

О. Л. Кузнецов

Государственный Университет Дубна

В.В. Дрягин

Институт геофизики УрО РАН, НПФ Интенсоник

КАРОТАЖ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ВОЛНОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Рассмотрены принципы, элементы физических основ и технологических решений, положенных в основу нового метода геофизических исследований скважин для изучения нефтегазоносных месторождений углеводородного сырья. Представлены результаты петрофизических исследований процессов возникновения и эволюции акустической эмиссии (АЭ) на кернах, а также *in situ* в условиях глубоких скважин. Показано, что спектры колебаний АЭ имеют специфические образы для каждого типа породы. Разработанный метод каротажа является надежным и оперативным источником информации о фильтрационно-емкостных свойствах и характера флюида, насыщающего горные породы, а также применим для стимулирования добычи углеводородов.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, акустическое воздействие, каротаж-воздействие-каротаж.

Рассмотрим истоки и современное понимание роли каротажа АЭ в связи с обоснованием идеи Российских геофизиков 60^{-х} годов о целесообразности использования трехшаговой последовательности измерений свойств горных пород: картаж-воздействие физическим полем на изучаемую среду-повторный картаж (КВК). Этот новый подход к проведению геофизических измерений был предложен в Институте геологии и разработки горючих ископаемых (ИГиРГИ АН СССР и Миннефтепрома СССР) [17], а затем развит во Всесоюзном научно-исследовательском институте ядерной геофизики и геохимии (ВНИИЯГГ) [15].

Идея КВК на начальном этапе была использована для определения положения водонефтяного контакта в обсаженных скважинах с помощью повторного широкополосного акустического каротажа (АКШ) до и после воздействия на пласты-коллекторы тепловым полем [17], например с помощью трубчатого электронагревателя. В основе этой технологии легли результаты предварительных лабораторных ультразвуковых исследований флюидонасыщенных кернов на установках в пластовых условиях (PVT) показавших противоположный ход изменений скоростей Р-волн в водо- и нефтенасыщенных средах при изменении температуры среды. Затем идея КВК была распространена на другие виды каротажа и на другие виды воздействия и здесь одним из важных видов воздействия выступило акустическое воздействие на среду [9]. Наиболее важный результат всех физических процессов, происходящих в насыщенной пористой среде под

действием акустического поля высокой интенсивности, является увеличение ее проницаемости, причем как в призабойной зоне, так и в удаленной зоне пласта. В зависимости от исходных фильтрационно-емкостных свойств такое увеличение может составлять от 30 до 160% относительно первоначальных [11,12,18]. С точки зрения технологии геофизических исследований по методу КВК акустическое воздействие имеет существенное преимущество перед другими способами воздействия в скважине, которое заключается в высокой удельной мощности, порядка $5-8\text{Вт/см}^2$ и узкой направленности излучения акустического поля, при диаметре скважинного прибора 43мм. Такое излучение обеспечивает необходимую избирательность по разрезу скважины с целью повышения точности привязки разреза к результатам метода КВК, а также исключения нежелательного притока, например из водонасыщенных интервалов или зон заколонной циркуляции. Выполнение работ производится при помощи программно-аппаратного комплекса (ПАК) МСАЭ 100.43, Рис 1. В состав комплекса входит: наземная геофизическая станция МСАЭ-100, скважинный геофизический модуль КСА-Т, скважинный модуль акустического излучателя КСА-АИ, а также программа управления, регистрации и анализа данных Интенграф 2.0.

Акустический излучатель стержневого типа выполнен из магнитострикционного материала с волноводами-концентраторами, которые обеспечивают герметичный ввод упругой энергии в скважину и оптимальное согласование акустической нагрузки системы скважина-пласт с излучателем и генератором. Рабочая частота излучателя выбрана таким образом, чтобы

реактивное сопротивление его акустического импеданса стремилось к нулю с увеличением частоты, а активная составляющая – к своему максимальному значению. Оптимальным рабочим диапазоном для волнового воздействия в скважине является диапазон в пределах 18-22кГц, при этом излучатель состоит из двух одинаковых стержневых излучателей, которые своими излучающими поверхностями направлены друг на друга и имеют каждый собственную частоту возбуждения, и могут быть равными или отличаться. Таким образом, в скважинном пространстве происходит взаимодействие упругих волн давления от каждого излучателя и формирование акустического поля в прискважинном пространстве геологической среды. При таком расположении излучателей формируется диаграмма направленности излучения (рис 1а), которая представляет собой тело вращения относительно оси прибора с лепестками главных направлений излучения под определенным углом к продольной оси прибора. Наложение диаграмм направленности двух излучателей позволяет менять угол наклона главного лепестка в зависимости от расстояния между излучающими поверхностями волноводов. Угол падения акустической волны в направлении главного лепестка не должен превышать значение критического угла, при котором сводится к минимуму внутренне отражение от стенки скважины. Критический угол определяется отношением скорости волны в жидкости к скорости продольной и поперечной волны в массиве горной породы.

Рабочая частота каждого излучателя регулируется в пределах своей амплитудно-частотной характеристики без снижения излучаемой мощности

ниже половины от резонансной. Изменение рабочих частот излучателей производится методом модуляции частоты с заданной скоростью или частотой модуляции. Введение функции модуляции частоты излучателей создает условия возбуждения поля биений в горном массиве на разностной частоте их работы.

