



ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЫЗВАННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРА НАСЫЩЕННОСТИ КОЛЛЕКТОРА

В процессе разработки пласта-коллектора может измениться характер его насыщенности (произойдет замена нефти водой), что приведет к снижению эффективности добычи нефти. Оценку типа насыщающей коллектор жидкости в обсаженной скважине обычно проводят с помощью методов акустического или нейтронного каротажа (Ивакин, Карус, Кузнецов, 1978; Дахнов, 1975). Эти методы сложны, трудоемки и требуют специального дорогостоящего оборудования. Использование шумометрии, в частности измерение шумоакустических параметров, удешевляет определение нефтенасыщенных пластов (Кирпиченко, 1998). В этом способе автор делает вывод о нефтенасыщенности по относительному снижению скорости спада шумов в сравнении с водонасыщенным пластом, после повышения и снятия импульса давления.

Принцип шумометрии (Троянов, Дьяконов, 1999) служит для определения характера текущей насыщенности коллектора в обсаженной скважине. Измерения естественного акустического фона в скважине, называемого авторами геоакустическими шумами – ГАШ, проведены в интервале частот 0 – 2,5 кГц. Для оценки характера насыщенности коллектора используются сигналы низкочастотной (0,1 – 0,5 кГц) и высокочастотной (0,5 – 2,5 кГц) частей спектра этих шумов, а также расчетные параметры, производные от измеренных. Нефтенасыщенность определяется путем сопоставления шумов в высокочастотной и в низкочастотной части спектра. Высокий уровень амплитуд в области 0,5 - 2,5 кГц авторы статьи связывают с наличием в коллекторе нефти или газа, а минимальный - с наличием водоносного коллектора. Использование этого способа, как отмечают сами авторы, требует набора статистических данных, необходимых для интерпретации результатов измерений САЭ с учетом особенностей геологического строения, состава и свойств коллектора. Такой подход к оценке насыщенности в целом правильно отражает тенденцию распределения спектральной плотности энергии естественного фона, но не является адекватным.

Как показали исследования сигналов естественного фона в диапазоне частот от 10 Гц до 22 кГц с разрешающей способностью по частоте 1,3 Гц (Дрягин, 2001), водонасыщенные пласты могут иметь значительную составляющую плотности энергии в высокочастотной области спектра, соизмеримую с низкочастотной областью и носить непрерывный или дискретный характер. Очевидно, что характер распределения энергии спектра фонового сигнала зависит от множества факторов, в том числе и промышленного происхождения.

Относительно определения терминов исследуемого сигнала. В работах О.Б. Хаврошкина, В.В.Цыплакова и др. (2000) предложена концепция сейсмической акустической эмиссии (САЭ), которая является высокочастотным шумовым откликом трещиноватой среды на деформацию. При всем этом диапазон такого отклика распространяется от сейсмических частот (15-300 Гц), до высокочастотной акустической эмиссии (более 1000 Гц). Авторы показали, что аномальные вариации САЭ, кроме причин тектонического происхождения, могут быть связаны с процессами изменения флюидо-динамических условий.

Аналогичное определение термина сейсмической и акустической эмиссии дают и другие авторы (Симонов, Опарин и др. 1999; 2000) причем, регистрацию и анализ сигналов САЭ они связывают с искусственным механическим воздействием на массив горных пород, с целью достижения, например, такого технологического результата как повышение нефтеотдачи пласта. Авторы отмечают, что при механическом возбуждении низкочастотных колебаний 8-15 Гц в среде происходит вторичное излучение колебаний (акустоэмиссия) в диапазоне частот 10-20 кГц. Это может быть использовано для исследования флюидонасыщенных кластеров и оптимизации разработки месторождения.

В патенте Бутенко Г.А., Михайлова В.А. и др. (1998) описан метод регистрации естественной и вызванной сейсмоакустической эмиссии при возбуждении сейсмических колебаний для целей разведки нефтегазовых месторождений. В этой работе, как и в работах других авторов, используется информация о динамике вызванной сейсмоакустической эмиссии для анализа наличия углеводородов в подземной формации.

Таким образом, регистрация сигнала САЭ в скважине или на поверхности земли в широком диапазоне частот в силу своей специфики, а именно, измерения смещения или его производных - скорости и ускорения, позволяет получить информацию о связях свойств насыщенных пористых сред с динамикой этих сигналов под действием внешних возмущений. Представляется особенно актуальным проследить эту связь с характером насыщенности порового пространства в непосредственной близости расположения источника возмущений и приемника сигнала.

