



Метрологическое обеспечение геофизических исследований скважин

А. М. Блюменцев, В. П. Цирульников (ФГУП ГНЦ РФ ВНИИгеосистем),
Н. Г. Козыряцкий (ОАО "Нефтегазгеофизика"), Г. А. Калистратов ОАО "Газпромгеофизика", Москва

Геофизические исследования скважин (ГИС) являются одним из важнейших информационных технологических процессов, сопровождающих все стадии геологоразведочного производства. По результатам ГИС на нефтегазовых месторождениях получают информацию о физических и коллекторских свойствах и составе горных пород, пересеченных скважиной, о параметрах, характеризующих техническое состояние и конструктивные особенности бурящихся скважин, а также о процессах, протекающих в скважинном и околоскважинном пространстве.

Информация, получаемая при проведении ГИС, широко используется при поисках, разведке и подсчете запасов полезных ископаемых. Важную роль играют результаты ГИС и при проектировании и контроле за разработкой месторождений полезных ископаемых.

Ценность геофизической информации возрастает с повышением точности и достоверности оценки параметров постоянно усложняющихся геологических объектов. Достижение необходимого уровня показателей точности и достоверности получаемой информации возможно на основе использования эффективной системы метрологического обеспечения, которая представляет собой комплекс научно-методических и организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение единства, достоверности и точности измерений.

Ключевым вопросом, определяющим структуру и требования к метрологическому обеспечению любого измерительного процесса, является правильный выбор модели измеряемого объекта и её параметров, подлежащих измерению.

Применительно к геофизическим исследованиям скважин в качестве измерительного объекта выбирается пласт горной породы, характеризующийся определенным минеральным составом и структурой, описываемый конкретной петрофизической моделью. Данный пласт имеет фиксированную толщину и пересечен скважиной определенного диаметра. В зависимости от конструкции скважины, указанная модель может усложняться наличием промежуточных сред обсадной колонной и цементным камнем.

Особенности модели измерения и обилие характеризующих её параметров делают решение измерительной задачи при ГИС чрезвычайно сложной. Большинство геологических параметров, определение которых является конечной целью ГИС, можно получить лишь в результате комплексной интерпретации данных различных методов ГИС, привлекая часто для этого дополнительно необходимую геолого-петрофизическую и другую априорную информацию.

Указанная специфическая особенность информационно-измерительного процесса при ГИС приводит к необходимости рассматривать измерения при ГИС как системные исследования. Технологическим средством, реализующим системные измерения, является специальный вид средств измерений — информационно-измерительные системы.

Другим важным аспектом метрологического обеспечения является выбор измеряемых параметров и единиц измерений.

Специфической особенностью ГИС, в отличие

от большинства других геофизических методов исследования является то, что в качестве измеряемых параметров и, соответственно, единиц измерений выбираются не параметры физических полей, непосредственно воздействующих на датчики скважинной аппаратуры, а параметры, характеризующие физические свойства исследуемых горных пород (геофизические параметры).

Переход от фактически измеряемых параметров физических полей к параметрам физических свойств исследуемых пород осуществляется путем введения так называемого кажущегося геофизического параметра, представляющего собой значение физического свойства некоторой фиктивной однородной среды, создающей в области датчика аппаратуры то же значение параметра физического поля, что и для исследуемой неоднородной среды.

Использование указанных параметров вызывает необходимость создания специальных исходных эталонов единиц измеряемых при ГИС геофизических параметров в виде стандартных образцов состава и свойств, моделирующих стандартные условия измерений в скважинах и локальных поверочных схем для передачи этих единиц рабочим средствам измерений.

