

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ ЗАКОЛОННОГО  
ПРОСТРАНСТВА  
ПО ДАННЫМ ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

**Я.С. Гайфуллин, А.И. Лысенков**  
(ОАО НПП «ВНИИГИС», Башкортостан, г. Октябрьский)

*Газовые скважины, цемент, выявление и оценка каверн, естественное  
гамма-излучение, нейтронные методы*

*Gas wells, cement, detection and estimation of caverns, natural gamma radiation, neutron  
methods*

*Estimation of casing string-borehole annulus condition changes based on the nuclear well  
logging data. Gaifullin Y.S., Lysenkov A.I.*

*Non conventional use of nuclear well logging methods for detection and estimation of the size  
of caverns in cement and rock in gas production wells is represented. Different approaches based  
of application of rocks natural gamma-ray radiation study and parameters of pulsed neutron  
methods are described. Fig.2, ref. 3.*

Эксплуатация скважин на газовых месторождениях и подземных хранилищах газа (ПХГ) сопровождается разрушением и усадкой цемента, образованием каверн в продуктивных коллекторах. Эколого-экономическую актуальность приобрела проблема качества цементирования, мониторинга техногенных изменений в заколонном и межтрубном пространстве, обнаружение и устранение перетоков газа по полостям и трещинам в цементе, выявление каверн, образующихся при выносе песка из высокопористых коллекторов.

Известные методы цементометрии имеют свои особенности применения. Акустическая цементометрия позволяет определять качество сцепления цемента с обсадной трубой, но не его распределение по объему. Плотностная гамма-гамма цементометрия со сканирующим лучом позволяет оценить распределение цементной массы по периметру обсадной колонны в затрубном пространстве, но обладает малой глубиной.

Для условий газовых скважин существуют также другие возможности. Одна из них — идея оценки состояния цемента за колонной на основе сопоставления излучаемого и поглощаемого гамма-излучений [1,2]. Она основана на анализе кривых фонового и мониторингового замеров. В качестве таковых использованы кривые гамма-каротажа (ГК) в открытом и обсаженном стволе скважины. Математическая модель, основанная на геометрических факторах колонны, цемента и породы, позволяет оценить размеры разрушенного (полости) и оставшегося цемента. В методе естественной радиоактивности (ГК, ГК-С) используется гамма-излучение с высокими начальными энергиями, обладающее высокой проникающей способностью. Глубинность при гамма-каротаже более чем в 3 раза превышает глубинность плотностного гамма- гамма каротажа (ГГК).

Систему скважина-пласт в условиях ПХГ можно рассматривать как последовательность цилиндрических зон — цилиндрических слоев, соответствующих заполнению скважины, обсадной колонне, цементу в затрубном (и межтрубном) пространстве между колонной и стенкой скважины. Возможны многоколонные конструкции. При фоновом замере заполнение скважины — промывочная жидкость на глинистом растворе, скважина не обсажена. При мониторинге скважина обсажена, заполнена газом. Если промежуточная зона нарушена появлением полостей, заполненных газом, то поглощение естественного гамма-излучения, приходящего из пласта, ослабевает, в соответствии с массой цемента, устраненной из полостей. Из-за поглощения  $\gamma$ -излучения в колонне и цементе распределения амплитуд показаний ГК в обсаженных скважинах заметно смещены относительно распределений в необсаженных скважинах в сторону

уменьшения показаний. Зная диаметр и конструкцию скважины, сравнивая показания ГМ фонового замера (до обсадки) и показания после обсадки, можно выявить и рассчитать усредненную по азимутальному углу (периметру колонны) толщину слоя цемента и размеры образовавшейся полости. Таким образом, из аналитической модели для мониторингового замера можно было бы получить зависимость для характера разрушенности цемента от ГКобсаж и ГКнеобсаж, то есть непосредственно выразить её среднюю толщину в радиальном направлении и размер образовавшейся полости. Учитывая известную степень неопределенности параметров, входящих в геометрические факторы и метрологические параметры, требуется некоторая визуальная настройка математической модели в процессе диалогового режима интерпретации. Иначе из-за её неадекватности реальным данным и высокой чувствительности изменениям значений кривых результаты могут стать непредсказуемыми.

Приведен пример интерпретации (рис.1), поясняющий рекомендуемый подход оценки параметров промежуточной зоны (цемента) по данным сопоставления гамма-излучения из породы до и после обсадки скважины.