Удобным инструментом для осуществления этой задачи послужил метод и аппаратура акустического воздействия (Митрофанов, Дзюбенко, Нечаева, Дрягин, 1998; Дрягин, 2001), предназначенный для восстановления производительности эксплуатационных скважин. Первичным результатом метода является восстановление проницаемости насыщенного порового пространства, причем как в ближней зоне, так и в удаленной зоне пласта. По результатам гидродинамических исследований, после акустического воздействия по всей толще работающих пропластков происходит увеличение проницаемости призабойной зоны на 80-130%, а удаленной зоны на 40-160%. По этим данным можно судить о глубине акустического воздействия.

Объединение двух функций: силового акустического воздействия (АВ) и регистрации сигналов САЭ в одном приборе позволило получить информацию об изменении этого сигнала по разрезу скважины в продуктивном пласте и за его границами, как непосредственно до и после акустического воздействия, так и в процессе мониторинга САЭ во времени.

Обнаружено, что после акустического воздействия на околоскважинное пространство происходит изменение САЭ. Тот факт что, наибольший вклад в изменения САЭ вносят именно свойства жидкости, которая находится в данный момент в поровом пространстве пласта коллектора, подтверждается другими методами геофизических исследований скважин. Геофизические исследования проводились в комплексе работ по контролю за разработкой месторождения по методике: приток-состав. Установлено, что в коллекторе, насыщенном нефтью или газом, после акустического воздействия наблюдалось увеличение сигнала САЭ по сравнению с исходным значением, а в коллекторе, насыщенном водой, наблюдалось его снижение.

Известно, что акустическое воздействие на насыщенный коллектор приводит к изменению ряда свойств и состояния флюида: разгазированию нефти, увеличению подвижности флюида, уменьшению вязкости и др. (Кузнецов, 1991), то очевидно, что эти изменения коррелируют с изменениями величины полной энергии спектра САЭ и однозначно связаны с характером насыщенности коллектора (вода или нефть). Обнаружено, что при отсутствии коллектора в исследуемом интервале не происходит заметных изменений

энергетического спектра САЭ после силового акустического воздействия.

Методика исследования текущей насыщенности коллекторов, проводимая по принципу: Каротаж - Воздействие - Каротаж заключается в регистрации, анализе изменений сигналов САЭ и установлении связи этих изменений с характером флюида, насыщающего в данный момент околоскважинное пространство продуктивного пласта. Для этого на заданной глубине скважины производится измерение сигнала САЭ, его частотный анализ в звуковом и ультразвуковом диапазоне программно-аппаратным комплексом акустического воздействия ААВ-400. Измеряют и записывают сигнал САЭ в течение, например, 10-15 сек. Это время необходимо и достаточно для приема, обработки сигнала САЭ и регистрации его в виде волновой картины и вычисления его спектра. После этого, с помощью излучателей, размещенных в приборе, осуществляют в той же точке скважины силовое акустическое воздействие на околоскважинное пространство, приводящее к нелинейным процессам изменения свойств и состояния насыщенной пористой среды. Известно, что к таким процессам приводит акустическое воздействие удельной мощностью 1 Вт/см^2 и более на частотах 5-20 кГц (Кузнецов, Ефимова, 1983). Непосредственно после окончания акустического воздействия повторно измеряют и записывают сигнал САЭ. Вычисляют полную энергию сигнала после воздействия и до него, а также их разность.

Возможности реализации этого метода с целью восстановления проницаемости прискважинного пространства показаны на примере работ по акустическому воздействию в скважинах Быстринского месторождения. Объектом исследований были два участка пласта АС₇ этого месторождения, отстоящие друг от друга примерно на 10 км. В обеих скважинах проводились работы по исследованию продуктивности стандартным комплексом ГИС при плановом подземном ремонте.

До начала акустического воздействия в скважинах была сделана запись фоновых сигналов сейсмоакустической эмиссии по разрезу скважины, охватывающего зону перфорации и прилегающие к нему интервалы кровли и подошвы. Одновременно с регистрацией сигналов САЭ производилась их обработка при помощи программы быстрого преобразования Фурье (БПФ) и наблюдение волновой картины сигналов, их спектров в диапазоне частот от 10 Гц до 22048 Гц в реальном времени с различной степенью усреднения. Запись и обработка сигналов производилась для каждой точки выбранного разреза, которые использовались затем для построения каротажной спектрограммы и каротажных кривых интегралов полной энергии спектра сигналов САЭ в заданных частотных диапазонах.

Процесс акустического воздействия (АВ) состоял из пробных циклов кратковременного воздействия и последующей немедленной регистрации сигналов САЭ для каждой точки выбранного интервала в скважине, с последующим анализом динамики величины этих сигналов.