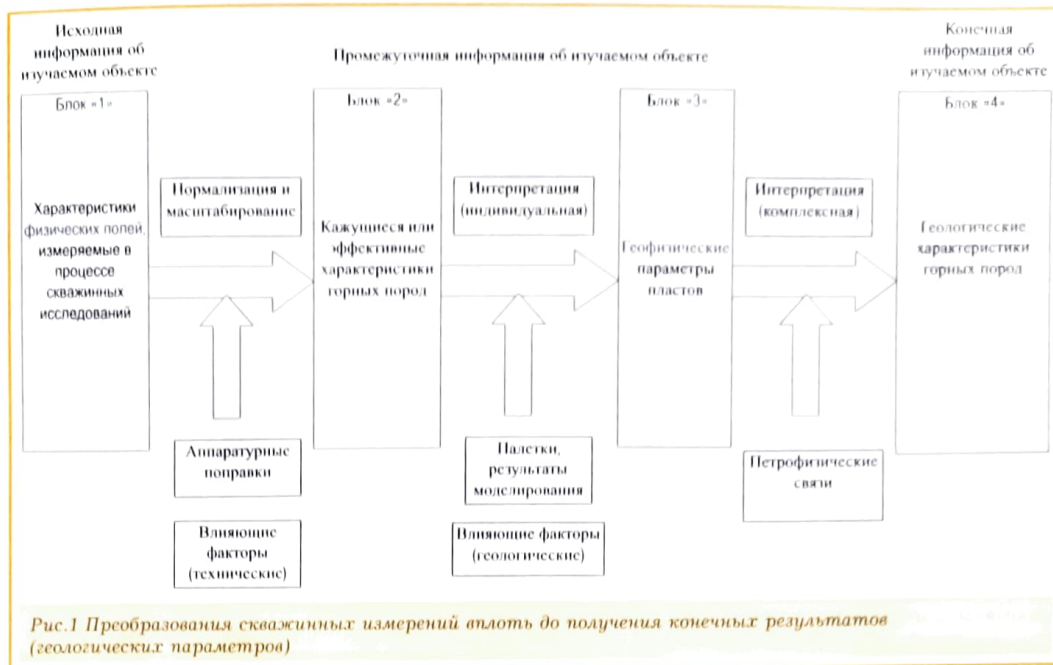
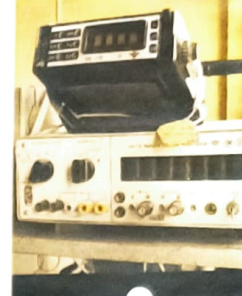
Еще одной особенностью измерительного процесса при ГИС, оказывающей существенное влияние на метрологическое обеспечение, является значительная разница между рабочими условиями измерений и "нормальными" условиями, в которых определяются нормируемые метрологические характеристики аппаратуры. Следствие этого обстоятельства является высокий уровень дополнительных погрешностей измерений, усложняющий оценку неопределенности результата измерений.

Анализ всех особенностей измерительного процесса при ГИС позволяет сделать вывод, что объектом МО ГИС следует считать не только собственно скважинные измерения, но и последующий этап их преобразования вплоть до получения геологических параметров как конечного результата. (см. Рис. 1). Преимущество такого подхода очевидно: он позволяет связать два этапа ГИС — скважинные измерения и интерпретацию результатов измерений в один технологический процесс, метрологический анализ которого позволяет найти оптимальное соотношение между требуемой точностью конечного результата и необходимой точностью каждого этапа получения и преобразования геофизической информации.

Рассмотрение этапов получения и преобразования информации при ГИС как единого измерительного процесса приводит к выводу, что средством получения измерительной информации при ГИС являются специальные виды средств измерений — информационно-измерительные системы (ИИС) ГИС (или скважинные геофизические информационно-измерительные системы СГИИС).

В самом общем виде ИИС для ГИС включают в себя:

- средства сбора информации (скважинную геофизическую аппаратуру в виде первичных датчиков, преобразователей);



- средства передачи информации (телеметрическая система, канал связи – кабельный, электромагнитный, гидравлический, комбинированный) или запоминания и долговременного хранения (для автономных ИИС в виде флэш-памяти или других физических носителей);

- средства преобразования и обработки информации (аналоговые и цифровые преобразователи с соответствующим программным обеспечением);

- средства сбора и хранения априорной информации (геологической, технологической и петрофизической);

- вспомогательные методические и технические средства, обеспечивающие функционирование СГ ИИС (средства метрологического, математического, программного и информационного обеспечения).

