

УДК 550.832.55

*K. V. Коротков
ОАО "Нижневартовскнефтегеофизика"
B. A. Велижанин
ООО "Нефтегазгеофизика"*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОЙ ПОРИСТОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ ПО КОМПЛЕКСУ ИМПУЛЬСНОГО И СТАЦИОНАРНОГО НЕЙТРОННЫХ МЕТОДОВ ГИС

Разработана технология количественной оценки фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) терригенных и карбонатных коллекторов по данным комплекса импульсного (ИННК, ИНГК) и стационарного (2ННК) нейтронных методов. Сопоставление полученных результатов с данными ядерно-магнитного каротажа в сильном поле (ЯМТК) показало эффективность технологии. Приведены практические примеры.

Ключевые слова: коллекторы, эффективная пористость, каротаж, нейтронные методы.

Современные технологии строительства и ввода в эксплуатацию нефтегазовых скважин создают ряд технических и методологических проблем геофизического обеспечения бурения. Наиболее существенными факторами, влияющими в целом на качество геофизического обеспечения, являются:

- применение высокопроводящих промывочных жидкостей;
- усложнение пространственных траекторий стволов скважин и увеличение протяженности пологих участков;
- минимизация времени задерживания скважин на проведение ГИС;
- освоение нефтегазовыми компаниями новых месторождений, по которым отсутствует петрофизическое обеспечение ГИС.

Для сохранения информативности ГИС требуется своевременная модернизация технической и методической основы проведения каротажа. В процессе работы по оптимизации комплексов ГИС для современных условий бурения предприятием "Нижневартовскнефтегеофизика" совместно с ООО "Нефтегазгеофизика" разработана и внедрена в производство технология количественной оценки ФЕС коллекторов в открытом стволе, основанная на комплексировании импульсного (ИННК, ИНГК) и стационарного (2ННК) нейтронных

методов. Оцениваемым параметром предлагаемой методики является важнейшая характеристика коллектора – величина эффективной пористости.

Суть предлагаемой методики рассмотрим на примере песчано-глинистой породы, модель которой может быть описана выражением

$$1 = V_{\text{ск}} + V_{\text{гл}} + k_{\text{п.подв}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{ск}}$, $V_{\text{гл}}$ – объемы скелета породы и глинистых минералов с учетом связанной воды соответственно; $k_{\text{п.подв}}$ – объем подвижной воды (эффективная пористость). В рамках данной модели петрофизические зависимости для сечения захвата нейtronов Σ_a и водородного индекса по компенсированному нейтронному каротажу $k_{\text{п.нк}}$ записываются в виде

$$\Sigma_a = \Sigma_{\text{ск}} V_{\text{ск}} + \Sigma_{\text{гл}} V_{\text{гл}} + \Sigma_{\text{в.подв}} k_{\text{п.подв}}, \quad (2)$$

$$k_{\text{п.нк}} = V_{\text{гл}} k_{\text{п.гл}} + k_{\text{п.подв}} + \Delta k_{\text{п.плот}} + \Delta k_{\text{п.хим}}, \quad (3)$$

где $\Sigma_{\text{ск}}$, $\Sigma_{\text{гл}}$, $\Sigma_{\text{в.подв}}$ – сечения скелета породы, глины и подвижной воды соответственно; $\Delta k_{\text{п.плот}}$, $\Delta k_{\text{п.хим}}$ – поправки за плотность и химический состав породы. Суммарная величина последних двух поправок при условии определения $k_{\text{п.нк}}$ по палетке для соответствующего (кварцевого, кварц-полевошпатового) песчаника в терригенном разрезе много меньше остальной части правой части выражения (3). Учитывая этот факт, выражение (3) запишем в виде

$$k_{\text{п.нк}} \approx V_{\text{гл}} k_{\text{п.гл}} + k_{\text{п.подв}}. \quad (4)$$

При записи петрофизических связей (2)–(4) предполагалось, что в коллекторе соотношение между объемом глин и связанной водой сохраняется постоянным и равно этому соотношению в пласте глин. Тогда можно записать следующие выражения для объема скелета и объема глин:

$$V_{\text{гл}} = (k_{\text{п.нк}} - k_{\text{п.подв}})/k_{\text{п.гл}}, \quad (5)$$

$$V_{\text{ск}} = 1 - k_{\text{п.подв}} - (k_{\text{п.нк}} - k_{\text{п.подв}})/k_{\text{п.гл}}, \quad (6)$$

