

Е.И. Кульдеев

**ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И  
СЕРТИФИКАЦИИ В ГЕОФИЗИКЕ**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Е.И. Кульдеев

**Основы метрологии,  
стандартизации и сертификации  
в геофизике**

Рекомендовано Республиканским учебно-методическим объединением в качестве учебного пособия  
часть 1

Алматы 2007

УДК 389: 550.832  
ББК 26.11

К51 Кульдеев Е.И.

Основы метрологии, стандартизации и сертификации в геофизике 1 часть. – Алматы: КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2007. – 78 с.

ISBN 9965-843-46-5

*Изложены основные понятия метрологии, погрешности измерений и средств измерений, виды и методы измерений, принципы построения и использования средств измерений для геофизических исследований скважин, характеристики скважинных геофизических информационно-измерительных систем. Рассматриваются концепция и принципы построения системы стандартизации и сертификации в Казахстане, роль стандартизации, сертификации и метрологии в обеспечении качества продукции и услуг.*

*Учебное пособие предназначено для студентов старших курсов и аспирантов, обучающихся по специальности 050706 – «Геология и разведка месторождения полезных ископаемых»*

ББК 26.11

Ил.13. Библиогр.–18 назв. Табл. 8

Рецензенты: *В.Н. Красноперов, д-р геол.-минер. наук, проф.  
(АО Казпромгеофизика),  
А.Ж. Ахметжанов канд. геол.-минер. наук,  
(АО «Геостан»)*

Рекомендовано Республиканским учебно-методическим объединением в качестве учебного пособия для вузов

ISBN9965-843-46-5

© Е.И. Кульдеев.

© КазНТУ, 2007

## ВЕДЕНИЕ

### 1.1. Основные цели, задачи и объекты стандартизации, сертификации и метрологии

#### *Основные цели, задачи и объекты стандартизации*

Основными целями стандартизации являются повышение степени соответствия продукции, процессов и услуг их функциональному назначению, устранение барьеров в торговле и содействие научно-техническому и экономическому сотрудничеству путем упорядочения, установления и применения различных правил, положений для всеобщего и многократного применения (ИСО/МЭК Рук. 2-86).

Стандартизация содействует обеспечению соответствия продукции, процесса или услуги своему назначению, требования к которому изложены в нормативных документах. Нормативные документы: стандарты, технические условия, своды правил и регламенты – разрабатывают на основании обобщенных научных, технических результатов и практического опыта. Они устанавливают определенные правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов, и направлены на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области.

Стандарт и стандартизация имеют различный смысл. Стандарт устанавливает некоторые параметры качества, а стандартизация – это инструментарий управления качеством в руках государства, фиксации параметров качества на определенный интервал времени и установления правил проверки таких параметров.

Объект стандартизации – техносфера (продукция, услуги, работы, процессы во всем их многообразии). К области стандартизации относятся искусственно созданные материальные объекты не уникального характера (не тиражируемые). Объект стандартизации концептуально ограничен лишь условием повторяемости процедур.

Объекты стандартизации: научно-технические термины и обозначения, единицы и эталоны измерений; общетехнические и организационно-технические правила и нормы; системы нормативно-технической, конструкторской, технологической, эксплуатационной, управленческой и других видов документации; показатели качества, методы и средства их определения; системы классификации и кодирования научно-технической и экономической информации; методы и средства обеспечения единства измерений; обеспечения условий и безопасности труда; требования к системам «человек-машина»; обеспечение надежности продукции; техническое обслуживание и ремонт техники и т. п.

Область стандартизации – совокупность взаимоувязанных объектов стандартизации (машиностроение, величины и единицы, геофизические исследования скважин и др.).

### ***Основные цели, задачи и объекты сертификации***

С целью подтверждения соответствия продукции или услуг определенным стандартам или техническим условиям введена сертификация соответствия, которая обеспечивает необходимую уверенность в том, что должным образом идентифицированные продукция, процесс или услуга соответствуют конкретному стандарту или другому нормативному документу, подтверждает как показатели качества продукции, так и ее безопасность для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества потребителя.

Продукция, услуги, процессы, системы качества и другие объекты сертификации указывают в правилах сертификации соответствующих органов. Организация и координация при работах по сертификации базируются на охвате всех иерархических уровней разукрупнения техники (системы, комплексы, оборудование, аппаратура, приборы, комплектующие изделия, материалы, технологии).

Взаимосвязь стандартизации и сертификации очевидна: стандартизация устанавливает требования к объекту, а сертификация определяет соответствие (несоответствие) объекта этим требованиям. Комплекс документов системы сертификации ГОСТ Р состоит из четырех групп: общесистемные положения, сертификация продукции, сертификация услуг, сертификация систем качества и производства. Работы по сертификации методически обеспечены документами системы сертификации и общетехническими стандартами:

- Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ);
- Системы разработки и постановки продукции на производство (СППП);
- Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и др.

Нормативное обеспечение сертификации конкретной продукции составляют документы, определяющие требования к указанным объектам, и документы, определяющие процедуру подтверждения этих требований.

К нормативным документам сертификации относятся законы Республики Казахстан, государственные стандарты (в т. ч. принятые международные и межгосударственные), правила устройства и безопасной эксплуатации поднадзорного оборудования системы Госгортехнадзора Казахстана, а также другие документы, которые устанавливают требования к продукции в законодательно регулируемой сфере. Требования безопасности – обязательные требования, устанавливаемые в законодательных актах, стандартах или в других нормативных документах, которые направлены на обеспечение безопасности жизни, здоровья

потребителей и охраны окружающей среды, предотвращение вреда имуществу потребителей.

### ***Основные цели, задачи и объекты метрологии***

Для доказательства соответствия продукции, процесса или услуг конкретному стандарту или другому нормативному документу необходимо осуществление контроля и испытаний с целью определения значений некоторых физических величин опытным путем с помощью специальных технических устройств, называемых средствами измерений (СИ). Используемый метод измерений при стандартизации и сертификации – сравнение величин, одна из которых имеет шкалу.

Для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью, используется средство измерения, называемое мерой. Например, гиря – мера массы, кварцевый генератор – мера частоты электрических колебаний и т. д. При этом возникает задача обеспечения единства измерений, которая является основной проблемой метрологии.

Таким образом, в стандартизации, сертификации и метрологии в общем случае их объектами являются: продукция, процессы и услуги. Практически такими объектами могут быть материалы, оборудование, системы, их совместимость, правила, процедуры, методы и т. д.

При более подробном рассмотрении можно считать, что к объектам стандартизации, сертификации и метрологии относятся:

- сырье, материалы, топливо, энергия и т. д.;
- покупные комплектующие и готовые изделия (товары народного потребления), запасные части производственно-технического назначения и т. д.;
- технические и организационно-технические системы, производственные процессы, сооружения, системы качества производства и т. д.;
- услуги пассажирского транспорта, связи, медицинского обслуживания, банков, торговли, по ремонту, по системам образования и т. д.

### ***Основные цели и задачи геофизических исследований скважин***

При поисках, разведке и разработке месторождений нефти и газа возникает ряд задач: а) изучение и документирование геологического разреза скважин: литологическое расчленение разреза, выделение реперов для геологических построений, выделение коллекторов, определение подсчетных параметров; б) изучение технического состояния скважин; в) контроль разработки месторождений и др. – для решения которых необходима геофизическая информация.

В большинстве случаев получение информации при геофизических исследованиях скважин (ГИС) выполняется по результатам измерения физических величин, отражающих свойства горных пород, по характеристикам физических полей, создаваемых (или существующих) в скважине. Определение понятия «измерение» дано в ГОСТ 16263-70: измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Полученные при измерениях значения физических величин носят название – измерительная информация.

Имеется множество определений понятия информации от наиболее общего, философского (информация есть отражение реального мира) до наиболее узкого практического (информация есть все сведения, являющиеся объектом хранения, передачи и преобразования). В технике под информацией понимают представления предметов и процессов в виде чисел, формул, описаний, чертежей, символов, образов и других абстрактных характеристик. Проявляется она всегда в материально-энергетической форме в виде сигналов.

Информацию можно разделить по областям знаний, физической природе восприятия, а также по структурно-метрическим свойствам. В последнем случае для технических целей информацию принято делить на топологическую и параметрическую. Топологической информацией удобно выражать геометрические образы, карты местности, различные плоские изображения и объемные объекты (модели), а также образы и ситуации, подлежащие распознаванию. К параметрической информации относятся наборы численных оценок значений каких-либо параметров, результатов измерения.

Очевидно, что измерительная информация, получаемая в результате ГИС, является основной геофизической продукцией, выражается значениями физических величин изучаемых геофизических объектов (пластов и скважин), например плотности, коэффициента пористости, коэффициента глинистости пласта; дебита, продуктивности скважины. Однако непосредственная сертификация информации представляет собой специальную, далеко не решенную проблему. В этом случае, поскольку средствами и способами получения измерительной информации является геофизическая аппаратура и технологии (методики), они и являются также геофизической продукцией и основными объектами стандартизации и сертификации. Сюда же можно отнести компоненты или комплектующие геофизической аппаратуры, программные средства обработки и интерпретации данных, в случае, когда они являются самостоятельной продукцией.

С усложнением состава и структуры нефтегазовых пластов, с увеличением глубины их залегания, с уменьшением мощности продуктивных пластов и объема залежи возрастает «цена» точности и достоверности измерительной информации, о параметрах этих пластов. Каждый из параметров исследуемых объектов должен быть определен

(измерен) с гарантированной точностью. Перечисленными проблемами занимается метрология.

**Метрология** – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

**Единство измерений** – такое состояние измерений, при котором результаты измерений выражены в узаконенных единицах, а погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Широкое внедрение в нашей стране государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ) позволяет гарантировать нормированную точность применяемых средств измерений (СИ) и предусматривает применение аттестованных и стандартизованных методик выполнения измерений (МВИ). Практика обеспечения единства измерений опирается на единообразие средств измерений в эксплуатации, на разработку и внедрение научно-обоснованных методов, стандартизованных и аттестованных методик выполнения измерений.

Понятие «единообразие средств измерения» можно рассматривать как составную часть понятия «единство измерений». Обеспечение единообразия, высокого качества средств измерений в эксплуатации является начальной, но важнейшей ступенью обеспечения единства измерений. Под единообразием средств измерений понимают такое состояние средств измерений, которое характеризуется тем, что они проградуированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствуют нормам. Целесообразно практику обеспечения единообразия средств измерения рассматривать в совокупности с обеспечением их надежности. Оба эти понятия почти полностью характеризует нормальное техническое состояние средств измерений.

При геофизических исследованиях скважин перечисленные проблемы осложняются спецификой используемых физических величин, необходимостью выполнять измерения и определять погрешности параметров неоднородных пластов, пересеченных скважиной, в соответствии с требованиями единства измерений.

Единство измерений базируется на метрологическом обеспечении измерений. Понятие «метрологическое обеспечение» сформулировано в ГОСТ 1.25-76 как «установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений».

Применительно к метрологическому обеспечению ГИС предъявляются следующие требования:

- 1) оно должно охватывать все виды преобразований информации, происходящих как в средствах измерения, так и в их алгоритмическом обеспечении для обработки и интерпретации измерительной информации с учетом специфических особенностей множества методов ГИС;

- 2) оно должно содержать единый комплекс метрологических характеристик и показателей точности для всех звеньев системы (включая алгоритмы обработки информации) и для системы в целом, обеспечивать

расчет погрешности аппаратуры и результатов измерений по метрологическим характеристикам звеньев;

3) важнейшим составным элементом метрологического обеспечения ГИС являются методики геофизических измерений, которые должны обеспечивать определение значения измеряемого параметра и доверительных границ погрешности полученного результата. Такое состояние геофизических измерений может быть достигнуто в результате контроля нормированных показателей точности, применяемых средств измерений, и метрологической аттестацией методик выполнения геофизических измерений.

Метрологическое обеспечение создается и применяется метрологической службой, под которой понимается сеть государственных и ведомственных метрологических органов и их деятельность, направленная на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений в стране. Сеть государственных метрологических органов называют Государственной метрологической службой; сеть метрологических органов отдельного ведомства – ведомственной метрологической службой.

Конечная цель деятельности метрологической службы в области ГИС – обеспечение такого состояния измерений, когда для каждого результата измерений параметров пластов и скважины можно обоснованно указать доверительные границы погрешности. Например, результат измерений коэффициента пористости пласта представлен в виде интервала  $K_{\pi} = 24 \pm 3 \%$  с доверительной вероятностью  $P = 0,95$ .

## **1.2. Роль стандартизации, сертификации и метрологии в обеспечении качества продукции и услуг**

### *Развитие концепции качества*

В условиях рыночной экономики ни один производитель не сможет нормально функционировать, если не сумеет доказать, что его продукция обладает приемлемым для потребителя качеством. Экономика востребовала осмысление самого понятия «качество» и необходимость управления им.

В 1979 г. был введен в действие ГОСТ 15467-79, в котором устанавливалось, что «качество – это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять потребности в соответствии с ее назначением».

Такая концепция качества в мире не воспринимается, т. к. продукция должна удовлетворять потребностям не только в соответствии с ее назначением, но и требованиям безопасности, охраны окружающей среды,

моды, стоимости, совместимости и т. д. Более того, разные потребители предъявляют разные требования к одной и той же продукции.

В 1986 г. вышел в свет международный стандарт ИСО 8402, который определил качество как «совокупность свойств и характеристик изделия, обеспечивающая удовлетворение обусловленных или предполагаемых потребностей». Это определение стало основой современной концепции качества.

Японская школа стандартизации первой приняла новое определение качества. Установив, что свойства и характеристики продукции четко обуславливаются и планируются в стандартах, они предложили оценивать качество продукции по ее соответствию требованиям стандартов.

Так появилась новая концепция качества – концепция соответствия требованиям стандартов или концепция соответствия.

По этой концепции продукция считается качественной, если ее характеристики, параметры и свойства точно соответствуют установленным в стандарте.

Концепция качества соответствия за сравнительно небольшое время прошла большой путь, развиваясь и совершенствуясь, т. к. и она не была лишена недостатков.

Во-первых, применение концепции соответствия связано с контролем соответствия стандарту. Любая система контроля создает недружественную конфронтационную обстановку. Этот недостаток в принципе исключить нельзя, но его воздействие было существенно снижено путем выноса контрольных испытаний продукции за «стены» предприятий их проведение в независимых органах в процессе добровольной сертификации соответствия.

Во-вторых, стандарт является консервативным документом, требующим большого количества времени на разработку, согласование, утверждение и внедрение. Но потребности рынка и потребителей меняются довольно быстро, требования разных потребителей к одной и той же продукции зачастую разные.

Этот недостаток решается переходом к преимущественному использованию фирменных стандартов, разработка которых длится неизмеримо меньше времени. Закон Российской Федерации «О стандартизации» узаконил стандарты фирм и подтвердил нецелесообразность разработки ГОСТов на продукцию, подобную геофизической.

Концепция качества соответствия превращает стандарт в средство удовлетворения потребностей рынка и отдельных потребителей.

*Связь качества с метрологией, стандартизацией и  
сертификацией*

Рассмотрим, каким образом качество связано с метрологией, стандартизацией и сертификацией.

В статье 1 Закона РК «О сертификации продукции и услуге указано, что сертификация осуществляется в целях (в том числе) подтверждения показателей качества продукции, заявленных изготовителем. Последний обязан обеспечивать соответствие своей продукции требованиям нормативных документов, на соответствие которым она была сертифицирована.

В свою очередь, стандартизация, в соответствии со статьей 1 Закона РК «О стандартизации», как деятельность по установлению норм, правил и характеристик, проводится в целях (в том числе) обеспечения качества продукции, работ и услуг в соответствии с уровнем развития науки, техники и технологии, а также в целях обеспечения единства измерений.

Подтверждением качества является сертификат, выданный органом, независимым ни от производителя, ни от потребителя – третьей стороной. Этот сертификат оформляют на основании положительных результатов испытаний на соответствие требованиям стандартов. Результаты испытаний, в свою очередь, основаны на достоверных результатах измерений во время испытаний, единство которых обеспечены и гарантированы Российской системой измерений, основой которой является Государственная метрологическая служба Казахстана с ее государственными эталонами единиц физических величин. В силу того, что государственные эталоны Казахстана регулярно сличают с подобными международными и национальными эталонами других стран, система измерений является объективным инструментом для обеспечения и оценки качества продукции и услуг через стандарты, метрологическое обеспечение производства и испытаний.

Таким образом, из изложенного ясно, что только совокупность деятельности во всех трех видах – стандартизации, сертификации и метрологии – может обеспечить решение задачи обеспечения надлежащего качества продукции и услуг. Каждый из видов деятельности (стандартизация, метрология и сертификация) связан с двумя другими, но все три вида имеют общую часть – качество (рис. 1).



Рис. 1. Взаимосвязь основных видов деятельности: метрологии, стандартизации и сертификации для обеспечения качества

### *Качество результатов ГИС*

В связи с тем, что концепция качества соответствия сама поощряет свое развитие и совершенствование, можно с уверенностью полагать, что она не скоро еще себя исчерпает.

Однако нельзя сказать, что концепция качества соответствия применяется в полной мере в геофизической отрасли, несмотря на то, что она не только известна в сфере отраслевой науки, но и получила в ней поддержку и понимание, о чем говорят, например, статьи Ф. Тейса и А.М. Блюменцева в журналах «Геофизика» и «Каротажник».

Геофизические исследования скважин являются видом деятельности, определяемым мировым геофизическим сообществом как услуги, предоставляемые геофизическими предприятиями заказчикам, т. е. нефтегазовым разведочным или добывающим компаниям. Основным содержанием таких услуг является, как известно, геофизическая информация, которая обуславливает конкурентоспособность и экономическое благополучие геофизического предприятия.

По данному определению объектами качества являются услуги (объект качества ГИС) и геофизическая информация (объект качества результатов ГИС). Намеренное противопоставление понятий «качество ГИС» и «качество результатов ГИС» недопустимо. Бессмысленно говорить как об услугах, если нет продукции, так и о продукции полученной при отсутствии услуг, т. к. продукция оплачивается заказчиком. Вместе с тем, в настоящее время большинство исследователей признает, что потребительским показателем геофизической информации, как товара на рынке услуг, является качество. С позиций потребителей геофизической продукции под качеством услуг в виде деятельности (процесса) или информации понимается свойство (характеристика) деятельности или информации, отражающее точное соответствие определенным

требованиям, согласованным с заказчиком. Ключевым показателем в этом определении качества является соответствие точно определенным требованиям. Без «определенных требований» нет измеряемого качества. Без «согласования с заказчиком» невозможно определить ассоциируемые с ним требования или измерить степень соответствия этим требованиям.

К числу основных элементов, определяющих качество продукции или ее потребительские свойства, относятся такие ее характеристики, как назначение, эксплуатационные параметры, безопасность и надежность. По назначению качество традиционно рассматривают как качество результатов измерений, зарегистрированных на носителях информации, качество исследований по комплексным технологиям, качество разработки и изготовления технических средств, качество обработки данных и интерпретаций [2, 3].

Качество измерений ГИС обеспечивается научно-техническим уровнем аппаратуры, качеством ее разработки и изготовления; уровнем метрологического обеспечения и качеством разработки и изготовления метрологического оборудования и инструмента; уровнем технологии (методики) выполнения измерений и метрологической подготовки; качеством труда исполнителей работ на всех этапах и стадиях технологического процесса ГИС. Оценку качества измерений осуществляют в соответствии с технологическими требованиями на проведение каждого вида исследований и инструкциями по эксплуатации (применению) аппаратуры (метода), например, на основе первичных результатов измерений.