Например, для скважины № 1, которая методами ГИС была определена как дающая приток воды из исследуемого интервала, получены сигналы САЭ до и после акустического воздействия, спектры которых приведены на рис. 1. Сигналы записаны на глубине 2049,5 м, что составляет примерно середину пласта и обработаны при помощи БПФ с полным усреднением спектров за все время регистрации, которое составляло 10 секунд.

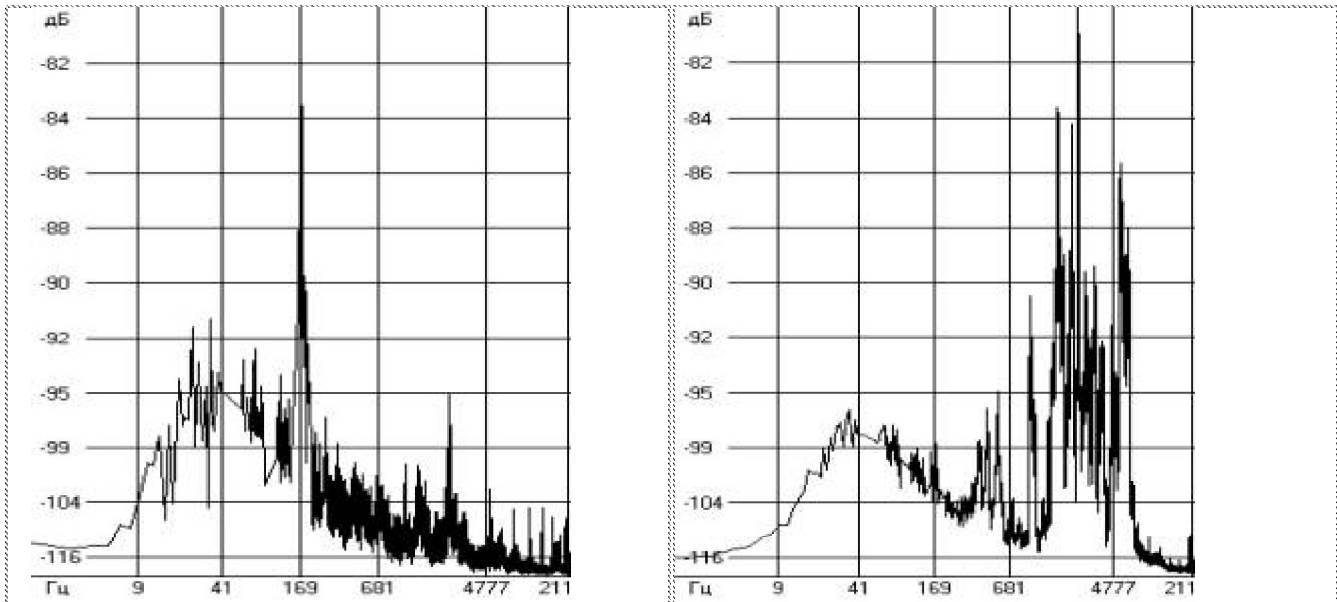


Рис.1 Спектры сигналов САЭ до и после АВ в скважине с водонасыщенным коллектором

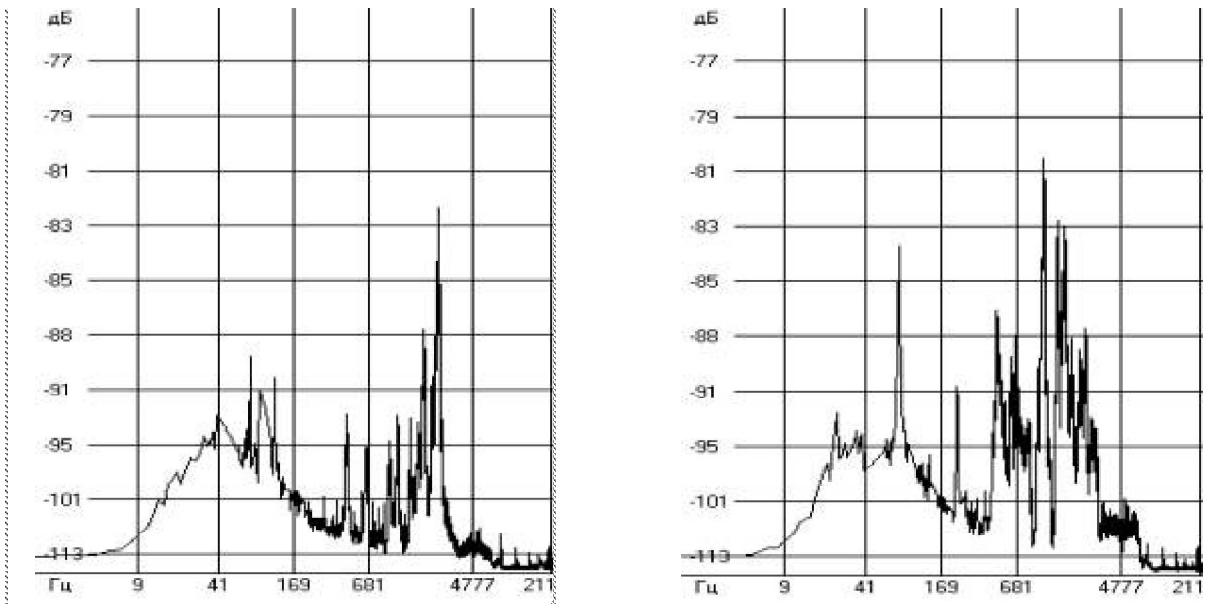


Рис 2. Спектры сигналов САЭ до и после АВ в скважине с нефтенасыщенным коллектором.

Аналогичные исследования проводились на скважине № 2 (рис.2) того же месторождения, на которой накануне были выполнены работы по геофизическому контролю ее производительности. Увеличение сигнала САЭ после АВ происходит во всем интервале продуктивного пласта, причем вклад в полную энергию сигнала и в его изменение, как и на предыдущей скважине, вносят, главным образом, высокочастотные составляющие спектра.

Исходные спектры сигналов САЭ, измеренные в этих двух скважинах одного и того же пласта, похожи друг на друга и отражают его характерные особенности. В тоже время динамика сигналов после акустического воздействия имеет противоположное направление, причем величина этого изменения составляет существенное значение. Для скважины № 1 с водонасыщенным коллектором разница в изменении полного интеграла энергии САЭ для указанной глубины составляет в сторону уменьшения в 4,4 раза относительно фонового значения, а в скважине № 2 с нефтенасыщенным коллектором эти изменения происходят в сторону увеличения энергии САЭ в 1,96 раза, для указанной глубины.

В связи с тем, что такой эффект наблюдался во всех без исключения скважинах, где проводились данные исследования и где можно было однозначно подтвердить характер насыщенности, можно сделать вывод о применимости данного способа для оценки характера насыщенности коллектора. В качестве критерия оценки характера насыщенности коллектора, предлагается использовать разность между значениями полной энергии сигнала САЭ после акустического воздействия на околоскважинное пространство и до воздействия.

