

Метрологическое обеспечение петрофизических исследований — состояние и перспективы развития

Козыряцкий Н. Г., ООО "Нефтегазгеофизика", Блюменцов А. М.,
Цирульников В. П., (ГНЦ РФ ВНИИГеосистем), г. Москва

Достоверность подсчета запасов нефти и газа и выбор оптимального варианта проекта разработки нефтяных месторождений определяются, прежде всего, полнотой и надёжностью информации о параметрах пород-коллекторов, слатающих месторождения. Информацию о месторождении получают путём исследования разрезов разведочных скважин прямыми и косвенными методами. К прямым методам изучения разреза относятся методы геологического контроля процесса бурения скважины: испытания пород-коллекторов в открытом стволе, испытаниями на трубах, опробованиями на кабеле и перфорированием колонны после обсадки скважины; отбор образцов керна при бурении из пластов коллекторов. Косвенными являются геофизические методы изучения разрезов скважин.

Отбор керна проводят преимущественно при бурении разведочных скважин в интервалах, соответствующих продуктивным отложениям. В скважинах, бурящихся с раствором на водной основе (РВО), керн отбирают с целью определения на образцах породы-коллектора коэффициентов пористости, проницаемости, остаточной водонасыщенности, а также незначительного и гранулометрического состава минерального скелета породы. В скважинах, бурящихся с нефилтующимся раствором на нефтяной основе (РНО), на образцах керна, кроме перечисленных данных, получают значения коэффициента нефте- или газонасыщенности так называемым прямым методом.

До создания эффективных геофизических методов определения коэффициентов пористости и нефтегазонасыщенности данные определённые на керне были единственным источником информации об этих параметрах.

В настоящее время по большому числу нефтяных и газовых месторождений основным источником информации о подсчетных параметрах пород-коллекторов являются результаты ГИС. Данные определений параметров на образцах керна всё в большей мере используются не столько для обоснования подсчетных параметров по пластам пересечениям, в которых отобран керн, сколько для создания петрофизической базы количественной интерпретации результатов ГИС.

Использование результатов измерений на керне в качестве методической основы для построения алгоритмов комплексной геологической интерпретации результатов ГИС накладывает дополнительные требования к организации метрологического обеспечения всего процесса получения петрофизической информации.

Приведенная на рис.1 информационная модель ГИС иллюстрирует сложность технологического процесса петрофизических исследований (ПФИ) вообще и как объекта метрологического обеспечения (МО) в частности. Объектами

метрологического обеспечения петрофизических исследований являются не только лабораторные средства измерений, но и все элементы технологической цепи преобразования информации в керне.

Соответственно разнородные объекты МО ПФИ можно сформулировать в комплексе задач МО ПФИ:

- метрологическая аттестация методики отбора образцов горных пород и привязки их к разрезу скважины; установление представительности и типичности образцов горных пород, степени изменения их свойств в процессе отбора и транспортировки на поверхность, точности и надёжности привязки;

- метрологическая аттестация методики подготовки образцов для ПФИ;

- метрологическое обеспечение средств измерений физических свойств и состава образцов;

- метрологическое обеспечение методики выполнения измерений (МВИ) на образцах керна — стандартизация технических средств измерений, технологии подготовки образцов и проведения измерений, регламентация норм на показатели точности и влияющие факторы;

- метрологическая аттестация методики построения петрофизических зависимостей между исследуемыми параметрами;

- аттестация справочных данных.

Использование результатов ПФИ для определения подсчетных параметров предполагает надежное определение свойств и состава горных пород. Достижение этой цели возможно лишь при условии создания метрологического обеспечения для каждого элемента технологической цепи петрофизических исследований: технических, методических, программных.

Однако, современное состояние парка аппаратуры и оборудования для петрофизических исследований, методической и нормативной базы петрофизических исследований, а также системы метрологического обеспечения петрофизических исследований не всегда позволяют дать исчерпывающую информацию о точности выполненных определений параметров на керне, в связи с чем не всегда можно считать результаты исследований керна пригодными для определения конечных результатов интерпретации.