В комплексных технологиях исследования скважин не всегда можно обеспечить необходимую точность измеряемых параметров, т. к. измерения могут быть выполнены в неоптимальных геолого-технологических или временных условиях. Качественное изучение геологического разреза предусматривает выполнение запланированных в геолого-техническом наряде исследований и работ в установленные сроки, с соблюдением технико-технологических, временных и геологических требований и условий по всему комплексу работ: вскрытию разреза бурением, отбору керна и шлама, проведению опробований в открытом стволе скважины, спуску колонн и испытаниям в колонне, проведению ГТИ и геофизических исследований со своевременной обработкой и интерпретацией всей полученной информации.

Качество обработки и интерпретации результатов исследований определяется: качеством измерений и исследований; уровнем программно-методического (теоретического, алгоритмического, петрофизического) обеспечения комплексной обработки и интерпретации; уровнем обобщения и использования площадной (районной, региональной) геолого-геофизической и опорной негеофизической информации (результаты испытаний и др.).

Качество обработки и интерпретации результатов исследований необходимо оценивать по специально разработанным стандартам

(сертификатам) для этапов геологоразведочных работ, конкретных типов разрезов и геолого-технических условий (районов).

Однако проблеме качества результатов ГИС следует рассматривать также в рамках более широкой проблемы – качества изучения геологических объектов с применением геофизических исследований скважин. Более сложные проблемы: последовательность и своевременность выполнения комплекса исследований, его прогрессивность; соответствие решаемым геологическим задачам, особенностям изучаемого разреза, техническому состоянию скважины; прогрессивность и соблюдение комплексных технологий (ГИС – бурение, ГИС – испытания), очевидно, решаются не только методами ГИС, но и взаимосвязанными с ними подсистемами бурения и испытания, которые в комплексе с ГИС позволяют получить на основе ГИС геологически значимую информацию на каротажной диаграмме или магнитной ленте.

Рассмотрение факторов, влияющих на результаты исследований, показывает, что они имеют сложную природу. В частности, существенное влияние оказывают геолого-технические условия скважины (раствор, состояние ствола скважины), а при применении более сложных технологий, так называемых специальных исследований – также и соблюдение специальных технологий буровыми службами. Отмеченное влияние усиливается с переходом к сложно построенным разрезам и коллекторам, доля которых из года в год увеличивается, а также к большим глубинам скважин с усложнением термобарических условий.

В указанных условиях услуги, оказываемые геофизическими предприятиями, носят, в основном, творческий характер, интерпретация данных ГИС уже не ремесло, а искусство. Решение более сложных проблем трудно заранее формализовать, стандартизовать, а если нет стандарта, то не может быть и сертификации, а тем самым проблематично говорить о качестве результатов ГИС с позиций рынка.

### *Проблемы качества результатов ГИС*

Существуют несколько объективных факторов, отражающих реальную ситуацию, складывающуюся в геофизической отрасли в современных условиях, и предопределяющих усиление внимания к проблеме качества. К таким факторам, прежде всего, относятся следующие [3]:

1. Резко возрастает конкуренция между геофизическими подрядчиками в области предоставляемых ими услуг. В этих условиях современный экономически грамотный покупатель этих услуг не может не быть заинтересован в их качестве, и по этой причине он имеет право на выбор предлагаемых ему услуг и активно реализует это право.

2. Экономическое реформирование геологического производства привело к принципиальному изменению управляющей роли государства применительно к геофизической отрасли. Региональные геологические

комитеты осуществляют в настоящее время государственные функции только в форме лицензирования геофизических предприятий на право проведения геофизических исследований.

Перечисленные требования к организациям, претендующим на получение лицензии, относятся к основным элементам системы качества производителей геофизических исследований. Таким образом, наличие российского законодательства в области изучения недр в виде «Закона о недрах» и положения о лицензировании видов деятельности, связанных с геологическим изучением и использованием недр, ставят на формальную основу обязательные требования к обеспечению качества геофизических исследований.

3. До последнего времени фактическая оценка качества практических результатов ГИС выполнялась и, в подавляющем большинстве случаев, выполняется и в настоящее время самими исполнителями ГИС. Заказчик как бы изначально доверил геофизическому подрядчику осуществлять контроль и гарантировать качество результатов ГИС. В настоящее же время нефтегазовые компании начинают обзаводиться собственными подразделениями, которым поручается планирование геофизических исследований на объектах заказчика и осуществление контроля за их качеством. Для обеспечения этих исследований заказчик совместно с подрядчиком составляет согласованный регламент их выполнения. Указанный регламент максимальным образом отвечает точно оговорённым требованиям заказчика. Создается так называемая супервайзерская служба заказчика, одной из функций которой является оценка качества геофизической продукции. Именно так организовано взаимодействие между зарубежными нефтегазовыми компаниями, с одной стороны, и исполнителями геофизических работ, с другой.

Одновременно с этим возможна объективная и независимая от геофизического предприятия и заказчика оценка уровня и качества предоставляемых геофизических услуг. Руководствуясь соображениями объективности и независимости, такую оценку могло бы осуществлять в настоящее время Евро-Азиатское геофизическое общество в рамках реализации своих полномочий по добровольной сертификации геофизической продукции, закреплённых решением Госстандарта Казахстана. В соответствии с этими полномочиями ЕАГО имеет право производить сертификацию геофизического производства в целом и существующей на нем системы качества, а также и отдельных видов геофизической продукции, включая геофизическую и геологическую информацию.

### *Сертификация геофизических предприятий*

В самой постановке проблемы сертификации геофизического производства и способов ее решения заложена принципиальная необходимость способствовать поднятию уровня геофизических работ, выполняемых рос-

сийскими геофизическими предприятиями, и сделать его, как минимум, сравнимым с уровнем работ ведущих зарубежных геофизических фирм, а возможно, и более высоким по всей совокупности показателей.

Что дает геофизическому предприятию сертификация его производства или отдельных видов предоставляемых им услуг?

1. Обеспечение требований заказчиков при заключении контрактов.
2. Обеспечение условий для участия в тендерах, конкурсах и подобных мероприятиях.
3. Обеспечение условий для получения госзаказа, льготного кредитования или страхования.
4. Обеспечение условий для получения лицензии.
5. Обеспечение руководству предприятия уверенности в том, что система качества предприятия соответствует национальным и международным стандартам и требованиям.

Помимо того, что ЕАГО выдает предприятию сертификат, который является результатом объективной и независимой оценки качества работ, выполняемых предприятием, геофизическое сообщество принимает на себя определенные обязательства в части соответствующих гарантий, а также контроля уровня выполняемых работ. Следует сказать, что каждое геофизическое предприятие в состоянии практически самостоятельно решать подавляющее большинство вопросов обеспечения планируемого этим предприятием уровня своих работ. Но есть чрезвычайно важный аспект проблемы качества, требующий коллективного решения. Это вопрос о метрологическом обеспечении аппаратуры и технологий ГИС. Основой этой проблемы являются требования обеспечения единства и достоверности результатов геофизических измерений. Необходимость обеспечения сопоставимости результатов измерений одних и тех же геофизических или геологических параметров предполагает наличие единой системы воспроизведения и передачи единиц измеряемых параметров, т. е. наличие специальных геофизических эталонов, а также методов и средств передачи размера единиц измеряемых параметров от эталонов к скважинной геофизической аппаратуре с использованием аттестованных калибровочных устройств. Нет, и не может быть решения вопроса о метрологическом обеспечении в рамках лишь одного геофизического предприятия, без создания единой в целом для Казахстана системы метрологического обеспечения.

Все сказанное выше представляется более чем достаточным для утверждения о принципиально новой ситуации, складывающейся в Казахстане в сфере геофизических услуг, и приоритетности качественных показателей геофизической продукции при определении спроса на нее.

### **Система качества ГИС**

Особенностью современного подхода пользователей к результатам ГИС стала объективная заинтересованность в получении не только

значений I параметров пластов, но и погрешностей этих значений. Это особенно свойственно разработчикам нефтегазовых месторождений, т. к. погрешности в оценке содержания углеводородов в пласте имеют непосредственное отношение к экономическому риску при разработке.

Для реализации современной политики в области качества ГИС общероссийская система качества ГИС должна включать в себя следующие основные элементы [2, 3]:

1. Исходные образцовые меры геофизических параметров или специальные геофизические эталоны и метрологические центры как хранители этих мер.

2. Систему передачи размера единиц измеряемых параметров от исходных мер (эталонов) к калибровочным установкам и скважинной геофизической аппаратуре.

3. Стандарты по метрологической аттестации, градуировке и калибровке скважинной геофизической аппаратуры.

4. Систему аттестованных калибровочных устройств.

5. Аттестованные методики выполнения измерений геофизических параметров, включая унифицированные требования к документированию результатов измерений и их качественных показателей.

6. Систему оперативной оценки качества результатов ГИС, в т. ч. в режиме реального времени.

7. Структурную или персонифицированную ответственность за обеспечение функционирования системы качества ГИС.

Приведенная схема является единой и универсальной в целом для российской геофизики, и аналогичная схема существует у наших зарубежных коллег; соблюдая требования этой схемы, мы получаем принципиальную возможность корректного сличения отечественной геофизической аппаратуры и методик ее применения с зарубежными аналогами.

Проблемы реализации системы обеспечения качества ГИС в Казахстане:

1. Для ряда геофизических методов и измеряемых параметров разработаны исходные специализированные эталоны, обеспечивающие основу системы единства и достоверности геофизических измерений [8].

Необходимо обеспечить сохранение геофизических эталонов и строгое поддержание, контроль за их качеством. По ряду геофизических параметров, прежде всего для электрометрии и акустических исследований скважин, необходимо продолжить работы по созданию исходных эталонов соответствующего типа.

2. В предшествующие годы разрабатывались системы передачи размера единиц измеряемых геофизических параметров от исходных эталонов и скважинной геофизической аппаратуре – так называемые ведомственные поверочные схемы [8].

Необходимо полностью завершить эту работу, придав документам уровень стандартов ЕАГО, при обязательной корректировке их

содержания, учитывающей структурные изменения в геофизической отрасли и в структуре ее метрологического обеспечения [2, 3].

3. Основным производственным элементом метрологического обеспечения скважинной геофизической аппаратуры является калибровочное устройство. Сегодня практически отсутствуют общая политика и единые действия в разработке и аттестации калибровочных устройств. Отсутствует и какой-либо единый контроль за этим процессом.

Опыт работы ведущих метрологических центров свидетельствует о возможности создания современной компьютеризированной системы контроля и калибровки скважинной геофизической аппаратуры в условиях производственного предприятия, соответствующей аналогичным системам в ведущих геофизических фирмах мира.

4. Крайне важно иметь возможность оценивать качество первичного материала непосредственно на скважине. С этой целью целесообразно иметь в составе наземного модуля регистрации и обработки первичных геофизических данных блок оценки их качества с использованием экспертной системы оценки качества первичных данных каротажа.

5. Важнейшими элементами компьютеризированных технологий являются алгоритмы и программы обработки и интерпретации результатов ГИС.

Необходимо осуществить метрологическую аттестацию, а в последующем и сертификацию обрабатывающих геофизических программ.

6. Важнейшей предпосылкой качества геофизических исследований скважин является стандартизованная система качества геофизического предприятия.

Необходимо разработать типовое положение о службе качества предприятия по ГИС, осуществить сертификацию геофизических предприятий на право проведения геофизических работ.

7. Необходимо разработать общероссийский стандарт (стандарт ЕАГО или ТК-44I) требований к содержанию лицензионных соглашений на работы по ГИС с учетом обеспечения качества геофизических исследований; приступить к разработке типовых регламентов (стандартов) по определенным видам ГИС в качестве нормативной базы соглашений между заказчиками и подрядчиками геофизических работ [2, 3].

## **2. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В СКВАЖИНАХ**

### **2.1. Предмет и основные проблемы метрологии**

Метрология делится на три самостоятельных и взаимно дополняющих раздела: «Теоретическая метрология», «Прикладная метрология», «Законодательная метрология». Основным разделом является «Теоретическая метрология». В нем излагаются общие вопросы теории измерений, единства измерений, построения средств измерений, точности измерений, измерительных технологий и основные проблемы метрологии. К основным проблемам метрологии относятся общая теория измерений, единицы физических величин и их системы, методы и средства измерений, методы определения точности измерений, основы обеспечения единства и единообразия средств измерений, эталоны и образцовые средства измерений, методы передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений. Структура теоретической метрологии в связи с основными проблемами метрологии приведена в табл. 1.

Раздел «Прикладная метрология» посвящен изучению вопросов практического применения результатов теоретических исследований в различных сферах деятельности, в частности ГИС. В разделе «Законодательная метрология» рассматриваются комплексы взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, требований и норм, а также другие вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле

со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений.

Предметом метрологии является извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью. Средства метрологии – это совокупность средств измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное использование.

Без измерений не может обойтись ни одна наука, поэтому метрология как наука об измерениях находится в тесной связи со всеми другими науками. Измерение является основным понятием. Значимость измерений выражается в трех аспектах: философском, научном и техническом.

Философский аспект состоит в том, что измерения являются важнейшим универсальным методом познания физических явлений и процессов. В этом смысле метрология как наука об измерениях занимает особое место среди остальных наук. Возможность измерения обуславливается предварительным изучением заданного свойства объекта измерений, построением абстрактных моделей как самого свойства, так и его носителя – объекта измерения в целом. Измерение с этой точки зрения представляет собой метод кодирования сведений, получаемых с помощью различных методов познания, т. е. заключительную стадию процесса познания, связанную с регистрацией получаемой информации [18].

Научный аспект измерений состоит в том, что с помощью измерений в науке осуществляется связь теории и практики. Без измерений невозможна проверка научных гипотез и соответственно развитие науки.

Измерения обеспечивают получение количественной информации - объекте управления или контроля, без которой невозможно точное воспроизведение всех заданных условий технического процесса, обеспечение высокого качества изделий и эффективного управления объектом. Все это составляет технический аспект измерений.

## **2.2. Физические свойства и величины**

Все объекты окружающего мира характеризуются своими свойствами. Свойство – философская категория, выражающая такую сторону объекта (явления, процесса), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами (явлениями, процессами) и обнаруживается в его отношениях к ним. Свойство – категория качественная. Для количественного описания различных свойств, процессов и физических тел вводится понятие величины. Величина – это свойство чего-либо, которое может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в т. ч. и количественно. Величина не существует сама по себе, она имеет место лишь постольку, поскольку существует объект со свойствами, выраженными данной величиной.

Анализ величин [4, 18] позволяет разделить их на два вида: реальные и идеальные. Идеальные величины главным образом относятся к математике и являются обобщением (моделью) конкретных реальных понятий. Они вычисляются тем или иным способом. Реальные величины, в свою очередь, делятся на физические и нефизические.

Физическая величина (ФВ) в общем случае может быть определена как величина, свойственная материальным объектам (процессам, явлениям), изучаемым в естественных (физика, химия) и технических науках. К нефизическим следует отнести величины, присущие общественным (нефизическим) наукам – философии, социологии, экономике и т. п.

Стандарт ГОСТ 16263-70 трактует физическую величину, как одно из свойств физического объекта, в качественном отношении общее для многих физических объектов, а в количественном – индивидуальное для каждого из них. Индивидуальность в количественном отношении понимают в том смысле, что свойство может быть для одного объекта в определенное число раз больше или меньше, чем для другого.

Примерами физических величин (или просто величин) являются: длина, масса, время и т. д. Недопустимо, например, употреблять словосочетание «величина массы», «величина диаметра скважины» и т. п.

Физические величины целесообразно разделить на измеряемые и оцениваемые. Измеряемые ФВ могут быть выражены количественно в виде определенного числа установленных единиц измерения, которые являются важными отличительными признаками измеряемых ФВ. Физические величины, для которых по тем или иным причинам не может быть введена единица измерения, могут быть только оценены. Под оцениванием в таком случае понимается операция приписывания данной величине определенного числа, проводимая по установленным правилам. Оценивание величины осуществляется при помощи шкал. Шкала величины - упорядоченная последовательность ее значений, принятая по соглашению или на основании результатов точных измерений. Для оцениваемых ФВ, когда уровень познания явления не позволяет точно установить отношения между величинами, применяют условные (эмпирические) шкалы порядка. Например, шкала вязкости Энглера, 12-бальная шкала Бофорта для силы морского ветра.

Нефизические величины, для которых единица измерения в принципе не может быть введена, могут быть только оценены. Следует отметить, что оценивание нефизических величин не входит в задачи теоретической метрологии.

Единицы физических величин. Физическая величина для многих объектов является качественно одинаковым свойством, а количественно – различается и выражается в виде некоторого числа принятых единиц. Результат измерения записывается в виде уравнения

$$B = b[B],$$

где  $B$  – измеряемая величина;  $b$  – числовое значение;  $[B]$  – единица физической величины. Это уравнение называют основным уравнением измерения.

Физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное 1, называется единицей физической величины.

В зависимости от способа образования единицы величин делятся на основные, производные, кратные и т. д. Единицы, образующие какую-нибудь систему, называются системными; единицы, которые не входят ни в одну из систем, – внесистемными.

Системой единиц физических величин называется совокупность основных (независимых) и производных единиц.

С 1 января 1982 г. в нашей стране введен ГОСТ 8.417-81 «ГСИ. Единицы физических величин», в основу которого положены единицы Международной системы SI.

Основными единицами SI являются следующие: метр – единица длины; килограмм – единица массы; секунда – единица времени; ампер – единица силы электрического тока; кельвин – единица термодинамической температуры; кандела – единица силы света; моль – единица количества вещества. К дополнительным относятся плоский и телесный углы.

Специфика измеряемых геофизических величин состоит в том, что

1) наряду с истинными, действительными значениями находят применение так называемые кажущиеся значения физических величин;

2) неоднозначна привязка значений измеряемых геофизических величин к той или другой области около скважинного пространства: глинистой корке, полностью промытой зоны, зоны проникновения, неизменной части пласта;

3) ряд физических величин, таких как пористость, проницаемость, глинистость, определены несколькими существенно различными вариантами понятий с различными смысловыми оттенками, например, пористость – открытая, общая, динамическая, эффективная, закрытая, нейтронная; глинистость – относительная, весовая, объемная, минералогическая; проницаемость – фазовая, абсолютная газовая, эффективная и т. п.

Понятие «кажущееся значение физической величины» применяют в практике ГИС при зондировании неоднородной среды, представляющей собой пласты горных пород, пересеченные скважиной, заполненной ГГЖ с физическими свойствами, отличающимися от свойств горных пород. Влияние отдельно взятых элементов неоднородной среды различным образом сказывается на результате измерения. Процесс измерения разделен во времени на ряд этапов: получение первичного геофизического параметра, промежуточного исправленного геофизического параметра, окончательного искомого геологического параметра. Во многих случаях в процессе ГИС регистрируют на скважине первичные геофизические параметры, являющиеся характеристиками исследуемых физических полей

(электрических, акустических, тепловых, ядерных излучений и т. д.), таких как разность потенциалов, скорость и амплитуда упругой волны, температура, плотность потока ядерных излучений (нейтронов или гамма-квантов). Эти величины отражают не только свойства объекта исследования, но также влияние условий измерений, характеристики измерительных устройств и геометрию среды. Значения таких характеристик физического поля в неоднородной среде, масштабированные по показаниям аппаратуры в однородной среде, принято называть кажущимися значениями геофизических величин. Например,  $\rho_k$  (или  $\sigma_k$ ) – кажущееся значение удельного электрического сопротивления (или удельной электрической электропроводности). Именно значение физической величины может быть кажущимся, а сама физическая величина не может быть кажущейся «по определению». Поэтому не рекомендуется использование терминов «кажущееся сопротивление», «кажущаяся плотность».

