



Некоторые актуальные вопросы метрологии геофизических исследований

А.М. Блюменцев (ГНЦ ВНИИГеосистем), В.С. Симаков, А.В.Стакло, С.А. Федотов (ФГУП ВНИИГеофизика), Москва

«Наука начинается ... с тех пор, как начинают измерять, точная наука немислива без меры»
Д.И. Менделеев

Общие положения

Геофизические исследования относятся к числу наиболее эффективных способов получения информации при геологическом изучении недр. Основная часть геофизической информации представляет собой результаты измерений различных параметров геологической среды. Качество измерительной информации должно обеспечивать достоверность и сопоставимость результатов дальнейших геологических построений и выводов. Для обеспечения этого необходимо соблюдать установленные для любых измерений нормы и правила, иначе говоря, обеспечивать единство измерений. Уместно напомнить, что единство измерений – это такое состояние измерений, при котором «результаты выражены в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы» [1]. Обеспечение единства измерений именуется также как «метрологическое обеспечение». Отметим, что метрологическое обеспечение неразрывно связано с техническим регулированием, в частности, со стандартизацией и подтверждением соответствия продукции, работ и услуг требованиям нормативных документов (сертификацией).

В настоящее время сложилось положение, при котором выполняются определенные объемы работ по геологическому изучению недр, но при этом метрологическое обеспечение как обязательная и составная часть применяемых технологий либо отсутствует, либо осуществляется на недопустимо низком уровне. Руководители ряда предприятий игнорируют требования Закона Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» даже для тех видов измерений, которые подлежат обязательному метрологическому обеспечению, а органы исполнительной власти не осуществляют метрологический контроль и надзор за выполнением геофизических исследований. Ситуация усугубляется и тем, что работы по геологическому изучению и использованию недр на территории Российской Федерации проводятся организациями различной ведомственной принадлежности и форм собственности, как российскими, так и зарубежными. Осуществлявшая ранее метрологическое обеспечение и кураторскую деятельность система базовых организаций и метрологических служб бывшего Министерства геологии СССР фактически разрушена.

Сказанное заставляет авторов ещё раз обесудить основные положения метрологии геофизических исследований. Ни одна из существующих проблем не может быть решена без создания организационной структуры и ее правового обеспечения. Однако в данной статье

сосредоточимся лишь на технической составляющей метрологии геологического изучения недр, в основном, применительно к двум методам сейсморазведке и гравиразведке. Эти методы выбраны по двум разным критериям: сейсморазведка является основным геофизическим методом, затраты на который составляют более 90 % всех затрат на геофизику, а гравиразведка – тот метод, метрология которого наиболее развита.

Научно-методические основы метрологического обеспечения любых измерений предполагают решение следующих основных вопросов:

- установление основных измеряемых физических величин в различных методах изучения недр;
- создание эталонов единиц измеряемых физических величин различного вида и назначения (исходных, подчиненных, рабочих, транспортных и т.п.);
- разработка схем передачи размера единиц измеряемых физических величин от эталонов к рабочим средствам измерений (поверочные схемы и схемы калибровки);
- установление номенклатуры параметров и характеристик технических средств, применяемых в каждом из методов изучения недр и требований к ним;
- разработка методик измерений значений параметров и характеристик технических средств, методик испытаний, а также нормирование погрешностей определений этих параметров и характеристик;
- установление номенклатуры показателей методик выполнения измерений, применяемых в каждом геофизическом методе;
- нормирование методических погрешностей и аттестация методик выполнения геофизических измерений;
- установление и нормирование показателей назначения алгоритмов и программ обработки результатов измерений в каждом из геофизических методов и разработка методик их аттестации.

Технической базой получения информации при геологическом изучении недр фактически являются измерительные информационные системы (ИИС), во многих случаях многоканальные и по своей структуре пространственно распределенные. В измерительном процессе обычно применяют совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств для получения измерительной информации, ее преобразования, обработки и представления в требуемом виде. Результатом измерений являются одновременно несколько параметров геофизических полей, отражающих физические свойства объекта исследования. В дальнейшем на основании прямых измерений параметров геофизических полей путём решения обратных задач находят параметры геологических объектов, определение которых является конечной целью измерений. Измерения осложнены влиянием разнообразных помех, из которых наиболее серьёзными являются геологические помехи (поля от геологических тел, не являющихся поисковыми объектами).

