



ПАО «Газпром»

Российский государственный университет
нефти и газа имени И. М. Губкина
(Национальный исследовательский
университет)



Презентационные материалы онлайн-курса «Основные технологические процессы Upstream-сектора нефтегазового комплекса»

**Импульсные нейтронные
методы. Изучение времени жизни
тепловых нейтронов. Область
применения импульсных
нейтронных методов**

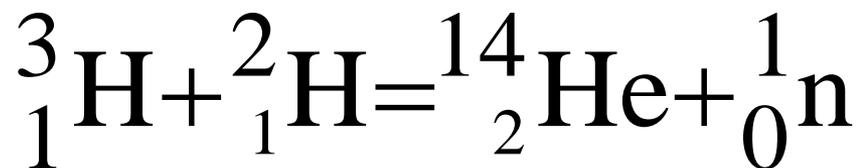
Импульсный нейтрон-нейтронный метод (ИННМ)

Импульсный нейтрон-нейтронный метод (ИННМ) состоит в измерении спада плотности тепловых нейтронов в зависимости от времени (времени задержки) после инъекции импульса быстрых нейтронов в исследуемую горную породу

Импульсный источник быстрых нейтронов (генератор нейтронов)



В генераторе нейтронов титановая или циркониевая мишень с растворенным в ней изотопом водорода тритием (${}^3_1\text{H}$) бомбардируется дейтонами (ядрами тяжелого водорода ${}^2_1\text{H}$) ускоренными линейным ускорителем под напряжением около 10^5В .



В ходе реакции образуются нейтроны с энергией 14 МэВ. Более высокая энергия нейтронов и монохроматизм излучения являются преимуществом таких генераторов. Другое преимущество – возможность включать и выключать источник, что повышает безопасность работ и позволяет доводить его интенсивность до $10^8 - 10^9$ нейтр./с.

$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln I_1 - \ln I_2}$$

где t_1 и t_2 – время задержки для двух каналов; I_1 и I_2 – показания (скорость счета) для тех же каналов.

$$\lambda_{\Pi} = \lambda_{\text{СК}}(1 - K_{\Pi} - K_{\text{ГЛ}}) + \lambda_{\text{ГЛ}}K_{\text{ГЛ}} + \lambda_{\text{В}}K_{\text{В}}K_{\Pi} + \lambda_{\text{Н}}K_{\text{Н}}K_{\Pi},$$

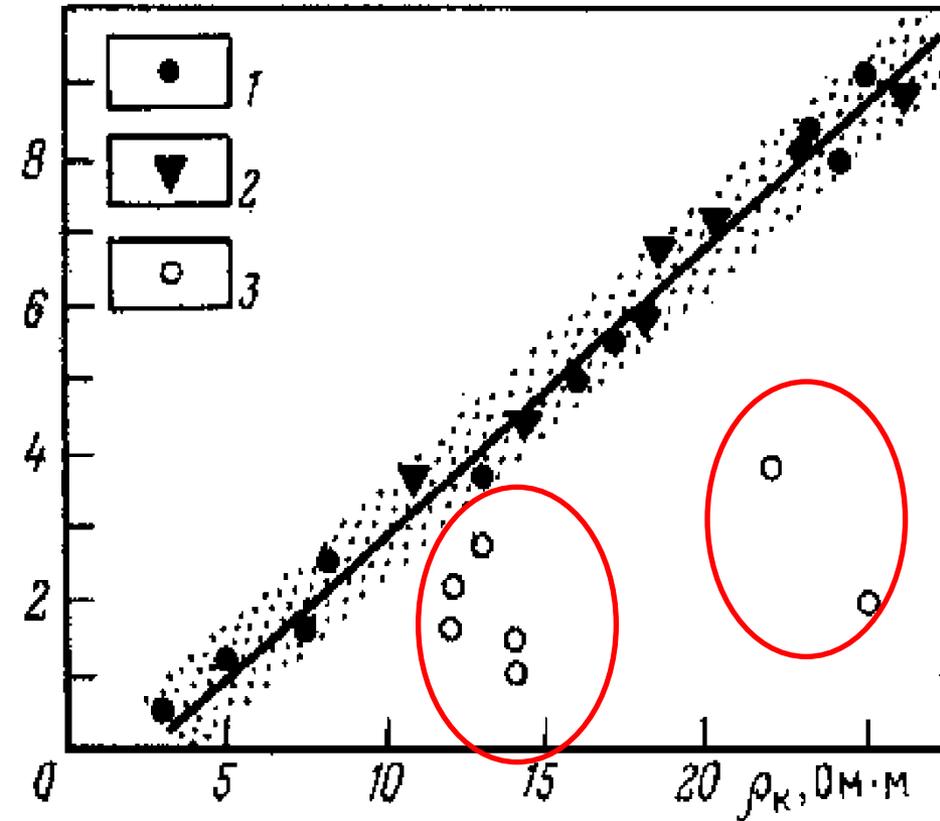
где $\lambda_{\text{СК}}$, $\lambda_{\text{ГЛ}}$, $\lambda_{\text{В}}$, $\lambda_{\text{Н}}$ – декременты затухания тепловых нейтронов соответственно в минеральном скелете породы, глинистом цементе, воде и нефти; K_{Π} , $K_{\text{ГЛ}}$, $K_{\text{В}}$, $K_{\text{Н}}$ – коэффициенты пористости, глинистости, водо- и нефтенасыщенности.

Среднее время жизни тепловых нейтронов τ и декремент затухания λ для некоторых веществ [Латышова М.Г., 2007 г.]