Кажущиеся значения геофизических величин служат для дальнейшего определения выраженных в качественной или количественной форме геологических характеристик пород (характера насыщения, коэффициента пористости, коэффициента нефте-, газонасыщения и др.). Например, при нейтронных измерениях относительная плотность потока нейтронов  $v$ , так называемых, условных единицах, или отношение плотностей потока на двух зондах, в зависимости от модификации (однозондовой или многозондовой), преобразуется в кажущееся значение коэффициента «нейтронной» пористости  $K_{п. нейтр}$ , совпадающее с истинным значением  $K_p$  в известняке без примесей глин, поры которого полностью насыщены пресной водой. В других геологических условиях  $K_{п. нейтр}$  отличается от  $K_p$ .

Таким образом, определяемые при геофизических измерениях удельное электрическое сопротивление, коэффициенты пористости, нефтегазонасыщенности и т. д., могут рассматриваться общими в качественном отношении только в рамках реализации одного геофизического метода или даже модификации. Именно поэтому при сравнении значений коэффициента пористости одного и того же пласта, определенных различными геофизическими методами, различают общую и эффективную пористость, нейтронную «известняковую» пористость, или водосодержание пласта.

В общем случае все геологические, технологические и технические задачи ГИС можно разделить на два класса: измерительные и классификационные. К измерительным относятся задачи, решаемые с целью определения значений физических величин изучаемых объектов (пластов и скважин), например, плотности, коэффициента пористости, коэффициента глинистости и других свойств пласта. Классификационные задачи решают с целью разделения изучаемых объектов на классы: коллектор – не коллектор, нефтеносный – водоносный – газonosный, качество цементирования скважин хорошее – плохое и т. п. Результаты

решения измерительных задач характеризуются показателями точности, классификационных – показателями достоверности.

Специфика используемых единиц измерения геофизических величин обусловлена разнообразием параметров физических полей, применяемых для измерения. Наиболее разнообразны единицы измерения, характеризующие ядерно-физические свойства горных пород, используемые в радиометрии скважин.

Удельная активность  $q$  нуклида в радиоактивном источнике (образце) оценивается в беккерелях на килограмм (Бк/кг). 1 Бк/кг равен активности нуклида массой 1 кг, в котором за время 1 с происходит один спонтанный ядерный переход.

Единицей измерения плотности потока  $\chi$  ионизирующих частиц является  $\text{с}^{-1}\text{--м}^{-2}$  – плотность равномерного потока ионизирующих частиц, при которой через поверхность площадью  $1 \text{ м}^2$ , перпендикулярную к потоку, за время 1 с проходит одна ионизирующая частица. Применение в практике геофизических исследований скважин термина «интенсивность излучения» для характеристики плотности потока ионизирующих частиц является неправильным. Под интенсивностью излучения в физике понимается плотность потока энергии ионизирующих частиц. Энергия ионизирующего излучения  $E$  оценивается в джоулях (Дж). 1 Дж равен энергии ионизирующего излучения, эквивалентной механической работе 1 Дж. В практике геофизических исследований (как и в физике вообще) применяется единица электрон-вольт (эВ), допускаемая к применению наравне с единицами SI,  $1 \text{ эВ} = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .

Мощность экспозиционной дозы фотонного излучения оценивается в амперах на килограмм. 1 А/кг равен мощности экспозиционной дозы фотонного излучения, при которой за время 1 с одному килограмму сухого атмосферного воздуха сообщается заряд в 1 кулон.  $1 \text{ А/кг} = 1 \text{ Кл}/(\text{кг с})$ .

В геофизике применяется внесистемная единица микрорентген в час (мкР/ч).  $1 \text{ мкР/ч} = 71,66 \text{ фА/кг}$ ;  $1 \text{ фА/кг} = 13,95 \cdot 10^{-3} \text{ мкР/ч}$ .

В качестве практической единицы для оценки плотности потока естественного гамма-излучения при ГИС принимается мощность экспозиционной дозы фотонного излучения. Однако неадекватность условий калибровки условиям скважинных измерений весьма существенна не только из-за чисто внешних условий, но и из-за различий в спектральном составе излучения.

Нейтронные методы измерения в скважинах характеризуются плотностью потока нейтронов или гамма-квантов. На выходе детекторов ионизирующих излучений плотность потока представлена в импульсах в минуту, а затем после измерительных преобразований, как правило, выражается в условных единицах. Условная единица измерения в этом случае получается в результате калибровки прибора с нейтронным источником в баке с пресной водой.

### 2.3. Основные элементы и процессы геофизических измерений

Измерение – сложный процесс, включающий в себя взаимодействие целого ряда его структурных элементов. Для скважинных геофизических измерений весь процесс выполнения измерений записан в «Технической инструкции по проведению геофизических исследований в скважинах», в ней указаны операции и их составные части, средства измерения, режимы и время измерений, вспомогательное оборудование, квалификация оператора и т. п. Основные элементы измерений, их взаимосвязи и потоки информации показаны на рис. 2 в виде структурной схемы. Из нее видно, что процесс измерения протекает по параллельным ветвям, содержащим соответствующие друг другу элементы, относящиеся к реальности и ее отражению.

Задача любого измерения состоит в определении значения измеряемой ФВ с требуемой точностью в заданных условиях. При постановке задачи моделируют объект измерения, в нем выделяют измеряемую ФВ и задают требуемую погрешность измерения.

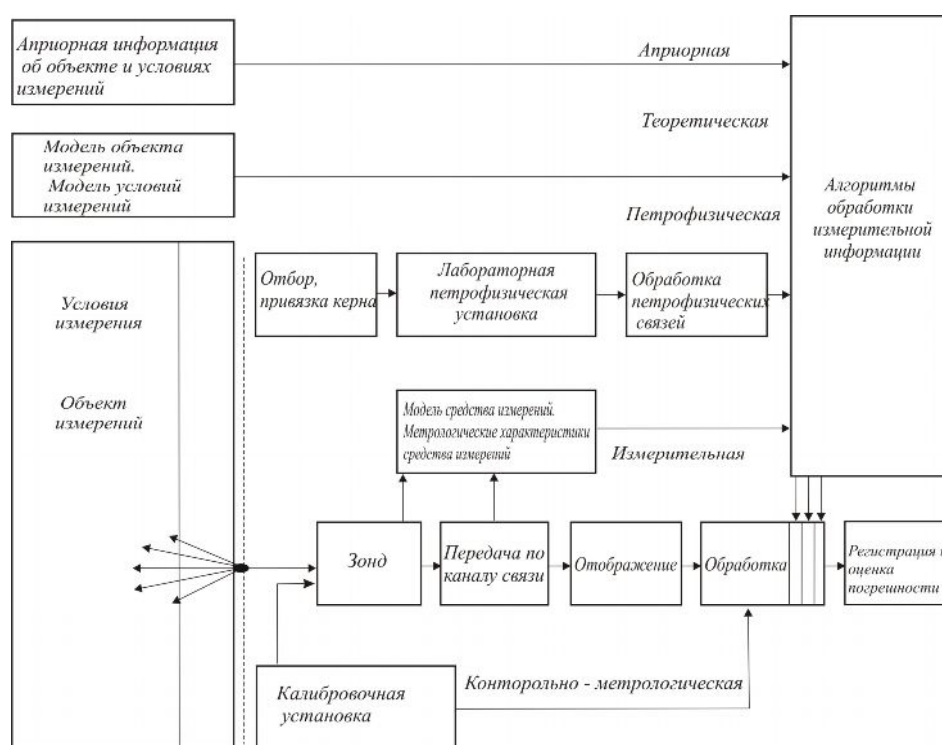


Рис. 2. Потоки скважинной геофизической информации

#### Объект измерений

Объект измерений – это реальный физический объект, свойства которого могут быть измерены. Он находится в многосторонних и сложных связях с другими объектами. Объект измерения мы

принципиально не в состоянии представить себе целиком, во всем многообразии его свойств и связей, поэтому описание объекта выполняют с помощью модели объекта с определенными свойствами и целью измерений.

Моделью объекта измерения может служить любое адекватное описание интересующих свойств объекта измерения или измеряемой ФВ, которое позволяет выделить параметр модели, необходимый для решения измерительной задачи. В случае математической модели объекта – это совокупность математических символов (образов) и отношений между ними.

Модель объекта измерения строят на основе априорной информации об объекте и условиях измерения. Модель объекта технических измерений должна удовлетворять следующим требованиям [18]:

погрешность измерений, обусловленная несоответствием модели объекту измерения, не должна превышать 10 % предельно допустимой погрешности измерения;

составляющая погрешности измерения, обусловленная нестабильностью измеряемой ФВ в течение времени, необходимого для проведения измерения, не должна превышать 10 % предельно допустимой погрешности.

При ГИС указанные выше требования не выполняются вследствие сложного строения, неоднородности объекта исследования - горных пород. В качестве модели объекта измерений принимают комплекс требований, обеспечивающий решение геологических или технических задач по данным ГИС.

Априорная информация, т. е. информация об объекте измерения, известная до проведения измерения, является важнейшим фактором, обуславливающим эффективность измерения. При полном отсутствии априорной информации измерение в принципе невозможно, т. к. неизвестно, что же необходимо измерить, а, следовательно, нельзя выбрать нужные средства измерения. При наличии априорной информации об объекте в полном объеме, т. е. при известном значении измеряемой величины, измерения попросту не нужны. Априорная информация определяет достижимую точность измерений и их эффективность.

Измеряемая величина (измеряемый параметр) – это ФВ, подлежащая определению в соответствии с измерительной задачей. Измеряемая величина всегда имеет размерность определенной ФВ, но представляет собой обусловленную свойствами объекта измерений выбранной моделью и поставленной целью измерений.

**Например, объект измерения – поперечное сечение ствола скважины. Цель измерений – определение истинного значения диаметра скважины. Априорная информация состоит в том, что поперечное сечение скважины незначительно отличается от круга. В соответствии с этой информацией в качестве модели ствола скважины принимается прямой цилиндр, поперечное сечение которого близко к кругу. Диаметр круга, площадь которого равна площади поперечного**

сечения ствола скважины, принимают в качестве параметра модели (измеряемой величины) и определяют по среднему расстоянию от оси скважинного прибора до стенки скважины в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Значение этого измеряемого параметра можно определить следующим образом:

$$d_c = 0.5 \sum_{i=1}^4 R_i$$

где  $R_i$  –  $i$ -е значение радиуса, измеренное одним из четырех измерительных рычагов каверномера.

**Принцип измерений** – совокупность физических принципов, на которых основаны измерения, например применение эффекта Джозефсона для измерения электрического напряжения или эффекта Доплера для измерения скорости.

**Метод измерений** – это прием или совокупность приемов сравнения измеряемой ФВ с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерения. Метод измерений должен по возможности иметь минимальную погрешность и способствовать к исключению систематических погрешностей или переводу их в разряд случайных.

Методы измерений можно классифицировать по различным признакам. Известна классификация по основным измерительным операциям [18, 21]. Она тесно связана с элементарными средствами измерения, реализующими эти операции: восприятие (датчики, зонды), передача по каналам связи, отображение и др. (см. рис. 2). Данная классификация ориентирована на структурное описание средств измерений и поэтому важна для измерительной техники, в частности, информационно-измерительных систем.

Для метрологического анализа более важными являются традиционные классификации, основанные на следующих признаках. Первый из них – физический принцип, положенный в основу измерения. По нему все методы измерений делят на электрические, магнитные, акустические, оптические, механические и т. д. В качестве второго признака классификации используют режим взаимодействия средства и объекта измерений. В этом случае все методы измерений подразделяют на статические и динамические. Третьим признаком может служить применяемый в СИ вид измерительных сигналов. В соответствии с ним методы делят на аналоговые и цифровые.

Средство измерений (СИ) является обобщенным понятием, объединяющим самые разнообразные конструктивно законченные устройства, которые обладают одним из двух признаков:

вырабатывают сигнал (показание), несущий информацию о размере (значении) измеряемой величины (например, лабораторная петрофизическая установка, скважинный прибор, включающий в себя зонд и другие устройства (рис. 2);

воспроизводят величину заданного (известного) размера (калибровочная установка, мера (рис. 2).

Средство измерений взаимодействует с объектом измерений, в результате чего появляется входной (для СИ) сигнал и отклик на него - выходной сигнал, подлежащий обработке с целью нахождения результата измерения и оценки его погрешности. В области отражений СИ описывается моделью, необходимой для эффективной обработки опытных данных. Эта модель представлена совокупностью его метрологических характеристик.

**Метрологические характеристики** – это характеристики свойств СИ, которые оказывают влияние на результат измерений и его погрешности и предназначены для оценки технического уровня и качества СИ, а также определения результатов измерений и расчетной оценки характеристик инструментальной составляющей погрешности измерений.

**Целью любого измерения является** его результат в виде числового интервала, в котором может оказаться истинное значение ФВ с заданной вероятностью. Обычно результат измерения представляют наилучшей оценкой величины (например, средним значением величины) с указанием доверительных границ погрешности.

Следует отметить, что иногда исправленным результатом измерений называют полученное с помощью СИ значение величины и уточненное путем введения в него необходимых поправок на предполагаемые систематические погрешности.

Результат измерений в виде интервальной оценки параметра находят по определенному алгоритму обработки измерительной информации.

Основной проблемой моделирования объектов измерений является адекватное описание измеряемых величин данного объекта. Неадекватность модели объекту обусловлена не только измеряемыми величинами объекта, но и условиями измерений.

**Условия измерений** – совокупность влияющих величин, описывающих состояние объекта, окружающей среды и средства измерений. Влияющая величина – это физическая величина, не измеряемая данным средством измерения, но оказывающая влияние на его результаты. Влияние условий измерения на СИ проявляется в изменении его метрологических характеристик.

В соответствии с установленными для конкретных ситуаций диапазонами значений влияющих величин различают нормальные, рабочие и предельные условия измерений. Нормальные условия измерений – это условия, при которых влияющие величины имеют нормальные или находящиеся в пределах нормальной области значения. Нормальная область значений влияющей величины – это область значений, в пределах которой изменением результата измерений под воздействием влияющей величины можно пренебречь в соответствии с установленными нормами точности. Нормальные условия измерений задаются в нормативно-технической документации на СИ. В табл. 2 приведены номинальные значения ряда влияющих ФВ при нормальных условиях для общетехнических СИ.

**Рабочими называются условия измерений, при которых погрешности измерений, обусловленные влияющими величинами, находятся в заданных пределах. Предельные условия измерений – это условия, характеризуемые экстремальными значениями влияющих величин, которые СИ может выдержать без разрушения и ухудшения его метрологических характеристик.**

Геофизическая аппаратура и ее отдельные блоки находятся под действием различных влияющих величин. Условия измерений определяют конструктивные особенности скважинной аппаратуры в целом и ее отдельных частей. Условия эксплуатации скважинного прибора резко отличаются от условий эксплуатации полевых наземных приборов и общетехнических СИ.

Скважинный прибор опускают в скважины относительно малого диаметра, но значительной глубины. Чаще всего прибор спускается под действием собственного веса. Часть геофизических измерений проводят в открытом стволе, т. к. наличие обсадных труб искажает или экранирует измеряемые характеристики физических полей, созданных в горных породах.

Таблица 2

Номинальные значения влияющих величин при нормальных условиях

| Влияющая величина                                                                                                                                                                                    | Значение    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. Температура для всех видов измерений. С (К)                                                                                                                                                       | 20 (293)    |
| 2. Давление окружающего воздуха для измерений ионизирующих излучений, теплофизических, температурных, магнитных, электрических измерений, измерения давления и параметров движения, кПа (мм рт. ст.) | 100 (750)   |
| 3. Давление окружающего воздуха для линейных, угловых измерений, измерения массы, силы света и измерений в других областях, кроме указанных в п.2, кПа (мм рт. ст.)                                  | 101,3 (760) |
| <b>4 Относительная влажность воздуха для линейных, угловых измерений, измерений массы, измерений в спектроскопии, %</b>                                                                              | 58          |
| 5. Относительная влажность воздуха для измерений электрического сопротивления, %                                                                                                                     | 55          |
| 6. Относительная влажность воздуха для измерений температуры, силы, твердости, переменного электрического тока, монтирующих излучений, параметров движения, %                                        | 65          |
| 7. Относительная влажность воздуха для всех видов измерений, кроме указанных в п. 4-6, %                                                                                                             | 60          |

|                                                   |        |
|---------------------------------------------------|--------|
| S. Плотность воздуха, кг/м <sup>3</sup>           | 1,2    |
| 9. Ускорение свободного падения, м/с <sup>2</sup> | 9,8    |
| 10. Частота питающей сети переменного тона, Гц    | 50 ±1% |
| 11 . Напряжение питающей сети переменного тока, В | 220±10 |

В соответствие с формой ствола скважины скважинным приборам чаще всего придают цилиндрическую форму или форму с цилиндрической симметрией. Размеры цилиндра, помимо других соображений, определяют исходя из необходимости создания наиболее благоприятных условий для продвижения прибора в скважине. Промывочная жидкость, неровности, каверны в стенках скважины, а также искривление ствола создают препятствия для свободного прохождения прибора. В связи с этим необходимо выбрать такие размеры и форму скважинного прибора, которые позволили бы ему легко преодолеть препятствия.

Диаметр скважинного прибора должен обеспечить соответствующий зазор между прибором и стенкой скважины. Наружные диаметры кожухов скважинных приборов без учета защитных выступающих частей (башмаков) выбираются, согласно ГОСТ 26116-84, из следующего ряда: 25; 28; 30; 32; 36; 42; 48; 54; 60; 64; 73; 80; 89; 100; 110; 120; 130; 146; 152; 168 мм; присоединительные размеры каротажных кабельных наконечников, головок зондов и головок скважинных приборов – по ГОСТ 14214-81.

Аппаратуру по воздействующим механическим факторам подразделяют на группы: МС1 – наземные приборы, переносные или устанавливаемые на транспортных средствах, кроме работающих на ходу; МС2 – скважинные приборы, кроме работающих в процессе бурения скважин; МС3 – скважинные приборы, работающие в процессе бурения скважин.

Предельные условия применения геофизической аппаратуры по механическим факторам приведены в табл. 3

**Таблица 3**

Предельные условия применения геофизической аппаратуры по механическим факторам

| Воздействующий фактор                    | Группа аппаратуры |       |        |
|------------------------------------------|-------------------|-------|--------|
|                                          | МС1               | МС2   | МС3    |
| Вибрация: частота, Гц                    | 10–60             | 10–70 | 10–300 |
| Максимальное ускорение, м/с <sup>2</sup> | 10                | 35    | 300    |
| Удары: частота, мин <sup>-1</sup>        |                   | 10–50 |        |
| Максимальное ускорение, м/с <sup>2</sup> | 50                | 150   | 150    |
| Длительность ударов, мс                  |                   | 6–12  |        |

В результате воздействия механических нагрузок наблюдаются: смещение скользящих и вращающихся деталей и узлов аппаратуры, разрушение паек, короткое замыкание близко расположенных проводников и деталей, размыкание нормально замкнутых контактов, замыкание нормально разомкнутых контактов, обрыв и разрушение элементов конструкции.

Климатические нагрузки (температура, влажность, конденсационная влага, гидростатическое давление) воздействуют на аппаратуру на всех этапах ее эксплуатации.