Сложившееся положение отчасти объясняется тем, что разработка метрологического обеспечения ПФИ традиционно проводилась под конкретные типы аппаратуры, не затрагивая общесистемных вопросов метрологического обеспечения петрофизических исследований.

До настоящего времени значительная часть петрофизических исследований проводится по неаттестованным методикам, нередко на аппаратуре, изготовленной собственными силами разработчиков, т. е. практически на макетных или экспериментальных её образцах.

ВО ВНУТРЕННИХ ТОЧКАХ СРЕДЫ...
МЕТРОЛОГИЯ

Отсутствие системы метрологического обеспечения петрофизических исследований привело к тому, что в отрасли практически отсутствуют исходные образцовые средства измерений и стандартные образцы состава и свойств горных пород, за исключением, быть может, стандартных образцов открытой пористости малоразмерного зерна (цилиндры 30х30 мм), изготовленных в количестве около 300 экземпляров и введенных в производственный оборот в количестве около 70 экземпляров, распространяемых в настоящее время Техническим комитетом по стандартизации ТК 140.

Было бы неверно утверждать, что в отрасли вообще отсутствуют элементы метрологического обеспечения ПФИ. Некоторое, к сожалению, весьма незначительное, практическое развитие работы по созданию образцовых средств измерений для метрологического обеспечения петрофизических исследований получили в 1985-93 гг. и

такие стандартные образцы или образцы керны, используемые при межлабораторном контроле и арбитражных измерениях.

Установимся кратко на разработанных и действующих в настоящее время на отечественных элементах метрологического обеспечения петрофизических исследований (средств, образцов и преимущественно объектов измерения: фильтрационно-емкостных свойств пород коллекторов).

Технические средства метрологического обеспечения петрофизических исследований.

При определении открытой пористости используется образцовая поверочная установка гидростатического взвешивания ОПУ ГСВ (разработка ВНИИНИ и ВНИИИК). Назначение установки - проведение аттестации стандартных образцов открытой пористости (СО ОП), а также арбитражных измерений на образцах керна. Диапазон измерений коэффициента открытой

