



Применение радиоактивных методов  
исследований  
Определение нефти насыщенной части пласта



# Ядерные методы исследования скважин

Ядерные исследования скважин подразделяются на методы изучения естественной радиоактивности (гамма-методы) и искусственно вызванной радиоактивности, называемые ядерно-физическими или ядерно-геофизическими (гамма-гамма и нейтронные методы).

## РАДИОАКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН

созданы современные многопараметровые программно-управляемые аппаратно-методические комплексы радиоактивного каротажа для нефтегазовых скважин, позволяющие существенно повысить геологическую информативность и эффективность методов РК и решать разнообразные геологические задачи.

## Радиоактивный каротаж (РК)

Совокупность геофизических методов исследования скважин, основанных на измерении интенсивности естественной и искусственно созданной радиоактивности горных пород.

Основные виды РК, применяемые в промышленной геофизике:

**гамма-каротаж** (ГК) - основан на измерении интенсивности естественной гамма-активности пород;

**гамма-гамма каротаж** (ГГК) - основан на измерении интенсивности рассеянного гамма-излучения, возникающего при облучении пород источником гамма-квантов;

**каротаж нейтронный** (НК) - основан на изучении эффекта взаимодействия потока нейтронов с веществом пород.

## Особенности РК:

малая глубинность исследования (10— 30 см);  
возможность проведения исследований в открытом и обсаженном стволе скважины.

## Данные РК привлекаются:

для решения обширного круга геологических задач, связанных с поисками и разведкой нефтегазовых месторождений;  
при контроле за эксплуатацией этих месторождений;  
при решении некоторых технических задач в процессе бурения скважины.

Для измерения интенсивности радиоактивных излучений используются скважинные радиометры, которые состоят из радиоактивного зонда каротажного и электронной схемы, преобразующей информацию для передачи ее по каротажному кабелю на поверхность к измерительной аппаратуре. Как правило, все радиометры являются комплексными приборами, позволяющими регистрировать одновременно два-три параметра РК.

## Гамма-каротаж (ГК)

Один из видов каротажа радиоактивного, основанный на измерении вдоль ствола скважины интенсивности естественного гамма-излучения, возникающего в результате самопроизвольного распада радиоактивных элементов, содержащихся в горных породах.

Существующая связь между радиоактивностью пород и их литологией, между интенсивностью гамма-излучения и степенью глинизированности пород позволяет по кривым ГК выделять в разрезе скважины глинистые интервалы, количественно оценивать содержание в породе глинистого материала, а в комплексе с другими методами каротажа литологически расчленять разрез.

Модификацией ГК является гамма-каротаж спектрометрический (ГКС), основанный на изучении энергетического спектра гамма-излучения, испускаемого при радиоактивном распаде атомных ядер отдельных элементов. По характерным максимумам в спектре устанавливают присутствие и количество соответствующих радиоактивных изотопов, содержащихся в породе. ГКС используется для литологического расчленения разреза и для оценки глинистости пород.

ГК применяется также при работе с радиоактивными изотопами.

## Гамма-гамма-каротаж (ГГК)

Один из видов каротажа радиоактивного, основанный на измерении интенсивности рассеянного гамма-излучения, возникающего в результате облучения горных пород, пересеченных скважиной, источником гамма-квантов.

Модификации ГГК:

1) плотностной ГГК (ГГКП) - породы облучают источником жестких гамма-квантов.

В качестве источника чаще всего используется радиоактивный изотоп цезия ( $^{137}\text{Cs}$ ) с энергией гамма-квантов 0,662 МэВ, а регистрируется рассеянное гамма-излучение с энергией более 0,2 МэВ. Основным процессом взаимодействия гамма-квантов с веществом горных пород при ГГКП является комптоновское рассеяние. Вероятность рассеяния пропорциональна числу электронов на пути пучка гамма-квантов, а число электронов в единице объема породы пропорционально ее плотности.

Установлено, что если порода состоит из элементов, атомный номер которых меньше 30, то между интенсивностью рассеянного гамма-излучения и плотностью породы наблюдается обратная зависимость. Дифференцированность пород по плотности и наличие зависимости между их плотностью и пористостью позволяют проводить по данным ГГКП литологическое расчленение разрезов скважин и оценивать пористость пород.