где параметры $k_{\text{п.гл}}$ и $\Sigma_{\text{гл}}$ – это пористость по НК (водородосодержание) и сечение пласта глин соответственно. Подставляя выражения (5) и (6) в (2), получаем формулу для расчета подвижной пористости, которая будет выглядеть следующим образом:

$$k_{\text{п.подв}} = \frac{(\Sigma_a - \Sigma_{ck}) \cdot k_{\text{п.гл}} - (\Sigma_{gl} - \Sigma_{ck}) \cdot k_{\text{п.нк}}}{\{(\Sigma_{b.\text{подв}} - \Sigma_{ck}) \cdot k_{\text{п.гл}} - (\Sigma_{gl} - \Sigma_{ck})\}}, \quad (7)$$

где Σ_a – измеренное сечение захвата нейтронов.

Выражение (7) предполагает, что минерализация связанный воды в пласте глин и коллекторе не меняется либо меняется незначительно. Также предполагается постоянство минерализации подвижного флюида в коллекторах. Ясно, что указанные выше условия измерений соблюдаются в случае слабоминерализованных пластовых вод и промывочной жидкости (ПЖ) как в открытом, так и в закрытом стволе. В случае же минерализованных пластовых вод расчет связанный пористости также возможен. В открытом стволе расчет $k_{\text{п.подв}}$ возможен при определенных допущениях к модели проникновения фильтрата ПЖ, в закрытом стволе – при известных насыщении и минерализации пластовых вод.

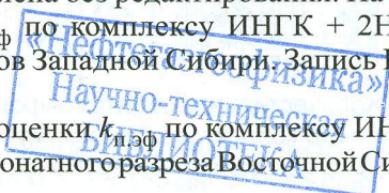
Пример практической реализации технологии расчета $k_{\text{п.подв}}$ показан на рис. 1. Измерения проведены автономным комплексом на буровом инструменте при каротаже горизонтального ствола скважины, вскрывшей кровельную заглинизованный часть пласта АВ1(3) Самотлорского месторождения. Бурение проводилось на высокоминерализованном буровом растворе с УЭС 0,1 Ом·м, что соответствует минерализации $\sim 40 \text{ г/l}$, или $\sim 675 \text{ мг экв/l}$ по хлору (Cl).

Для оценки эффективности технологии более чем в 10 скважинах произведено сопоставление результатов с данными ядерно-магнитного каротажа в сильном поле (ЯМТК). Во всех случаях была показана высокая сходимость результатов как по интервальному выделению коллекторов, так и по абсолютной величине эффективной пористости.

На рис. 2 приведено сравнение оценки $k_{\text{п.эф}}$ по комплексу ИННК + 2ННК с ЯМТК для терригенных коллекторов Западной Сибири. Скважиной вскрыт водонасыщенный пласт БВ9 и нефтенасыщенный пласт БВ10 с водонефтяным контактом на глубине 2468 м. УЭС бурового раствора – 1,4 Ом·м, что соответствует минерализации $\sim 2,5 \text{ г/l}$, или $\sim 42 \text{ мг экв/l}$ по хлору (Cl).

Кривая $k_{\text{п.эф}}$ по ИННК представлена без редактирования. На рис. 3 приведено сравнение оценки $k_{\text{п.эф}}$ по комплексу ИНГК + 2ННК с ЯМТК для терригенных коллекторов Западной Сибири. Запись ИНГК выполнена в закрытом стволе.

На рис. 4 приведено сравнение оценки $k_{\text{п.эф}}$ по комплексу ИННК + 2ННК с результатами ЯМТК для карбонатного разреза Восточной Сибири.