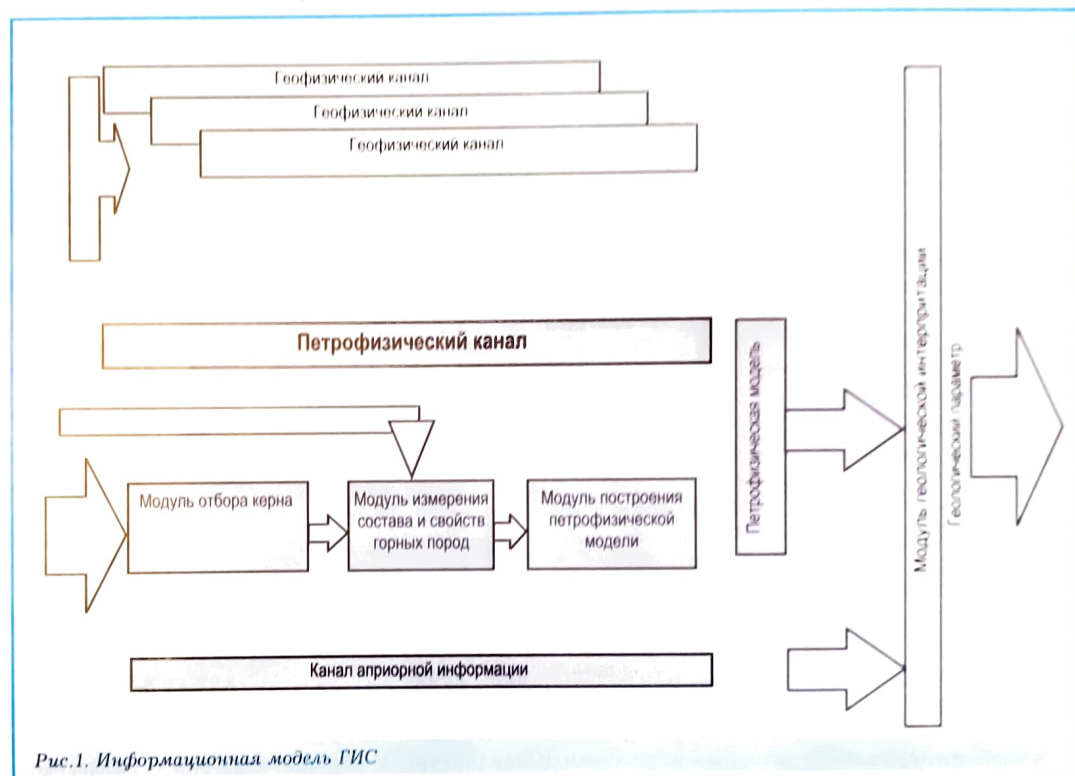


Рис.1. Информационная модель ГИС

целенаправленно проводились лишь во ВНИИИК, ВНИИГИС, ВНИИГеосистем, ВНИИНИ и бывшей ВНИИНефтепромгеофизике.

Работы были направлены, в основном, на создание стандартных (СО) образцов и образцов поверочных (калибровочных) установок. СО представляют собой физические модели сред, как правило, пористых, изготовленные из материалов инертных к воздействию окружающей среды и технических жидкостей, применяемых при петрофизических исследованиях, и позволяют многократно воспроизводить в заданных пределах необходимые физические свойства реальных образцов горных пород в течение межповерочного (межкалибровочного) интервала без изменения своих основных метрологических характеристик. Образцовые поверочные установки представляют из себя высокоточные измерительные установки (чаще всего - комплексы), позволяющие производить с высокой точностью аттеста-

ции пористости 1-60%. Погрешность автоматического поддержания температуры рабочей жидкости не более 0,02С. Предельно допустимая погрешность определения массы образца при использовании метода точного взвешивания не более 0,35 мг. Установка позволяет аттестовать стандартные образцы открытой пористости с погрешностью, не превышающей $\pm 0,002$ от абсолютного воспроизводимого значения.

Стандартные образцы открытой пористости СО ОП (разработка ВНИИИК и Украинского научно-исследовательского института огнеупоров - УкрНИИО) предназначены для контроля точности определения и аттестации методик измерения открытой пористости.

Воспроизводимая открытая пористость - в диапазоне 1-35%, погрешность аттестации не более 0,002 от абсолютного воспроизводимого значения. Стандартные образцы изготовлены из глинозема с содержанием корунда (Al₂O₃) не

менее 85%, что обеспечивает их срок службы не менее 15-25 лет.

Для метрологической аттестации стандартных образцов газопроницаемости при осевой фильтрации газа служит образцовая калибровочная установка газопроницаемости ОПУ-ГП (разработка ВНИГК и ВНИГНИ) с диапазоном измерения абсолютной газопроницаемости 0,1-5000 мД погрешностью определения коэффициента газопроницаемости не более 4% при стационарной фильтрации и не более 2,5% при нестационарной фильтрации. Габаритные размеры исследуемых образцов 30х30 мм, при доработке кернодержателя возможно аттестация СО больших размеров.

Для контроля точности результатов определения абсолютной газопроницаемости керна во ВНИГК были разработаны, а УкрНИИО изготовлены из формованного спеченного тонкозернистого корунда стандартные образцы газопроницаемости СО-ГП, воспроизводящие коэффициент абсолютной газопроницаемости с погрешностью не более 5%.

Во ВНИИГНС разработаны государственные стандартные образцы газопроницаемости ГСО-ГП, предназначенные для калибровки лабораторных установок абсолютной газопроницаемости. Материал - стеклянные фильтры по ГОСТ 9775-69. В комплект входит 5 образцов. Аттестуемые значения коэффициента газопроницаемости находятся в следующих интервалах: 0,01-2,30 мД; 0,37-7,30 мД; 3,70-73,0 мД; 25,0-500,0 мД и 250-4500 мД. Погрешность аттестации не более 2,5%, габаритные размеры: диаметр 29,5 мм, длина 25-40 мм.

Было изготовлено 2 комплекта и дальнейшие работы были прекращены в связи с отсутствием в то время образцовой поверочной установки.

