

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Подсчет запасов и проектирование разработки требуют достоверных сведений о свойствах пласта. Поиск и использование для этих целей дополнительной информации о физических свойствах горных пород влекут за собой наряду с анализом материалов стандартных исследований также внедрение новых методов исследования керна и скважин. В случае с неоднородными, низкопроницаемыми, расчлененными коллекторами, повсеместно приходящими на смену истощенным «легким» коллекторам, эта важнейшая задача петрофизики и промысловой геофизики приобретает особое значение.

Если по классификации В.Н.Кобрановой [1] горные породы с проницаемостью $k < 10^{-4}$ мкм² (0,1 мД) относятся к практически непроницаемым — а по уточнению В.М.Добрынина с соавторами [2] практически непроницаемым породам соответствует диапазон $10^{-6} < k < 10^{-4}$ мкм² (0,001–0,1 мД), притом что породы с меньшей проницаемостью $k < 10^{-6}$ мкм² (0,001 мД) уже являются породами-экранами нефти и газа, обеспечивающими сохранение промышленных залежей в течение геологического времени, — то сейчас на примере баженовской свиты можно утверждать, что вчерашние «неколлектора» становятся геологическими объектами с большим потенциа-

лом промышленных притоков высококачественной нефти.

Однако для решения задач разработки таких резервуаров необходимо всестороннее детальное изучение пород, слагающих залежь, что из-за их сверхнизких фильтрационно-емкостных свойств невозможно сделать на стандартном лабораторном оборудовании с применением стандартных общепринятых методик.

В этой связи ГК «Аргоси» совместно с Core Laboratories — единственной в мире компанией, занимающейся как изучением каменного геологического материала различного происхождения, так и созданием специализированного оборудования для этих исследований и его методической под-

держкой, — предлагает новые аналитические системы в области исследований керна месторождений нетрадиционных углеводородов: GRI и NanoK.

Ниже представлен краткий обзор методов GRI и NanoK.

На рис.1 показан исследуемый диапазон проницаемости по сравнению с методами, принятыми для изучения традиционных коллекторов.

Метод GRI — SMP-200

По методике GRI-95/0496 образец сланцевой породы измельчается и просеивается ситами от 20 до 35 US Mesh до получения порошка с гранулами диаметром 0,5–0,85 мм. Около 30 граммов из-

Рис.1 Сравнение диапазонов определения проницаемости разными методами

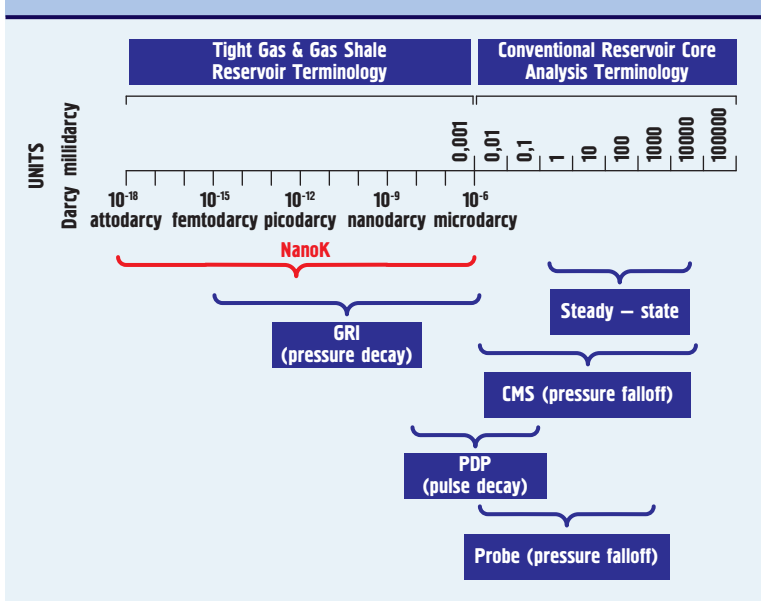


Рис.2 Сланцевый матричный пермеаметр SMP-200



мельченного и просеянного образца помещается в испытательную камеру SMP-200. С использованием гелия на образец, находящийся в испытательной камере, подается давление примерно 200 psig и в течение интервала времени до 2000 секунд записывается кривая падения давления.