То обстоятельство, что в геофизике приходится

иметь дело с ИИС, существенно усложняет решение вопросов технического регулирования и метрологии. Среди геофизиков нет единого понимания, что такое канал измерений при геологическом изучении недр. Некоторые геофизики считают, что в состав канала измерений должна включаться геологическая среда. На самом деле геологическая среда – это объект измерений, который определяется как "тело (физическая система, процесс, явление и т. д.), которое характеризуется одной или несколькими измеряемыми физическими величинами" [1]. Под измерительным каналом в [1] понимается измерительная цепь измерительной системы. В свою очередь, измерительная цепь – это совокупность элементов средств измерений, образующих непрерывный путь прохождения измерительного сигнала одной физической величины от входа до выхода. Измерительный же сигнал – это сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой физической величине. Геологическая среда ни в одном геофизическом методе не является ни средством измерения, ни его элементом, следовательно, в любом случае её нельзя включать в измерительный канал.

Нормативными документами предусматриваются два вида метрологического контроля ИИС: комплектная или поэлементная поверка (калибровка). Сейчас можно утверждать, что ни в одном геофизическом методе не разработана метрология измерительного канала в целом. Удаётся решать вопросы метрологии отдельных составных частей ИИС (датчики, регистраторы и т.п.). Но при этом существующая метрология не отвечает на вопрос, как влияют на качество геологических построений (на конечный результат) такие составляющие, как параметры технических средств, методики выполнения измерений и обработки, методы интерпретации.

В различных методах геологического изучения недр уровень развития метрологического обеспечения существенно различается. Но для всех методов наиболее существенным является решение следующих ключевых задач:

- разработка, развитие и совершенствование эталонной базы для обеспечения поверки (калибровки) средств измерений (измерительных каналов), а также схем передачи размера единиц величин, измеряемых в геофизике от эталонов рабочим средствам измерений;
- разработка критериев и правил для метрологической аттестации методик выполнения измерений при геологическом изучении недр;
- разработка метрологического обеспечения алгоритмов и программ, применяемых при обработке и интерпретации полученных при геофизических и геохимических измерениях данных.

Некоторые особенности метрологии полевой геофизики

Как и во всех других методах геологического изучения недр наиболее развита в полевой геофизике в настоящее время метрология технических средств. Уже в процессе их разработки определяется номенклатура параметров и характеристик технических средств, необходимая и достаточная для оценки их качества при выпуске из производства. В то же время, в современной полевой геофизике практически отсутствуют технические средства за исключением общепромышленных (например, термометры, манометры, вольтметры, генераторы и т.п.), прошедшие официальные процедуры утвержде-

ния как тип средства измерений.

Без утверждения типа средства измерений не может существовать вся система обеспечения единства измерений: исходные и рабочие эталоны, поверочные схемы, аттестованные поверители и т.п.

Это относится, в частности, такому прибору массового применения, как сейсмоприемник. Более того, нельзя считать окончательно законченной дискуссией о том, следует ли относить сейсмоприемник к средствам измерения или можно считать его индикатором. Стремление считать сейсмоприемник индикатором, по мнению сторонников такого мнения, позволяет избежать государственного метрологического контроля и надзора, в частности, исключает необходимость первичной и периодической поверки (калибровки) и, соответственно, облегчает выпуск и эксплуатацию сейсмоприемников. В то же время все специалисты не отрицают, что сейсмоприемник имеет свойства воспринимать воздействие сейсмоколебаний и преобразовывать их в электрический измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации и передачи. Кроме того, не подвергается сомнению, что сейсмоприемник должен иметь нормируемые характеристики и параметры. Указанные свойства в классической метрологии являются характеристиками первичных измерительных преобразователей, которые однозначно классифицируются как средства измерений.

Не намного лучше ситуация с метрологией другого основного элемента в измерительной цепи при сейсмических исследованиях – сейсмостанций (в телеметрических системах – полевых модулей). Только сейсмостанция «Прогресс-Л» утверждена как тип средств измерений. Однако на фоне большого количества типов отечественных и зарубежных сейсмостанций, находящихся в эксплуатации, это не меняет общего состояния проблемы.

Сейсмостанция – многоканальное устройство. Каждый канал имеет в своем составе усилитель и фильтры, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), являющийся измерительным преобразователем, вычислительные средства. Таким образом, сейсмостанция, будучи элементом измерительной информационной системы ИИС, сама представляет собой измерительную информационную подсистему со всеми метрологическими проблемами, присущими ИИС.

Отсутствие строгого метрологического отношения к техническим средствам неизбежно приводит с одной стороны к неконкурентоспособности отечественной сейсморазведочной техники, а с другой к некачественным сейсмическим материалам при проведении работ.