Аппаратуру по воздействующим климатическим факторам подразделяют на группы: КС1 – наземные приборы, предназначенные для работы в геофизических лабораториях, отапливаемых автобусах и специально оборудованных прицепах; КС2 – наземные приборы, предназначенные для работы в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха мало отличаются от колебаний на открытом воздухе, например в геофизических подъемниках, не отапливаемых кузовах и прицепах машин, в палатках; КС3 – наземные приборы, предназначенные для работы на открытом воздухе или под легким укрытием; КС4 – скважинные приборы.

Аппаратуру КС4 подразделяют на шесть подгрупп (КС4-1 - КС4-6) в зависимости от максимальных значений температуры и давления в скважине (табл. 4).

В результате воздействия климатических факторов (нагрузок) наблюдаются изменение значений электрических констант ( $K$ ,  $L$ ,  $C$  и т. д.), размягчение и потеря эластичности изоляции, уменьшение поверхностного и объемного сопротивления изоляции, переохлаждение и замерзание движущихся частей аппаратуры, размыкание и замыкание контактов вследствие коробления, изменение прочности конструктивных элементов, чрезмерный механический износ подвижных частей аппаратуры вследствие проникания песка и пыли.

*Таблица 4*

Подгруппы геофизической аппаратуры в зависимости от максимальных значений температуры и давления в скважине

| Подгруппа                      | КС4-1 | КС4-2  | КС4-3    | КС4-4    | КС4-5    | КС4-6    |
|--------------------------------|-------|--------|----------|----------|----------|----------|
| Рабочая температура, °С        | 50–30 | 80 –60 | 120– 100 | 150– 100 | 200– 150 | 250– 180 |
| Гидростатическое давление, МПа |       |        |          |          |          |          |

Климатические нагрузки в отдельных частях аппаратуры могут резко отличаться от их значений в окружающей среде.

Электрические нагрузки (ток, напряжение, рассеиваемая мощность) обычно определяются для отдельных элементов изделия и реже для его узлов. Электрическая нагрузка зависит от принципиальной электрической

схемы, конструкции аппаратуры и стабильности частоты и напряжения питания. Режим работы элементов и узлов аппаратуры можно характеризовать коэффициентом электрической нагрузки.

В результате воздействия электрических нагрузок появляются: обрыв элементов или узлов аппаратуры в результате их перегорания, короткое замыкание элементов или узлов в результате пробоя, изменение значений электрических констант ( $L$ ,  $R$ ,  $C$  и т. п.).

Электрическая нагрузка в значительной степени зависит от режима работы аппаратуры. В установившемся режиме работы действующее значение нагрузки близко к расчетному, всегда меньшему, чем номинальное ее значение. В этом случае коэффициент нагрузки обычно меньше единицы. В переходных режимах работы аппаратуры величина электрической нагрузки может в несколько раз превышать ее расчетное значение, и тогда коэффициент нагрузки становится большим единицы. В таких случаях обычно появляется и большее число отказов аппаратуры, чем при работе в установившемся режиме.

#### *Основные этапы измерений*

**Измерение** – последовательность сложных и разнородных действий, которая состоит из следующих этапов: постановки задачи, планирования эксперимента, измерительного эксперимента, обработки [8]. Содержание этапов измерений представлено на рис. 3.

Перечисленные выше этапы существенно различаются по выполняемым операциям и их трудоемкости. В конкретных случаях соотношение и значимость каждого из этапов заметно варьирует. Некоторые пункты данной последовательности могут отсутствовать при реализации конкретной процедуры обработки результатов измерений.

Для многих технических измерений вся процедура измерений сводится к экспериментальному этапу, поскольку анализ и планирование, включая априорное оценивание погрешности, выбор нужных методов и средств измерений осуществляются предварительно, а обработка данных измерений, как правило, минимизируется.

Все измеряемые ФВ можно разделить на две группы:

- 1) непосредственно измеряемые, которые могут быть воспроизведены с заданными размерами и сравнимы с подобными, например, длина, масса, время;
- 2) преобразуемые с заданной точностью в непосредственно измеряемые величины, например, температура, плотность. Такое преобразование осуществляется с помощью операции измерительного преобразования.

Измерительное преобразование – операция, при которой устанавливается взаимно-однозначное соответствие между размерами в общем случае неоднородных преобразуемой и преобразованной ФВ. Измерительное преобразование описывается уравнением вида  $y = f(x)$ , где/–

некоторая функция. Однако чаще стремятся сделать преобразование линейным:  $y = kx$ , где  $k$  – постоянная величина.

| 1. ПАСТАНОВКА ЗАДАЧИ                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Объект измерения</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сбор и анализ априорной информации об объекте в условиях измерений</li> </ol>                                                                                                                | <p>Модель объекта измерений</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Формирование модели объекта</li> <li>2. Постановка измерительной задачи на основе принятой модели объекта</li> <li>3. Выбор конкретных величин, посредством которых будут находиться измеряемые ФВ</li> <li>4. Формирование уравнения измерений</li> </ol>                                                |
| 2. ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p>Средства измерений</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выбор метода измерений</li> <li>2. Выбор средства измерений (СИ)</li> <li>3. Подготовка СИ к эксперименту</li> <li>4. Обеспечение и контроль условий измерений</li> </ol>                  | <p>Модель средства измерений</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Априорная оценка погрешности измерений</li> <li>2. Определение требований к МХ</li> <li>3. Выбор числа наблюдений измеряемой величины, времени измерений</li> </ol>                                                                                                                                      |
| 3. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Взаимодействие объекта и СИ</li> <li>2. Преобразование сигналов измерительной информации</li> <li>3. Воспроизведение сигналов заданного размера</li> <li>4. Сравнение сигналов</li> </ol>                            | <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Контроль параметров входных и выходных сигналов СИ</li> <li>6. Контроль стабильности МХ</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                        |
| 4. ОБРАБОТКА                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p>Средство вычислений</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проведение вычислений согласно принятым алгоритмам</li> <li>2. Регистрация результатов измерений и показателей погрешности в соответствии с установленной формой представления</li> </ol> | <p>Модель средства вычислений</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Предварительный анализ информации, полученной на предыдущих этапах</li> <li>2. Вычисление и внесение возможных поправок</li> <li>3. Построение или уточнение алгоритмов вычисления результатов измерений и показателей погрешности</li> <li>4. Анализ и интерпретация полученных результатов</li> </ol> |

Рис. 3. Основные этапы измерений

Основное назначение измерительного преобразования – получение и, если это необходимо, преобразование информации об измеряемой

величине. Его выполнение осуществляется на основе выбранных физических закономерностей. В измерительное преобразование в общем случае могут входить следующие операции:

- изменение физического рода преобразуемой величины;
- масштабное линейное преобразование;
- масштабно-временное преобразование;
- нелинейное или функциональное преобразование;
- модуляция сигнала;
- дискретизация непрерывного сигнала;
- квантование.

Измерительная информация, т. е. информация о значениях измеряемой ФВ содержится в измерительном сигнале. Измерительный сигнал поступает на вход средства измерений, при помощи которого преобразуется в выходной сигнал, имеющий форму, удобную либо для непосредственного восприятия человеком (оператором, интерпретатором), либо для последующей обработки и передачи.

Рассмотрим стадии преобразования геофизической измерительной информации с целью дальнейшего их использования для интерпретации данных ГИС. Поскольку материальным носителем информации является сигнал, то указанные стадии можно рассматривать одновременно и как стадии преобразования сигналов, несущих информацию. Технические средства, служащие для восприятия, преобразования, передачи, обработки, хранения и представления информации являются элементами аппаратуры ГИС.

Восприятие состоит в формировании образа объекта, его распознании и оценке. В результате восприятия получается сигнал в форме, удобной для передачи или обработки. В фазу восприятия могут быть включены операции подготовки информации, ее нормализации, квантования, кодирования, модуляции сигналов, а также приемы подавления помех.

Первый в измерительной цепи преобразователь, к которому подведена измеряемая величина, называется первичным измерительным преобразователем, а его элемент, находящийся под непосредственным воздействием измеряемой величины, – чувствительным элементом. Конструктивная совокупность измерительных преобразователей, расположенных в непосредственной близости от объекта исследования, предназначенная для преобразования неэлектрических величин в электрические, называется датчиком, а разновидности геофизических датчиков, характеризующиеся радиальной чувствительностью, – зондами.

Основной особенностью зондов, отличающих их от датчиков, является изменение глубинности измерений параметров физических полей. Глубинность измерений зависит от размера зонда, частоты зондирующего поля и от времени исследования, прошедшего после создания искусственного поля. Изменение радиуса исследований околоскважинного пространства осуществляется:

1) путем изменения длины (размера) зонда в методах электрометрии, радиометрии, магнитометрии и акустических исследований скважин;

2) изменением времени наблюдения после создания искусственного физического поля в методах искусственного теплового поля, радиометрии и др.;

3) изменением частоты зондирующего поля при инфракрасном зондировании, акустическом частотном зондировании и др.

Для определения глубинности, как правило, используются функции веса, вклада различных областей околоскважинного пространства в измеряемый сигнал.

ГИС – исследование практически всех физических свойств горных пород (электрических, ядерных, механических, молекулярных), определение геометрических параметров скважины (диаметра, траектории), исследование процессов, протекающих в скважине при разработке месторождений (давления, скорости притока). Отсюда и разнообразие сигналов, поступающих от датчиков (зондов) геофизических величин.

Одни из самых старых и информативных геофизических методов – методы электрометрии. Диапазон изменения удельного электрического сопротивления в методах КС, БЭЗ, БК необычайно велик, и даже в пределах одной скважины (особенно для зондовых установок с фокусировкой тока) измеряемая величина может изменяться в десятки тысяч раз. Первичная измеряемая величина выдается в виде напряжения переменного тока с частотой от нескольких единиц до сотен герц. У современных скважинных приборов низкочастотной электрометрии зондирующим током является ток питания скважинного прибора с частотой 300 или 400 Гц при скорости перемещения скважинных приборов без прижимных устройств до 3600 м/ч, и при шаге квантования по глубине 0,1 м частота дискретизации не превышает 10 Гц.

В методе самопроизвольной поляризации (ПС) измеряют разность потенциалов между измерительным электродом, перемещаемым вдоль ствола скважины, и неподвижным электродом. Поэтому должна быть обеспечена гальваническая связь между этими двумя электродами и регистрирующим прибором. Амплитуда ПС едва достигает нескольких десятков милливольт на фоне постоянной составляющей до полутора вольт, основная часть которой при измерении компенсируется. Спектр сигнала ПС не превышает Гц, поэтому во многих случаях удается фильтрация сигналов ПС от переменного синусоидального тока питания скважинного прибора.

При высокочастотных методах электрометрии поле формируется катушками индуктивности, и генераторы тока размещены внутри скважинного прибора. Измеряемые параметры – амплитуда переменного синусоидального напряжения с частотой 20–50 кГц в индукционном методе, отношение амплитуд синусоидальных напряжений с частотой 0,4–2,5 МГц в электромагнитном методе или разность фаз между двумя синусоидальными напряжениями с частотой до 50 МГц в диэлектрическом

методе. Диапазон изменения измеряемых величин при высокочастотных методах существенно меньше, чем для низкочастотной электрометрии.

Во всех методах радиометрии, независимо от модификаций и применяемых типов детекторов ионизирующих излучений, первичным сигналом является частота следования импульсов, распределение которых во времени подчиняется закону Пуассона. Амплитуда импульса информативна только в спектрометрической аппаратуре. Скорость счета для разных приборов находится в пределах 10–1000 имп/с, но все методы радиометрии в силу статистического распределения регистрируемых импульсов относят к медленным с усреднением измеряемых величин за время 1–20 с, что ограничивает скорость измерения до 200 м/ч и частоту дискретизации от долей до единиц герц.

В методе ядерно-магнитного резонанса информацию несет в себе форма огибающей радиоимпульсов с амплитудой 1–30 мкВ и длительностью 30–500 мс, следующих с частотой 1–5 с.

В акустических исследованиях разрезов скважин, цементометрии и изучении технического состояния скважин по скорости распространения упругой волны и ее первичными сигналами являются интервальное время между двумя радиоимпульсами (70–600 мкс) и отношение амплитуд {до 30 дБ} этих импульсов. В волновом акустическом методе регистрируют полную волновую картину сигналов, поступающих от акустических приемников, т. к. выделение из общей волновой картины продольной и поперечной волн, волн Рэлея, Лэмба, Стоунли позволяет существенно повысить информативность метода.

В ряде приборов (термометры, манометры, инклинометры, профилемеры, влагомеры) применяют резистивные или емкостные датчики. Измеряемые величины на их выходе: напряжение, частоту или длительность импульсов получают после промежуточных преобразований во времязадающих, резонансных и тому подобных цепях.

В последних вариантах скважинных инклинометров, использующих в качестве чувствительных элементов феррозонды, измеряемый сигнал выдается в виде разности фаз низкочастотных напряжений.

Передача информации состоит в переносе ее на расстояние посредством сигналов различной физической природы соответственно по электрическим и другим каналам связи. Прием информации на другой стороне канала имеет характер вторичного восприятия со свойственными ему операциями борьбы с шумами. Совокупность функциональных блоков, осуществляющих необходимые преобразования измерительной информации с целью передачи ее на расстояние, называется телеизмерительной системой. Характерные особенности телеизмерительной системы определяются количеством информации и спецификой передачи информации на расстояние по линиям связи.

Геофизические исследования скважин с каждым годом пополняются новыми методами, имеющими свою специфику формирования сигнала. Задача телеизмерительной системы состоит в том, чтобы преобразовать

все эти сигналы от комплекса датчиков геофизических величин в одном скважинном приборе к единому формату сигнала, обеспечивающему передачу всей информации от скважинного прибора к наземной аппаратуре, и в наземной аппаратуре привести принятые сигналы к виду, удобному для регистрации.

Представление информации требуется при обработке на ЭВМ программно-управляемых станций для контроля качества результатов измерений или интерпретации с участием интерпретатора. Оно заключается в демонстрации перед интерпретатором качественных и количественных характеристик выходной информации в виде диаграмм, сопоставлений, кроссплотов и др. Для этого используют устройства, способные воздействовать на органы чувств человека.

Измерительная информация из исследуемых скважин в цифровом виде может поступать непосредственно на ЭВМ, входящую в комплект геофизической измерительной лаборатории. Однако в некоторых случаях организовать процесс обработки в режиме реального времени непосредственно на скважине невозможно или нецелесообразно. Поэтому в наземный комплект лаборатории также включают устройства запоминания и регистрации, которые дают возможность накапливать информацию на промежуточные носители в виде, удобном для дальнейшего ввода и обработки на ЭВМ.

В процессе проведения геофизических исследований необходимо выводить информацию в виде, удобном для визуального наблюдения и чтения оператором, а в некоторых случаях – для последующей обработки или представления в качестве официального документа (например, протокола испытаний скважины). Это можно осуществить при использовании устройств индикации и печатающих устройств.

Таким образом, в геофизических информационно-измерительных системах могут быть три типа устройств представления информации: устройства отображения, регистрации в виде, удобном для чтения, и промежуточные накопители информации.

Наиболее удобным средством отображения информации являются устройства с использованием электронно-лучевой трубки (дисплеи) или цифровые табло, составленные из электронных знаковых элементов.

Для регистрации (документации) информации в виде, удобном для чтения, применяют цифровые регистраторы с электростатическими, термочувствительными печатающими устройствами, принтеры, плоттеры. Результаты измерений регистрируются ими на бумаге в стандартных форматах.

В качестве промежуточного носителя для накопления (регистрации) информации используют различные магнитные носители (магнитная лента, диски, магнитно-оптические диски, ППЗУ – перепрограммируемые запоминающие устройства и т. д.). Из перечисленных носителей информации в настоящее время наиболее широко применяют магнитные диски.

Обработка информации заключается в решении задач, связанных с преобразованием информации. Обработка выполняется при помощи устройств или машин, осуществляющих в основном цифровые преобразования поступающих величин и функций. Промежуточным этапом обработки может быть хранение в запоминающих устройствах. Применение ЭВМ обобщает и централизует функции обработки и интерпретации.

Интерпретация – истолкование результатов измерений и обработки с целью выдачи заключения о решаемой задаче.

### **Информационная модель ГИС**

Обработку и интерпретацию геофизических данных выполняют по обобщенной информационной модели ГИС, которая была сформулирована в 1965 г. Г.Н. Зверевым. Обобщенная модель ГИС состоит (рис. 4) из частных моделей, модели объекта горных пород 1, петрофизической модели 2, теоретической модели метода ГИС 3 и модели средства измерения 4.

Модель объекта измерения (горных пород) включает в себя измеряемые ФВ, являющиеся целью измерения: пористость  $K_p$ , проницаемость  $K_{пр}$ , нефтегазоводонасыщенность  $K_v$  ( $K_{нг}$ ), минеральный состав породы, данные о типе порового пространства ( $K_{пэф}$ ,  $K_{птр}$ ), степени дисперсности твердой фазы ( $K_{гд}$  – объемная глинистость) в породе и др.

Петрофизическая модель содержит физические величины, на измерении которых основаны геофизические методы – электрические ( $r_p$  – удельное сопротивление и электропроводность;  $A_{да}$  – диффузионно-адсорбционная активность пород), радиоактивные ( $q_r$  – радиоактивность,  $\omega$  – водосодержание), механические ( $\rho$  – плотность) и т.п. и связи их с измеряемыми ФВ объекта измерения.

Основной специфической особенностью петрофизической измерительной L информации является то, что взаимодействие первичных измерительных преобразователей с объектом исследования СГИИС происходит непосредственно, через процедуру отбора и подготовки образцов горных пород. В связи с этим существенно усложняется привязка получаемых значений, измеряемых ФВ к пространственным координатам геологического объекта, что требует специальной технологической процедуры – «привязки» керна по глубине.

Измерения свойств и состава горных пород для построения петрофизической модели изучаемого объекта выполняют комплексом лабораторных петрофизических измерительных установок.

Соответствие результатов измерений на образцах пород характеристикам объекта исследования достигается либо моделированием скважины: условий измерений путем создания специальных измерительных установок, либо введением соответствующих поправок в результат за различие термобарических условий, если измерения

выполнялись при нормальных условиях. Различие в геометрических размерах образца и изучаемого объекта при его неоднородности компенсируется увеличением статистики измеряемых образцов.

Физические величины, отражающие свойства горных пород, в большинстве случаев не могут быть непосредственно измерены в условиях скважины, поскольку исследуется неоднородная среда (порода пересечена скважиной, заполненной промывочной жидкостью; свойства пластов на контакте со скважиной изменены; влияют соседние пласты), характеристики физического поля, созданные зондами, зависят от их типов. Зонды стремятся сделать таким образом, чтобы измеряемые характеристики физического поля преимущественно были бы связаны с физическими свойствами пластов горных пород, пересеченных скважиной, а в однородной среде функционально зависели от ее свойств. Тем не менее, измеренное значение первичного геофизического параметра в подавляющем большинстве случаев является кажущимся значением.

Для связи между измеренными кажущимися значениями геофизических величин и физическими свойствами горных пород используют как аналитические, численные решения, так и методы физического моделирования (сеточное моделирование в электрометрии, пространственные вероятностные модели для решения задач радиометрии). Теоретические модели методов ГИС представляют собой зависимости кажущихся значений величины от физических параметров пластов и скважины (мощность пласта, диаметры скважины, зоны проникновения, толщина глинистой корки и др.). Указанные связи применяют в виде алгоритмов, палеток, номограмм.