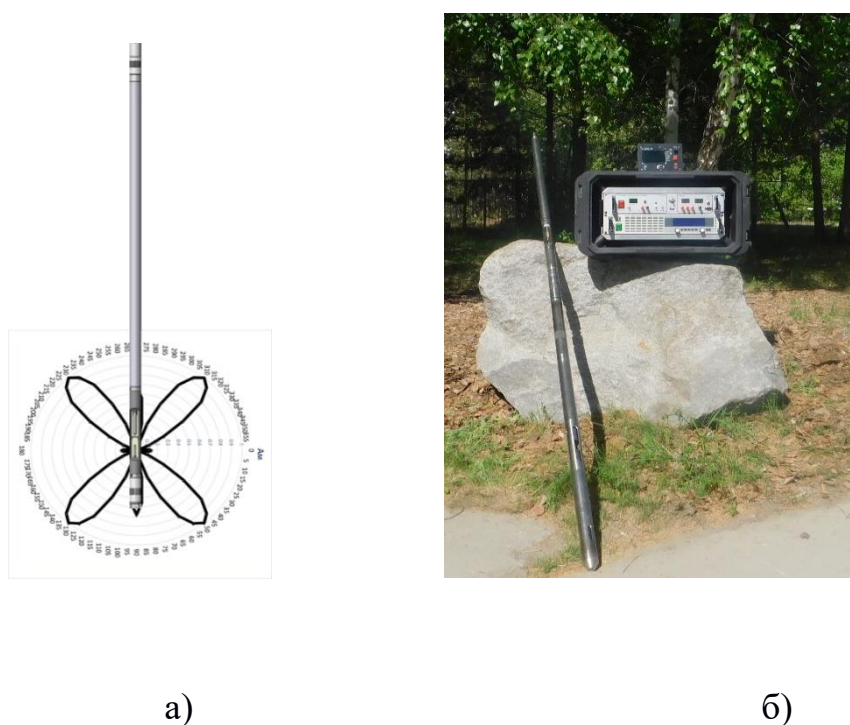


Рис 1. Программно-аппаратный комплекс МСАЭ 100.43, а) схема скважинного прибора с диаграммой направленности акустического излучателя, б) геофизическая станция с прибором.

Поскольку любой процесс движения жидкости в поровом пространстве сопровождается микросейсмическими колебаниями или шумом, то стимулирование этого движения наилучшим способом, можно добиться путем возбуждения акустического поля на его собственных резонансных частотах. Но так как эти частоты зависят от множества геологических факторов и

изменяются в процессе эксплуатации нефтяной залежи, то целесообразно проводить акустическое волновое воздействие в широком диапазоне изменений его параметров. При этом эффективность воздействия повышается путем введения обратной связи [2,6,16,19] в процесс управления по сигналу вызванной акустической эмиссии, путем коррекции его режимов: частоты, мощности и продолжительности.

Область продуктивного пласта, подвергнутого облучению таким силовым акустическим полем становится очагом вызванной акустической эмиссии, которая представляет собой процесс излучения упругих волн в результате обратимых или частично обратимых изменений в структуре насыщенных пористых твердых тел.

При этом акустическая эмиссия проявляется как фундаментальное свойство горных пород *in situ* [1,4,8,10,15], которая обладает способностью постоянно действующего излучения. Одна из основных отличительных особенностей АЭ, это отражение релаксаций напряжений и высокая чувствительность к внешним воздействиям, а также широкомасштабность и широкая полоса излучения ее параметров.

Основные параметры продуктивного пласта, оказывающие влияние на вызванную АЭ:

- Высокая чувствительность к изменению порового давления и температуропроводности пласта, [1,7-10,13,15,17],

- Фильтрационные свойства пласта, как диагностический признак увеличения нефтеотдачи при искусственном воздействии на него [7,11,12,18],
- Возникновение очагов излучения упругой энергии по сравнению с естественным фоновым уровнем микросейсмической эмиссии в зависимости от характера его насыщенности [3,4,5,8].

Рассмотрим кратко эти связи. Исследование соотношений порового давления и АЭ проводили на опыте с кернами пористого, слабо заглинизированного песчаника пласта БС10₍₂₋₃₎ Тевлинско – Русскинского месторождения. Образец №1- пористость $K_{по}=(20,5-21,4)\%$, проницаемость $K_{пр}=(89,31-89,99)*10^{-3}$ мм², образец №2- $K_{по}=(16,6-16,8)\%$, $K_{пр}=(8,02-10,47)*10^{-3}$ мм². Схема установки приведена на рис 2 [7].

Исследования волновых эмиссионных процессов в кернах производились в условиях максимально приближенных к пластовым давлениям. Процесс сжатия образца до давлений близких к пластовым условиям состоял из двух составляющих: первое – осевое сжатие (P1) с целью создания напряженного состояния, соответствующего горному давлению, второе – гидростатическое обжатие керна с целью создания пластового давления (P2) жидкости. КERN был предварительно насыщен водой в соответствии с отраслевыми стандартами исследования кернов. Во время подъема давления непрерывно происходила запись всех параметров давления жидкости и сигналов акустической эмиссии.

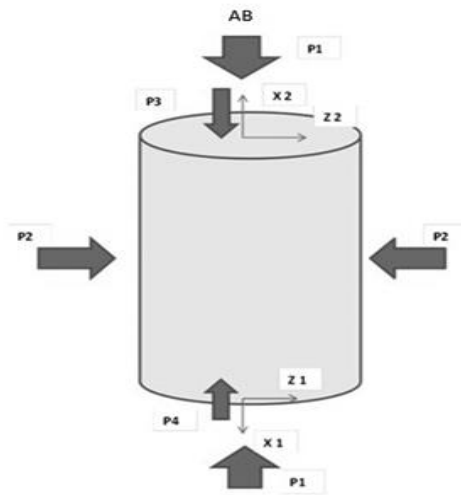


Рис 2. Исследование АЭ на лабораторной установке УИК-АЭ.