Процедура утверждения типа средства измерений предполагает, что определено, какую физическую величину измеряют, применяя данное техническое средство, в каком диапазоне, с какими погрешностями. От этого зависят структура и состав эталонов (установок высшей точности), воспроизводящих и хранящих измеряемую величину, и поверочной схемы для передачи размера величины рабочим средствам измерений.

Существующая эталонная база непригодна для полноценного метрологического обеспечения технических средств сейсморазведки. Применительно к сейсмоприемникам следует оценить возможность использования эталона и повероч-



МЕТРОЛОГИЯ В ГЕОФИЗИКЕ

ной схемы для средств измерений вибропере-
мещения, виброскорости и виброускорения [2] и
поворотной схемы для средств измерений
сейсмоперемещения, сейсмоскорости и сейсмоус-
корения в диапазоне частот 0,01 - 20 Гц [3]. Как
видно, частотный диапазон поворотной схемы для
средств измерений сейсмоколебаний существенно
уже требуемого. Но главным недостатком
указанной эталонной базы является то, что для
нее не регламентируются фазовые погрешности, а
эталонные технические средства не обеспечивают
измерения с малыми нелинейными искажениями.

Аналогичные требования к фазовым параметрам и нелинейным искажениям справедливы и для поверки канала сейсмостанции. Все преобразования и измерения в канале сейсмостанции производятся с электрическим сигналом от сейсмоприемника, т.е. канал сейсмостанции имеет много общего с цифровым вольтметром, а измеряемой величиной является переменное напряжение. Тем не менее, существующие методы и средства поверки средств измерения напряжения нельзя непосредственно применить для канала сейсмостанции, т.к. эти средства и методы не удовлетворяют необходимым требованиям. Кроме того, эталоны переменного напряжения для поверки АЦП с числом разрядов 24 в настоящее время отсутствуют.

Фазовые характеристики и значения нелинейных искажений особо важны для технических средств сейсморазведки. В ходе сейсмических работ проводят измерения времени от момента возбуждения сейсмического сигнала до момента прихода к сейсмоприемнику отраженного или преломленного сигнала. Поэтому необходим учет фазового запаздывания в аппаратуре. Наличие нелинейных искажений приводит к тому, что относительно низкочастотные помехи, которые всегда присутствуют, и интенсивность которых во много раз превышает величину полезного сигнала, вызывает появление гармоник, попадающих в частотный диапазон измеряемого полезного сигнала и искажающих его.

Поэтому современные сейсмоприемники и сейсмостанции конструируются таким образом, чтобы добиться минимальных значений коэффициента нелинейных искажений (КНИ). В современных зарубежных и отечественных нормативных документах, а также в проспектах производителей и рекламе продавцов сейсморазведочной техники указываются для сейсмоприемников и сейсмостанций очень высокие показатели назначения. Например, коэффициент нелинейных искажений (КНИ) для сейсмоприемников не более 0,01 %, для сейсмостанций не более 0,0001 %.

В метрологическом обеспечении сейсморазведки сложилась парадоксальная ситуация: декларируется, что сейсмоприемники и сейсмостанции имеют очень высокие качественные показатели, а исходные и рабочие эталоны, с помощью которых можно достоверно определять параметры сейсмоприемников и сейсмических станций, значительно отстали в своем развитии.

В состав эталона для средств измерений сейсмоколебаний должны входить следующие установки и измерительные приборы:

- 1) Сейсмометрическая установка вертикальная, воспроизводящая линейные колебательные перемещения в вертикальной плоскости.
- 2) Сейсмометрическая установка горизонтальная, воспроизводящая аналогичные перемещения в горизонтальной плоскости.

3) Комплект акселерометров для измерения и контроля параметров движения рабочего стола.

4) Интерферометр лазерный для точного и детального измерения истинного движения рабочего стола сейсмометрической установки и обеспечения оценки гармонического состава (нелинейных искажений) перемещений рабочего стола.

5) Измеритель нелинейных искажений сигналов акселерометров.

6) Измеритель фазы между движением рабочего стола и сигналами акселерометров, сигналами акселерометров и сейсмоприемников.

Диапазоны значений параметров сейсмоколебаний, воспроизводимые эталоном в диапазоне частот 1 - 500 Гц, должны быть: для сейсмоскорости - 110-6 110-2 м/с, для сейсмоускорения 110-5 1 м/с². Параметры сейсмоколебаний должны воспроизводиться с относительным средним квадратическим отклонением от 110-3 до 110-2 неисключенный коэффициент нелинейных искажений не более 0,01 %.