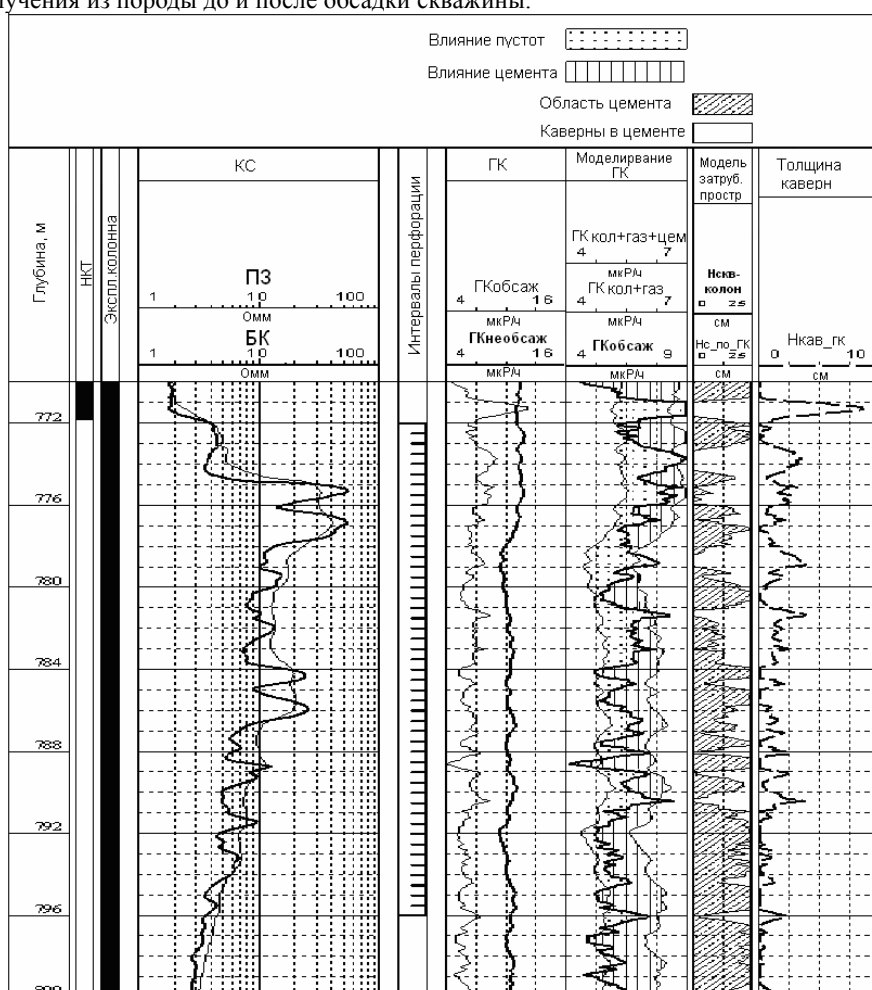


Рис. 1. Оценка изменений состояния заколонного пространства по данным естественной радиоактивности

Для этого с использованием геометрических факторов рассчитываются две теоретические кривые кажущегося мониторингового замера: а) ГКкол+газ, б) ГКкол+газ+цем. При расчетах используется фоновый замер, то есть ГКнеобсаж в

предположении:

а) излучение из пласта изменено влиянием только колонны и газа между прибором и колонной;

б) излучение из пласта изменено влиянием всех факторов, то есть газа, колонны, цемента.

При правильно подобранных параметрах моделирования реальная мониторинговая кривая (ГКнеобсаж) должна располагаться в коридоре между этими кривыми. Её приближение к нижней кривой означает увеличение цемента, а верхней – наоборот, уменьшение цемента, то есть образование полостей и каверн (см.рис.1).

Соответствующим варьированием параметров, входящих в формулу расчета, можно совместить реальную кривую гамма-каротажа – ГКобсаж в коридоре между теоретическими кривыми, а затем определить толщину оставшегося цемента, размеров образовавшихся полостей и каверн.

Для наглядности представления промежуточной зоны, полученные результаты лучше оформить в виде объемной модели затрубного пространства – зазора (доли полости и оставшегося цемента).