В качестве описания модели средства измерения применяют электрические сигналы, используемые для преобразования, передачи, отображения и регистрации. Сигналы могут быть аналоговыми или цифровыми. Искажающими факторами являются помехи в зондах (датчиках), измерительных преобразователях скважинного прибора, канале связи и при регистрации. Поскольку средства измерения могут внести некоторые искажения в выходной сигнал (например, инерционность аппаратуры), необходимо знать условия измерения, влияющие на средство измерения, а также систему аппаратурных поправок.

Процесс обработки и интерпретации есть обратное движение в данной схеме, т. е. ввод аппаратурных поправок, преобразование по теоретическим палеткам кажущихся значений величин в параметры пласта и скважины и, наконец, нахождение измеряемых физических величин по петрофизическим связям. Интерпретация является решением обратной задачи геофизики. Решение обратных задач, в принципе, неоднозначно, т. к. существенное влияние на результаты ГИС оказывают многочисленные условия измерений, которые создаются в различных производственных ситуациях при выполнении в скважинах различных видов работ. Влияние условий измерений можно уменьшить или стабилизировать как технологическим путем, уменьшающим негативное воздействие условий

измерений (табл. 5), так и применяя метрологическое обеспечение измерений на всех стадиях преобразования геофизической измерительной информации.

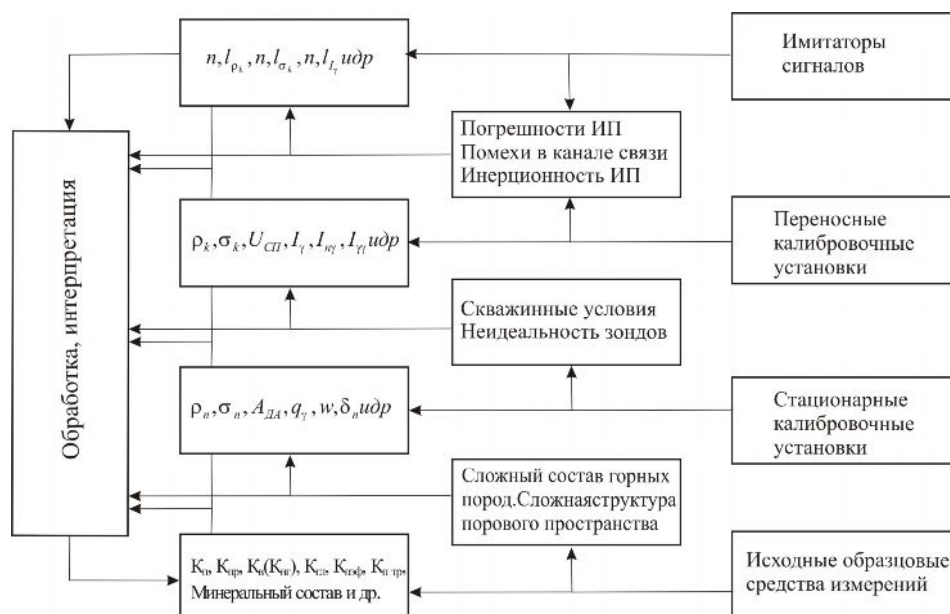


Рис. 4. Схема передачи информации при изучении разрезов скважин геофизическими методами

Моделью обработки и интерпретации являются обратные преобразования, рассмотренной информационной модели методов ГИС, учитывающие дополнительно контрольно-метрологическую информацию, воспроизводимую мерами ФВ. При первичной обработке измерительной информации выполняют устранение одиночных сбоев и цифровую фильтрацию, учет режима и условия измерений (скорость, температура и т. д.) и преобразование выходного сигнала в кажущиеся значения геофизической величины. Для реализации этого этапа преобразования обязательна контрольно-метрологическая информация т. е. либо наличие градуировочной характеристики (функции преобразования каждого измерительного канала скважинной аппаратуры, либо воспроизведение единиц ФВ с помощью калибровочных установок, образцовых мер, имитаторов физических величин для заданного геофизического метода.

Таблица 5

Требования по обеспечению качественного изучения геологических объектов с применением ГИС [8, 21]

| Виды работ в скважинах, связанные с ГИС | Условия измерений                                                                                                                             | Меры, уменьшающие негативное воздействие условий измерений                                                                                                        |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Вскрытие разреза                        | Кольчатая, глубокие зоны проникновения; кавернозность ствола; неконтролируемые добавки в ПЖ; сложные физико-химические свойства ПЖ            | Снижение репрессии на пласты; сокращение времени от вскрытия до ГИС; подбор рецептур ПЖ; контроль добавок в ПЖ; учет влияния сложных физико-химических свойств ПЖ |
| Отбор керна                             | Неполный вынос керна, недостаточный его отбор; неполное изучение свойств пород; длительные сроки выполнения анализов                          | Консервация кернов на скважине; выполнение анализов по полной схеме; совершенствование технологии отбора керна                                                    |
| Опробование пластов (испытание)         | Несвоевременное выполнение, большие интервалы опробования (испытания); неоптимальная технология; неподготовленность скважины                  | Соблюдение срока после вскрытия пласта; выбор оптимальных технологий испытаний; качественная подготовка скважины и оборудования                                   |
| Подготовка скважины к ГИС               | Наличие каверн и сальников в стволе скважины; неоднородная ПЖ, добавки в ней углеводородов и других компонентов                               | Эффективная проработка ствола скважины; контроль за добавками в ПЖ                                                                                                |
| Проведение ГИС                          | Неполное, не своевременное выполнение комплекса исследований; отклонения от требований метрологии, технологии измерений и технических условий | Совершенствование комплекса ГИС; контроль требований метрологии и технологии ГИС; повышение надежности аппаратуры                                                 |
| Спуск колонны и цементирование          | Ухудшение коллекторских свойств разреза; затрубные перетопки флюидов                                                                          | Подбор рецептуры раствора и технологии цементирования; установка заколонных пакеров                                                                               |

Следующим этапом обработки является измерительное преобразование, использующее теоретические модели методов ГИС, которые преобразуют кажущиеся значения геофизической величины в значения физической величины с учетом скважинных условий (диаметр скважины, свойства раствора, наличие глинистой корки и т. д.), геометрических размеров и взаимного расположения объекта, скважины и зондов. Петрофизическая модель является основой геологической интерпретации, т.е. конечным преобразованием геофизической измерительной информации с учетом астрофизических зависимостей. При необходимости дополнительно вводят иную априорную информацию в специальных условиях измерений. В результате реализуются алгоритмы комплексной геологической интерпретации данных ГИС, хранение промежуточной информации, выдача результатов в необходимом виде для дальнейшего использования.

Окончательным итогом геологической интерпретации, в целом, является определение геологических параметров представляющих собой числовые оценки вещественного состава, структуры и элементов залегания пласта (породы).

## 2.4. Погрешности измерений и геофизических средств измерений

### 2.4.1. Погрешность измерения

**Погрешность измерения  $\Delta$**  – есть отклонение результата измерения  $3F$  от истинного значения измеряемой величины  $x$ , т. е.

$$\Delta = \bar{x} - x. \quad (1)$$

**Истинным значением физической величины** называют то значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта. Какими бы точными СИ ни пользовались, истинного значения получить не удастся. Можно только в большей или меньшей степени приблизиться к нему. В практике измерений вместо истинного значения пользуются действительным значением, т. е. значением величины, найденным экспериментальным путем и настолько приблизившимся к истинному значению, что для данной цели это значение может быть использовано вместо истинного.

Из формулы (1) видно, что истинное значение погрешности измерений определить невозможно, поскольку неизвестно истинное значение измеряемой величины. Поэтому на практике находят оценку погрешности измерений  $\bar{\Delta}$  как разность между результатом измерений и действительным значением измеряемой величины  $x_d$ , т. е.

$$\bar{\Delta} = \bar{x} - x_d. \quad (2)$$

Погрешность измерений представляет собой сумму целого ряда составляющих, каждая из которых имеет свою причину. Анализируя причины возникновения погрешностей, в первую очередь выявляют те из них, которые оказывают наиболее существенное влияние на результат измерений.

Прежде всего, в общей погрешности  $\Delta$  в зависимости от причин и места возникновения различают методическую  $\Delta_m$ , инструментальную  $\Delta_{\text{и}}$  и погрешность  $\Delta_{\text{л}}$ , обусловленную субъективными факторами (личные погрешности, вносимые оператором, или погрешности отсчета)

$$\Delta = \Delta_m + \Delta_{\text{и}} + \Delta_{\text{л}}.$$

**Инструментальная погрешность измерения** – погрешность из-за несовершенства средств измерений. К инструментальным относятся погрешности измерений, обусловленные неидеальностью применяемой аппаратуры, а также погрешности, обусловленные ограниченной разрешающей способностью графиков, палеток и номограмм, применяемых при выполнении измерений (табл. 6).

**Методическая погрешность измерения** обусловлена несовершенством метода измерений, неполнотой знаний о происходящих при измерении процессах, неточностью применяемых расчетных формул. Например, при инклинометрических измерениях такая погрешность возникает при попадании инклинометра в желоб или каверну, что приводит к несовпадению оси инклинометра с осью скважины. Методические погрешности существуют даже при условии применения «идеальных» средств измерения ( $\Delta_{\text{и}} = 0$ ). «Идеальной» считают измерительную аппаратуру, у которой действительная функция преобразования в реальных условиях применения точно совпадает с номинальной функцией преобразования.

Таблица 6

#### Источники инструментальной погрешности геофизических измерений

| Технические средства  | Источники погрешностей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Скважинная аппаратура | <p>Неидеальность зонда – отличие характеристик реального зонда от характеристик, принятых при построении методик геофизических измерений</p> <p>Отклонение реальной статической характеристики преобразования от номинальной</p> <p>Реакция аппаратуры на воздействие внешних влияющих факторов</p> <p>Проявление инерционных свойств аппаратуры при выполнении</p> |

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              | измерений в динамическом режиме<br>Воздействие аппаратуры на объект (шунтирование среды входными цепями аппаратуры и т. п.)<br>Ограниченность числа разрядов средств вычислений                                                                                                                                                                                       |
| Графики, палетки, номограммы | Конечный размер толщины линий графических построений<br>Ограниченная, разрешающая способность (дискретность) представления семейства кривых на одном графике<br>Ограниченная, разрешающая способность (дискретность) представления многофункциональных зависимостей по каждой переменной физической величине (ограниченное количество графиков и палеток в комплекте) |

В табл. 7 перечислены основные источники возникновения методической погрешности геофизических измерений. Оценки  $\Delta_m$  во многих случаях представляют собой достаточно сложную задачу, т. к. при анализе методической погрешности измерений физических свойств пластов должно выполняться требование, чтобы «идеальная» аппаратура обеспечивала измерение значения физической величины без инструментальной погрешности. Разделение погрешности измерений на методические и инструментальные составляющие, позволяет более обоснованно принимать решения по повышению точности измерений: либо совершенствовать аппаратуру, если велики инструментальные погрешности, либо совершенствовать методики геофизических измерений, если велики методические составляющие погрешности. Инструментальные погрешности показывают нижний предел погрешности измерений, а методические – ограничения применения методик геофизических измерений при заданных требованиях к точности измерений физических величин пластов.

**Субъективная**, или личная, погрешность обусловлена индивидуальными особенностями лица, выполняющего измерения. Примерами таких погрешностей являются погрешности из-за неправильного считывания показаний с диаграмм, запаздывания реакции человека на сигнал. Значимы субъективные погрешности на стадии ручной обработки и интерпретации данных ГИС. Автоматизация и совершенствование средств измерений привели к тому, что субъективные погрешности обычно незначительны, например, в цифровых приборах они практически отсутствуют.

**По форме числового выражения погрешности измерений** подразделяют на абсолютные и относительные. **Абсолютной** называют погрешность измерения, выраженную в единицах измеряемой величины. Она определяется выражением (1). Относительной погрешностью измерений называется отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению величины

$$\delta = \frac{\Delta}{x},$$

а оценка относительной погрешности  $\bar{\delta}$  определяется по формуле

$$\bar{\delta} = \frac{\bar{\Delta}}{x_A}. \quad (3)$$

В зависимости от характера проявления при повторных измерениях и возможностей устранения погрешности делятся на случайные, систематические, прогрессирующие, грубые (промахи) и вариации показаний.

**Случайной**  $\Delta$  называют составляющую погрешности измерений, изменяющуюся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины (рис. 5, а). Они обнаруживаются при повторных измерениях одной и той же величины в виде некоторого разброса получаемых результатов. Случайная погрешность возникает при одновременном воздействии многих источников помех, каждый из которых сам по себе оказывает незаметное влияние на результат измерений, но суммарное воздействие всех источников может оказаться достаточно сильным.

Случайная погрешность не может быть исключена из результата измерения, но может быть уменьшена путем статистической обработки результатов многократных (повторных) измерений.

Таблица 7

#### Источники методических погрешностей геофизических измерений

| Классификационный признак погрешности                 | Источники погрешностей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Неадекватность модели и реальной макроструктуры среды | Влияние свойств и размера неучтенных зон среды<br>Несоответствие взаимного расположения структурных зон модели среды, принятой в типовой методике геофизических измерений, их реальному расположению<br>Влияние усреднения физических величин, изменяющихся в пределах зоны неоднородности и на границах между зонами. Влияние неучитываемой анизотропии свойств структурных зон среды |
| Неадекватность модели и реальной микроструктуры среды | Отличие структуры порового пространства, принятой в типовой методике геофизических измерений, от реальной структуры. Отличие состава заполнителя порового пространства принятого в типовой методике геофизических измерений, от реального состава<br>Отличие химического состава скелета породы, принятого в типовой методике геофизических измерений, от реального состава            |
| Взаимное расположение зонда, пластов и скважины       | Несоответствие расположения зонда относительно границ пластов и скважины при моделировании и при выполнении измерений                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Погрешности вычислений                                | Применение упрощенных алгоритмов вычислений                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

**Систематической**  $\Delta_s$  называют составляющую погрешности измерения остающуюся постоянной или закономерно изменяющуюся при повторных измерениях одной и той же величины. Систематические погрешности разделяются на постоянные и переменные (рис. 5 б, в).

Постоянные систематические погрешности остаются неизменными в течение всей серии данных измерений, например погрешность из-за неточной градуировки, погрешность из-за неточной установки нуля-сигнала прибора и т.п.

Переменные систематические погрешности закономерно изменяются в процессе измерений: плавно, периодически или по сложному закону. Примером монотонной погрешности может служить погрешность, вследствие изменения сопротивления токовой цепи при движении кабеля, если результат измерений зависит от тока питания. Значения периодических систематических погрешностей являются периодической функцией времени или другой физической величины. Например, погрешность, вызванная изменениями контактного сопротивления коллектора подъемника при записи потенциалов ПС.

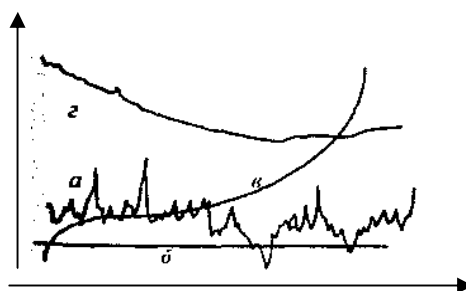


Рис. 5. Изменение значений погрешностей во времени:  
а – случайная, б, в – систематические, г – прогрессирующая погрешности

При скважинных геофизических измерениях одновременное воздействие нескольких не измеряемых, но влияющих величин приводит к более сложному закону изменения систематической погрешности. Такова, например, погрешность, вызванная одновременными изменениями глубины и температуры в скважине и др.

Очевидно, что закономерный характер систематической погрешности открывает возможности ее уменьшения. При этом следует иметь в виду, что сложную задачу может представлять собой уже обнаружение систематических погрешностей. Ряд постоянных систематических погрешностей внешне себя ничем не проявляет. Обнаружить их можно, например, путем сравнения рабочих СИ с образцовыми.

**Прогрессирующая (дрейфовая) погрешность** медленно, монотонно, но непредсказуемо убывает или возрастает во времени (рис. 5, г). Она может быть скорректирована поправками только в данный момент

времени, а далее вновь непредсказуемо изменяется, т. е. ей присущи свойства как систематических, так и случайных погрешностей.

**Грубые погрешности** (промахи) возникают из-за ошибок или неправильных действий оператора (его психофизиологического состояния, неверного отсчета, ошибок в записях или вычислениях и т. п.), а также при кратковременных, резких изменениях условий проведения измерений (сбои в работе прибора, удары прибора о стенки скважины и т. п.).

Если грубые погрешности и промахи обнаруживают в процессе измерений, то результаты, содержащие их, отбрасывают. Однако чаще всего их выявляют только при окончательной обработке результатов измерений с помощью специальных критериев оценки грубых погрешностей.

Некоторые средства измерений обладают вариацией показаний  $N$ , под которой понимается разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к ней со стороны меньших и больших значений измеряемой величины (рис. 6).

В зависимости от влияния характера изменения измеряемых величин различают статическую и динамическую погрешности. **Статическая** погрешность не зависит, а **динамическая** – зависит от скорости изменения измеряемой величины во времени. Возникновение динамической погрешности обусловлено тем, что измерительные преобразования происходят не мгновенно, а требуют некоторого времени. Примерами динамических погрешностей являются погрешности измерений методами термометрии, радиометрии и др.

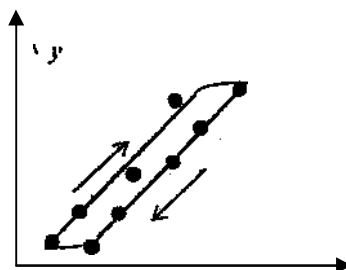


Рис. 6. Функция преобразования СИ при наличии вариаций показаний

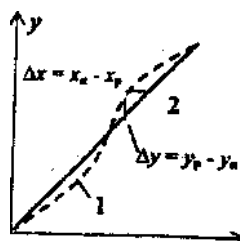


Рис. 7. Реальная (1) и номинальная (2) градуировочные характеристики

Динамические погрешности в основном возникают вследствие измерений в динамическом режиме, т. е. в условиях перемещения

скважинного прибора. Однако сигналы измерительной информации могут изменяться не только вследствие движения прибора, но и вследствие их динамических свойств. В этом случае динамическая погрешность возникает и в статическом режиме, например частотная погрешность.

#### 2.4.2. Погрешности средств измерений

Погрешности СИ, также как и погрешности измерений можно классифицировать в зависимости от влияния характера изменения измеряемых величин, от характера проявления при повторных измерениях и т. д., но они нетождественны погрешностям измерений. Погрешности СИ, кроме того, что они определяют инструментальные погрешности измерений, являются еще характеристиками основной и дополнительной погрешности СИ, допускаемых пределов погрешности, при которых СИ может быть допущено к измерениям и обеспечивает их выполнение с требуемой точностью и др.

Для выражения погрешности СИ используют отклонения его реальной градуировочной характеристики от номинальной, отсчитанные вдоль оси  $x$  или  $y$ , приведенные к входу или выходу СИ, т. е. разности вида

$$\Delta y = y_p - y_n \quad \text{или} \quad \Delta x = x_n - x_p,$$

в единицах величин  $x$  или  $y$  (рис. 7).

**Приведенная погрешность  $\gamma$  средств измерения** – это отношение абсолютной погрешности СИ  $\Delta x$  к нормирующему значению  $x_N$ , за которое условно принимают значение, равное верхнему пределу измерений, диапазону измерений, длине шкалы и др. Например, в фоторегистраторе за нормирующее значение принято условно значение длины шкалы 8 см. Приведенную погрешность обычно выражают в % как

$$\gamma = (\Delta x / x_N) \cdot 100 \, \%.$$

Приведенная погрешность позволяет сравнивать по точности приборы, имеющие разные пределы измерений. При нормировании метрологических свойств геофизической аппаратуры приведенная погрешность широкого применения не получила.