Обозначение: P1 – осевое давление сжатия, P2 - давление обжатия керна, P4 – давление флюида на входе керна, P3 – давление флюида на выходе керна, X1 и Z1 датчики ускорения продольных и поперечных колебаний на входе керна, X2 и Z2 датчики на выходе керна. Вход и выход керна — это условное обозначение относительно подачи насыщающего флюида.

Опыты проводились при предварительном нагружении керна осевым давлением P1 в пределах (10–21)МПа и давлением обжатия P2 (33–35)Мпа. Фильтрация осуществлялась при помощи подачи жидкости на вход керна плунжерным насосом P4, в результате чего возникал перепад давления по керну $\Delta p = P4 - P3$, который устанавливался в соответствии с величиной его проницаемости, рис.3.

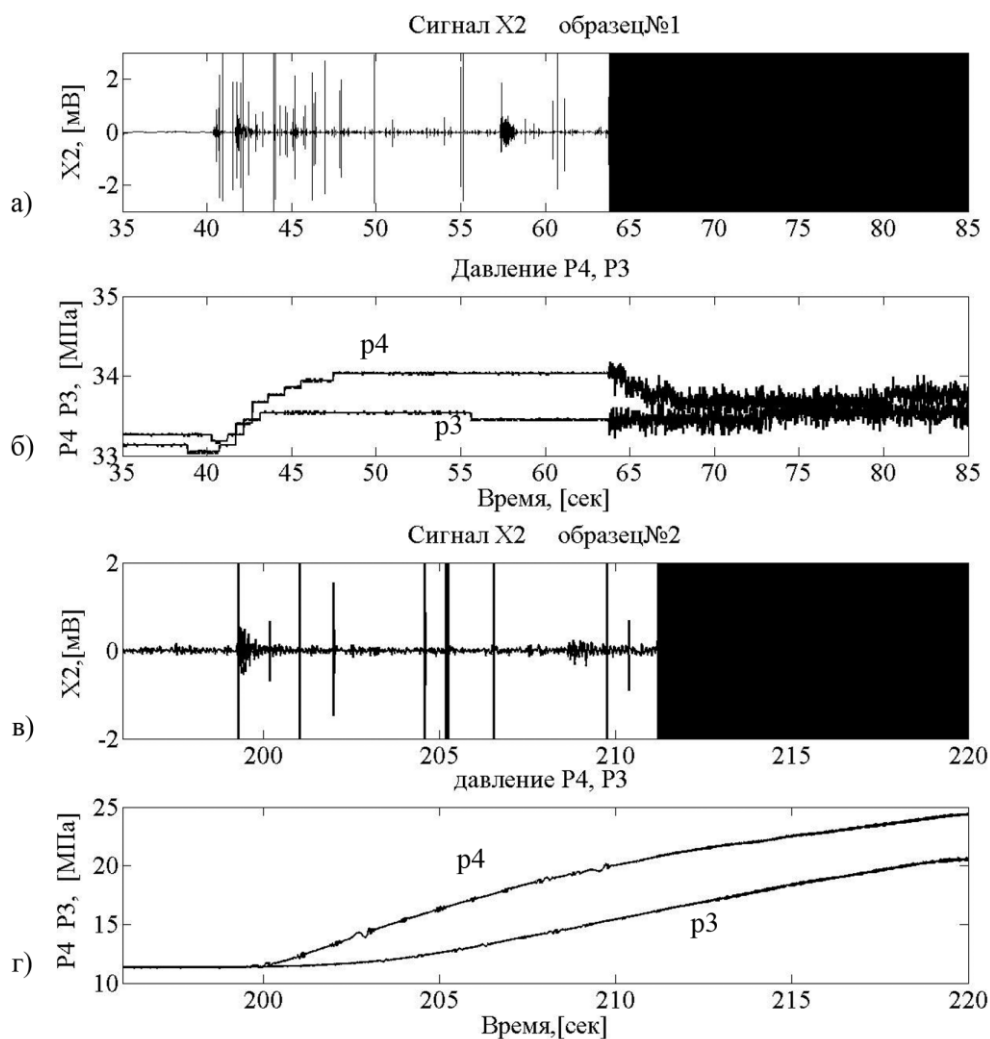


Рис 3. Движение флюида в кернах с различной проницаемостью и влияние акустического воздействия на процесс фильтрации.

Для керна с большой проницаемостью №1, рост давлений происходил быстрее и достигал предела за 4-5 секунд, в то время как для второго образца, с малой проницаемостью №2, рост давления не завершился за 20 секунд наблюдения, при одинаковых условиях подачи флюида на вход керна при помощи насоса (рис.3б), (рис.3г). На протяжении всего времени подачи флюида производилась запись сигналов акустической эмиссии при помощи датчика X2 на выходе керна, (рис.3, а), (рис.3в). Зачерненная область на этих графиках

после 63 секунды, рис.3а) и после 211 секунды на рис.3в), соответствуют моменту включения акустического излучателя (АВ) установленного на выходе керна, рис.2).

Опыты показали, что во время акустического воздействия на керн, поровое давление в нем изменялось в соответствии с трендом постоянной составляющей, при этом имел место еще и колебательный характер его движения, что и было зарегистрировано датчиками давления на входе и выходе керна, Рис3. При этом вариации давления зависели от проницаемости керна. Тренд их постоянных составляющих отражал изменения интегральных фильтрационных свойств всего керна, которые можно оценить при помощи расчета проницаемости относительно начальной, до акустического воздействия в соответствии с законом Дарси. Однако, необходимо рассмотреть процессы колебательного характера эмиссии и давления и оценить величину их энергии для разработки модели физического процесса в поровом пространстве под влиянием внешнего акустического поля.