2) селективный ГГК (ГГКС) - породы облучают источником мягких гамма-квантов с энергией менее 0,3—0,4 МэВ.

Регистрируют мягкую компоненту гамма-излучения с энергией менее 0,2 МэВ. Преобладающим взаимодействием мягких гамма-квантов с веществом горных пород является фотоэффект, поэтому регистрируемая при ГГКС интенсивность мягкого гамма-излучения зависит в основном от вещественного состава породы, а не от ее плотности.

Вероятность фотоэффекта резко возрастает при наличии в составе пород элементов с большим атомным номером. ГГКС используется для выделения в разрезе скважин углей и пород, содержащих тяжелые элементы.

ГГК в обеих модификациях имеет малый радиус исследования (10 — 15 см), поэтому на его показания большое искажающее влияние оказывают скважинные условия: изменение диаметра скважины, толщина глинистой корки, плотность промывочной жидкости и т. д. Для уменьшения этого влияния применяют специальные двухзондовые приборы.

## Нейтронный каротаж (НК)

Совокупность методов каротажа радиоактивного, основанных на изучении эффекта взаимодействия быстрых нейтронов с веществом горной породы.

Помещенный в зондовое устройство скважинного прибора источник облучает породу потоком быстрых нейтронов с энергией 4 — 15 МэВ. Быстрые нейтроны, многократно сталкиваясь с ядрами элементов горной породы, теряют свою энергию и замедляются до тепловых энергий (0,025 эВ). Интенсивность замедления нейтронов зависит от содержания в породе ядер легких элементов, главным образом водорода, масса ядра которого близка к массе нейтрона. Водородосодержание породы контролируется ее пористостью, следовательно, существует возможность определения общей пористости пород по НК.

Образовавшиеся тепловые нейтроны диффундируют в среде из областей большой их плотности в области пониженной плотности. Диффузия сопровождается радиационным захватом, т. е. поглощением тепловых нейтронов ядрами элементов породы.

Интенсивность поглощения зависит от содержания в породе элементов с высоким эффективным поперечным сечением захвата. Таким элементом в осадочных породах является прежде всего хлор. Радиационный захват сопровождается выделением энергии в виде одного или нескольких гамма-квантов. Энергия излучения зависит от ядра элемента, поглотившего нейтрон. Например, ядро водорода, поглотив нейтрон, превращается в дейтерий  $2\text{H}$ , при этом излучается один гамма-квант с энергией 2,2 МэВ; хлор  $35\text{Cl}$ , превращаясь в изотоп  $36\text{Cl}$ , излучает в среднем 3,1 гамма-кванта с суммарной энергией около 8 МэВ. Это различие в излучаемой энергии позволяет, в частности, установить водонефтяной контакт по данным НК.

В зависимости от изучаемого эффекта взаимодействия нейтронов с горной породой различают следующие методы НК: каротаж нейтрон-нейтронный (ННК), основанный на измерении плотности нейтронов, замедлившихся до надтепловых (единицы эВ) и тепловых энергий; гамма-каротаж нейтронный (НГК), основанный на измерении интенсивности гамма-излучения радиационного захвата; каротаж нейтронный активационный, основанный на измерении интенсивности спада гамма-излучения искусственных радиоактивных изотопов, возникших в результате облучения породы источником быстрых нейтронов; каротаж нейтронный импульсный (ИНК), основанный на изучении скорости становления поля тепловых нейтронов. Некоторые методы НК подразделяются на модификации.

НК используется для решения разнообразных задач, связанных с поисками и разведкой месторождений нефти и газа и с контролем за эксплуатацией этих месторождений. Методы НК имеют небольшую глубину исследования, и на их результаты большое искажающее влияние оказывают диаметр скважины, свойства заполняющей ее жидкости, характер глинистой корки. Для уменьшения этого влияния применяются двухзондовые установки НК.

Разработаны скважинные приборы для исследования скважин разного диаметра, создано программно-алгоритмическое обеспечение.