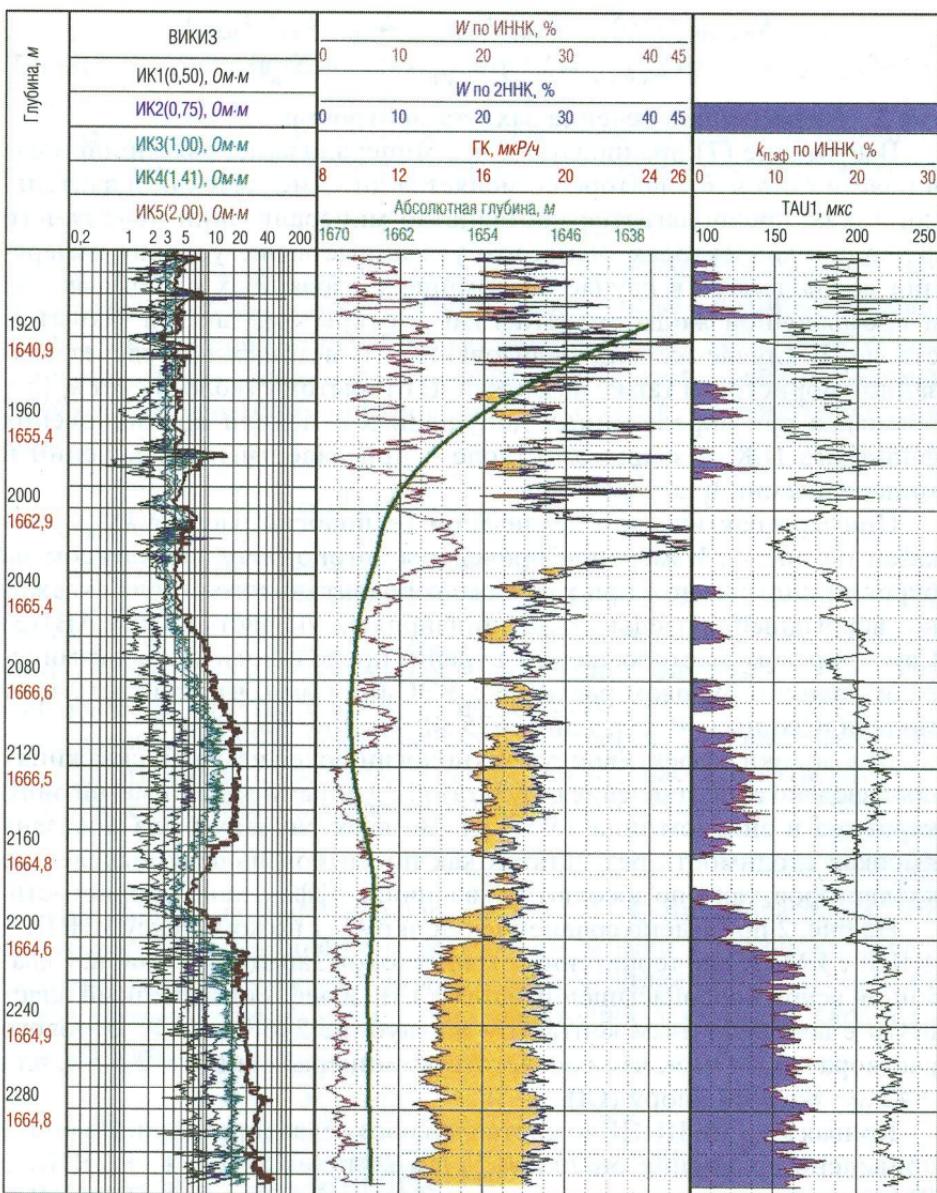


Рис. 1. Количественная оценка коэффициента эффективной пористости $k_{\text{п.эф}}$ терригенного коллектора по комплексу 2ННК + ИННК. Каротаж горизонтального ствола на буровом инструменте