На Рис 4 показаны характеристики плотности энергии акустической эмиссии и переменного давления в кернах с разной проницаемостью, вычисленные по формулам:

$$W_{аэ} = \frac{1}{2} \rho_0 (A_m/2\pi f_0)^2 \quad [\text{Дж/м}^3] \quad (1)$$

$$W_p = \frac{1}{2} P_m^2 / (\rho_0 C_0^2) \quad [\text{Дж/м}^3] \quad (2)$$

где, A_m - амплитуда ускорения, измеренная датчиком X2, $[\text{м/с}^2]$, ρ_0 - плотность материала керна, $[\text{кг/м}^3]$, C_0 - скорость звука в материале керна, $[\text{м/с}]$, P_m - амплитуда переменной составляющей давления в керне, $[\text{Па}]$, f_0 -

доминирующая частота для соответствующей эмпирической моды ускорения и давления полученная в результате анализа методом Гильберта – Хуанга, [Гц].

Плотность энергии Рис 4 определена для трех характерных интервалов воздействия на керн: первый – фоновый интервал времени до начала подъема давления P4, энергия $W_{aэ}$ (фон), второй – энергия в процессе роста давления $W_{aэ}$ (при росте давления) и третьей - на интервале акустического воздействия на керн, W_p (давление при АВ). При этом, до АВ энергия определялась по сигналу ускорения, а в процессе АВ – по переменной, составляющей давления P4, формулы (1, 2). Фоновое значение энергии определялось на интервале за несколько секунд до начала роста давления. Вторым интервалом времени для первого образца керна — это время от 39 до 46 секунды, для второго образца – от 196 до 211 секунды. Для этого образца процесс достижения предельного давления насыщения не закончился и продолжался до окончания опыта на 250 секунде, даже при включении акустического воздействия.

Фоновое значение плотности энергии для обоих образцов имеют практически одинаковые величины на всем частотном диапазоне. Во время роста давления P4 возникает акустическая эмиссия в керне, наибольшие изменения которой происходят в диапазоне (10–100) Гц. Существенное отличие в спектральной характеристике возникает в области 1 кГц, где плотность энергии отличается на несколько порядков в большую сторону во втором образце с малой проницаемостью, по сравнению с первым образцом.

При росте давления амплитудно–частотная характеристика эмиссии кернов отличается добротностью в низкочастотной области. Так в керне с большой проницаемостью характеристика более равномерная в диапазоне от единиц до ста герц, а в керне с низкой проницаемостью обладает резонансным видом. Аналогичные сопоставления можно сделать по характеристике в области одного килогерца.

Очевидно, что процессы в хорошо проницаемом образце имеют большую площадь фильтрации, которая охватывает поры с большим масштабов изменения их размеров, что и отражается в более широкополосном спектре акустической эмиссии.

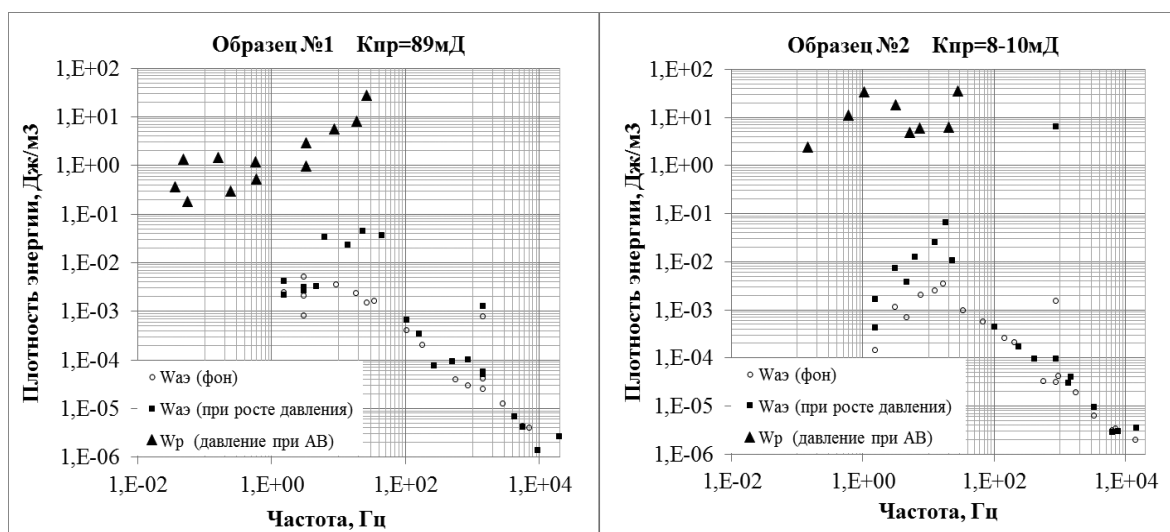


Рис 4 Амплитудно-частотные характеристики плотности энергии акустической эмиссии и порового давления в кернах в процессе фильтрации и акустического воздействия.

Таким образом, фильтрация флюида в керне существенно изменяется под влиянием внешнего волнового воздействия, что в итоге, приводит к

изменению абсолютной проницаемости пористой среды для флюида любого типа, который находится в его порах. Так оценка коэффициента проницаемости относительно первоначальной по перепаду давления в керне во время АВ составляет 250% для первого и 160% для второго образца.