Для метрологического обеспечения определения акустических параметров служат стандартные образцы скорости распространения продольных упругих волн ОСО-А (разработка ВНИИГНС), изготовленные из органического стекла. Геометрия образца - цилиндр диаметром 30 мм, длина определяется требуемой величиной времени распространения продольных упругих волн. Интервал воспроизводимых значений времени распространения продольных упругих волн 4-20 мкс. В комплект входят 5 образцов со следующими фиксированными значениями длины образца-времени распространения: 10,8 мм - 4 мкс; 25,0 мм - 9 мкс; 40,0 мм - 15 мкс; 47,0 мм - 17 мкс и 55,0 мм - 20 мкс. Погрешность определения времени распространения продольных упругих волн не более 1%.

Было изготовлено всего 5 образцов, образцовая поверочная установка для аттестации ОСО-А отсутствует, что и сдержало развитие этих работ.

Стандартные образцы удельного электрического сопротивления в настоящее время отсутствуют. Рекомендуются растворы соли NaCl в дистиллированной воде. ВНИГК провел исследовательские работы по созданию стандартных образцов УЭС на базе насыщенных стандартных образцов открытой пористости, исследования подтвердили перспективность этого направления.

Во ВНИГК также была разработана

образцовая калибровочная установка удельного электрического сопротивления ОКУ-УЭС, предназначенная для контроля точности насыщенных стандартных образцов или образцов керна размером 30х30мм. Диапазон измерений удельного электрического сопротивления от 0,2 Ом·м до 28320 Ом·м, погрешность аттестации стандартных образцов не более 5%.

Изготовлен опытный экземпляр установки, которая силами НижневартовскНИПИнефть была компьютеризирована и в настоящее время эксплуатируется в лаборатории физики пласта НижневартовскНИПИнефть для высокоточных определений на кернах.

Для метрологического обеспечения определений содержания кальцита и доломита (кальциметров) используются государственные стандартные образцы углекислого кальция по ГОСТ 1530-76 и доломита СН № 813-76, относительная погрешность содержания 1%.

Для метрологического обеспечения определения теплопроводности горных пород разработана и изготовлена в одном экземпляре образцовая установка определения теплопроводности образцов горных пород (разработчики МГРИ, ПГО "Недра" и НИОСНПП, г. Ярославль). Диапазон измерений 1-15 Вт/мК, основная относительная погрешность не более 8%, нестабильность мощности излучения источника тепловой энергии не более 1%.

Для перечисленных выше технических средств метрологического обеспечения петрофизических исследований разработана только эксплуатационная документация, содержащая в том числе требования по их метрологическому обеспечению - методики поверки, калибровки, аттестации, и утвержденная на уровне организации-разработчика, т. е. привязки к отраслевой системе обеспечения единства измерений и, тем более, к государственной, у этих технических средств нет.

Нормативно-техническая база метрологического обеспечения петрофизических исследований. Говоря о нормативной базе метрологического обеспечения петрофизических исследований, необходимо отметить, что этот элемент наиболее органично связан с развитием собственно петрофизических исследований. Получение кернового материала носит в основном исследовательский характер, что объясняет многовариантность методических рекомендаций, отсутствие строгих регламентов процесса изучения кернового материала и четких требований к петрофизической аппаратуре, отсутствие научно-обоснованных требований к метрологии, организационной структуре петрофизической службы, уровню автоматизации и компьютеризации, отсутствие обоснованных норм точности определения петрофизических параметров. Отсутствует единый методический подход к исследованию керна: в различных лабораториях различны не только методики определения петрофизических параметров, но и состав (комплекс) определений. Поэтому вопрос стандартизации методик выполнения измерений петрофизических параметров, равно как и нормирование допустимых погрешностей получаемых результатов требует первоочередного решения.

В настоящее время нормативная база

ВО ВНУТРЕННИХ ТОЧКАХ СРЕДЫ... МЕТРОЛОГИЯ

метрологического обеспечения петрофизических исследований представляет из себя документ, регламентирующий отдельные методики выполнения измерений при петрофизических исследованиях. Учитывая, что при полном комплексе петрофизических исследований проводится определение порядка 80 параметров, считать полностью сформированной нормативно-техническую базу нельзя. Кроме того, действующие государственные стандарты вида методик выполнения измерений параметров горных пород по многим позициям не дают однозначных ответов по методикам выполнения работ. Отдельные документы не получили широкого внедрения, так как в соответствии с их требованиями для проведения измерений необходимо приготовить образцы размером 40х40 мм в виде пластин или дисков диаметром 40 мм и толщиной 20 мм, в то время, как признанным стандартом в абсолютном большинстве случаев являются образцы цилиндрической формы 30х30 мм. По целому ряду причин не получили широкого внедрения и отраслевые стандарты.