Эталон для средств измерений параметров сейсмоколебаний должен отвечать также некоторым дополнительным требованиям:

коэффициент поперечных колебаний поверки стола не должен превышать 0,1 %.

измерение перемещений должно производиться с погрешностью не более 0,3 нм.

погрешность измерения фазы выходного сигнала акселерометров по отношению к сигналу стэнда не более 10.

погрешность измерения КНИ не хуже 20 % от его величины.

Первичный эталон переменного напряжения, способный обеспечить поверку канала сейсмостанции, должен удовлетворить требованиям, реализация которых даже для современного развития техники являются весьма не простой задачей. В частности, эталон должен воспроизводить синусоидальные сигналы с амплитудой от 110-6 до 1 В со средним квадратическим отклонением S0 от 110-6 до 110-1 и неисключенной систематической погрешностью от 110-7 до 110-1, в том числе коэффициент нелинейных искажений не более 0,001 %.

Наиболее развита по сравнению с другими методами полевой геофизики система стандартизации и метрологии гравиразведки, что не удивительно, поскольку специалисты в области гравиразведки никогда не избегали соблюдения требований метрологии, не опасались соответствующего контроля и надзора. Определена измеряемая физическая величина это сила тяжести, установлена терминология [4], номенклатура параметров и характеристик наземных гравиметров и основные требования к ним. В основном разработана и функционирует уже длительное время система метрологического обеспечения. Эта система включает:

рабочие эталоны (баллистические гравиметры, комплексы наземных гравиметров и гравиметрические полигоны);

опробованные в течение более чем 20-ти лет схемы поверки наземных гравиметров, включающие не одно поколение схем и не одного ведомства;

нормативные документы, устанавливающие требования создания и аттестации рабочих эталонов и рабочих средств измерений.

Исходным эталоном для гравиразведки служит Государственная гравиметрическая сеть.



МЕТРОЛОГИЯ В ГЕОФИЗИКЕ

которая регулярно контролируется и расширяется организациями Роскартографии. Уникальным достижением в метрологии гравиразведки следует считать создание системы гравиметрических полигонов, которые относительно равномерно покрывали территорию бывшего Советского Союза и регулярно контролировались (поверялись). Полигоны служили в качестве рабочих эталонов для поверки рабочих гравиметров. К сожалению, сейчас эта система практически разрушена, все полигоны нуждаются в переосвидетельствовании. Есть, однако, и исключения: в 2004-2005 гг. Баженовской экспедицией с использованием абсолютного гравиметра создан уникальный по своей точности Нижнетагильский полигон. Главной нерешенной проблемой в гравиразведке сегодня является отсутствие утвержденного в установленном порядке государственного эталона силы тяжести.

Состояние аттестации методик выполнения измерений

Для обеспечения требуемой точности измерений в метрологии нужно не только устанавливать требования к техническим средствам, но также к методикам выполнения измерений (МВИ). МВИ, которые применяют для получения измерительной информации, можно разделить на две группы. Одна группа — это МВИ, применяемые при определении параметров и характеристик технических средств (при испытаниях) с целью определения — удовлетворяют ли сами технические средства установленным требованиям. Другая группа — МВИ параметров геофизических полей с целью получения информации о геологической среде. Уровень метрологического обеспечения МВИ указанных групп существенно отличается.

Любое техническое средство в той или иной степени проходит испытания, чтобы изготовитель (поставщик) и потребитель (покупатель) имели уверенность, что данное техническое средство соответствует установленным требованиям, имеет заявленные показатели назначения и способно выполнять возложенные на него функции. Методы и средства этих испытаний (методики выполнения измерений параметров и характеристик технических средств) чаще устанавливаются в соответствующем разделе технических условий или в разделе «Методика поверки» в эксплуатационной документации, реже — в отдельном нормативном документе. Наличие соответствующего утверждения указанных документов следует считать аттестацией установленных документами методик выполнения измерений.

В сейсморазведке действуют (до 2010 г.) отраслевые стандарты, устанавливающие основные показатели и методы испытаний сейсмоприемников [5] и сейсмостанций [6], а в гравиразведке — Государственный стандарт и специальный нормативный документ по поверке наземных гравиметров [7, 8]. Таким образом, вопросы разработки и аттестации МВИ параметров технических средств в определенной мере решаются.

