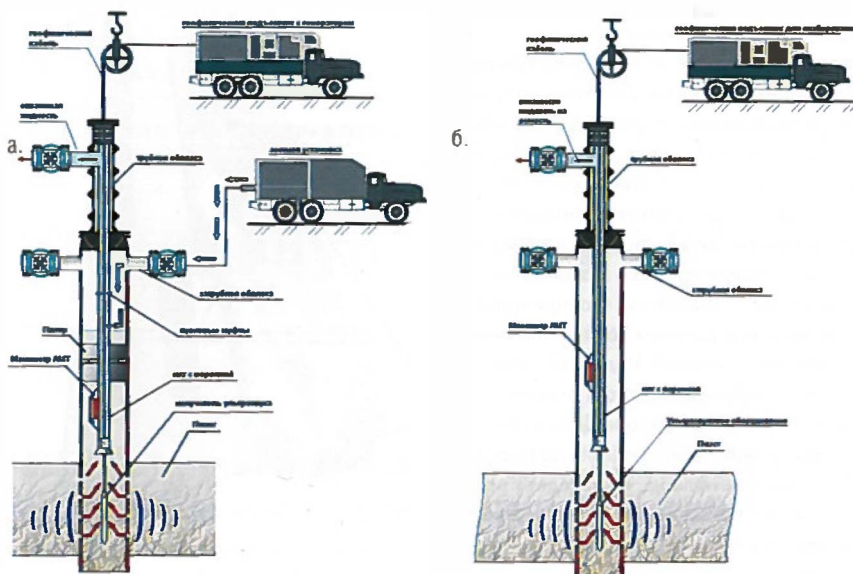


РИС. 6. КОМПЛЕКСНЫЕ СХЕМЫ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ПЛАСТА СКВАЖИН

Таким образом, на частоте акустического воздействия 20 кГц размер области эффективного выделения акустической энергии оценивается радиусом порядка 1 м. Объем среды, где выделяется акустическая энергия, оценивается величиной 10 м³. Характерная объемная плотность энергии, выделяемая в пласте при эффективном акустическом воздействии, определяется вязкостью нефти, пористостью и проницаемостью пласта и может быть оценена для типичных случаев величиной порядка 105 Дж/м³ за час УЗО при мощности источника 1 кВт.

Комплект аппаратуры для УЗО

ООО «ВИАТЕХ» разработало и создало ряд модификаций аппаратуры УЗ-воздействия. Комплект аппаратуры состоит из наземного генератора (мощность до 10 кВт) и скважинных приборов диаметром 42 мм и 102 мм, рис. 4. УЗ-генератор выполнен в вибро-, пыле-, влагозащищенном корпусе, что позволяет использовать его в полевых условиях. В конструкции УЗ-генератора предусмотрены системы удаленного управления и наблюдения.

Согласование между генератором и излучателем позволяет доставить максимум мощности на глубину до 5000 м. Выбор объектов (скважин или пластов) для проведения УЗО является одним из главных условий его эффективного применения. Основой для этого служит анализ геолого-геофизической, технологической и промышленной информации:

- данные о конструкции и техническом состоянии скважины;
- данные по ФЕС пород в зоне расположения скважины, ее историю и способы эксплуатации;
- данные о заводнении в зоне расположения скважины, темпах, степени и интервалах об-

воднения, газопроявлении, пластовом давлении и т. п.;

• данные по видам и результатам мероприятий по интенсификации и изоляции притоков.

К настоящему моменту разработанная ООО «ВИАТЕХ» аппаратура прошла опытно-промышленные испытания в различных геологических условиях, накоплен практический опыт, который позволяет использовать эту технологию для повышения продуктивности скважин.

Схема процесса УЗО и результаты промысловых испытаний

Сущность технологического процесса заключается в использовании генератора УЗ-колебаний, передающихся через геофизический кабель на забойный магнестрикционный излучатель, спущенный через насосно-компрессорную трубу в интервал продуктивного пласта. Обработка производится последовательно через каждые 80-100 см перемещением излучателя.

В зоне продуктивного пласта генерируются ультразвуковые волны с частотой 3-10 кГц с интенсивностью 1 кВт/м², в постоянном и импульсном режимах. В результате происходит очистка и восстановление проницаемости ПЗП за счет комплексного воздействия нескольких физических эффектов: термоакустических полей в ультразвуковом диапазоне, гидрофобизации поверхности поровых каналов ПЗП и усиления всех процессов очистки пласта за счет гидродинамического режима обработки. В целом ПЗП облучается тепловым и акустическим полями, таким образом осуществляется термоакустическое воздействие. Эффект очистки увеличивается многократно при создании депрессии перед ультразвуковым воздействием на пласт, что подтверждается промысловыми испытаниями.

С начала испытаний в августе 2010 года и по март 2011 года на предприятиях ТНК-BP на Самотлорском и Хохряковском месторождениях проведены ОПЗ УЗ-воздействием в комплексе с разными методами освоения на 12 скважинах. Средний прирост дебита по скважинам с эффектом составил 6,5 т/сут. Успешность применения технологии достигает 90%. Продолжительность эффекта — более пяти месяцев, по большинству скважин эффект продолжается. Примеры результатов комплексной УЗО скважин 5668, 6085 Самотлорского месторождения приведены на рис. 5.

Наибольший эффект получен при УЗО в условиях депрессии на пласт. В процессе испытаний практически определены оптимальные схемы комплексного воздействия на пласт, в зависимости от геологических данных скважины. Примеры использованных схем при ОПЗ представлены на рис. 6.

Полученные в реальных условиях результаты доказали высокую эффективность проведенных работ и подтвердили перспективность метода. В настоящее время продолжают работы по совершенствованию технологии с применением различных методов освоения и комплексных обработок с использованием химических реагентов.

Было показано, что УЗ-методы позволяют добиться повышения нефтеотдачи пласта, обеспечить решение задачи увеличения равномерности выработки залежи, дополнительного извлечения нефти из интервалов с пониженными фильтрационными свойствами, а также из зон защемления. УЗ-воздействие должно найти применение при добыче на месторождениях тяжелой и высоковязкой нефти, эксплуатация которых нерентабельна с применением обычных технологий.

УЗ-методы интенсификации добычи нефти обладают рядом неоспоримых преимуществ, к которым можно отнести:

- малое время, требующееся на обработку, не превышающее 1 час на метр продуктивного пласта;
 - применение мобильной малогабаритной аппаратуры;
 - низкие затраты на обработку;
 - сохранение целостности эксплуатационной колонны и цементного кольца за ней;
 - технически, физиологически и экологически безопасный процесс воздействия;
 - успешность обработки достигает 90% и более;
 - неограниченная кратность применения.
- Немаловажным отличием УЗО от многих других методов воздействия является их абсолютная экологическая безопасность.

Контактная информация:

ООО «ВИАТЕХ»,
т/ф: (495) 955-48-38, novita@mail.ru