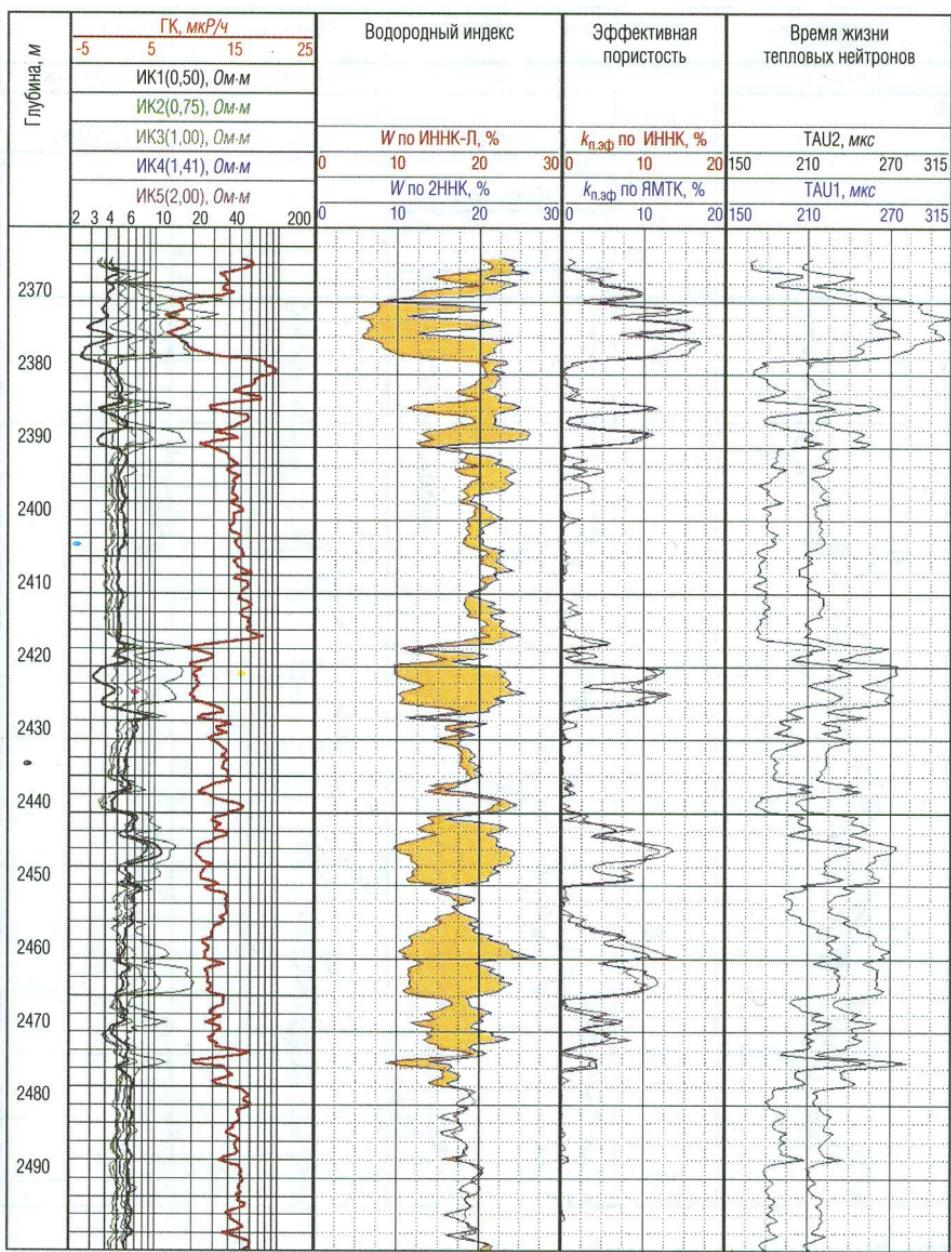


Рис. 2. Сопоставление коэффициента эффективной пористости $k_{\text{п.эф}}$ по комплексу 2ННК + ИННК с результатами ЯМТК. Терригенный коллектор