Вещество	Среднее время жизни тепловых нейтронов τ	Декремент затухания λ
Кварц	1.1	0.9
Кальцит	0.63	1.59
Доломит	0.96	1.04
Ангидрит	0.36	2.78
Гипс	0.25	4.0
Галит	0.006	167
Каолинит	0.36	2.78
Монтмориллонит	0.40	2.5
Вода пресная	0.207	4.83
Вода пластовая (в зависимости от минерализации)	0.04 – 0.2	4.83 – 25
Нефть	0.21	4.75
Углеводородный газ (в зависимости от давления)	0.3 – 3.0	0.33 – 3.3

Выделение обводненных интервалов по комплексу ИННМ и удельного сопротивления пород

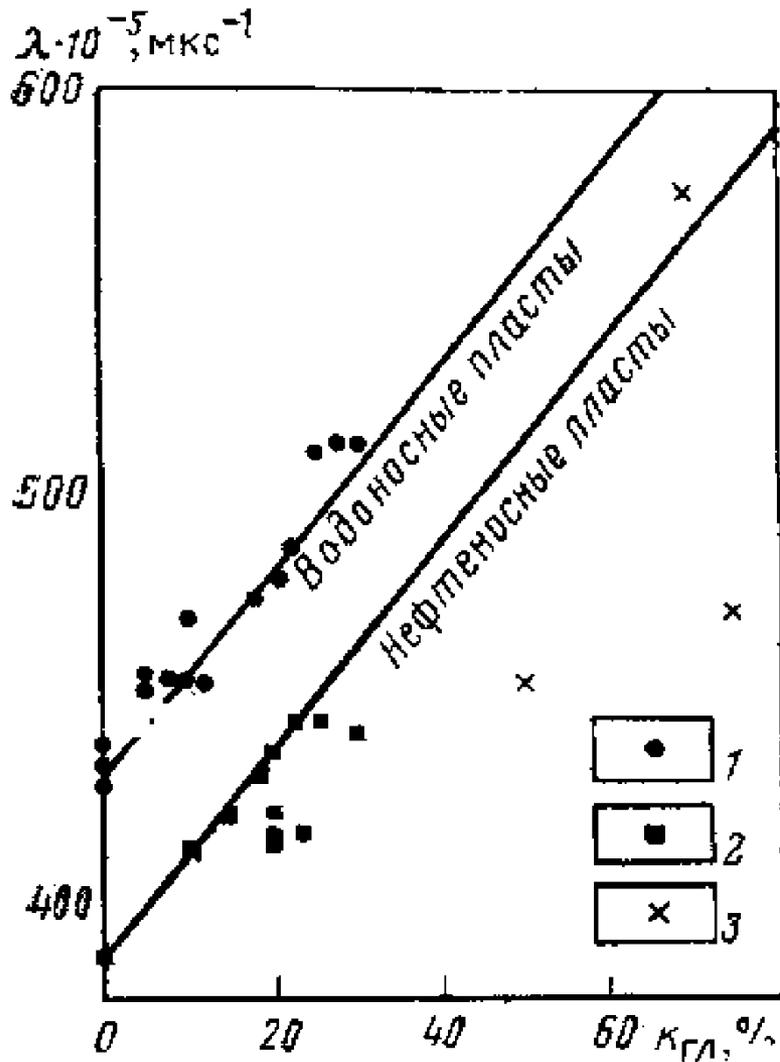
$I(\text{ИННМ}), \text{ усл. ед.}$



Поле корреляции $I(\text{ИННМ}) - \rho_k$ по разрезу скважины одного из месторождений Азербайджана (по Л.А. Путкарадзе).

- 1 – опорные пласты;
- 2 – испытываемые пласты, не изменившие первоначального насыщения;
- 3 – испытываемые (нефтеносные) пласты, обводнившиеся в процессе разработки залежи

Разделение нефтеносных и водоносных пластов комплексом методов – ИННМ+ГМ+ННМТ (по Я. Н. Басину, Н.К. Кухаренко и др.)



Декремент затухания определен по ИННМ и исправлен за изменение пористости по данным НИМТ-50; $K_{гл}$ определен по данным ГМ.

- 1 – водоносные пласты;
- 2 – нефтеносные пласты;
- 3 – плотные глинистые пласты.

Преимущества применения импульсных нейтронных методов.

Импульсные методы выгодно отличаются от стационарных нейтронных методов возможностью количественного определения диффузионных характеристик горных пород, высокой чувствительностью к изменению минерализации (хлоросодержания) пластовой жидкости, значительно меньшим уровнем помех от скважины, большей глубиной исследования.

Спектр гамма-излучения неупругого рассеяния (ГИНР) является индивидуальной характеристикой ядра. Например, при неупругом рассеянии нейтрона на ядре углерода образуются гамма-кванты с энергией преимущественно 4.43 МэВ, а на ядре кислорода – 6.13 МэВ.

По соотношениям в спектрах гамма-излучения неупругого рассеяния (ГИНР) и гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ) наблюдаемых эффектов от водорода H, кремния Si, кальция Ca, железа Fe, хлора Cl и серы S можно определить литологический состав пород, пористость, рассчитать нефтенасыщенность

Модификация спектрометрического импульсного нейтронного гамма-метода для определения нефтенасыщенности пород называется C/O-каротажем.

Отношение C/O зависит от пористости, литологии, характера насыщения пластов, заполнения скважины, но практически не зависит от минерализации пластовых флюидов, что является достоинством метода.

1. Расчленение разреза по литологии.
2. Корреляция разрезов скважин.
3. Определение характера насыщения.
4. Количественное определение коллекторских свойств горных пород, оценка начальной, текущей и остаточной нефтенасыщенности.
5. Контроль продвижения пластовых вод, определение интервалов обводнения пластов и положения водонефтяного и газожидкостного контактов.