В опытах с фильтрацией рис.4, была сделана оценка энергии, которая выделяется в жидкости порового пространства во время акустического воздействия, на третьем этапе. Для вычисления плотности энергии высокочастотных колебаний давлений в керне была использована разность $\Delta P = P_4 - P_3$. По амплитуде P_m этой разницы определялась плотность энергии, высокочастотной составляющей колебаний жидкости (2) в зависимости от частоты. Частота при этом определялась также методом Г-Х.

Характер изменения плотности энергии высокочастотной составляющей давления P_m повторяет закономерность изменения энергии упругого поля акустической эмиссии для каждого керна. Так разброс по амплитуде энергии для первого образца составляет два порядка, для второго – один порядок, а по полосе частот для первого – три, для второго – два порядка. Таким образом, второй более плотный образец, обладает более “компактной” областью разброса параметров энергии по амплитуде и частоте, что коррелируется с более узкими спектрами плотности энергии его акустической эмиссии. Кроме того, расположение самих этих областей относительно максимумов плотности энергии акустической энергии также отличается на порядок, при этом располагаются выше для более плотного образца.

В компании Лукойл [11,12] проведен анализ возможности ультразвука в нефтедобыче и дана оценка причин редкого использования метода в промышленной практике. Такие причины заключаются в основном в отсутствии обоснованности выбора объектов обработки и критериев выбора режимов акустического поля с учетом петрофизических свойств пород-коллекторов и технических параметров состояния системы «скважина-пласт» в целом. Эти выводы сделаны на основании детальных гидродинамических исследований, которые были спланированы и выполнены в цикле АВ – ГДИ [11]. К сожалению, подобные работы в дальнейшем, по экономическим соображениям, не были реализованы в промышленных масштабах. Это было следствием сложности и большой трудоемкости проведения ГДИ на месторождении, в том числе по причине низкого технического состояния в те времена средств контроля параметров добычи. В то же время материалы по исследованию фильтрационно-емкостных свойств, полученные в этой работе, дали важные параметры пласта и их изменения под влиянием АВ, которые легли в основу методики оперативного контроля технологического процесса в реальном времени.

Основные параметры пласта, опубликованные в этих работах, затрагивают – проницаемость и гидропроводность призабойной и удаленной зоны пласта, дебит скважин, продолжительность эффекта АВ и другие. Так, например коэффициент проницаемости призабойной зоны после АВ на разных месторождениях возрастал дополнительно на величину в от 1 до 11

миллидарси, а в удаленной зоне пласта, от 1 до 15 миллиарси. Такому увеличению проницаемости соответствовал прирост дебита на (1–40) тонн в сутки, с продолжительностью от 8 до 16 месяцев.

Для поиска интервалов, насыщенных нефтью по разрезу скважины был усовершенствован метод КВК, основанный на исследовании упругой энергии АЭ пласта, ее параметров и свойств в зависимости от изменений состояния его фильтрационно-емкостных свойств в процессе циклического АВ и ГИС. В этом цикле метод КВК повторялся многократно, в соответствии с заданной программой, включающей воздействие, регистрацию АЭ и анализ параметров энергии АЭ и параметров стандартного комплекса промыслово-геофизических исследований.

Неоднородность фильтрационно-емкостных свойств пласта по разрезу скважины отражается в графиках энергии сигнала АЭ, которая измерена в процентах относительно фонового значения, а также в виде каротажной спектрограммы. Каротаж по этому методу выполнялся с целью выбора интервала перфорации скважины. Вызванная воздействием АЭ показывает только потенциально нефтенасыщенные интервалы пласта, обладающие фильтрационными свойствами. Например, для скважины №XXX5 был рекомендован интервал 2840–2845 метров, который после его перфорации дала дебит 48 тонн в сутки, при обводненности продукции 2%, (Таблица). Аналогичный результат был получен на скважине №XXX7, которая также вскрыла пласт БС10 на Тевлинско-Русскинском месторождении.

Водонасыщенный пласт приведен на примере исследования скважины №XXX6 месторождения Дружное, Западная Сибирь. Здесь прослеживается отрицательная динамика вызванной акустической эмиссии после акустического воздействия, что отражается на диаграммах ГИС, (Таблица). Результаты испытаний показали приток жидкости с дебитом 54 т/сут. с обводненностью 97%. В этой скважине была выполнена технология гидроразрыва пласта, что способствовало получению большого дебита, однако не учёт характера текущего насыщения пласта привел практически полному заводнению продукции.

Кроме величины энергии вызванной акустической эмиссии в цикле КВК, спектральный состав вызванной АЭ несет в себе информацию как о насыщенности, так и о структуре порового пространства пласта. На рис 5а) приведен спектр сигнала АЭ после воздействия относительно фонового значения эмиссии, которое в обязательном порядке записывается перед началом акустического воздействия. Спектр содержит максимумы амплитудно-частотной характеристики в области высоких частот (10–15) кГц, которая характерна для порового коллектора, насыщенного нефтью. График построен в координатах относительной спектральной плотности $E(f)=20\log(A_{ав}/A_{фон})$ [дБ], в зависимости от частоты для одной точки интервала каротажа по методу КВК. Основной вклад в энергию АЭ вносит сигнал эмиссии в диапазоне (10–15) кГц. Спектральный состав энергии АЭ к трещиноватом коллекторе содержит низкочастотные составляющие в пределах от единиц до 2500 герц, и обладает энергией на порядок выше, чем поровый,

