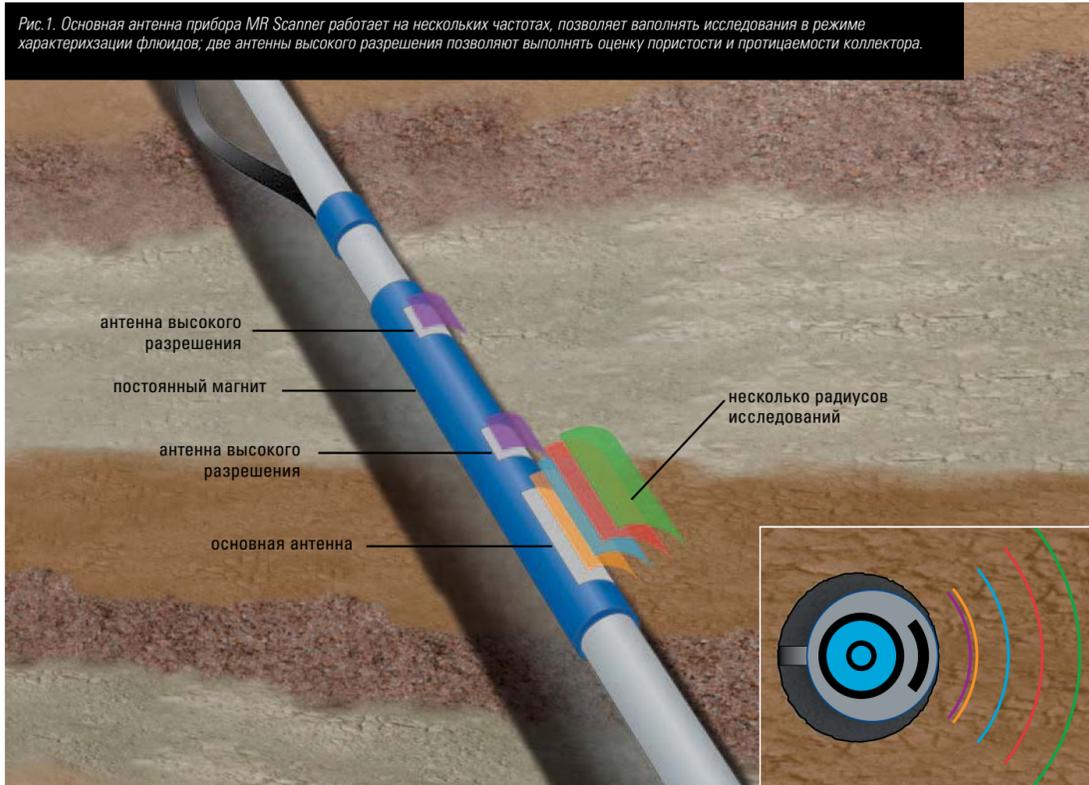


Рис. 1. Основная антенна прибора MR Scanner работает на нескольких частотах, позволяет выполнять исследования в режиме характеризации флюидов; две антенны высокого разрешения позволяют выполнять оценку пористости и проницаемости коллектора.



#### Минимизация влияния скважины на проведение измерений

Прибор MR Scanner имеет несколько радиусов исследований, которые не зависят от диаметра и геометрии ствола скважины (рис.1). Эффекты влияния бурового раствора в интервалах разрушения ствола скважины или толстой глинистой корки на измерение пористости легко обнаруживаются по результатам разноглубинных измерений, учитываются при оценке свойств коллекторов. Дальний радиус исследований обеспечивает возможность оценки пластового флюидонасыщения при работе в зонах с ограниченной зоной проникновения фильтра бурового раствора.