Решаемая геологическая задача	Наименование аппаратуры
Количественное измерение содержания радиоактивных элементов в горных породах	аппаратурно-методический комплекс спектрометрического и радиогеохимического каротажа АМК-РГК, цифровой гамма-спектрометр ЦГС-1.
Определение характера насыщения коллекторов, литологическое расчленение разреза скважин, оценка содержания элементов (Cl, H, Si, Ca, Fe, Mn, Ni, Co и др.)	цифровой прибор спектрометрического нейтронного гамма-каротажа СНГК.
Одновременное определение плотности и эффективного атомного номера горных пород	цифровая аппаратура литоплотностного каротажа ЛПК-Ц, цифровая аппаратура однозондового компенсированного литоплотностного каротажа ЦСП-ЛПК-76.
Измерение пространственно-временных распределений тепловых нейтронов в скважинах и решение традиционных задач нефтепромысловой и нефтеразведочной геофизики, получение информации о состоянии ближней зоны и вертикальной слоистости исследуемого разреза	аппаратурно-методические комплексы двухзондового и многозондового импульсного нейтронного каротажа ЦСП-2ИНК-90.
Определение литологического состава пород и насыщающих их флюидов (нефть, вода)	аппаратурно-методический комплекс углеродно-кислородного (С/О) каротажа ЦСП-ИНГК-С-90.

# Цифровой гамма спектрометр ЦГС-1

## Достоинства и преимущества

- поинтервальное накопление спектров гамма-излучения в скважинном приборе с последующей передачей информации в цифровом виде по телеметрической линии связи;
- повышенная точность определения содержания урана, тория, калия.

## Технические характеристики

Диапазоны измерения содержания, %:

калия 0.1-50

урана  $(1-1000) \cdot 10^{-4}$

тория  $(1-1000) \cdot 10^{-4}$

## Цифровой прибор спектрометрического нейтронного гамма-каротажа широкодиапазонный (СНГК-Ш)

Предназначен для определения характера насыщения коллекторов, литологического расчленения разреза скважин, оценки содержания элементов, аномально поглощающих тепловые нейтроны (Cl, H, Si, Ca, Fe, Mn, Ni, Co и др.), определения рассеивающих и поглощающих нейтронных и гамма-лучевых параметров и их соотношений.

Прибор выполнен в виде цифрового двухзондового модуля, содержащего два многоканальных спектрометра энергий для накопления полных гамма-спектров излучения радиационного захвата.

### Технические характеристики

#### Диапазоны измеряемых энергий

гамма-квантов, Мэв 0,04-8,0

Энергетическое разрешение, % 7

Максимально допустимое давление, МПа 60

Диапазон рабочих температур, °С -5-+120

Максимальная температура в зоне исследований, °С 120

Габаритные размеры скважинного прибора, мм:

диаметр 48, 90

длина 3500, 3000

Масса прибора, кг 15, 70

## Цифровая аппаратура литоплотностного каротажа ЛПК-Ц

предназначена для определения плотности и эффективного атомного номера горных пород в нефтегазовых скважинах.

### Достоинства и преимущества

- повышение точности определения  $\rho$  и  $Z$  эфф.;
- анализ полного спектра рассеянного гамма-излучения при определении  $Z$  эфф.

### Технические характеристики

#### Диапазоны измерения:

плотности горных пород, г/см<sup>3</sup> 1,5 - 3  
эффективного атомного номера, ед 10 - 20

#### Погрешность измерения:

плотности, % 2  
эффективного атомного номера, ед 0,25

## Двухзондовая аппаратура ГГК-П "ПАРК-1"- с электроприжимным устройством

предназначена для измерения объемной плотности горных пород в разрезах нефтебитумных, рудных и угольных скважин диаметром 76-130 мм и глубиной до 5000 м.

### Достоинства и преимущества

- измерение рассеянного гамма-излучения на двух расстояниях от источника;
- прижатие зонда к стенке скважины во время проведения измерений с помощью прижимной системы, управляемой с поверхности;

### Технические характеристики

Диапазон измерения плотности, кг/м  $1,1 \cdot 10^3 \div 4,5 \cdot 10^3$

Погрешность измерения плотности,  $\% \pm 2$

## Скважинный прибор компенсированного однозондового литоплотностного гамма-гамма-каротажа ЦСП-ЛПК-76

Предназначен для исследования поисковых и разведочных нефтегазовых необсаженных скважин диаметром от 90 до 250 мм.