рис 5б). Продуктивные пласты обладающие смешанным типом коллекторов в своем спектре вызванной АЭ обладают энергией как в высокочастотной, так и в низкочастотной области, что подтверждается например в работе [14]

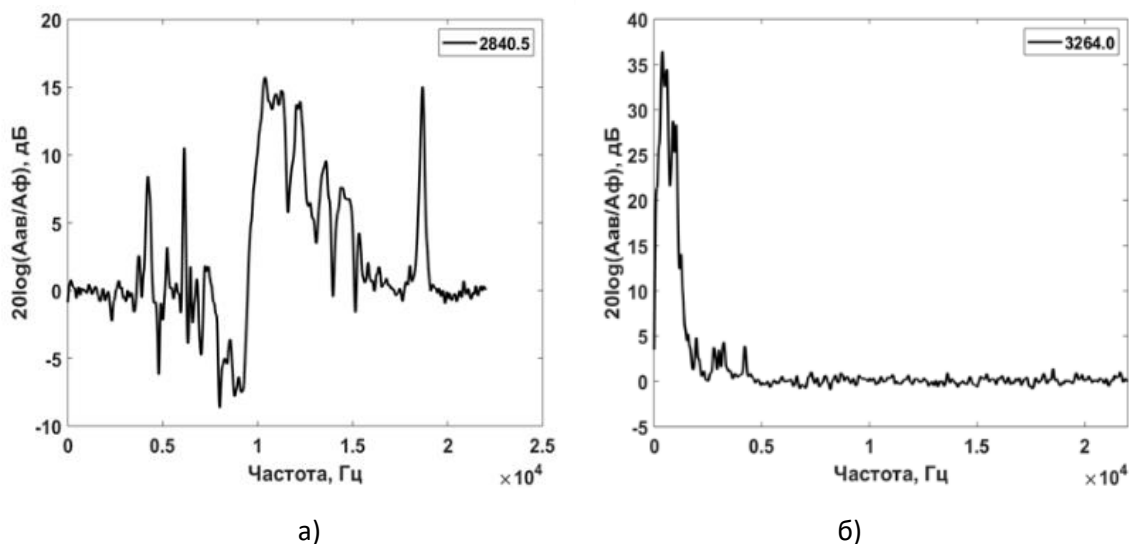


Рис 5. Спектральная плотность сигнала вызванной АЭ после акустического воздействия относительно фонового значения: а) для терригенного типа коллектора БС10(2-3) Западной Сибири и б) карбонатного типа коллектора КТ-2 месторождения Алибекмола, Казахстан.

Применение технологии в горизонтальной скважине Прибрежного месторождения при определении нефтенасыщенных интервалов и вызова притока из них позволило вызвать приток установить его локализацию. Это стало возможным благодаря дополнению в одном приборе функций регистрации АЭ и промыслово-геофизического контроля: состав -приток.

Работы проводились в боковом стволе проектного бобриковского горизонта, сложенного терригенно-карбонатными отложениями, представленными чередованием алевролитов, песчаников, аргиллитов и известняков.

Мощность бобриковского продуктивного пласта по разрезу вертикальной скважины три метра, а его исследованный горизонтальный участок составил 70 метров под углом 84–88 градусов, в интервале -4270—4340 метров. Работы выполнены по технологии каротаж-воздействие-каротаж в семи точках с шагом 10 метров, начиная с -4280м по -4340м.

Область охвата эффективного воздействия на горную породу акустическим полем составляет не менее одного метра в обе стороны от точки установки прибора. Этому объему соответствует область возникновения очагов эмиссии, вызванной акустическим воздействием. Впоследствии, по интервалу исследований были проведены стандартные промыслово-геофизические исследования (ПГИ) в составе: термометрия (Т), барометрия (Д), термокондуктивная дебитометрия (СТИ), влагометрия (ВЛ), гамма-каротаж (ГК) и локатор муфт (ЛМ), Рис. 6.

никаких изменений в АЭ после воздействия не происходило. В точках -4320 и -4330 метров регистрируются волны микросейсмических событий на протяжении всей записи сигналов после акустического воздействия, где возникают высокочастотные и последующие за ними низкочастотные колебания вызванной МСАЭ. Первые связаны с процессами изменения гидродинамического состояния насыщенной среды на уровне пор и трещин, а вторые колебания связаны с развитием процесса прорыва барьеров фильтрации флюида в пласте

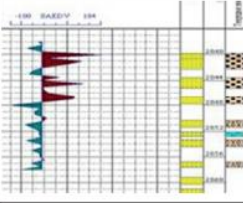
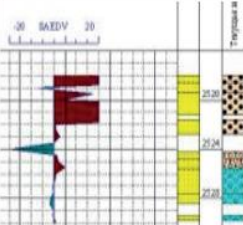
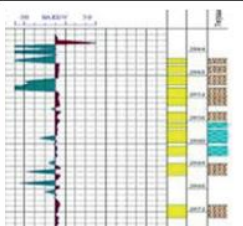
Определены интервалы пласта, обладающие повышенной проницаемостью в интервале точек записи $-4320\pm 1\text{м}$, $-4330\pm 1\text{м}$, и $-4340\pm 1\text{м}$, которые дали приток флюида из пласта.

Определены интервалы с низкими фильтрационными свойствами: $-4300\pm 1\text{м}$, $-4290\pm 1\text{м}$.

Определены типы коллекторов: порово-трещиноватые в интервале $-4320\pm 1\text{м}$ и поровые в интервалах: $-4330\pm 1\text{м}$ и $-4340\pm 1\text{м}$.