В соответствии с этим основными объектами МО ИИС для ГИС являются:

- аппаратура и оборудование для проведения скважинных измерений;

- методики (алгоритмы) решения прямых и

обратных задач отдельных методов ГИС;

- методики выполнения измерений (МВИ) при ГИС;

- измерительные средства для петрофизических исследований (ПФИ);

- методика отбора и привязки образцов горных пород;

- методики лабораторных исследований на образцах горных пород;

- методики определения геологических параметров по результатам ГИС и данных ПФИ.

Таким образом, в системе МО ГИС можно выделить три подсистемы (см. Рис. 2):

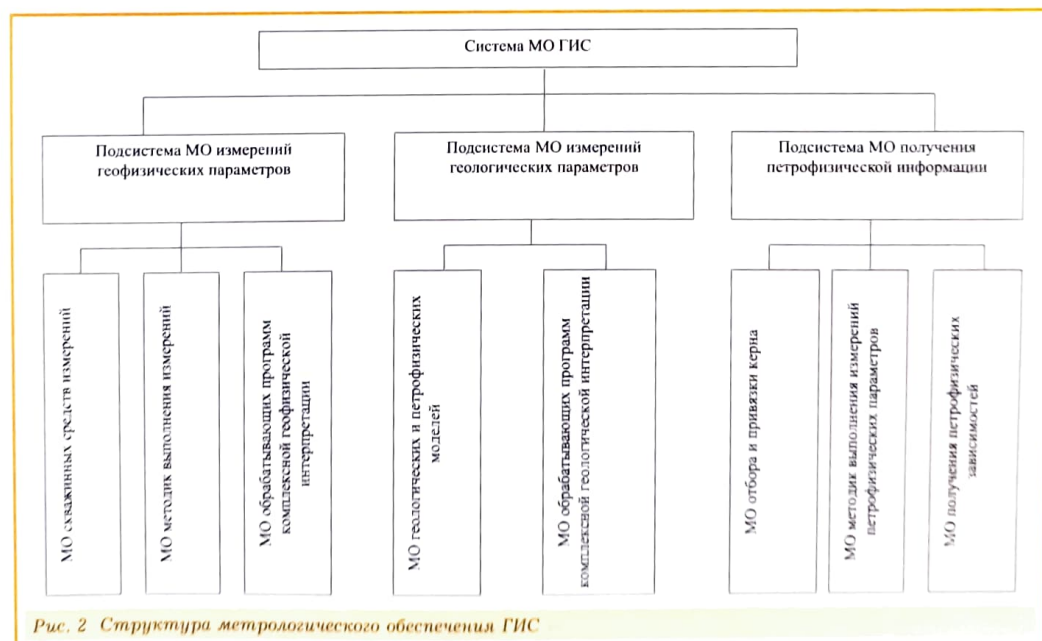
- подсистема МО получения геофизического параметра;

- подсистема МО получения петрофизической информации;

- подсистема МО получения геологической информации.

Рассмотрим содержание выделенных подсистем МО ИИС для ГИС.

Подсистема МО получения геофизического параметра (ГфП). Задачами этой подсистемы при



измерении регистрируемых параметров являются:

- метрологическое обеспечение средств измерений скважинной геофизической аппаратуры (СГА);

- метрологическая аттестация методик выполнения измерений в скважинах.

Очевидно, что состояние (качество) СГА и уровень ее МО в конечном счете является одним из главных факторов, определяющих точность и достоверность скважинных измерений. Исходными требованиями к СГА и к системе ее МО является допустимая погрешность оценки исследуемых параметров горных пород, скважины, процессов, протекающих в скважине и околоскважинном пространстве.

На формирование суммарной погрешности измерения геофизического параметра влияют следующие факторы:

- ошибки градуирования аппаратуры;
- ошибки, обусловленные нестандартностью измерительной установки (зонда) скважинного прибора;

- погрешности передачи размера единиц измеряемых параметров от эталонов к рабочим средствам измерений;

- ошибки преобразования измерительной информации элементами скважинного прибора, телеметрической системы, наземным регистратором;

- погрешности, обусловленные воздействием внешней среды;

- другие, менее значимые факторы.

Качество измерений геофизического параметра определяется также совершенством в точностном отношении принятой методики измерений, что обуславливает необходимость ее метрологической аттестации. Аттестация МВИ проводится по специальным программам с использованием, как аттестованных моделей пластов, пересеченных скважинной, так и специально пробуренных и аттестованных параметрических скважин.