Литература

1. Бутенко Г.А., Михайлов В.А., Тикшаев В.В. Патент РФ № 2105324 .Способ сейсмической разведки при поисках нефтегазовых месторождений МПК: G01V1/00 1998.
2. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтенасыщения горных пород. М.: Недра, 1975.
3. Дрягин В.В. Положительное решение о выдаче патента РФ по заявке на изобретение №2001104590 от 21.02.2000г. Способ определения характера насыщенности коллектора.
4. Дрягин В.В. Научно-техническая продукция ЗАО "Интенсоник & К// НТВ "Каротажник" .2001. № 85 .
5. Ивакин Б.Н., Карус Е.В., Кузнецов О.Л. Акустический метод исследования скважин. М.: Недра, 1978.
6. Кирпиченко Б.И. Заявка РФ на изобретение № 96109452, МПК Е 21 В 47/00, 1998 . Способ выделения нефтенасыщенных пластов.
7. Кузнецов О.Л. Нелинейная геофизика // Вопросы нелинейной геофизики. Сб. науч. трудов. М.: ВНИИЯГГ. 1981.
8. Кузнецов О.Л., Ефимова С.А. Применение ультразвука в нефтяной промышленности. М.: Недра. 1983.
9. Курленя М.В., Опарин В.Н., Акинин А.А., Юшкин В.Ф., Симонов Б.Ф., Балмашнова Е.Г. О некоторых особенностях эволюции гармонических акустических сигналов при нагружении блочных сред с цилиндрической полостью//Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1999. Новосибирск. №6.
10. Митрофанов В.П. Дзюбенко А.И. Нечаева Н.Ю. Дрягин В.В. Результаты промысловых испытаний акустического воздействия на призабойную зону пласта// Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1998. №10.
11. Симонов Б.Ф., Опарин В.Н., Канискин Н.А., Чередников Е.Н., Кадышев А.И., Масленников В.В. Вибросейсмическое воздействие на нефтяные пласты с земной поверхности// Нефтяное хозяйство. 2000. № 5.
12. Троянов А.К. Дьяконов Б.П. Новый метод оценки характера насыщенности не вскрытых перфорацией коллекторов // НТВ"Каротажник", 1999. № 60.
13. Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В., Видмонт Н.А. Проблема предсказания землетрясений: результаты, обсуждение, предложения. Вестник ОПГГН РАН, №2(12) 2000 т.1.