Получен прирост притока нефти и газа из этих интервалов после акустического воздействия, что отразилось на диаграммах СТИ, ВЛ, термометр и энергии вызванной АЭ.

Таблица. Прогноз насыщенности и выбор интервала перфорации по методу КВК – АЭ.

Месторождение	Интервал	Заключение о насыщенности		Результаты испытаний		Диаграммы ГИС/КСАЭ
		ГИС / КСАЭ		Дебит/Кводы		
Пласт Скважина	исследования / перфорации					
Тевлинско-Русскинское	2838-2858 м	Нефть	Нефть	48 т/с	2%	
БС10/2 -БС10/3	2840-2845 м					
№XXX5	2840-2845 м					
Тевлино-Русскинское	2518-2538 м	Нефть	Нефть	41 т/с	2%	
БС10/2 -БС10/3	2518-2538 м					
№XXX7	2518-2520 м					
Дружное	2941-2976 м	Нефть	Вода	54 т/с	97%	
ЮС1	2945-2952 м					
№XXX6	+ ГРП					

Работы по технологии КВК-АЭ выполняются на программно-аппаратном комплексе (ПАК) МСАЭ-100.43 предназначенном для использоваться при контроле за разработкой нефтяных и газовых месторождений в наклонных и горизонтальных скважинах в том числе, оборудованных насосно-компрессорными трубами с внутренним диаметром не менее 55 мм.

Комплекс предназначен для решения основных задач: 1) выявления пропущенных нефтенасыщенных пластов в структуре сложно построенных продуктивных коллекторов; 2) выбора интервалов перфорации и локализации потенциально проницаемых прослоев; 3) восстановления проницаемости призабойной и удаленной зоны пласта и стимулирования притока нефти; 4) создания отчета по эффективности технологии восстановления продуктивности добывающей скважины, по данным стандартного комплекса

ПГИ, построения каротажных диаграмм и спектрограмм динамики вызванной акустической эмиссии.

Программа Интенграф 2.0 предназначена для управления всеми функциями комплекса аппаратуры МСАЭ 100.43: регистрации данных каротажа геофизических параметров, визуализации и обработки сигналов акустической эмиссии, управлением параметрами волнового воздействия в интерактивном режиме, анализом и выдачей заключения по результатам выполнения технологии, рис 7.

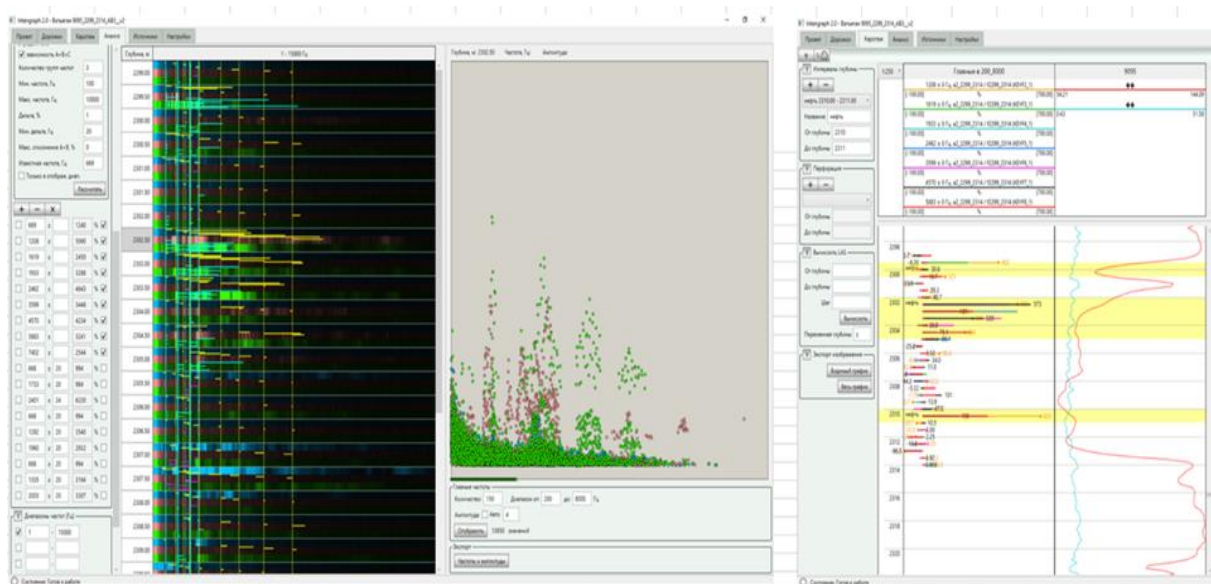


Рис 7. Интерфейс программы Интенграф 2 аппаратуры МСАЭ 100.43.

Каротажная спектрограмма акустической эмиссии и каротажные диаграммы в процессе КВК.

Основные режимы работы программы: 1) регистрация геофизической информации по глубине скважины в процессе движения прибора с постоянной скоростью, 2) поточечный каротаж и акустическое воздействие во время остановки прибора в заданном интервале, включая циклические исследования

в повторяющемся режиме записи акустической эмиссии и волнового воздействия (метод КВК).