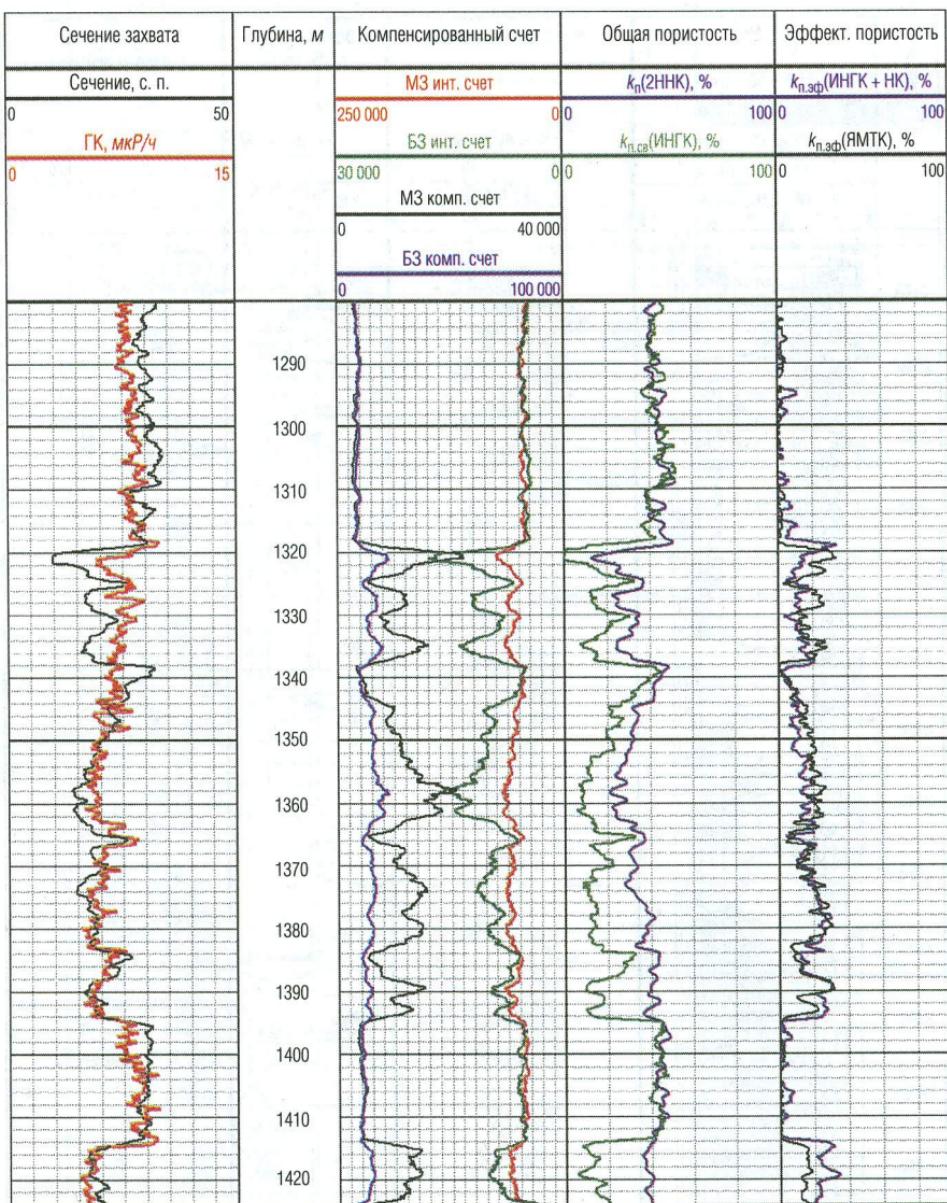


Рис. 3. Сопоставление коэффициента эффективной пористости $k_{\text{п.эф}}$ по комплексу 2ННК + ИННК с результатами ЯМТК. Терригенный коллектор. Запись ИННК выполнена в закрытом стволе