**Предел допускаемой погрешности средства измерений** – это метрологическая характеристика, отражающая наибольшую без учета знака погрешность СИ, при которой оно может быть признано годным и допущено к применению. Данное определение применяют также к

пределам допускаемых систематической и случайной составляющим погрешности и к вариации показаний.

По влиянию внешних условия различают основную и дополнительную погрешности средства измерений. Суммарную результирующую погрешность, возникающую в нормальных условиях, называют основной погрешностью. Геофизические СИ работают в сложных, изменяющихся во времени условиях. Наряду с чувствительностью к измеряемой величине СИ имеет некоторую чувствительность и к не измеряемым, но влияющим величинам, например к температуре, давлению, ударам, тряске, вибрации, электрическим и магнитным полям и т. д. При этом та часть погрешности измерения, которая возникает из-за изменения условий, называется дополнительной погрешностью.

В рабочей области значений влияющих величин дополнительная погрешность нормируются указанием функции влияния этих влияющих величин на погрешность аппаратуры. *Функцией влияния*  $\Psi(\xi)$  называется зависимость изменения характеристик и параметров СИ от изменения влияющей величины  $\xi$  или совокупности влияющих величин. Дополнительные погрешности могут оказаться больше основной, и заказчик СИ в определенных случаях может не соглашаться на отдельное нормирование дополнительных погрешностей, а потребовать аттестации СИ по суммарной эксплуатационной погрешности в рабочих условиях. Разделение погрешностей СИ на основную и дополнительную является часто условным, но для скважинной геофизической аппаратуры оно принципиально, т. к. нормальные и рабочие условия различны (например 80° и 60 МПа или 120 °С и 100 МПа).

*По зависимости абсолютной* – погрешности от значений измеряемой величины различают аддитивные, мультипликативные и нелинейные погрешности (рис. 8). *Аддитивные* погрешности  $\Delta_{\text{add}}$  не зависят от измеряемой величины, *мультипликативные*  $\Delta_{\text{mul}}$  – пропорциональны значениям измеряемых величин, и *нелинейные*  $\Delta_{\text{nl}}$  имеют нелинейную зависимость от измеряемой величины. Эти погрешности применяют, в основном, для описания метрологических характеристик СИ. Разделение погрешностей на мультипликативные и аддитивные весьма существенно при нормировании погрешностей средства измерения, выборе метода оптимальной обработки получаемой информации.

Реальная градуировочная характеристика СИ с аддитивной погрешностью 1 смещена относительно номинальной 2 (рис. 8, а) так, что при всех значениях преобразуемой величины  $x$  выходная величина  $y$  оказывается больше (или меньше) на одну и ту же величину  $\Delta_{\text{add}}$ . Такая погрешность иначе называется погрешностью нуля. Аддитивная погрешность может быть систематической (рис. 8, а) или случайной (рис. 8, б).

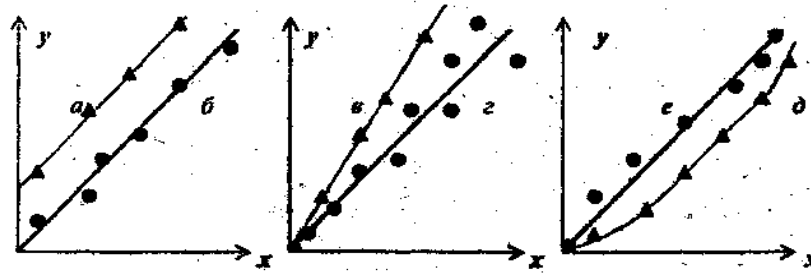


Рис. 8. Градуировочные характеристики средств измерения с аддитивными (а, б), мультипликативными (в, г) и нелинейными (д, е) погрешностями

**Систематическая погрешность**  $\Delta_{\text{add}}$  может быть скорректирована смещением шкалы или нулевого положения указателя. Для выполнения этой операции предусматривается специальное устройство – корректор нуля. Случайная аддитивная погрешность  $\Delta_{\text{add}}$  не может быть скорректирована, и реальная характеристика, смещаясь произвольным образом, но оставаясь параллельной себе, образует полосу погрешностей, ширина которой остается постоянной для любых значений  $x$  (рис. 8, б). Погрешности из-за ненадежных контактов и наводок токов промышленной частоты в измерительной цепи являются примерами случайных аддитивных погрешностей.

**Мультипликативная погрешность**  $\Delta_{\text{mul}}$  – это погрешность чувствительности. Суть ее в том, что абсолютная погрешность возникает от некоторого зависящего от  $x$  изменения чувствительности СИ (например, изменение пределов измерения регистратора, коэффициента усиления усилителя и т. п.). Реальная характеристика 1 СИ отклоняется от номинальной 2 т. к. это показано на рис. 8, б, или образует полосу погрешностей (рис. 8, г), если это отклонение является случайным. В том и другом случаях возникающие абсолютные погрешности оказываются пропорциональными текущему значению преобразуемой величины  $x$ . Таким образом мультипликативная погрешность может иметь систематическую и случайную составляющие погрешности.

На практике встречаются и более сложные нелинейные  $\Delta_{\text{nl}}$  закономерности изменения погрешностей по диапазону средств измерений.

Если средству измерений присуща только аддитивная погрешность или она существенно превышает другие составляющие, то погрешности СИ в целом целесообразно выражать в виде абсолютной погрешности. Мультипликативная погрешность увеличивается с увеличением измеряемой величины, а поэтому ее относительное значение остается

постоянным во всем диапазоне. Поэтому мультипликативную погрешность целесообразно выражать в виде относительной погрешности  $\delta_{mul}$ .

### 2.4.3. Показатели качества измерений

**Показатели качества** – это группа метрологических характеристик, описывающих наличие некоторых существенных свойств (особенностей) в результатах или средствах измерений и меру их полезности для решения задач определенного класса. Качество измерений характеризуется точностью, достоверностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью измерений, а также пределом допускаемых погрешностей.

**Точность** – это характеристика качества измерений, отражающая близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Точность измерения является величиной качественной. Высокая точность соответствует малым погрешностям и наоборот. Иногда точность количественно оценивают обратной величиной модуля относительной погрешности. Например, если погрешность измерений  $\delta = 10^{-6}$ , то точность равна  $10^6$ . Однако количественная оценка точности широкого распространения не получила.

**Достоверность измерений** характеризует степень доверия к результатам измерений и характеризуется вероятностью того, что истинное значение находится в указанных пределах. Достоверность оценки погрешностей определяют на основе законов теории вероятностей и математической статистики. Это дает возможность для каждого конкретного случая выбирать средства и методы измерений, обеспечивающие получение результата, погрешности которого не превышают заданных границ с необходимой достоверностью.

Под **правильностью** понимают характеристику качества измерений, отражающую близость к нулю систематических погрешностей в результатах измерений.

**Сходимость** – это характеристика качества измерений, отражающая близость друг к другу результатов измерений, выполненных в одинаковых условиях. Сходимость измерений отражает влияние случайных погрешностей.

**Воспроизводимость** – это такая характеристика качества измерений, которая отражает близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в различных местах, разными методами и средствами).

## 2.5. Методы и средства геофизических измерений

### 2.5.1. Средства измерения

**Средство измерения (СИ) по ГОСТ 16263-70** – техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики. Более полное определение, раскрывающее метрологическую сущность средств измерения, дано в [1, 12]. Средство измерений – это техническое средство (или их комплекс), предназначенное для измерений, позволяющее решать измерительную задачу путем сравнения измеряемой величины с единицей или шкалой ФВ, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

**Средство измерений** является обобщенным понятием, объединяющим самые разнообразные конструктивно законченные устройства, которые реализуют одну из двух функций: воспроизводят величину заданного (известного) размера или вырабатывают сигнал, несущий информацию о значении измеряемой величины [18].

По роли, выполняемой в системе обеспечения единства измерений, СИ делят на метрологические и рабочие. Первые предназначены для воспроизведения единицы и (или) ее хранения или передачи размера единицы, а рабочие СИ применяют для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Подавляющее большинство используемых на практике СИ принадлежат ко второй группе. Метрологические средства измерений применяют, разрабатывают, изготавливают и эксплуатируют в специализированных метрологических научно-исследовательских центрах.

По уровню автоматизации все СИ делятся на три группы: неавтоматические, автоматизированные и автоматические. Автоматизированные СИ выполняют в автоматическом режиме одну или часть измерительной операции, автоматические – выполняют в автоматическом режиме все операции, в том числе, связанные с обработкой их результатов, передачей данных и регистрацией. По уровню стандартизации средства измерений подразделяются на стандартизованные и не стандартизованные (уникальные).

По роли в процессе измерения и выполняемым функциям средства измерений могут быть элементарными (меры, устройства сравнения и измерительные преобразователи) и комплексными (регистрирующие и показывающие измерительные приборы, измерительные установки, измерительные системы). Каждое из элементарных СИ, взятое в отдельности, не может осуществить полностью операцию измерения.

**Мера** представляет собой СИ, служащее для воспроизведения физической величины заданного размера. Меры делятся на однозначные, многозначные и наборы мер. Магазин сопротивлений, например, относится к многозначным мерам, а гиря – к однозначным. К мерам

относятся также стандартные образцы (СО) и образцовые вещества. Стандартный образец – это мера для воспроизведения единиц величин, характеризующих свойства или состав веществ и материалов. Образцовое вещество – это вещество с известными свойствами, воспроизводимыми при соблюдении условий приготовления, указанных в утвержденной спецификации. Например: блок кальцитовых пород – стандартный образец пористости карбонатных пород; водный раствор хлористого натрия – образцовое вещество для воспроизведения плотности жидкости.

**Устройство сравнения** (компаратор) – это средство измерений, дающее возможность выполнять сравнение мер однородных величин или же показаний измерительных приборов. Примерами могут служить: рычажные весы, тепловое поле, создаваемое термостатом для сравнения показаний термометров. Во многих относительно простых СИ роль компаратора выполняют органы чувств человека, главным образом зрение, например для сравнения отклонения указателя прибора и числа деления, нанесенных на его шкале, или для контроля положения нуля указателя в гальванометрах мостовых схем.

Особенно широкое распространение получили компараторы в современной электронной технике, где они используются для сравнения напряжений и токов. Для этой цели был разработан специальный тип интегральных микросхем. В электронных компараторах сравнение выполняется путем последовательного соединения вычитающего устройства, формирующего разность сравниваемых сигналов, и усилителя переменного напряжения с большим коэффициентом усиления (усилителя-ограничителя), выполняющего функцию индикатора знака разности. Положительное напряжение на выходе усилителя-ограничителя принимается за логическую единицу, а отрицательное – за логический ноль. Степень совершенства компаратора определяется минимально возможным порогом чувствительности  $\Delta_{\text{п}}$ , а также его быстродействием - временем переключения из одного состояния в другое.

**Измерительный преобразователь** – техническое устройство, построенное на определенном физическом принципе, выполняющее отражение размера одной физической величины размером другой физической величины, функционально с ней связанной, и предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения информации, но неподдающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Преобразуемая величина называется входной, а результат преобразования – выходной величиной. Основное требование к измерительным преобразователям – точная передача информации, т. е. минимальные потери информации, иначе говоря, минимальные погрешности. По тому же самому физическому принципу могут быть выполнены и не измерительные, а энергетические преобразования (силовые трансформатор, выпрямитель, усилитель и др.). Главное

требование к энергическим преобразователям – высокий КПД, малые потери энергии.

Отдельные части геофизической аппаратуры являются измерительными преобразователями, если для них нормированы метрологические характеристики, например преобразователь температуры скважинный (ПТС), модулятор комплексного скважинного прибора Э1. Измерительные преобразователи отличаются большим разнообразием: электронные и полупроводниковые усилители, преобразователи аналого-код, масштабные и функциональные преобразователи, измерительные преобразователи различных физических величин.

Для построения измерительных преобразователей применяют преобразования как в однородные, так и неоднородные электрические и неэлектрические величины. По виду естественных входных и выходных величин и измерительные преобразователи можно разделить на следующие группы:

1. Преобразователи электрических величин в другие электрические величины:

- а) масштабные: усилители, трансформаторы, делители;
- б) преобразователи несущего процесса (частоты, фазы, формы тока и др.): выпрямители, модуляторы.

2. Преобразователи неэлектрических величин в электрические:

- а) параметрические, у которых неэлектрическая величина преобразуется в сопротивление, емкость, индуктивность: тензорезисторы, терморезисторы и другие омические, емкостные и индуктивные преобразователи;

- б) генераторные, у которых естественной выходной величиной является ЭДС, напряжение, частота, фаза или ток: термопары, фотоэлементы, преобразователи, основанные на эффекте Холла, пьезоэффекте, взаимноиндуктивные преобразователи и др.

3. Преобразователи электрических в неэлектрические величины:

- а) механические перемещения: двигатели, шаговые искатели, измерительные механизмы;

- б) тепловые, световые величины: нагреватели, светодиоды и др.

4. Преобразователи неэлектрических величин в другие неэлектрические величины: редукторы, рычаги, мембраны, пружины.

Первый в измерительной цепи преобразователь, к которому подведена измеряемая величина, называется первичным измерительным преобразователем, а его элемент, находящийся под непосредственным воздействием измеряемой величины, чувствительным элементом. Конструктивная совокупность измерительных преобразователей, расположенных в непосредственной близости от объекта исследования, и предназначенная для преобразования неэлектрических величин в электрические, называется датчиком, а разновидности геофизических датчиков, характеризующиеся радиальной чувствительностью, – **зондами**.

Основной особенностью зондов, отличающей их от датчиков,

является возможность исследования околоскважинного пространства. Глубинность зондирующего физического поля зависит от длины зонда, частоты зондирующего поля и от времени исследования, прошедшего после создания искусственного поля. Изменение радиуса исследований околоскважинного пространства осуществляется:

- 1) путем изменения длины зонда в методах, электрометрии, радиометрии, магнитометрии и акустических исследованиях скважин;
- 2) изменением времени наблюдения после создания искусственного физического поля в методах искусственного теплового поля, радиометрии;
- 3) изменением частоты зондирующего поля при инфракрасном зондировании и акустическом частотном зондировании. В фокусированных зондах радиус исследования связан с такими характеристиками зондов, как модуль или параметр фокусировки.

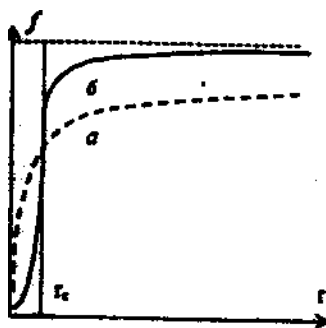


Рис. 9. Интегральные геометрические факторы зондов с различной радиальной характеристикой:

*а – обычные зонды КС; б – зонды малой глубинности с частичной компенсацией влияния скважины*

Радиус исследования принято оценивать по радиальному геометрическому фактору, функции веса, вклада различных областей околоскважинного пространства в измеряемый сигнал. За радиус исследования принимают расстояние от оси скважины до условной границы, разделяющей геометрический фактор в определенной пропорции: в электрометрии это чаще всего 0,5, в радиометрии 0,9 или 0,95 (рис. 9).

Для формирования физического поля с заданными параметрами зонды содержат источники (излучатели), а для измерения – приемники. Зонды, используемые для изучения естественных полей состоят только из приемников.

Измерительный преобразователь, состоящий из элементов, взаимодействие которых вызывает их взаимное перемещение, называется **измерительным механизмом**.

Измерительные преобразователи самостоятельного применения не имеют, они являются составной частью более сложных средств измерения, измерительных приборов, информационно-измерительных систем. Так, например, на рисунке 10 показана структурная схема каверномера,

который состоит четырех последовательно соединенных измерительных преобразователей.

Совокупность измерительных преобразователей, помещаемых в процессе ГИС в скважину и представляющих собой единую целую конструкцию, называется скважинным прибором.



Рис. 10. Структурная схема каверномера

**Измерительный прибор** – это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительные приборы различаются по измеряемым величинам, области применения, техническим характеристикам, принципу действия, используемой элементной базе и другим особенностям. Тем не менее, все эти приборы имеют общие черты.

В зависимости от выходного отсчетного устройства: шкала, цифровое табло, диаграмма – различают показывающие и регистрирующие измерительные приборы. Инклинометры КИТ относятся к показывающим приборам, а светолучевой осциллограф НО-28А – к регистрирующим приборам. Регистрирующие приборы находят широкое применение при скважинных измерениях в динамических режимах. В зависимости от вида измеряемого сигнала измерительные приборы подразделяют на аналоговые и цифровые. Основным способом регистрации геофизической информации в настоящее время является цифровой – с применением цифровых регистраторов, например ПВК, КИУ и т. п.

**Цифровые измерительные приборы** автоматически вырабатывают дискретные сигналы измерительной информации, которые представляют в цифровой форме. Отсчет у них осуществляется с помощью механических или электронных отсчетных устройств. Цифровые измерительные приборы по сравнению с аналоговыми имеют ряд достоинств: результат измерения в цифровой форме удобен для ввода в ЭВМ; время измерения очень мало; процесс измерения автоматизирован, что исключает погрешности, обусловленные ошибками оператора.

**Аналоговые приборы** – как показывающие, так и регистрирующие например, фоторегистратор, имеют отсчетные устройства, состоящие из двух элементов – шкалы и указателя, связанного с подвижной частью прибора. Шкала представляет собой совокупность *отметок*, у части из которых проставлены числовые значения. Расстояние между осями или центрами двух соседних отметок называется *длиной деления шкалы*, а значение измеряемой величины, которое вызывает перемещение

подвижного элемента отсчетного устройства на одно деление, – *ценой деления*. Отметки на шкалах могут быть нанесены равномерно или неравномерно. В связи с этим шкалы называют равномерными или неравномерными. Практически равномерной считается шкала, длины деления которой отличаются не более чем на 30 % и имеют постоянную цену деления.

Указанные на шкале наименьшее и наибольшее значения измеряемой величины называются соответственно начальным и конечным значениям) шкалы. Область значений, ограниченная начальным и конечным значениям шкалы, называется *диапазоном показаний*.

**Диапазон измерений** – это та часть диапазона показаний, для которой нормированы пределы допускаемых погрешностей СИ. Наименьшее и на и большее значения диапазона измерений называются соответственно нижним и верхним пределами измерений. В технических измерительных приборах: диапазон измерений и диапазон показаний, как правило, совпадают.

Аналоговые измерительные приборы применяют для измерения самых различных физических величин, а их конструкции и принципы действия весьма разнообразны. Например, вольтметры и амперметры основаны на измерительных механизмах следующих систем: магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, ферродинамической, электростатической. *Логометры* – приборы для измерения отношения двух величин – основаны на измерительных механизмах тех же систем и используются в омметрах, фазометрах, частотомерах, термометрах и т. п. Простейшие аналоговые вольтметры состоят из первичного электромеханического измерительного преобразователя, указателя (стрелки) и шкалы.

**Магнитоэлектрический** измерительный прибор содержит магнитопровод с постоянным магнитом и контур с током, выполненный в виде катушки (рамки, шлейфа). Для перемещения подвижной части механизма используется энергия взаимодействия магнитных полей постоянного магнита и катушки с током. Успокоение подвижного элемента магнитоиндукционное или электромагнитное. Магнитоиндукционное успокоение возникает при перемещении каркаса катушки в поле постоянного магнита; электромагнитное - от наведения э.д.с. в обмотке, перемещающейся в магнитном поле рамки, замкнутой на некоторое внешнее сопротивление.