В основе принципа работы установки лежит закон Бойля. Все операции автоматизированы, что уменьшает время установления кривой, т.е. длительность эксперимента. На основе имеющихся данных по весу, объемной плотности, эффективной пористости и кривой падения давления можно получить значение эффективной проницаемости. При загрузке 100 граммов породы дополнительно можно определить следующие параметры: общая пористость, минералогическая плотность, водо- и нефтенасыщение.

На рис.3 схематично представлен порядок полного комплекса работ по методу GRI.

Как видно из рис.4 время установления кривой падения давления для трех образцов практически одинаково и составляет примерно 10 минут, при этом самая высокая и самая низкая проницаемости отличаются на два порядка.

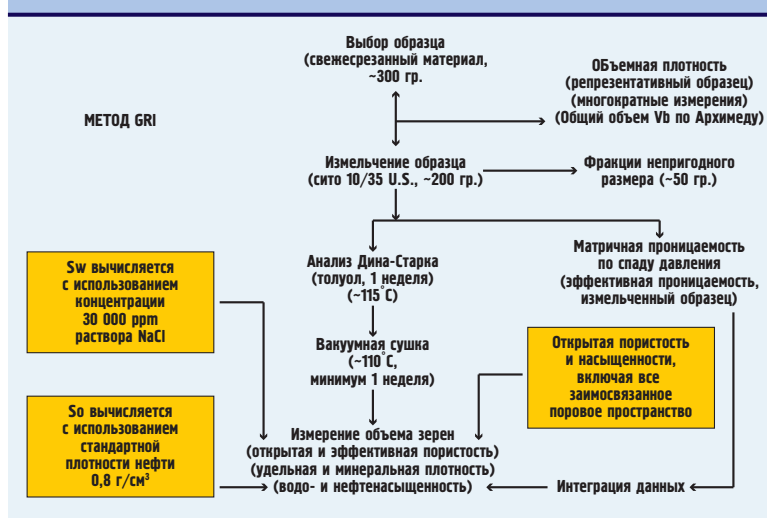
Таким образом, метод GRI позволяет определять матричную проницаемость до 10^{-15} Д, однако имеет свои недостатки:

- ◆ не может быть измерено влияние напряжений в пласте;
- ◆ одноосная сжимаемость порового объема, что особенно важно для нефтенасыщенных коллекторов;
- ◆ зависимость проницаемости от давления.

Кроме того, исследования на измельченной породе не могут учесть влияние на проницаемость трещиноватости и структуры порового пространства породы (отношение диаметра пор к диаметру каналов фильтрации, извилистость капилляров и др.), что проиллюстрировано рис.5.

Однако, как отмечают Э.М.Халимов и В.С.Мелик-Пашаев [3] при макро- и микроскопических исследованиях образцов породы баженовской свиты, «в более чем 1/3 изученных образцов трещиноватость вообще отсутствует». По-

Рис.3. Порядок работ по методу GRI



этому данный метод имеет право на существование для определения матричной проницаемости. Оптимально его применение в совокупности со следующим методом для обоснованности и взаимной корректировки измерений.

NanoK-100. Ультранизкая проницаемость по газу

Метод представлен цифровым нано-пермеатром, работающим в стационарном режиме фильтрации, для измерения ультранизкой проницаемости образцов керна с учетом эффекта Клинкенберга по трем точками.

В NanoK-100 используется два основных держателя гидростати-

ческого типа. Запатентованный расходомер NANOQ служит для измерения расхода газа до

Рис.4. Графики для образцов с различной проницаемостью, получаемые по методу GRI

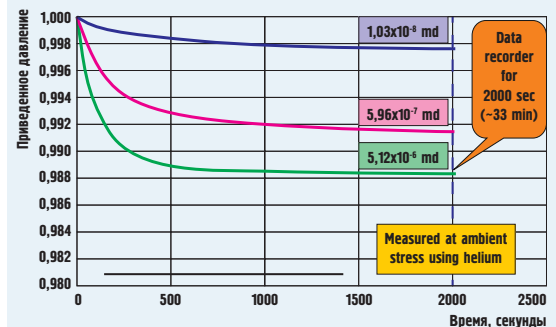


Рис.5. Сопоставление данных по проницаемости методов GRI и PDP (по спаду импульса)