Выводы

- Метод вызванной акустической эмиссии является единственным методом контроля распределенных импульсных источников в среде, наиболее близкий – метод микросейсмического мониторинга гидроразрыва пласта,
- АЭ сигнализирует локально о пластовых структурах с наивысшим разрешением,
- По схеме «каротаж-воздействие-каротаж» метод АЭ несопоставимо чувствителен по сравнению со стандартными акустическими методами,
- АЭ отражает возбуждение различных типов волн за обсадной колонной, что служит предпосылкой контроля проницаемости, насыщения и неоднородностей,
- Использование малогабаритного прибора диаметром 43мм в комплекте с ПГК позволяет оперативно управлять технологией добываясь наибольшего результата по обнаружению нефтенасыщенных интервалов,
- Источник акустического поля высокой интенсивности в узком направлении обеспечивает избирательное и интерактивное воздействие на объект с немедленным анализом результата стимулирования притока.

Имеющийся опыт свидетельствует о том, что технология КВК [8] обладает высокой разрешающей способностью и может использоваться для восстановления и увеличения продуктивности добывающих скважин, восстановления проницаемости призабойной и удаленной зоны пласта в условиях сложно построенных коллекторов.

Таким образом, создана и опробована новая технология вызванной микросейсмоакустической эмиссии, которую можно использовать при инновационном проектировании разработки нефтяных месторождений с системным применением наклонно-направленных и разветвлённо-горизонтальных скважин.

Литература

1. Беляков А. С., Гамбурцев А.Г., Лавров В. С., Николаев А. В., Приваловский Н.К. Иницирующие вибровоздействия и сейсмическая эмиссия горных пород // ДАН. Физика земли. 1996. № 2. С. 68–74.
2. Гвизд П., Дрягин В.В. и др. Скважинный акустический излучатель. Патент РФ № 2674165 от 29.01.2018.
3. Дрягин В.В., Кузнецов О.Л., Стародубцев А.А., Рок В.Е. Поиск углеводородов методом вызванной сейсмоакустической эмиссии в скважинах. Акустический журнал, 2005, 51, прил. 1, с. 66–73.
4. Дрягин В.В. Сейсмоакустическая эмиссия нефтепродуктивного пласта. Акустический журнал, 2013, том 59, № 6, с. 744–751.

5. Дрягин В.В. Способ определения характера насыщенности коллектора. Патент РФ № 2187636 от 21.02.2001.
6. Дрягин В.В., Гвизд П. Способ акустического воздействия на скважину. Патент РФ № 2699421 от 06.09.2019.
7. Дрягин В.В. Использование вызванной акустической эмиссии коллекторов для обнаружения и извлечения углеводородов. Георесурсы 2018. Т.20. №3. Ч2. с. 246-260 <https://doi.org/10.18599/grs.2018.3.246-260>
8. О.Л.Кузнецов, И.А.Чиркин, В.П.Дыбленко, С.Л.Арутюнов, В.В.Дрягин, Е.Ю.Марчуков, Р.Я.Шарифуллин, И.А.Туфанов, Е.Г.Ризанов, А.Е.Сунцов, С.О.Колигаев. Закономерность изменения параметров сейсмоАЭ горных пород при физическом воздействии. Международная ассоциация авторов научных открытий РАЕН. Описание и формула научного открытия диплом № 508, 2018.
9. Е.В.Карус, М.Л.Сургучев, О.Л.Кузнецов, и др. Эффект акустического воздействия на теплообмен в насыщенных пористых и коллоидных средах. Доклады АН СССР.-1974-Т.218, №6.-с. 1343-1345.
10. Кузнецов О.Л., Дыбленко В.П., Чиркин И.А., Шарифуллин Р.Я., Волков А.В. Особенности аккумуляции энергии механических напряжений и аномальное сейсмоакустическое излучение в нефтегазоносных породах. /Геофизика. 2007.№6. с. 8 -15.
11. 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, с. 29–35.
- 12.Мерсон М., Митрофанов В., Сафин Д. (1999). Возможности ультразвука в нефтедобыче. Нефть России, 1, с. 17–23.
- 13.Мирзаджанзаде А.Х., Кузнецов О. Л., Степанова Г. С., Петросян Л. Г., Ягодов Г.Н., Дмитриева Т. М. Эффект изменения давления насыщения пластовых жидкостей при акустическом воздействии. Нефтяное хозяйство. -1974.-№2.- с. 42–48.
- 14.Николаев С. А., Овчинников М.Н. Генерация звука фильтрационным потоком в пористых средах // Акуст. журн. 1992. Т. 38. № 1. С. 114–118.
- 15.О перспективах использования физических полей для целенаправленного изменения параметров пластов в условиях скважины при поисках и разведке месторождений нефти и газа. Геоакустические исследования в скважинах. Всесоюз. Науч.-исслед. Ин-т. Ядер. Геофизики и геохимии. - Москва,1974. –(Труды ВНИИЯГГ; Вып.18). -с.5-16.
- 16.Печков А.А., Кузнецов О. Л., Дрягин В.В. Способ акустического воздействия на призабойную зону продуктивного пласта. Патент РФ № 2026969 от 20.01.1995.-
- 17.Л.А.Сергеев, О.Л.Кузнецов, Ю.С.Шимелевич. Способ определения местоположения водонефтяного газо-водяного контактов в обсаженной скважине. / А.с.197200 СССР /заявитель Ин-т геологии, разработ. горюч.

Ископаемых Министерства нефтедобывающей промышленности и АН СССР. Заявл.15.09.65. опубл.31.05.1967, Бюл. №12.

18. Черский Н. В., Царев В. П., Коновалов В. М., Кузнецов О. Л. Влияние ультразвуковых полей на проницаемость горных пород при фильтрации воды. Доклады Академии Наук СССР. -1977.-Т.232.-№1. С.201-204.

19. Pechkov A.A., Kouznetsov O.L., Dryagin V.V. Acoustic flow stimulation method and apparatus. United States Patent # 5,184,678 1993.