Информация о промежуточной зоне переведена в значения эквивалентных толщин оставшегося цемента и размера полости, то есть в объемную модель пространства между обсадной трубой и стенкой скважины (см.рис.1). На планшете это – пространство между нулем и величиной разности радиуса скважины и радиусом колонны (см.рис.1, Нскв-колон.). В этом коридоре представлена рассчитанная кривая средней толщины цемента – Нс\_по\_гк. Области коридора заливаются соответствующими условными цветами для газа и цемента. На последней колонке планшета отдельно приведена кривая, представляющая информацию о средних размерах образовавшихся в затрубном пространстве каверн – Нкав\_гк.

Немаловажное практическое значение имеет другая принципиальная возможность оценки радиуса (или объема) технологических каверн для газовых пластов, связанная с изучением параметров искусственно созданного поля нейтронов с применением различных модификаций нейтронных методов (со стационарными и импульсными источниками нейтронов). В данном случае уже не требуется наличия двух повторных измерений на скважине. На пространственно- временное распределение нейтронов, кроме основных характеристик пород, заметное влияние оказывает состояние околоскважинного пространства [3]. Отмечается, что импульсный метод обладает большей глубинностью и информативностью. Проведенные исследования для серийной аппаратуры ИННК с использованием программ быстрого пакета ПОЛЕ (А.Л. Поляченко и Л.Б. Поляченко), а также экспериментальные исследования на моделях скважин в метрологическом центре ОАО НПП ВНИИГИС позволили оценить степень и характер влияния размеров технологических каверн на распределение нейтронов.

В общем случае, при рассмотрении реальных скважинных параметров ИННК в газовых коллекторах, в интерпретационной модели необходимо учитывать влияние породы, количества цемента в затрубье, объема образовавшихся каверн с газом. При этом нас интересуют только каверны, а влияние породы, то есть литологических и коллекторских характеристик, является мешающим фактором. Предполагается, что литологические и коллекторские характеристики пород известны. Это позволяет от многомерных зависимостей для параметров ИННК перейти только к зависимостям от радиуса каверн.

Для компенсации неизбежного влияния породы, в технологии интерпретации данных ИННК можно попытаться использовать более приближенный подход. Известно, что данные ряда геофизических методов очень чувствительны одновременно пористости, насыщенности, глинистости. К таковым можно отнести, например, данные электрических методов (БК, ПС), зарегистрированные в необсаженной скважине. Их корреляционные связи с параметрами нейтронных методов оказались достаточно тесными, что позволяет приближенно учесть фон породы.

Сопоставление результатов независимых ядерно-геофизических методов интересно (рис.2).