### Достоинства и преимущества

- рассчитан на работу с каротажной станцией оснащенной цифровым регистратором "ГЕКТОР" и др., позволяющих принимать и хранить поступающего от скважинного прибора информацию в цифровом коде "МАНЧЕСТЕР-2".
- измерение плотности и эффективного атомного номера с использованием одного спектрометрического зонда обеспечивает снижение погрешности определения параметров неоднородных или тонкослоистых разрезов;

### Технические характеристики

Диапазон измерения объемной плотности горных пород, г/см<sup>3</sup> 1,5 - 3

Диапазон измерения эффективного атомного номера горных пород, ед. 8 - 18

Технология выделения коллекторов и определения коэффициента нефтегазонасыщенности комплексом нейтронных методов по хлору

Предлагается технология выделения коллекторов и определения коэффициента нефтегазонасыщенности методами 2ННКт, СНГК по хлору в пластовой воде

Решаемые геологические задачи

- литологическое расчленение разреза;
- выделение коллекторов и определение коэффициента пористости;
- определение водонасыщенной пористости  $K_p \cdot K_v$  по содержанию в пластовой воде хлора с последующим определением коэффициента нефтегазонасыщенности  $K_{нг}$  при известном по комплексу ГИС коэффициенту пористости ( $K_p$ ).

## Цифровой прибор спектрометрического радиоактивного каротажа СПРК

Предназначен для литологического расчленения разреза, выделения коллекторов, определения коэффициента пористости, нефтегазонасыщенности по концентрациям хлора и бора.

### Достоинства и преимущества

- обеспечивает за один спуско-подъем реализацию методов 2ННКт, НГК-60, СНГК;
- содержит стандартные зонды ННК, НГК и зонд спектрометрического НГК.

### Технические характеристики

Количество зондов ННК 2

Количество зондов НГК 1

Количество зондов СНГК 1

Формат передачи данных Манчестер-2

Максимальное рабочее давление, МПа 80

Максимальная рабочая температура, °С 120

Диаметр прибора, мм 48, 73, 90

Масса прибора, кг 15, 25, 70

# Прибор радиоактивного каротажа на максимальных температурах РКМТ-43

Предназначен для исследования методами радиоактивного каротажа газовых и нефтяных скважин, заканчивающихся малым диаметром, и рассчитан для одновременного измерения естественного гамма-излучения пород ГК и вторичного гамма-излучения.

## Технические характеристики

Детекторы гамма-излучения, тип СИЗ1Г

Чувствительность к гамма-излучению, имп/мин/мкР/час:

канал ГК не менее 50

канал НГК не менее 25

Максимальное рабочее давление, МПа 120

Максимальная рабочая температура, °С 180

Габаритные размеры, мм

диаметр 42

длина (при зонде НГК 500 мм) 3260

Масса скважинного прибора, кг 20

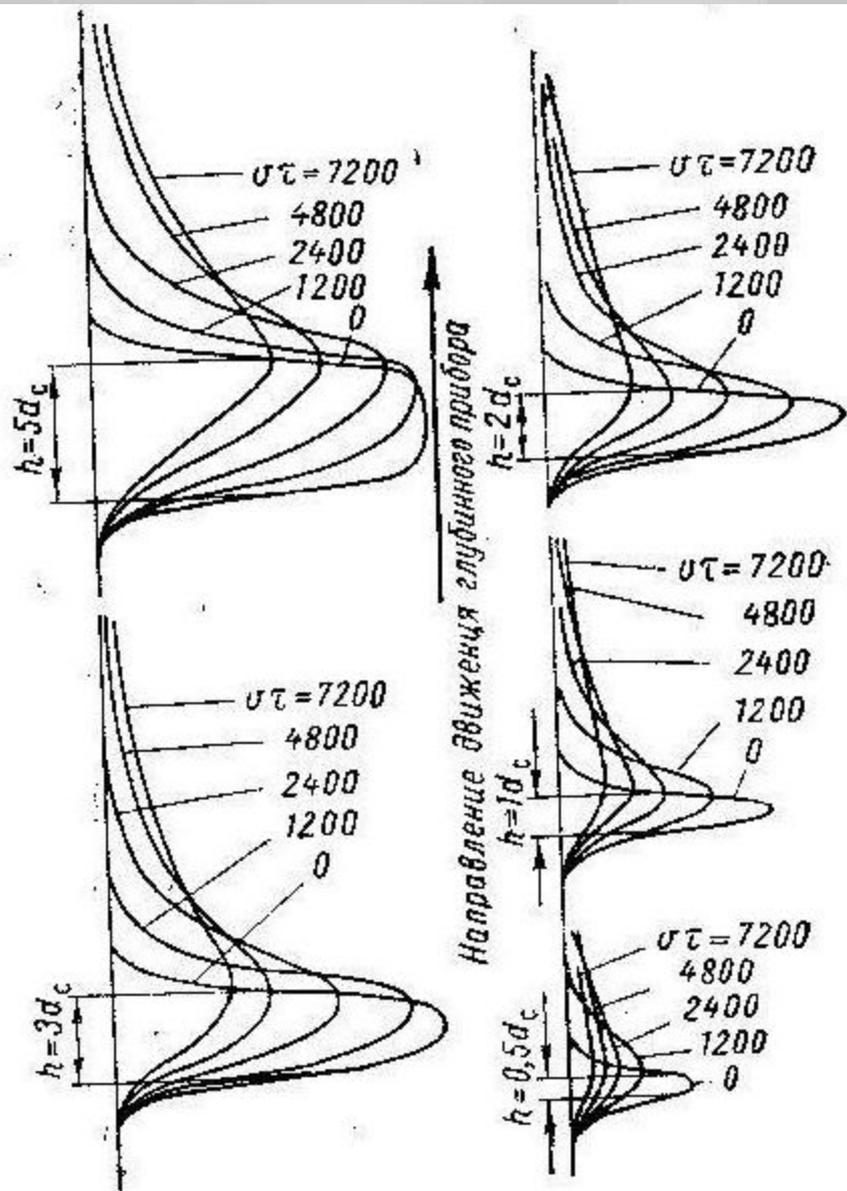


Рис. 88. Форма кривых гамма-каротажа против пласта повышенной радиоактивности (по Ю. А. Гулину).  $v$  — в м/ч;  $\tau$  — в с

Определение границ производится по среднему значению показаний против пласты вмещающих пород, что в случае асимметрии кривых приведет к смещению границ пластов в направлении движения скважинного прибора. На рис. 88 видно, что в связи с влиянием интегрирующей ячейки границы пластов по кривым радио активного каротажа отбивают следующим образом. 1. При движении прибора снизу вверх подошву пласта с повышенными показаниями отмечают по началу крутого подъема, а кровлю — по началу крутого спада кривой. Для пласта с пониженными показаниями на кривой имеет место обратная зависимость. 2. Определяют местоположение точки в середине наклонной кривой. Границы пластов находят ниже этих точек (при движении прибора снизу вверх). Величина смещения границы при обычных условиях измерения достигает 30 см и более. Размеры смещения зависят от величины  $v\tau$  и мощности пласта, т. е. снижаются с уменьшением мощности пласта.

Для надежной регистрации пласта на кривой радиоактивного каротажа необходимо, чтобы время нахождения прибора против пласта соответствовало двукратной величине постоянной времени  $\tau$  интегрирующей ячейки. Это время равно частному от деления мощности пласта  $h$ . (в м) на скорость перемещения прибора  $v$  (в м/с), и допустимая скорость (в м/ч) соответствует  $V < 1800h/\tau$

При гамма-каротаже результаты измерений относят (точка записи) к середине счетчика {группы счетчиков). При гамма-гамма-каротаже и нейронном каротаже результаты измерений принято относить к точке, лежащей на середине расстояния между счетчиком и источником (расстояние отсчитывают от их геометрических центров).