При преобразовании регистрируемого параметра в геофизический параметр в результаты измерений вводятся поправки за условия измерений, затем полученные значения приводятся к условиям пласта неограниченной мощности и фиксированного диаметра скважины, чем вносятся определенные искажения в измерительную информацию, которые должны быть нормированы. С этой целью МО ИИС для ГИС предполагает:

- 1). метрологическую аттестацию зависимостей (палетов) для приведения значений регистрируемых параметров к нормальным условиям измерений при этом устанавливается характер зависимостей (функции влияния) соответствующих условий измерений и точность данных, используемых при их построении;

- 2). метрологическую аттестацию вычислительных алгоритмов решения обратной задачи метода ГИС с целью определения границ методической погрешности определяемого ГфП, возникающей при учете скважинных условий и геометрии изучаемого объекта, и точности входных данных.

Основными параметрами, характеризующими алгоритм и подлежащими аттестации, являются:

- правильность алгоритма, отражающая близость к нулю систематических погрешностей;
- область допустимых значений исходных данных;

- устойчивость алгоритма к дестабилизирующему влиянию погрешностей исходных данных;

- быстродействие алгоритма;

- сложность алгоритма.

Аттестуемые параметры алгоритмов определяются путем обработки тестовых данных и проведения статистического эксперимента.

Подсистема МО получения геологического параметра (ГП). При геологической (комплексной) интерпретации с целью определения геологических и подсчетных параметров осуществляется предварительное построение так называемой петрофизической модели, описываемой системой петрофизических зависимостей, которые связывает геофизические и геологические параметры. Метрологическая аттестация геологической петрофизической модели изучаемого объекта ставит своей целью определение границ методической погрешности оценки геологического параметра, обусловленной неадекватностью принятой модели реальному объекту исследований.

Методическая погрешность применяемой методики может быть оценена путем сопоставления результатов определения геологического параметра по данным ГИС с данными, полученными прямыми методами исследований (керна, шлам, опробование) в специальных опорных (базовых) скважинах, пробуренных с полным отбором керна и документированных детальными геофизическими исследованиями. Информация о достоверности используемой методики интерпретации может быть получена также путем статистического анализа результатов интерпретации данных ГИС по рядовым (рабочим) скважинам для всей или части площади месторождения. Правильность и устойчивость алгоритма, реализующего методику комплексной геологической интерпретации, устанавливается путем метрологической аттестации, которая проводится аналогично аттестации алгоритмов решения обратной задачи ГИС, описанной выше.

Подсистема МО получения петрофизической информации. Основными задачами этой подсистемы являются:

- метрологическая аттестация методики отбора образцов и привязки их к разрезу;

- метрологическая аттестация методики подготовки образцов для анализа;

- метрологическое обеспечение средств измерений для лабораторных исследований;

- метрологическая аттестация методик выполнения измерений на образцах горных пород;

- метрологическая аттестация методик построения зависимостей между параметрами;

- аттестация справочных данных.

Использование результатов петрофизических исследований на образцах горных пород предполагает надежное определение всего комплекса изучаемых свойств и характеристик образцов пород, что возможно лишь при условии создания метрологического обеспечения лабораторных средств измерений и методик выполнения измерений. Комплекс задач, решаемых с этой целью, весьма обширен и разнообразен и его освещение выходит за рамки настоящей статьи.

Таким образом, приведенная схема метрологического обеспечения скважинных ИИС охватывает все стадии преобразования геофизической информации при ее измерении, обработке и последующем использовании с целью оценки параметров исследуемых пластов.

Выполнение требований МО скважинных ИИС гарантия качественной и достоверной оценки данных, необходимых для подсчета запасов полезных ископаемых.

Литература

1. Блюменцев А. М., Калистратов Г. А., Лобанков В. М., Цирульников В. П. Метрологическое обеспечение геофизических исследований скважин. М., «Недра», 1991
2. Широков В. Н., Митюшин Е. М., Неретин В. Д., Лукьянов Э. Е., Белоконов Д. В. Скважинные геофизические информационно-измерительные системы. М., «Недра», 1996