Дальний радиус исследований позволяет проводить исследования за пределами поврежденной призабойной зоны или глинистой корки. Эти измерения включают следующие свойства пород-коллекторов:

- Общая пористость, независимо от литологии
- Распределение пор по размеру
- Проницаемость
- Объемы свободного и связанного флюидов
- Распределение времен поперечной ( $T_2$ ), продольной ( $T_1$ ) релаксации и диффузии (D)

Прибор MR Scanner позволяет проводить характеризацию и оценку свойств флюидов в пластовых условиях:

- Уточнение характера насыщения коллекторов
- Оценка флюидонасыщения коллекторов на нескольких радиусах исследований
- Оценка вязкости нефти в пластовых условиях
- Оценка смачиваемости и геометрии порового пространства на качественном уровне

#### Любой диаметр и геометрия скважины

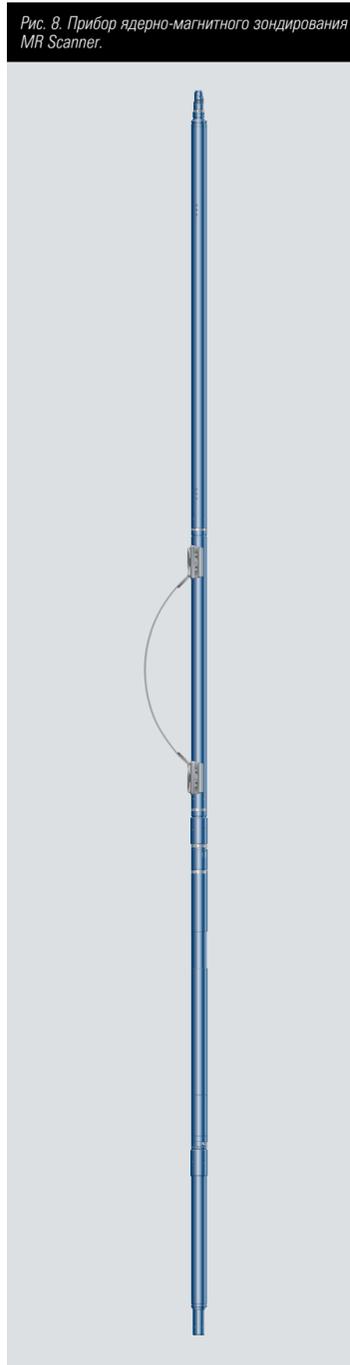
Прибор MR Scanner прижимается к стенке скважины с помощью специальной отклоняющей рессоры. Конструкция прибора позволяет осуществлять его спуск на забой как на кабеле, так и на бурильных трубах. Прибор возможно использовать как в скважинах большого диаметра, так и в наклонно-направленных либо горизонтальных скважинах. Радиусы исследований имеют фиксированные значения и не зависят от диаметра скважины.

#### Технические характеристики прибора MR Scanner

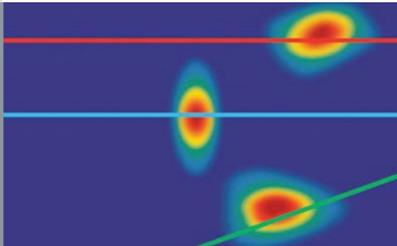
Физические характеристики	
Длина (м [фут])	10 [32.7]
Вес (кг [фунт])	544 [1200]
Диаметр (см [дюйм])	12.7 [5] зонд, 12.1 [4.75] картридж телеметрии
Точка записи (м [фут])	2.5 [8.2] от нижнего конца прибора
Мин. диаметр скважины (мм [дюйм])	149.2 [5.875]
Мин. диаметр скважины	Нет предела
Предельное натяжение (Н [фунт])	222411 [50000]
Предельное сжатие (Н [фунт])	35140 [7900]
Эксплуатационные характеристики	
Максимальное давление (кПа [psi])	137900 [20,000]
Максимальная температура (°C [°F])	150 [300]
Минерализация бурового раствора (Омм)	(0.05) <sup>†</sup>
Измерительные характеристики	
Максимальная скорость записи	
Режим связанного флюида (м/ч [фут/ч])	1100 [3600]
Стандартное ЯМК-профилирование (м/ч [фут/ч])	550 [1800]
Радиальное профилирование $T_2$ (м/ч [фут/ч])	275 [900]
Режим высокого разрешения (м/ч [фут/ч])	120 [400]
Радиальное профилирование $T_1$ (м/ч [фут/ч])	90 [300]
Радиальное профилирование флюидонасыщения (м/ч [фут/ч])	75 [250]
Минимальная вертикальная разрешающая способность (см [дюйм])	
19.1 [7.5], 45.7 [18]	
Минимальная временная раздвигка между ССЭ	0.45 мс
Частота (кГц)	1100 (антенна высокого разрешения) 1000-500 (основная антенна)
Градиент поля постоянного магнита (Гаусс/см)	44 (антенна высокого разрешения) 38-12 (основная антенна)
Диапазон измерений	
Пористость	0-100 %
Распределение $T_2$	0.4 мс-3.0 с
Распределение $T_1$	0.5 мс-9.0 с
Точность	
Общая пористость	1% стандартное отклонение, Три уровня осреднения 24°C [75°F]
Эффективная пористость	0.5% стандартное отклонение, Три уровня осреднения 24°C [75°F]
Радиусы исследований (см [дюйм])	3.2 [1.25] (антенна высокого разрешения) 3.8, 5.8, 6.9, 10.2 [1.5, 2.3, 2.7, 4.0] (основная антенна)