Магнитоэлектрические приборы имеют равномерную шкалу, высокую точность и чувствительность (полный ток отклонения до 0,01 мкА), малое собственное потребление энергии до  $10^{-6}$  Вт, но боятся перегрузки и несколько сложнее других приборов.

Принцип действия **электромагнитных** приборов основан на взаимодействии магнитного поля контура с током с одним или несколькими ферромагнитными сердечниками из магнитомягких материалов. Электромагнитные приборы применяют для измерения в

цепях постоянного и переменного тока. Они имеют неравномерную шкалу на постоянном токе, сжатую в начале, растянутую в конце. Нелинейность шкалы уменьшают формой сердечника катушки. Знак угла поворота подвижной части не зависит от направления тока в катушке. Электромагнитные приборы проще по конструкции, способны выдержать большие перегрузки, но собственное магнитное поле катушки невелико, поэтому необходима экранировка от внешних полей.

Принцип действия *электродинамических* приборов основан на взаимодействии неподвижных и подвижных контуров с токами. Электродинамические приборы, у которых магнитные потоки проходят через ферромагнитные магнитопроводы, называют ферродинамическими. Электродинамические приборы являются самыми точными среди электромеханических приборов при измерении переменных токов.

Принцип действия *электростатических* приборов основан на взаимодействии подвижных и неподвижных электрически заряженных пластин. Приборы имеют очень большое внутреннее сопротивление и применяются для измерения высоких напряжений.

Совокупность измерительных преобразователей, предназначенная для выработки сигнала измерительной информации в форме доступной для непосредственного восприятия наблюдателем и имеющая в качестве выходного Устройства цифровой или аналоговый измерительный прибор, называется скважинным измерительным прибором. Например, радиометрический измерительный скважинный прибор может состоять из скважинного прибора, СРК, геофизического кабеля, измерительной панели ИПРКУ и цифрового регистратора «Триас».

*Измерительная установка* – совокупность функционально объединенных СИ и вспомогательных устройств, предназначенная для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем и расположенная в одном месте. Измерительную установку с включенными в нее эталонами или образцовыми СИ, применяемую для поверки СИ, называют поверочной установкой. Например, УПИ-1 – установка для поверки инклинометров, УПАК – установка для поверки аппаратуры акустического каротажа. Комплексные измерительные установки, предназначенные для выполнения ряда функций: измерений, контроля, регистрации – называют стендами. Например, стенд лаборатории каротажной станции ЛКС-7-03.

*Система* – это совокупность элементов (подсистем, процессов, машин, приборов) с определенными структурой и набором связей между элементами, объединенных общей целью и алгоритмами функционирования.

ГИС является сложной под отраслевой производственно-научной системой, характеризующейся большой масштабностью и информационной значимостью в геологоразведочных работах, многоцелевым характером деятельности и организационной разнородностью.

В зависимости от преимущественного назначения различают измерительные, контролирующие и управляющие системы. Наиболее важным структурообразующим элементом системы ГИС является информация, в соответствии с которой выделяют автоматизированные системы обработки и интерпретации данных ГИС, информационно-измерительные системы ГИС.

Информационно-измерительная система (ИИС) – совокупность СИ вспомогательных устройств в блочно-модульном исполнении, соединенных между собой каналами связи, объединенных общим алгоритмом функционирования, предназначенная для получения измерительной информации непосредственно от объекта, ее преобразования, передачи, хранения, обработки и выдачи в форме, удобной для восприятия оператором или ввода в систему автоматического управления.

По организации алгоритма функционирования различают ИИС:

- с заранее заданным алгоритмом работы, правила функционирования которых не меняются;
- программируемые, алгоритм работы которых меняется по заданной программе;
- адаптивные, алгоритм работы которых, а в ряде случаев и структура, изменяются, приспособляясь к условиям измерений.

ИИС представляет собой сложный измерительный комплекс, включающий в свой состав не только измерительные преобразователи, приборы, но и средства вычислительной техники, предназначенные для обработки измерительной информации и управления процессом получения информации.

Таким образом, (в отличие от измерительных приборов, обладающих ограниченными возможностями и выполненных обычно из небольшого числа измерительных преобразователей, объединенных, как правило, в едином корпусе) ИИС позволяет комплексно осуществить все следующие функции:

- 1) непосредственную связь с объектом исследования;
- 2) многоканальные измерения различных физических величин;
- 3) автоматизированное управление процессами измерения и обработки;
- 4) обработку измерительной информации.

Разновидностями ИИС являются измерительно-вычислительные комплексы (ИВК) – функционально объединенные совокупности средств измерения, компьютеров и вспомогательных устройств, предназначенных для выполнения конкретной измерительной задачи. Например, полевые вычислительные комплексы (ПВК) – специализированные скважинные геофизические ИИС с преобладающей ролью вычислений и регистрации данных определенного комплекса исследований скважин.

**Скважинная геофизическая информационно-измерительная система (СГИИС)** является комплексной ИИС, в состав которой входят измерительно-вычислительные комплексы и подсистемы телемеханики.

Понятие «телемеханика» объединяет в любой комбинации более частные понятия, такие как телеизмерение, телеуправление, телесигнализация, телерегулирование. Если команды оператора с помощью специальных устройств передаются по каналам связи к скважинному прибору, принято говорить о телеуправлении, если сообщения о состоянии объекта исследования, устройств и элементов скважинного прибора передаются в обратном направлении – о телеконтроле, телесигнализации и телеизмерении. Общая структурная схема СГИИС показана на рис. 11. В ее состав входят подсистемы: *I* – телеконтроля и теле-сигнализации, *II* – телеизмерения, *III* – телеуправления и телерегулирования, *IV* – обработки данных ГИС.

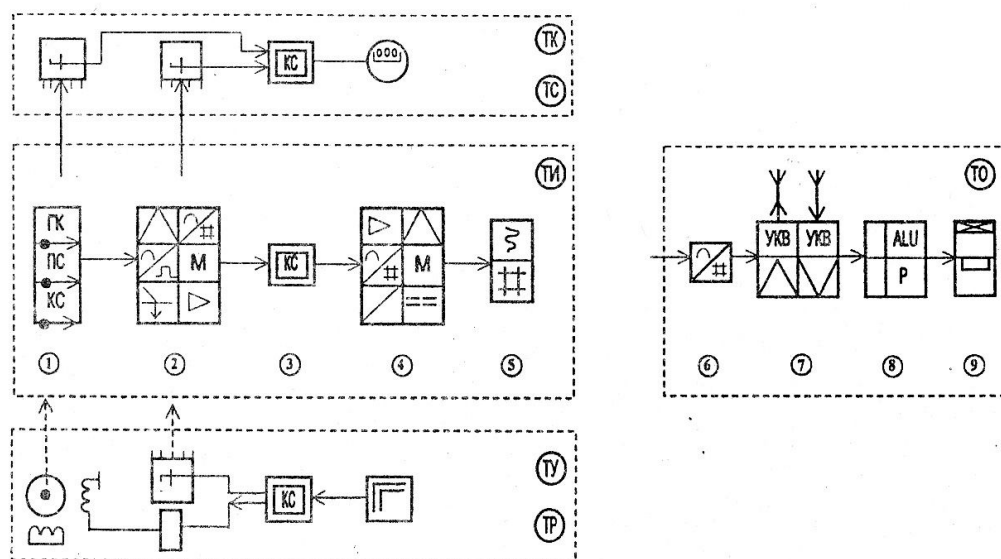


Рис. 11. Скважинная геофизическая информационно-измерительная система (СГИИС)  
 1 – восприятие информации (зонды, датчики); 2 – подготовка для передачи по каналу связи (скважинные приборы), 3 – передача по каналу связи (геофизический кабель); 4 – демодуляция, калибровка, масштабирование (измерительные панели геофизической лаборатории); 5 – регистрация (цифровые скважинные регистраторы);  
 6 – подготовка для обработки (сканеры), 7 – передача данных УТР-ВЦ (аппаратура передачи данных); 8 – обработка данных ГИС (персональные ЭВМ и рабочие станции); 9 – регистрация результатов обработки (внешние устройства ЭВМ, плоттеры)

**Аппаратура ГИС** – это комплекс СГИИС и вспомогательных устройств, функционально объединенных для проведения ГИС. Основные функции аппаратуры ГИС очевидны из названий подсистем СГИИС (рис. 11). Стадии преобразования информации в СГИИС выполняются следующими СИ и вспомогательными устройствами.

Зонды и датчики 1 предназначены для восприятия информации. Зонды и датчики преобразуют измеряемую величину в электрический сигнал, удобный для дальнейших операций.

**Измерительные преобразователи скважинных приборов 2**, например СРК, ЭК-1, АК-П и др., выполняют подготовку

электрических сигналов для передачи по каналу связи. В зависимости от способа передачи информации этот блок может содержать: а) аналоговые преобразователи (измерительные усилители, выпрямители, модуляторы и др.); б) аналого-цифровые преобразователи; в) коммутаторы; г) устройства выдачи сигналов кодоимпульсной модуляции и тактовых импульсов (синхроимпульсов); д) имитаторы физических величин, например стандарт сигналов и др. В отдельных случаях измерительная информация с выхода зондов или датчиков может быть передана по линии связи без дополнительных преобразований.

Основными конструктивными элементами скважинного прибора являются наконечники кабельные и головки зондов, охранные корпуса, центрирующие и прижимные устройства. Охранный корпус служит для герметизации тех элементов системы, которые по условиям эксплуатации не должны иметь непосредственного контакта с окружающей средой. Конструкция охранных кожухов обеспечивает подключение выхода блока передачи информации к жилам геофизического кабеля и подсоединение груза для улучшения проходимости прибора по стволу скважины с помощью кабельных наконечников и головок зондов. Центрирующие и прижимные устройства применяют при необходимости центрирования зонда (датчика) по оси скважины или его прижатые к стенке скважины. Центрирующие и прижимные устройства нередко имеют механизм дистанционного управления, входящего в систему телеуправления.

Канал связи 3 состоит из линии связи, как правило, геофизического кабеля, входных и выходных усилителей, блоков согласования и фильтров. Кабель может содержать различное количество токонесущих жил, по которым передают сигналы измерительной информации, телеконтроля и управления работой скважинных устройств, осуществляют электропитание излучателя зонда и измерительных преобразователей скважинного прибора, используют в качестве шин интерфейса. Кроме того, кабель применяют как инструмент для измерения глубины при геофизических исследованиях скважин и как трос для проведения спускоподъемных операций.

Блок приема информации 4 предназначен для выделения полезного сигнала измерительной информации, пригодной для регистрации. В общем случае в состав блока входят: а) фильтры; б) аналоговые преобразователи (измерительные усилители, выпрямители, демодуляторы, и др.); в) аналого-цифровые преобразователи; г) коммутаторы; д) меры физических величин для калибровки и др. В аналоговой аппаратуре блок реализован в виде набора стандартных панелей геофизических методов (ИПЧМ, ИПРК-У, АНК-А), а в цифровой – в виде стандартных модулей, входящих в состав специализированного периферийного оборудования компьютеров.

Блок представления 5 первичных результатов измерения состоит из цифровых регистраторов (ПВК, СКР-1, КАРАТ-2 и др.), плоттера (ЭСПУ-К и др.), устройства отображения (дисплея).

Как указывалось выше, в состав аппаратуры ГИС входят элементы телеуправления коммутирующими устройствами, двигателями. Коммутирующие устройства позволяют подключить необходимые зонды (датчики), установить требуемый предел измерения, включить двигатели и т. п. В качестве переключающих устройств в скважинной аппаратуре применяют различные переключатели и реле. Управление работой переключающих устройств осуществляется операторами или программно компьютерами.

Система телесигнализации выводит на устройства индикации информацию о пределах измерения, подключении зонда (датчика), контролируемых значениях тока.

Источники электропитания аппаратуры ГИС обычно расположены на поверхности. Они обеспечивают надлежащий режим всех цепей геофизической аппаратуры и позволяют получить требуемое постоянное и переменное напряжение. К источникам питания относятся стабилизированные выпрямители и генераторы низкой частоты

Подсистема обработки данных ГИС содержит средства вычислительной техники: персональные ЭВМ или рабочие станции 8 и плоттеры 9. При необходимости выполнять обработку диаграмм старого фонда применяют различные преобразователи диаграмм 6 в цифровой код: Ф018, сканеры, дивизоры. В тех случаях, когда оперативная обработка выполняется не на скважине, а централизованно в крупных вычислительных центрах, применяют аппаратуру передачи цифровых данных по каналам связи 7 (УКВ, телефонную и спутниковую связь).

В состав аппаратуры ГИС помимо указанных выше блоков входят различные вспомогательные устройства, обеспечивающие контроль перемещения зонда (датчика) по стволу скважины, определение глубины его погружения, измерение натяжения геофизического кабеля, нанесение и отбивку меток глубин и др.

Наземные блоки аппаратуры ГИС обычно выполняют в виде панелей, имеющих определенное функциональное назначение; они унифицированы по размерам, внешним соединениям и т. п. Совокупность панелей, размещенных в общем корпусе, образуют аппаратный стенд измерительной промыслово-геофизической лаборатории.

Помимо аппаратуры для геофизических исследований скважины применяют спускоподъемное оборудование: лебедки с приспособлениями для укладки кабеля. Лебедки служат для размещения геофизического кабеля и приводятся в движение от двигателя автомобиля, на котором они размещены, или от стационарного электродвигателя. Автомобиль с установленным на нем спускоподъемным оборудованием, имеющим привод от автомобильного двигателя, называется каротажно-перфораторным подъемником. Комплекс измерительной промыслово-геофизической лаборатории и подъемника называется каротажной станцией.

Устье скважин для спускоподъемных операций геофизических приборов оборудуется блок-балансами, направляющими роликами, а на действующих скважинах кроме того устанавливаются лубрикаторы. Скважинные геофизические информационно-измерительные системы предназначены для получения количественной информации о состоянии объекта исследования и выдачи ее потребителю. Следовательно, СГИИС как средство получения информации нужно рассматривать в неразрывной связи с объектом исследования и потребителем (табл. 8). Такое рассмотрение позволяет правильно оценить процесс получения и использования количественной информации, дать основание для выбора наиболее важных характеристик СГИИС и оценки их влияния на результаты измерений.

## **2.5.2 Основные параметры и характеристики средств измерения**

**Очевидно, что различные типы средств измерения и их конкретные экземпляры отличаются друг от друга по свойствам, которые могут быть выражены совокупностью ряда характеристик.**

Важнейшими характеристиками качества СИ являются их точность и погрешность. Под точностью понимается степень приближения результата измерений, полученного с помощью данного СИ, к истинному значению измеряемой величины, а под погрешностью – отклонение результата измерений от истинного значения измеряемой величины.

Основной характеристикой СИ является функция (уравнение) преобразования – зависимость информативного параметра его выходного сигнала от информативного параметра его входного сигнала.

Функция преобразования, полученная экспериментально с использованием образцовых СИ, и представленная в виде формулы, таблицы или графика, называется градуировочной характеристикой.

Различают индивидуальные и типовые градуировочные характеристики. Индивидуальная функция преобразования принимается для конкретного экземпляра СИ и устанавливается путем экспериментальных исследований (индивидуальной градуировки) этого экземпляра при определенных значениях влияющих величин. Типовые градуировочные характеристики используют при серийном производстве однотипных измерительных приборов. Связь между значениями на выходе и входе СИ, указываемая в нормативно-технической документации, носит название номинальной функции преобразования (номинальной градуировочной характеристики).

Важной характеристикой СИ является чувствительность, равная отношению изменения сигнала на выходе к вызывающему его изменению входной (измеряемой) величины. Различают *абсолютную*  $S$  и *относительную*  $S_{\text{отн.}}$  чувствительности, которые определяются формулами

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}; \quad S_{i\partial i} = \frac{\Delta y}{\Delta x / \delta}; \quad (4)$$

$\Delta x$  – изменение измеряемой величины.

Для средств измерения с линейной градуировочной характеристикой абсолютная чувствительность постоянна во всем диапазоне измерения, и ее обратная величина называется *ценой деления* (масштабом, постоянной прибора)

$$\tilde{N} = \frac{\Delta \delta}{\Delta \phi}; \quad (5)$$

Отношение сигнала  $y$  на выходе средства измерения к вызывающей его измеряемой величине  $x$  называется коэффициентом преобразования  $K$ :

$$\hat{E} = \frac{y}{x}; \quad (6)$$

От чувствительности следует отличать порог чувствительности  $\Delta_{\text{п}}$ , представляющий собой такое изменение значения измеряемой величины средства измерений, которое вызывает на выходе минимальный уверенно обнаруживаемый эффект, заметно превышающий уровень помех.

Область значений измеряемой величины, в которой, в принципе, возможно выполнить измерение, т. е. получить результат измерения с погрешностью менее 100 % называется полным диапазоном измерения. В однопредельных СИ это область измерения от порога чувствительности до верхнего предела измерений или, вследствие малости  $\Delta_{\text{н}}$  численное значение полного диапазона равно пределу измерения  $\Pi$ . Полный диапазон  $D$  принято выражать в долях порога чувствительности  $D = \Pi / \Delta_{\text{н}}$  в безразмерных единицах или децибелах. В таком виде он носит название *динамического диапазона измерений*.

Часть полного диапазона СИ, в которой погрешность измерения отвечает требованиям НТД в рабочих условиях измерений, называют *рабочим диапазоном*.

Некоторые СИ обладают вариацией показаний, под которой понимается разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к ней со стороны меньших и больших значений измеряемой величины.

Причиной вариации являются трение и мертвый ход подвижных частей механизма прибора, неполная упругость пружин и других деталей, подверженных действию сил, изменяющих их форму или размер, а также совместное действие всех этих и других факторов. Особый вид вариации представляют явления, вызываемые остаточными напряжениями, возникающими в материале прибора под действием чрезмерной нагрузки, или явления, происходящие вследствие необратимого теплового расширения, задержки притока тепла через оболочки, изменения температурного режима при прохождении электрического тока. Сюда же

можно отнести старение материалов, что наблюдается, например, у магнитов.

### 2.5.3. Характеристики СГИИС

Измерительные информационные системы предназначены для получения количественной информации о состоянии объекта исследования и выдачи ее потребителю. Следовательно, ИИС как средство получения информации нужно рассматривать в неразрывной связи с объектом исследования и потребителем.

Такое рассмотрение позволяет всесторонне оценить процесс получения и использования количественной информации и дает основание выбора наиболее важных характеристик ИИС для оценки их влияния на результаты измерений. Процесс получения информации и состояние СГИИС может быть описаны характеристиками, представленными в таб. 8.

Таблица 8

Характеристики СГИИС

| Группы характеристик | Характеристики СГИИС                                                                                                                             |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Информационные    | Временное представление первичного сигнала, спектральная характеристика сигнала, информационная избыточность                                     |
| 2. Энергетические    | Входной импеданс, предельная пропускная способность канала связи, обратное воздействие ИИС на объект исследования, перегрузочная способность     |
| 3. Метрологические   | Градуировочная характеристика, чувствительность, погрешности средств измерения; динамические характеристики; помехоустойчивость, функции влияния |
| 4. Эксплуатационные  | Эргономические, стоимостные, динамические, устойчивость к перегрузкам, удобство монтажа и обслуживания, размеры, вес, надежность и др            |

Информативные возможности объекта исследования зависят от способа измерения физических свойств объекта исследования, характеристик естественных или искусственно созданных физических полей, процессов, происходящих в объекте исследования. Информативные параметры процессов, происходящих в объекте исследования, выраженные в материальной форме, носят название первичных сигналов измерительной информации. Сигналы могут быть как естественного происхождения, например ПС, акустические шумы в скважине, горных породах, так и искусственные, которые возникают в результате взаимодействия СИ с объектом исследования. Свойства сигналов наиболее наглядно проявляются во временной или частотной формах, т. е. в виде

зависимостей информативных параметров сигналов от времени или частоты.