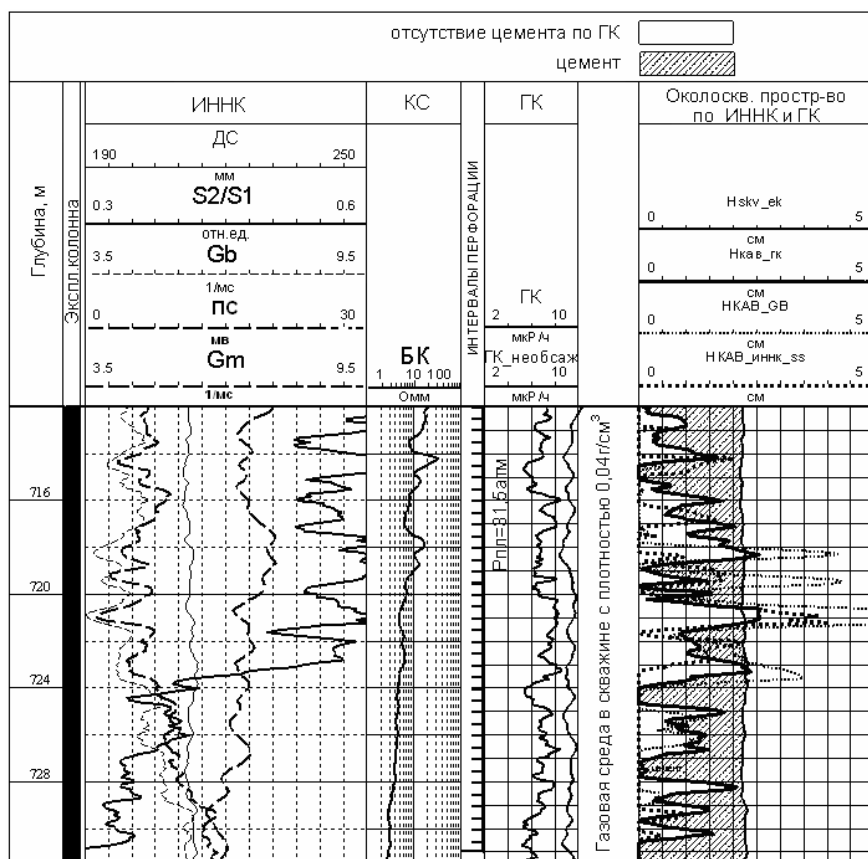


Рис.2. Результаты оценки изменений в заколонном пространстве по данным ИННК и естественной радиоактивности

Результаты оценки каверн по временным декременту большого зонда (Gb) и отношению интенсивностей показаний зондов (S2/S1) метода ИННК по серийной аппаратуре, то есть эквивалентных толщин каверн, представлены в последней колонке в виде соответствующих кривых. Здесь же приведены результаты оценки состояния околоскважинного пространства (зазора между трубой и стенкой скважины) на основе данных метода естественной радиоактивности (ГК) в виде соответствующей модели. Область цемента заштрихована. Кривая Hskv\_ek представляет значения зазоров между колонной и стенкой скважины, кривая Hкав\_гк – толщины образовавшихся каверн по данным ГК; кривые Hкав\_Gb, Hкав\_иннк\_ss – толщины образовавшихся каверн по временному и пространственному декрементам (отношению показаний зондов ИННК).

Сопоставление полученных результатов показывает, что они согласуются между собой. Имеющиеся расхождения могут быть связаны различием физической природы методов, недостаточной адекватностью использованных интерпретационных моделей, а также качеством исходной информации.

#### Выводы

- Изучение радиальных характеристик промежуточной зоны системы скважина-пласт

## **Бурение скважин и разработка месторождений**

приобретает экологическую актуальность в связи с необходимостью выявления и устранения заколонных перетоков газа по полостям межтрубья в обсаженных скважинах многоколонной конструкции, а также по кавернам затрубного пространства на газовых месторождениях и ПХГ.

- Приведены результаты разработки относительно простых методик выявления и определения размеров полостей в затрубном пространстве на основе интерпретационных моделей для ядерно-геофизических методов – ГК, ИННК, учитывающих радиальную неоднородность системы «скважина – пласт».
- Перспективы использования методик связаны развитием теоретических и экспериментальных основ, технологий проведения скважинных работ и интерпретации материалов, возможно аппаратных разработок.

### **Список литературы**

1. Кожеевников Д.А.. Интерпретационное обеспечение метода естественной радиоактивности. //Геофизика, 2005. -№ 2. –С.42-49.
2. Гайфуллин Я.С., Кожеевников Д.А. Изучение состояния цемента в затрубном пространстве газовых скважин методом естественной радиоактивности //НТВ «Каротажник». - Тверь: Изд. АИС, 2008. -Вып. 6 (171). -С. 83- 91.
3. Шимелевич Ю.С., Кантор С.А. Физические основы импульсных нейтронных методов исследования скважин. - М.: Недра, 1976. - 160 с.

### **Сведения об авторах**

**Гайфуллин Я.С.**, к. т. н., ведущий научный сотрудник отдела программно-управляемой геофизической аппаратуры ОАО НПП "ВНИИГИС", Башкортостан, г. Октябрьский, тел.: (34767) 5-29-87, e-mail: VNIIGIS@bashnet.ru

**Лысенков А.И.**, к. т. н., главный геолог, заместитель Генерального директора ОАО НПП "ВНИИГИС" по геологии, Башкортостан, г. Октябрьский, тел.: (34767) 6-63-68, e-mail: VNIIGIS@bashnet.ru

**Gaifullion Y.S.**, Candidate of Technical Sciences, Leading scientific worker of Department for Software-programmable geophysical equipment, OJSC «NPP VNIIGIS», Bashkorstan, Oktyabrsky, phone: (34767) 5-29-87, e-mail: VNIIGIS@bashnet.ru

**Lysenkov A.I.**, Candidate of Technical Sciences, Chief Geologist, General Director Deputy of OJSC «NPP VNIIGIS», Bashkorstan, Oktyabrsky, phone: (34767) 6-63-87, e-mail: VNIIGIS@bashnet.ru