<sup>†</sup> Только основная антенна. Возможно суммирование данных нескольких записей в одном интервале глубин. Данные ЯМК хорошего качества были получены с использованием высокоминерализованного бурового раствора (УЗС=0.02 Омм)

Рис. 8. Прибор ядерно-магнитного зондирования MR Scanner.



# MR Scanner



Исследование  
пустотного  
пространства  
пород-коллекторов  
методом ЯМР

[www.slb.com/oilfield](http://www.slb.com/oilfield)

06-FE-190 August 2006  
\*Mark of Schlumberger  
Copyright © 2006 Schlumberger. All rights reserved.  
Produced by Schlumberger Marketing Communications

Schlumberger

Schlumberger

## Области применения

- Радиальное профилирование флюидо-насыщения (до 3х радиусов)
- Независимая оценка объема углеводородов в пустотном пространстве коллекторов в условиях низкоомных, низкоконтрастных, тонкослоистых, отложений, либо содержащих пресную пластовую воду либо воду неизвестной минерализации
- Уменьшено влияние неровностей стенок скважины на результата исследования, по сравнению с предыдущим поколением приборов ЯМК
- Режим высокого вертикального разрешения для исследований тонкослоистых отложений
- Оценка вязкости пластовой нефти непрерывно по глубине для оптимизации заканчивания скважины и выбора интервала перфорации
- Оценка пористости пород по разрезу независимо от свойств матрицы
- Оценка коэффициента остаточной нефтенасыщенности при использовании бурового раствора на водной основе, либо коэффициента остаточной водонасыщенности в случае использования раствора на нефтяной основе

## Преимущества

- Измерения за пределами поврежденной зоны
- Возможность радиального профилирования позволяет не только снизить влияние неровностей стенки скважины, но и учесть проникновение бурового раствора, при определении типа насыщающего флюида и его количественной оценке
- Корректная оценка свойств корллекторов даже при наличии повреждений стенок скважины либо толстой глинистой корки
- Уменьшенное время каротажных работ

## Особенности

- Существенно снижено влияние неровностей стенок скважины на измерения
- Измерения проводятся одновременно на нескольких радиусах исследований, независимо от диаметра скважины и геометрии ствола. Наибольший радиус исследований составляет 10 см
- Вертикальное разрешение до 19.5 см
- Скорость записи до 1100 м/ч (в режиме высокого разрешения)
- Качественное определение типа насыщающего флюида и количественная оценка ФЕС и насыщения
- Оценка распределений времен поперечной (T2), продольной (T1) релаксации и коэффициента диффузии (D) (на нескольких радиусах исследований)

## Оценка ФЕС коллекторов

Специальный комплекс исследований методом ядерно-магнитного резонанса выполняется при помощи прибора ядерно-магнитного каротажа (ЯМК) в сильном поле последнего поколения MR Scanner. Прибор позволяет проводить измерения петрофизических свойств исследуемых пород и свойств насыщающих их флюидов на нескольких радиусах исследований одновременно благодаря градиентному характеру постоянного магнитного поля и использованию нескольких частот генерируемого электромагнитного сигнала. Благодаря этому достигается возможность проведения разноглубинных оценок петрофизических свойств пласта и свойств насыщающих его флюидов.