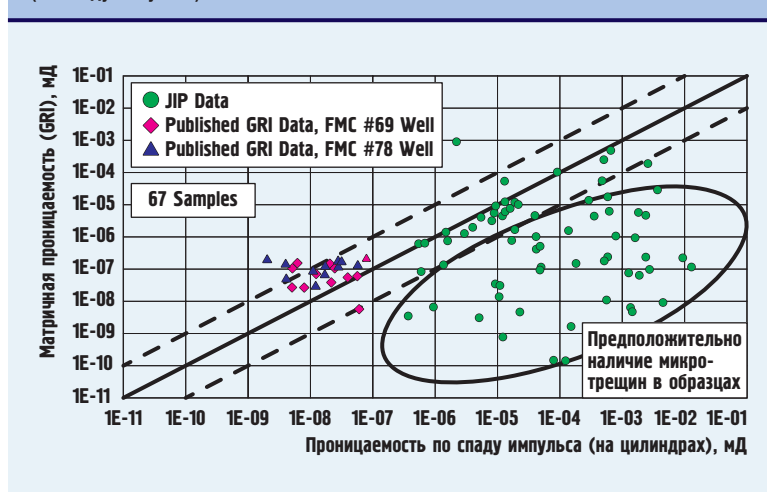


Рис.6 Внешний вид нано-пермеметра NanoK-100



$6,7 \cdot 10^{-10}$ см³ в секунду с мониторингом входного давления, контролируемого высокоточным цифровым датчиком давления. Для измерений используется метан или азот. Из-за низкой скорости потока инерционные эффекты сводятся к минимуму.

Диапазон измерений проницаемости — от 1 аД (10^{-18} Дарси) до 1 мкД (10^{-6} Дарси).

Для измерений используется стандартный цилиндрический образец зерна. Следует отметить, что при работе с нетрадиционными коллекторами помимо самих исследований дополнительные трудности представляет и приготовление образцов. Из-за плотности породы требуется больше времени, чтобы очистить породу от воды, солей, углеводородов и высушить породу. Кроме того, порода может разламываться вдоль природных ослабленных поверхностей, в связи с чем очень сложно изготовить из зерна цилиндры и пластины.

Параметры эксперимента следующие:

- ♦ входное давление (P_1) ~ 32 psig (2,1 атм);
- ♦ давление на выходе (P_2) ~ 0 psig (0 атм);
- ♦ используемый газ: азот (опционально — метан);
- ♦ эффективное давление (NCS) — до 10000 psi (667 атм);
- ♦ обычно три измерения на давление;
- ♦ эффективная или абсолютная проницаемость;
- ♦ коэффициент проницаемости по жидкости, определяемый по многоточечной зависимости $K_{пр\ газ} = f(1/PM)$.

На рис.7 приведен пример измерения проницаемости образца сланцевой породы месторождения Eagle Ford (США) разными методами.

Как видно из рис.7, определение проницаемости по методу PDP (по спаду импульса давления) дало сбой при эффективном давлении

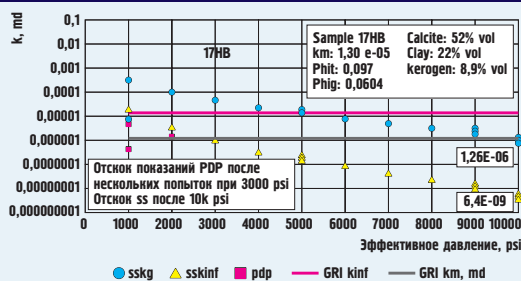
3000 psi (200 атм) с последним информативным значением 10^{-6} мД, тогда как метод NanoK с учетом эффекта Клинкенберга показал 10^{-9} мД при эффективном давлении 10000 psi (667 атм).

На рис.8 показана тесная корреляционная связь проницаемости по газу при различном давлении, что обусловлено эффектом Клинкенберга. При этом точка пересечения с осью ординат (проницаемость по жидкости) совпадает для определений по азоту и метану, а также теоретическим расчетам по метану.