Совершенно отсутствует система передачи единиц физических величин, определяемых при петрофизических исследованиях, нет ни одной поверочной схемы для какого-либо средства измерений для ПФИ, утвержденных на любом уровне (уровне предприятия, отрасли или государственном).

Большое число петрофизических измерений проводится по частным методикам, утвержденным на уровне предприятий, и не имеющим в принципе статуса нормативных документов. Измерения по этим методикам к тому же проводятся на неаттестованных установках и комплексах.

До настоящего времени не определены четко и не формализованы в виде нормативов требования к точности определения основных петрофизических параметров. Единственным документом в этом смысле является "Временная инструкция по лабораторному контролю анализов проб нефтей, газов, битумов и пород коллекторов, выполняемых в лабораториях Министерства геологии СССР", 1972 г., в которой специалистами ВНИГНИ предпринята попытка регламентировать нормы точности при петрофизических исследованиях.

В петрофизических лабораториях накоплен достаточный опыт по определению основных параметров горных пород с "нужной" точностью. По существующим представлениям ведущих специалистов-петрофизиков точность определения петрофизических параметров при сложившемся уровне развития технического парка и методического обеспечения характеризуется следующими значениями:

Измеряемый параметр	Погрешность измерения
Открытая пористость	0,1-0,5% (абсолютных)
Проницаемость	10-25%
Остаточная нефте- водонасыщенность	5%
Удельное электрическое сопротивление	до 15%
Плотность	0,1-0,5%
Карбонатность	5-10%
Скорость распространения продольной волны	до 2%

Все вышесказанное обуславливает необходимость и актуальность постановки работ по разработке современной концепции метрологического обеспечения петрофизических исследований, созданию технических, нормативных, методических и организационных основ Единой системы метрологического обеспечения петрофизических исследований, в первую очередь, организационной структуры, технических средств МО ПФИ, развитой нормативной базы.

Создаваемая система МО ПФИ должна обеспечивать получение достоверной петрофизической информации в ходе всего технологического процесса, начиная от отбора керна (шлама) в скважине, транспортировки и хранения его до определения конкретных петрофизических параметров, а также должна обеспечить сопоставимость результатов исследований, выполненных в разных лабораториях.

Основной задачей совершенствования технических средств системы представляется, в первую очередь, разработка и широкое внедрение стандартных образцов петрофизических свойств и параметров горных пород, а также высокоточных измерительных установок (комплексов) для их аттестации.

Представляются следующие направления развития системы МО ПФИ в части ее нормативной базы:

- разработка нормативных документов, регламентирующих требования к необходимой точности определения, к аппаратуре и к методике определения непосредственно каждого (либо группы) петрофизического параметра;

- разработка поверочных схем передачи размеров единиц, позволяющих обеспечить требуемую точность, воспроизводимость и достоверность каждого конкретного петрофизического параметра, а также разработка методик аттестации методик выполнения измерений при петрофизических исследованиях;

- разработка требований к содержанию информационного петрофизического обеспечения для функций государственного контроля за рациональным недропользованием;

- разработка (пересмотр действующего) методического руководства на производство петрофизических исследований;

- разработка нормативного документа на аккредитацию петрофизических лабораторий;

- разработка нормативных документов на планирование отбора и исследований керна, боковых образцов и шлама, на полевую документацию керна;

- разработка нормативного документа на методы обработки и представления результатов петрофизических исследований; на термины, единицы измеряемых величин, обозначения, форматы представления данных и мнемоники (машинное представление) при петрофизических исследованиях;

- разработка типовых положений о петрофизической лаборатории и системе метрологического контроля петрофизических определений.

Представленный перечень документов не претендует на полноту, он лишь обозначает направления первоочередных работ.