Сопоставление результатов измерений на разном удалении от стенки скважины упрощает процедуру контроля качества каротажа на предмет влияния бурового раствора на измерения в случае неровностей ствола скважины либо присутствия толстой глинистой корки, оценивать насыщение в зоне проникновения фильтрата бурового раствора. Радиусы исследований имеют постоянные значения и не зависят от диаметра скважины, геометрии ствола скважины или пластовой температуры. Результаты обработки данных исследований позволяют получать важнейшие свойства коллекторов для изучения залежи:

- Количественная оценка объемов нефти и воды в пустотном пространстве пород-коллекторов – выделение и оценка продуктивных интервалов
- Оценка общей и эффективной пористостей коллекторов – оценка емкостного пространства коллекторов
- Оценка коэффициента остаточной водонасыщенности в пустотном пространстве пород по разрезу – определение возможной обводненности продукции
- Анализ распределений T<sub>2</sub> для нефти позволяет выполнять оценку вязкости пластовой нефти, уточнить результаты стандартной интерпретации распределений T<sub>2</sub>
- Наличие распределений T2 для водонасыщенных пор, скорректированных за присутствие углеводородов позволяют, в дальнейшем, провести корреляцию этого параметра с распределением пор по размеру
- Скорректированный за содержание углеводородов расчет проницаемости по уравнению Тимура-Коутса – определение уровня продуктивности интервалов
- Возможность использования T<sub>1</sub> для количественной интерпретации в условиях, когда корректная интерпретация распределений T<sub>2</sub> невозможна (каверновая пористость или легкие УВ).

Оценка всех вышеперечисленных свойств

пород-коллекторов в прискважинном пространстве производится независимо от измерений стандартных ГИС, в частности, объемной плотности или удельных электрических сопротивлений пород. Оценка флюидонасыщения не зависит от параметров уравнения Дахнова-Арчи и минерализации пластовой воды.

Результаты обработки данных ядерно-магнитного зондирования в сильном поле представляются в простом и удобном для использования формате, интуитивно-понятном для широкого круга пользователей нефтегазовой индустрии.

## Несколько радиусов исследований

Одна из наиболее важных особенностей конструкции прибора – наличие нескольких антенн.

Основная антенна работает на нескольких частотах и служит, главным образом, для обеспечения измерений в режиме оценки объема и свойств насыщающих флюидов. Антенна работает на трех различных частотах обеспечивая независимые измерения на трех радиусах исследования. Благодаря особенностям устройства прибора и прижимному механизму, прибор способен проводить измерения свойств с четырьмя различными радиусами исследований от 3.8 до 10 см, независимо от диаметра скважины, типа бурового раствора и пластовой температуры.

Благодаря тому, что прибор позволяет проводить несколько разноглубинных измерений одновременно, он предоставляет важнейшую информацию о распределении флюидов в пустотном пространстве в радиальном направлении, а также – выявить интервалы существенного разрушения стенок скважины одновременно. Анализ профиля проникновения фильтрата бурового раствора вместе с другими ФЕС коллекторов, получаемыми по данным ЯМК позволяют получить важнейшие параметры для проектирования разработки, от которых зависит экономическая эффективность проекта в целом.

Антенны высокого разрешения работают на одной частоте, которая соответствует несколько меньшему, чем у основной антенны, радиусу исследований. Эти антенны обеспечивают возможность оценки ФЕС коллекторов даже при исследованиях пластов малой мощности. Возможность записи данных основной антенной и антеннами высокого разрешения на спуске прибора позволяет не только оперативно оценить ФЕС коллекторов, выделить интервалы коллекторов, но и выделить газонасыщенные интервалы, сопоставляя разноглубинные оценки пористости. Кроме того, запись на спуске позволяет экономить время даже в сложных условиях измерений.

Возможность программирования специальных последовательностей сигналов для основной антенны и антенн высокого разрешения позволяет выполнять измерения на различных частотах одновременно, что позволяет снизить время работы на скважине.

Зонды прибора могут работать вместе или по-отдельности со скоростью записи до 1100м/ч. Сопоставление данных, получаемых различными антеннами позволяют выделять с высоким вертикальным разрешением интервалы, насыщенные флюидами с высокими значениями T<sub>1</sub> (легкие УВ). Комбинирование классической методики дефицита пористости для выделения газонасыщенных интервалов, применимой к данным антенн высокого разрешения, с данными о распределении времени продольной релаксации-T<sub>1</sub>, оцениваемом при помощи основной антенны, повышает достоверность выделения интервалов насыщенных легкими УВ (газом).