Выводы

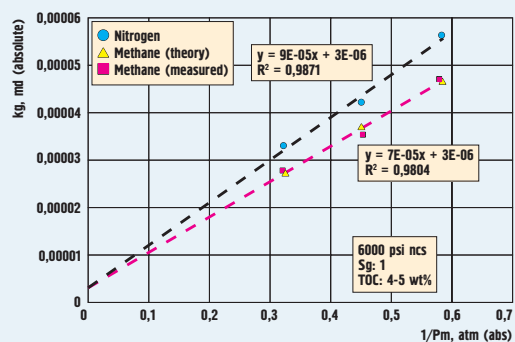
Инновационные аналитические системы нового поколения GRI, NanoK и предлагаемые на их основе методы исследований от ГК «Аргоси», позволяют измерять проницаемость на 12 порядков точнее, чем стандартные приборы, и тем самым повышают достоверность данных о физических свойствах плотных нетрадиционных коллекторов, в том числе и Баженовской свиты. В сочетании с комплексом других приборов, оборудования и аналитического программного обеспечения от ГК «Аргоси» это дает возможность с большей уверенностью и точностью моделировать процессы многостадийного ГРП при разработке Баженовской свиты, что, в конечном счете, соответственно и приведет к увеличению коэффициента извлечения нефти.

Рис.7 Сравнение данных по проницаемости различными методами образца сланцевой породы месторождения Eagle Ford (США)



sskg — проницаемость по газу методом NanoK;
 sskinf — проницаемость NanoK с учетом эффекта Клинкенберга;
 pdp — проницаемость по спаду импульса;
 GRI km — матричная проницаемость GRI;
 GRI kinf — эффективная проницаемость GRI.

Рис.8 Проницаемость по азоту и метану при различном давлении на манометре (эффект Клинкенберга)



Список литературы

1. Кобранова В.Н. Петрофизика. — М.: Недра, 1986
2. Добрынин В.М., Венделштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика (физика горных пород). М., Нефть и газ, 2004. 367 с.
3. Халимов Э.М., Мелик-Пашаев В.С. О поисках промышленных скоплений нефти в баженовской свите. — Геология нефти и газа, 1980, № 6, с. 1-9



Группа Компаний «Аргоси»
 Москва, Стремянный переулок, 38
 Тел.: +7 (495) 544-11-35,
 Факс: +7 (495) 544-11-36
www.argosy-tech.ru
moscow@argosy-tech.ru

CTT
WIC
2013

IC TA
Intervention & Coiled Tubing Association

Coiled tubing
ВРЕМЯ КОЛТЮБИНГА times

ИП «ЦПКТ»
NP CTTDC

**14-я Международная научно-практическая конференция
«КОЛТЮБИНГОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВНУТРИСКВАЖИННЫЕ РАБОТЫ»**

**14th International Scientific and Practical
COILED TUBING AND WELL INTERVENTION CONFERENCE**

**30 октября – 1 ноября 2013 года,
Россия, Москва, гостиница «Аэростар»
(Ленинградский проспект, 37, корпус 9,
ст. метро «Динамо»)**

**October 30 – November 1, 2013
Aerostar Hotel, Moscow, Russia
(Leningradskiy ave. 37, bld. 9, "Dinamo" subway station)**

**Тематика технических секций
конференции:**

- Новые технологии повышения нефтеотдачи пластов;
- Интенсификация добычи нефти и газа, в том числе новые технологии проведения ГРП;
- Зарезка боковых стволов, в том числе с применением ГНКТ;
- Технологии и оборудование для разработки нетрадиционных источников углеводородов, в том числе для дегазации угольных пластов;
- Современные методы геофизического исследования скважин;
- Ремонтно-изоляционные работы в нефтяных и газовых скважинах;
- Нефтепромысловая химия;
- Оборудование, материалы и инструмент для текущего и капитального ремонта скважин;
- Информационное обеспечение внутрискважинных работ.

**Technical sessions will focus
on the following topics:**

- Oil recovery enhancement technologies;
- Oil and gas production stimulation, including hydraulic fracturing technologies, and their performance evaluation;
- Sidetracking, including that with coiled tubing utilization;
- Technologies and equipment for unconventional hydrocarbons development, including coal bed devolatilization;
- Modern methods of geophysical well logging;
- Squeeze job in oil and gas wells;
- Oilfield chemistry;
- Equipment, materials and tools for well servicing and workover;
- Information support of well intervention operations.

КОНТАКТЫ / CONTACTS:
Tel. +7 499 788 91 24
Tel./fax: +7 499 788 91 19
E-mail: cttimes@cttimes.org,
www.cttimes.org



www.cttimes.org/ru/conference