Временная форма сигналов первичной измерительной информации дает наглядное представление об информации, заключенной в сигнале, о возможности искажения их помехами, позволяет наглядно сопоставить характеристики сигналов и СИ.

Спектральное (частотное) представление исходной информации позволяет, применяя ряд свойств частотного преобразования Фурье, выполнить теоретические измерительные преобразования с моделями сигналов и принять решение о возможности выполнения измерений с заданной погрешностью.

Метрологические характеристики являются характеристиками СИ: преобразования, погрешности, влияния и др.

Эксплуатационные характеристики отражают взаимодействие СГИИС с оператором и состоят из эргономических, стоимостных, динамических характеристик, надежности и др.

### Информационные характеристики

Под геофизической измерительной информацией следует понимать количественные сведения о физических свойствах горных пород и характеристиках геофизических полей, полученные в скважине с помощью средств измерения.

В качестве меры количества информации может быть принято уменьшение неопределенности, происшедшее в результате измерения. Если обозначить через  $p(x_i)$  вероятность некоторого события до измерения, а через  $p_i(x_i)$  – вероятность того же события после измерения, то мерой количества информации следует считать функцию

$$I = f\left(\frac{p_i(x_i)}{p(x_i)}\right)$$

К. Шенноном установлено, что количество информации в одном сообщении о равновероятных событиях наилучшим образом выражается логарифмической функцией

$$I = \log_a \frac{p_i(x_i)}{p(x_i)} \quad (18)$$

Если в результате измерения ситуация полностью определена, т. е.  $p_i(x_i)=1$ , то

$$I = -\log_a p_i(x_i) \quad (19)$$

При  $a=2$  результат измерения выражается в *двоичных единицах* (или битах от английского Binary digit) информации

$$I = -\log_2 p_e(x_i) \quad (20)$$

Используемые мера количества информации и единица информации разработаны для дискретных сообщений. Между тем геофизическая измерительная информация представляет собой непрерывное сообщение, т. е. непрерывную функцию того или иного геофизического параметра в зависимости от глубины  $y_i = f(H)$  или при постоянной скорости каротажа – в зависимости от времени  $y_i = f(H)$ . Поскольку эти функции неперiodические, то они имеют сплошной (неограниченный) спектр частот.

В пределах абсолютной погрешности измерения  $\Delta$  значения измеряемой величины практически неразличимы, поэтому представление непрерывной функции в виде ее дискретных значений вполне допустимо и дает возможность оценить количество информации, передаваемой по измерительному каналу аппаратуры ГИС. Если все возможные (дискретные) значения измеряемой величины в пределах от нуля до  $x_{\max}$  считать равновероятными, то количество информации (в дв. ед.) может быть подсчитано как

$$I = -\log_2 \frac{x_{\max}}{\Delta} = \log_2 n, \quad (22)$$

где  $n$  - число различных значений измеряемой величины.

Из формулы (22) следует, что чем меньше погрешность измерения, тем больше количество информации, передаваемой телеизмерительной системой.

*Пропускной способностью измерительного канала* называется количество информации, которое может быть передано по измерительному каналу в единицу времени (в дв. ед/с):

$$C = \frac{I}{\Delta t} \quad (23)$$

Максимальная пропускная способность реальных измерительных систем во многом зависит от полосы пропускания частот  $F$  канала связи и соотношения уровней мощностей полезного сигнала  $P_c$  и помех  $P_n$

$$C = F \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{P_c}{P_n} \right) \quad (24)$$

Из формулы (24) следует, что при уменьшении мощности помех в полосе пропускания возрастает пропускная способность канала связи. Однако на основании теоремы Шеннона [10, 21] для дискретного канала

без шума передавать сообщения по каналу со средней скоростью, большей  $c/H'$ , невозможно ( $H'$  – энтропия источника, бит/символ).

На основании формул (22 – 24) получаем

$$\log_2 n = \Delta t \cdot F \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{P_c}{P_n} \right). \quad (25)$$

Формула (25) связывает между собой число различных значений измеряемой величины (динамический диапазон или разрешающую способность), полосу пропускания частот измерительной системы и быстродействие системы.

## Надежность

Важной характеристикой средств измерений является их надежность. Следует учитывать, что ненадежными считаются не только те средства измерений, которые теряют способность нормально функционировать из-за механических или электрических повреждений, но также и те, у которых характеристики выходят за допустимые пределы. Поэтому надежность средств измерений можно определить, как свойство сохранять нормируемые метрологические характеристики в определенных условиях эксплуатации. Основным показателем надежности является *безотказность*, определяемая следующими параметрами:

1) *вероятностью (р) безотказной работы* системы, т. е. вероятностью того, что при заданных условиях эксплуатации и в определенном интервале времени не произойдет отказа;

2) *средним временем безотказной работы T*, т. е. ожидаемым временем исправной работы системы до первого отказа;

3) *интенсивностью отказов  $\lambda$*  – отношением числа отказавших изделий (систем) за некоторый промежуток времени к числу работоспособных изделий (систем) в начале этого промежутка.

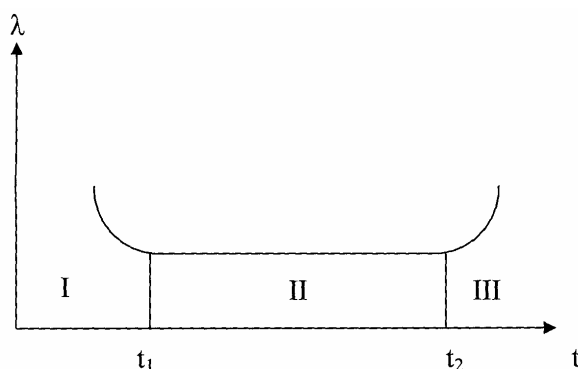


Рис. 13. Зависимость частоты отказов  $\lambda$  аппаратуры от времени ее работы

Иногда для оценки надежности применяют и другие показатели. На рис. 13 изображена типичная кривая интенсивности отказов.

Участок I (от нуля до  $t_1$ ) характеризуется уменьшением интенсивности отказов и соответствует начальному периоду работы (так называемой приработке) системы. На этом этапе выходят из строя наименее надежные, недоброкачественные элементы, выявляются все дефекты сборки, монтажа и настройки. Продолжительность периода приработки зависит от сложности аппаратуры, культуры производства и длится от нескольких десятков до нескольких сотен часов.

Основным и наиболее продолжительным по времени является участок II (от  $t_1$  до  $t_2$ ). Отказы в этот период носят случайный характер, но средняя частота их резко снижается и становится приблизительно постоянной. Длительность этого периода иногда называют условной долговечностью. Она зависит от условий эксплуатации аппаратуры, ее сложности и многих других причин.

Участок III (начинающийся за  $t_2$ ) характеризуется возрастанием интенсивности отказов вследствие износа и старения элементов и материалов, из которых выполнены блоки телеизмерительной системы.

На надежность СИ влияет много факторов, определяемых условиями эксплуатации: окружающая температура и скорость ее изменения, электрический режим, вибрационные воздействия, механические удары, линейные ускорения, влажность, внешнее давление и др.

Отдельные узлы и элементы в СИ связаны между собой так, что отказ хотя бы одного из них нарушает работоспособность всего СИ. С точки зрения надежности такое соединение является последовательным. В этом случае вероятность безотказной работы системы, содержащей  $n$  элементов, каждый из которых характеризуется вероятностью безотказной работы  $p_3(t)$  будет определяться выражением

$$p(t) = p_3^n(t) . \quad (26)$$

Например, если для каждого элемента  $p_3(t) = 0,99$ , то аппаратура, состоящая из 100 таких элементов, будет иметь  $p(t) = 37 \%$ , из 250 элементов –  $8 \%$ , а из 500 элементов – только  $1 \%$ .

Таким образом, надежность СИ зависит от количества использованных в нем элементов и деталей, их надежности, правильности выбора, технологичности конструкции и т. д. Повышение надежности может быть достигнуто путем допустимого упрощения схемы СИ, выбора соответствующих элементов, материалов и конструкций, тщательности изготовления, а также специальными приемами – использованием элементов в разгруженном режиме, тренировкой элементов перед применением их в аппаратуре и резервированием.

#### 2.5.4. Виды измерений

Большое разнообразие измеряемых величин, условий проведения измерений, методик получения результатов приводит к чрезвычайно большому разнообразию измерений. В то же время многие конкретные измерения, несмотря на внешнее различие, имеют много общего и часто выполняются по одинаковой схеме. Отсюда вытекает необходимость и возможность их систематизации, выявления общих закономерностей.

В зависимости от способов получения числовых, значений измеряемых величин и их погрешностей все измерения делят на прямые, косвенные, совокупные и совместные. Целью такого деления является удобство при разработке методик выполнения измерений и обработки результатов.

Прямыми называют измерения, при которых искомые значения величины находят непосредственно по показаниям средства измерений. При прямых измерениях не надо проводить вычислений результата измерений. При прямом измерении в расчет не принимают простоту или сложность процесса измерений. Существенный признак прямого измерения заключается в том, что его результат выражается непосредственно в тех же единицах, что и измеряемая величина. Скважинные измерения относят к прямым, если результат измерений получают непосредственно по шкале диаграммной ленты или по показаниям табло цифрового регистратора. Например, измерение диаметра скважинным каверномером с откалиброванным в сантиметрах скважины регистратором будет прямым, т. к. оно дает непосредственно искомое значение диаметра, в том числе и после введения поправок, например температурных.

Косвенными называют измерения, при которых значения величин находят по известной зависимости между измеряемой величиной и величинами, полученными в результате прямых измерений. В общем случае зависимость, связывающую измеряемую величину и величины  $x_0, x_1, \dots, x_n$  можно представить в виде явной функциональной зависимости. Например, измерение активного сопротивления  $R$  по результатам измерения тока  $I$  и падения напряжения  $\Delta U$  на этом сопротивлении, по закону Ома  $R = \Delta U / I$ . Косвенные измерения широко применяют в измерительной технике в тех случаях, когда выполнить прямые измерения затруднительно, например, при измерениях коэффициента нефтенасыщенности пласта по результатам измерений удельных электрических сопротивлений пласта, пластовой воды и коэффициента пористости.

По виду функциональной зависимости различают косвенные измерения с линейной и нелинейной зависимостями. Вид связи между  $y$  и  $x$  определяет методику расчета погрешностей косвенных измерений.

**В современных микропроцессорных измерительных приборах очень часто вычисления искомой измеряемой величины запрограммированы «внутри» прибора. В этом случае результат**

измерения определяется способом, характерным для прямых измерений, и нет необходимости и возможности отдельного учета методической погрешности расчета. Она входит в погрешность измерительного прибора. Измерения, проводимые такого рода средствами измерений, относят к прямым. Например, измерение кажущегося сопротивления

$$\rho_k = K \frac{\Delta U}{I}$$

в предположении постоянства коэффициента зонда  $K$  и силы тока  $I$  и при отсутствии контроля за изменением силы тока в процессе измерений по стволу скважины можно считать выполненным методом прямых измерений. К косвенным относятся только такие измерения, при которых расчет осуществляется вручную или автоматически, но после получения результатов прямых измерений. При этом может быть учтена отдельно погрешность расчета.

**Совокупными** называют одновременно выполняемые измерения двух или нескольких одноименных величин, при которых значения искомых величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях. Например, определение значения удельного электрического сопротивления пласта по результатам измерений кажущихся значений удельного электрического сопротивления градиент зондами различного размера при условии, что диаметр скважины, удельное электрическое сопротивление промывочной жидкости заранее известны.

Совместными называют одновременно выполняемые измерения двух или нескольких одноименных величин для нахождения функциональной зависимости между ними. В практике геофизических исследований скважин совместные измерения применяются при градуировке СИ и для получения астрофизических связей. Например, совместными измерения являются измерения удельных электрических сопротивлений горных пород, насыщающих их пластовых вод и коэффициентов пористости горных пород для нахождения зависимости относительного сопротивления от коэффициента пористости.

По точности измерения делятся на равноточные и неравноточные. Методика обработки результатов равноточных и неравноточных измерений различна.

В зависимости от числа измерений, проводимых во время эксперимента, различают одно- и многократные измерения. Известно, что при числе отдельных измерений более четырех их результаты могут быть обработаны в соответствии с требованиями математической статистики. Это означает, что при четырех и более измерениях, входящих в ряд, измерения можно считать многократными. Их проводят с целью уменьшения случайной составляющей погрешности.

В зависимости от влияния скорости изменения измерительной информации на результат измерения, в частности скорости движения

скважинного прибора, измерения делятся на статические и динамические. Признаком, по которому измерение относят к статическому или динамическому, является динамическая погрешность при данной скорости или частоте изменения измеряемой величины и заданных динамических свойствах СИ. Если динамическая погрешность пренебрежимо мала для решаемой измерительной задачи, то измерение можно считать статическим (квазистатическим). При невыполнении указанных требований, оно является динамическим.

По степени влияния условий измерений различают методические и технические измерения. При методических измерениях в обязательном порядке учитываются погрешности, а при технических – принимается погрешность, указанная в паспорте средства измерения или в нормативно-технической документации. Поэтому при технических измерениях нет необходимости определять и анализировать погрешности получаемых результатов.

### **2.5.5. Методы измерений**

Методом измерения по ГОСТ 16263-70 называется совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Под принципами измерений и построения средств измерения понимают совокупность физических явлений, на которых они основаны. Методы измерения, в соответствии с определением, можно классифицировать по совокупности приемов сравнения измеряемой ФВ с ее единицей или по реализованным принципам измерения.

Для метрологического анализа традиционные классификации, основанные на следующих признаках. Первый из них – физический принцип, положенный в основу измерения. По нему все методы измерений делят на электрические, магнитные, акустические, оптические, механические и т. д. В качестве второго признака классификации используют режим взаимодействия средства и объекта измерений. В этом случае все методы измерений подразделяют на статические и динамические. Третьим признаком может служить применяемый в СИ вид измерительных сигналов. В соответствии с ним методы делят на аналоговые и цифровые.

Для измерительной техники, информационно-измерительных систем классификация ориентирована на структурное описание средств измерений. Основными элементарными структурными единицами являются измерительные преобразователи, звенья, цепи, блоки. По принципам построения различают средства измерения прямого действия и сравнения и соответственно методы измерений – непосредственной оценки и сравнения. В средствах измерения прямого действия широко применяют неоднократные, последовательные преобразования измеряемой величины в

процессе измерений. В средствах измерения сравнения имеется цепь обратного преобразования (уравновешивания). Обратная связь может применяться и в СИ прямого действия, однако, в них она всегда охватывает не весь процесс преобразования, а только небольшую его часть.

Первые из них более просты, а поэтому имеют большую надежность, 1 меньшие габариты, стоимость и очень высокое быстродействие. СИ уравновешивающего преобразования обеспечивают лучшие показатели точности и рабочего диапазона.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Артемьев Б.Г., Голубев С.М. Справочное пособие для работников метрологических служб. – М.: Изд-во стандартов, 1986.

2. Блюменцев А.М. //Российская система сертификации геофизической продукции. Информационно-коммерческий вестник АИС. Каротажник, вып. 12 –Тверь, 1995.

3. Блюменцев А.М., Цирульников В.П. Современные проблемы обеспечения качества результатов геофизических исследований скважин. Информационно-коммерческий вестник АИС. Каротажник, вып.26 – Тверь, 1996.

4. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения. ГОСТ 16263-70. М.: Изд-во стандартов, 1978.

5. Грановский В.А. Динамические измерения. Основы метрологического обеспечения. – Л.: Энергоатомиздат, 1984.

6. Грановский В.А., Синая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных. – Л.: Энергоатомиздат, 1990.

7. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник. М.: ЮНИТИ, 1999.

8. Метрологическое обеспечение геофизических исследований скважин. / А.М. Блюменцев, Г.А. Калистратов, В.М. Лобанков и др. – М.: Недра, 1991.

9. Назаров Н.Г., Архангельская Е. А. Современные методы и алгоритмы обработки измерений и контроля качества продукции: Учеб. пособие. – М.: Изд-во стандартов, 1995.

10. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – К.: Высш. школа, 1983.

11. Основные положения стандартизации, метрологии и сертификации нефтегазового оборудования. / Под ред. Акад. РИА, проф. В.Я. Кершенбаума. М.: АНО «Технонефтегаз», 2001.

12. Основополагающие стандарты в области метрологического обеспечения. – М.: Изд-во стандартов, 1983.

13. Правила по проведению сертификации в Российской Федерации - М.: Изд-во стандартов, 1995.

14. Рабинович С.Г. Погрешности измерений. - Л.: Энергия, 1978.

15. Рекомендации Р 50-601-42-94. Разработка и аттестация методик испытаний для целей сертификации. М.: ВНИИС, 1994.
16. Сборник нормативных документов по основным положениям системы аккредитации в Российской Федерации. - М.: ВНИИС, 1996.
17. Широков В.Н., Лобанков В.М. Теоретические основы метрологии геофизических исследований скважин: Учеб. пособие. М.: ГАНГ, 1996.
18. Широков В.Н., Лобанков В.М. Основы метрологии геофизических измерений в скважинах: Учеб. пособие. М.: , 2002.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                           | 3  |
| 1.1. Основные цели, задачи и объекты<br>стандартизации, сертификации и метрологии.....                  | 3  |
| 1.2. Роль стандартизации, сертификации и<br>метрологии в обеспечении качества продукции и<br>услуг..... | 8  |
| 2. Основы метрологии геофизических<br>измерений в скважинах... ..                                       | 17 |
| 2.1. Предмет и основные проблемы<br>метрологии.....                                                     | 18 |
| 2.2. Физические свойства и<br>величины.....                                                             | 19 |
| 2.3. Основные элементы и процессы<br>геофизических измерений.....                                       | 23 |
| 2.4. Погрешности измерений и<br>геофизических средств измерений .....                                   | 41 |
| 2.4.1. Погрешности<br>измерения.....                                                                    | 41 |
| 2.4.2. Погрешности средств<br>измерений.....                                                            | 47 |
| 2.4.3. Показатели качества<br>измерений.....                                                            | 50 |
| 2.5. Методы и средства геофизических<br>измерений.....                                                  | 51 |
| 2.5.1. Средства<br>измерения.....                                                                       | 51 |

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 2.5.2. Основные параметры и<br>характеристики СИ..... | 62 |
| 2.5.3. Характеристики<br>СГИИС.....                   | 64 |
| 2.5.4. Виды<br>измерений.....                         | 69 |
| 2.5.5. Методы<br>измерений.....                       | 71 |
| Список литературы<br>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ<br>СПИСОК..... |    |

Учебное издание

Кульдеев Ержан Итеменович

## **ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ В ГЕОФИЗИКЕ**

Учебное пособие

Нач. РО НТИЦ

Редакторы

Технический редактор

Компьютерная верстка

*З.А. Губайдулина*

*Г.М. Дюсембаева*

*Ш.Т. Касымбекова*

*Ж.Н. Байменова*

*Л.П. Умирбекова*

Подписано в печать 10.09. 2007 г.

Формат 60 x 84 1/16. Бумага типог. № 1.

Объем 5,0 п. л. Тираж 500. Заказ № 178. Цена договорная.

Издание Казахского национального технического  
университета им. К.И. Сатпаева  
Научно-технический издательский центр КазНТУ

---

Алматы, ул. Ладыгина, 32