## Оценка флюидонасыщения коллекторов

В одной из скважин, пробуренных в штате Луизиана в интервале нефтенасыщенного песчаника были зарегистрированы данные MR Scanner. Как видно на рисунке 2, по результатам обработки данных MR Scanner вязкость пластовой нефти составляет 2 сПа (А). Результаты оценки флюидонасыщения на разных радиусах (3.8 и 6.9 см) неодинаковы (Б), что свидетельствует о вытеснении некоторого объема пластовой нефти фильтратом бурового раствора на водной основе (В). Для каждого радиуса исследований MR Scanner были рассчитаны коэффициенты нефтенасыщенности коллекторов.

## Режим характеристики флюидов

Возможность регистрации данных в режиме редактирования диффузии (Diffusion-Editing (DE)) на нескольких частотах позволяет выполнять оценку флюидонасыщения и вязкости пластовой нефти с помощью анализа карт характеристики флюидов по данным ЯМК (MRF\*), рис.3. Анализ измерений коэффициента тепловой диффузии молекул по данным MR Scanner позволяет оценивать объем и свойства углеводородов даже в условиях, где применение других методов ГИС ограничено (к примеру, низкоомные коллектора, тонкослоистые разрезы, пресные пластовые воды). На рисунке 4 представлены результаты обработки данных ЯМК в режиме характеристики флюидов (MRF\*) в стандартном виде.

Измерения прибором MR Scanner в режиме характеристики флюидов позволяют выполнить оценку вязкости пластовой нефти гораздо раньше, чем

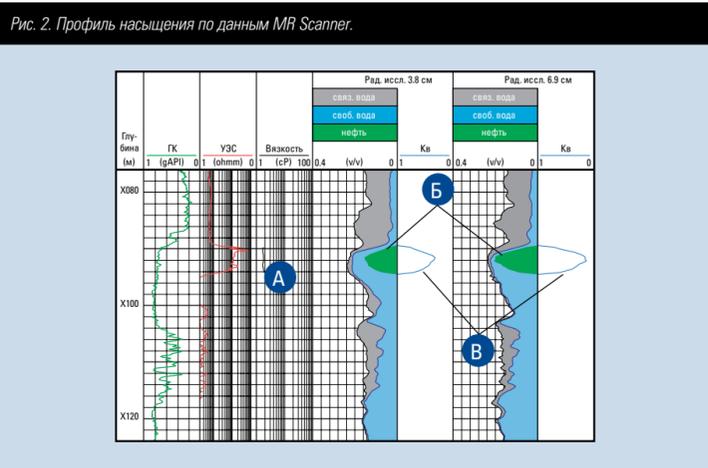


Рис. 3. Карта характеристики флюидов (MRF).

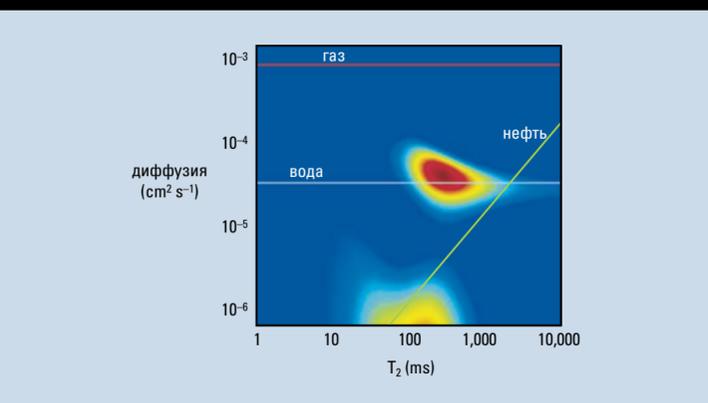
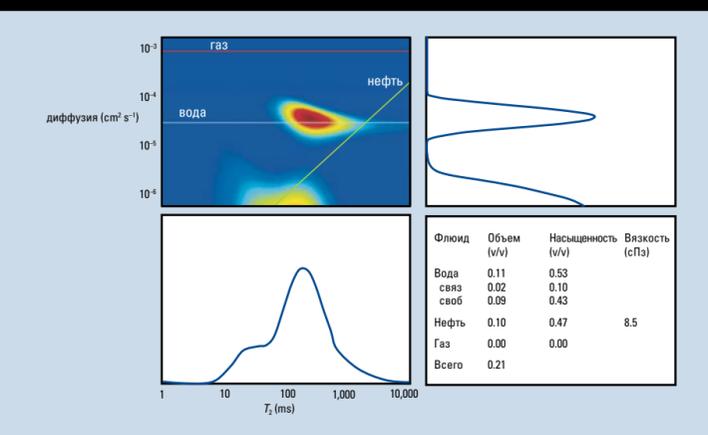


Рис. 4. Результаты интерпретации данных ЯМК в режиме MRF.