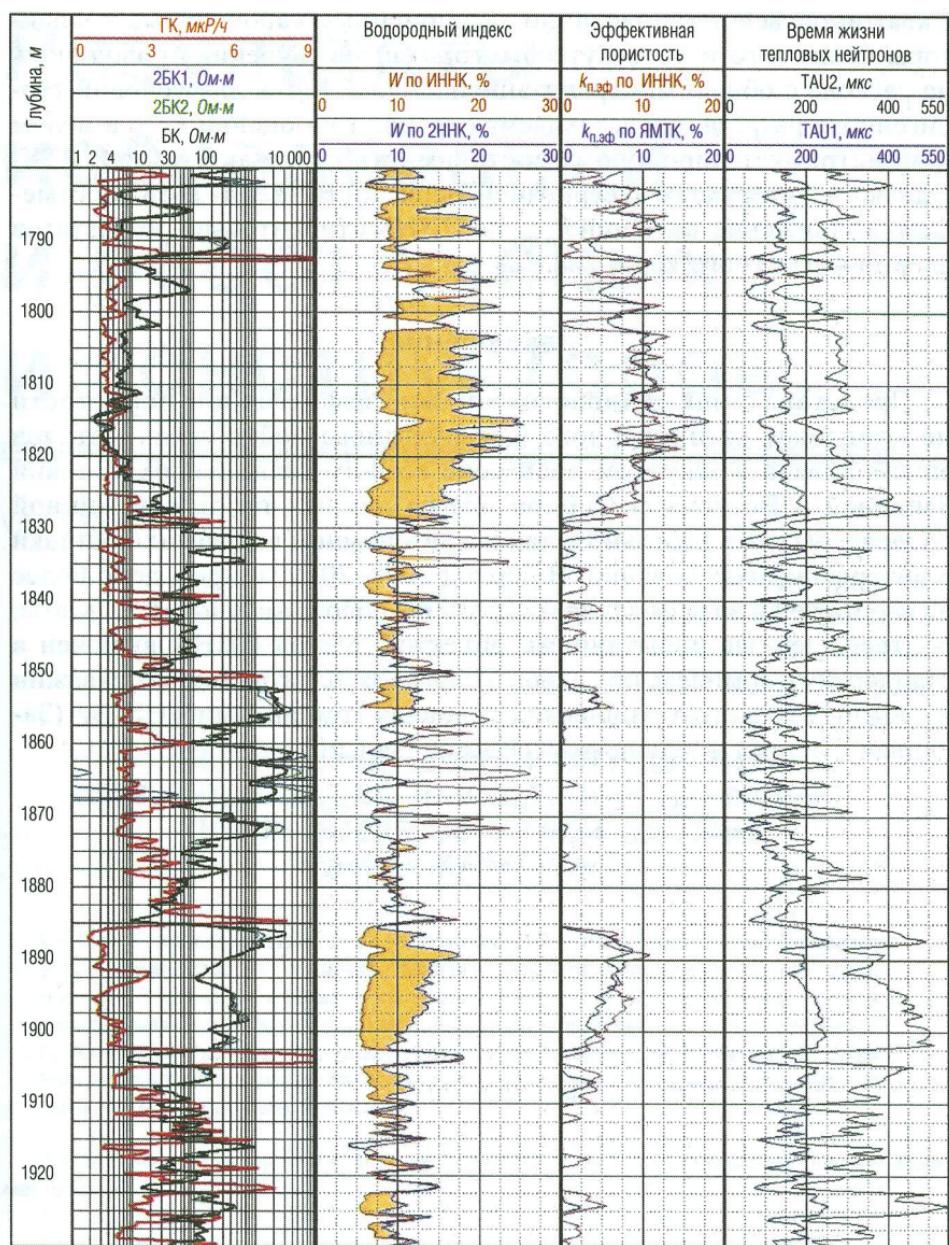


Рис. 4. Сопоставление коэффициента эффективной пористости $k_{\text{п.эф}}$ по комплексу 2ННК + ИННК с результатами ЯМТК. Карбонатный коллектор

Скважиной вскрыты частично засолоненные карбонатные коллекторы Осинского и Усть-Кутского горизонтов. Бурение проводилось на рассоле с общей минерализацией 270 г/л. Как и для условий терригенного разреза, предлагаемая технология оценки $k_{\text{п.эф}}$ в целом демонстрирует хорошую сопоставимость с результатами ЯМТК. Однако в интервалах кавернозной пористости (1814–1818 м) отмечается занижение значений $k_{\text{п.эф}}$ по ИННК относительно результатов ядерно-магнитного каротажа.

Заключение

Предлагаемая технология оценки эффективной пористости по комплексу стационарного и импульсного нейтронных методов апробирована в широком диапазоне геолого-технических условий Западной и Восточной Сибири для различных типов скважинной аппаратуры как в кабельном, так и в автономном вариантах доставки в интервалы исследований. В период 2008–2010 гг. проведено более 50 каротажей и во всех случаях получены положительные результаты, подтвержденные испытаниями объектов. Метод ИННК включен в стандартный комплекс при строительстве эксплуатационных скважин в сложных геолого-технических условиях компаниями ТНК-ВР (Западная Сибирь) и “Роснефть” (Восточная Сибирь).