это свойство будет определено путем РУТ-анализов образцов пластовой нефти. Результаты экспресс-оценки флюидонасыщения и вязкости пластовой нефти могут быть использованы для оптимального планирования программы отбора проб с целью сокращения временных затрат.

## Оценка характера насыщения низкоомных, тонкослоистых коллекторов.

По данным MR Scanner была проведена точная оценка характера насыщения низкоомных тонкослоистых коллекторов на одном из месторождений Мексиканского Залива, где по данным ГИС в процессе бурения характер насыщения коллекторов однозначно не определяется.

По данным ГИС в процессе бурения, в кровле пласта, однозначно, выделяется газонасыщенный интервал X400-X600 футов (рис. 5). В нижнем интервале оценка характера насыщения осложнена, вероятнее всего, по причине повышенной глинистости коллектора: нет характерных признаков газонасыщенности коллектора (низкое водородосодержание, пониженная плотность, высокое УЭС). С целью точной оценки характера насыщения коллекторов в этом интервале была проведена запись данных MR Scanner.

В верхнем интервале пласта газонасыщенные коллектора выделяются при сопоставлении результатов оценки пористости по данным ЯМК с разными радиусами исследований: отмечается дефицит пористости по дальнему радиусу исследований относительно ближнего (рис. 6).

В нижнем интервале отмечается точно такой же эффект. Таким образом, по данным ЯМК в режиме профилирования пористости характер насыщения коллекторов был однозначно определен как газ.

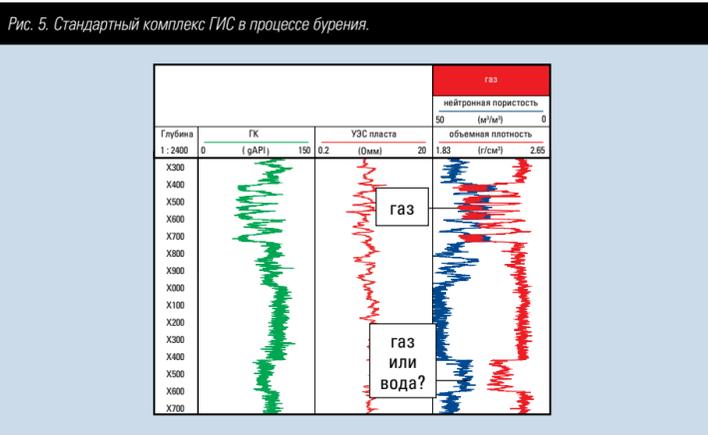


Рис. 6. Радиальное профилирование пористости по данным MR Scanner в верхнем интервале.

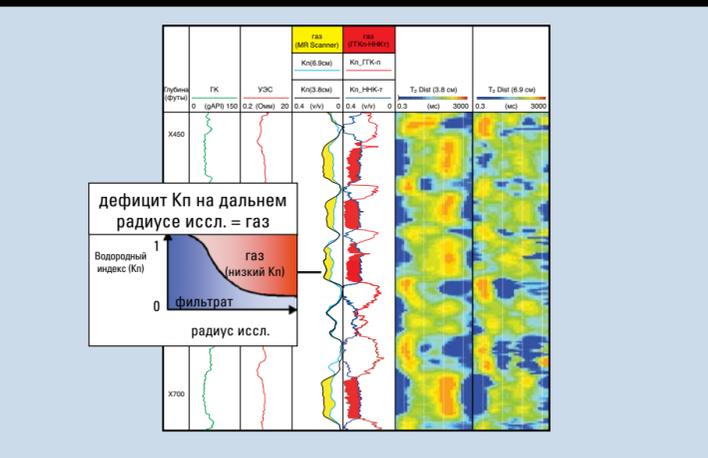


Рис. 7. Радиальное профилирование пористости по данным MR Scanner в нижнем интервале.