Методики выполнения измерений параметров геофизических полей в большинстве случаев не имеют четких параметров (критериев), соблюдение которых при проведении измерений даст желаемый результат с определенной степенью вероятности. Нормирование методических погрешностей в настоящее время может осуществляться только для регистрируемого физичес-

кого сигнала: силы тяжести и сейсмодвижения. Оценка методических погрешностей геологических построений не разработана, в том числе не разработано разделение методических погрешностей и погрешностей, возникающих вследствие влияния геологических помех.

МВИ параметров полей обычно устанавливаются на уровне инструкций (методических указаний, руководств, рекомендаций и т.п.) по проведению соответствующих работ. Указанные документы, как правило, не проходят процедур метрологической экспертизы и официального утверждения на установленном уровне. Часто эти МВИ имеют много модификаций, не носят ведомственного или отраслевого характера, применяются на уровне стандарта предприятия. Их использование доступно практически только авторам (разработчикам) конкретной методики, благодаря их знаниям и опыту.

Все сказанное свидетельствует о том, что проблема аттестации МВИ геофизических полей с оценкой их по конечному результату в настоящее время не решена.

Ситуация в полевой геофизике иллюстрируется следующими фактами. В 2005 году закончена разработка нормативных документов, устанавливающих технологии выполнения работ, включая и МВИ и метрологическое обеспечение, по основным видам полевой геофизики: сейсморазведке, гравиразведке, электроразведке. Документы, первоначально задуманные как инструкции, из-за бюрократических преград были переведены в категорию рекомендаций. Но даже в такой категории и по той же причине документы не утверждены на ведомственном уровне. Выход из данной ситуации заключается в переводе указанных нормативных документов в категорию национальных стандартов, что, безусловно, требует и дополнительного времени, и дополнительного финансирования, но решит вопрос о метрологическом обеспечении и аттестации МВИ параметров полей.

Состояние метрологии алгоритмов и программ

В принципиальном плане формирование системы МО и правил аттестации алгоритмов и программ не отличается от общепринятых для любых иных объектов. Прежде всего, необходимо установить оптимальную номенклатуру контролируемых показателей алгоритмов и программ и требований к ним.

Программы обработки и интерпретации должны учитывать, что измерения проведены с некоторыми, обычно оцененными погрешностями, а результаты обработки и интерпретации должны сопровождаться оценкой погрешности полученных параметров геологических тел, а также оценкой величины геологических помех.

Для решения задачи метрологического обеспечения алгоритмов и программ, по-видимому, следует воспользоваться опытом классической метрологии в области определения показателей некоторой системы по её выходному сигналу при известном входном сигнале. Так, для определения динамических характеристик средства измерений, проявляющихся в том, что на его выходной сигнал влияют значения входного сигнала и любые изменения этих значений во времени, используют тестовые сигналы как функции времени. Примеры таких сигналов: синусоида, функция единичная ступень.

Искомые геологические тела распределены в пространстве. Поэтому применительно к геологи-



ческому изучению недр целесообразно использовать пространственные тестовые сигналы. Для этой цели можно применять хорошо разведанные геологические структуры, иными словами полигоны. Вероятно, эти полигоны должны различаться по задаваемому сигналу, например, от точечных структур типа диапировых или штоков, от разрывных нарушений горизонтальных и наклонных пластов, от двумерных и трёхмерных антиклиналей (синклиналей). Однако сейчас нет сведений даже о проекте создания подобных полигонов и тем более методике их использования для аттестации методик обработки и интерпретации (включая, конечно, программные продукты), для сравнительных испытаний геофизической аппаратуры, для её сертификации и т.п.

В настоящее время можно сформулировать показатели и требования применительно к алгоритмам и программам в основном качественного (не количественного) характера. Основным методом оценки соответствия алгоритмов и программ установленным требованиям будет экспертный.

Предлагаем примерный перечень показателей, который можно использовать для оценки программных пакетов и систем обработки и интерпретации геофизических данных.

Соответствие назначению. В рамках этого показателя кроме качественной возможно применение количественных оценок, в том числе, путем испытаний программ на тестовых сигналах, по материалам математического моделирования или по результатам экспериментальной проверки на изученных геологических объектах.

В данном случае могут быть получены оценки погрешностей определения параметров геологической среды, полученных с помощью испытуемой программы.

Эффективность, заключающаяся в конкретных примерах использования программного продукта и наличии подтверждения достоверности полученных результатов при решении разных задач в регионах с различными геолого-геофизическими условиями.

Новизна, состоящая в отличиях испытуемой программы от прототипов или конкурирующих программ и оценку возможности решения принципиально новых геолого-геофизических задач или получения более надежных результатов по сравнению с общепринятыми (стандартными, известными).

Востребованность оценивают на основании перечня геолого-геофизических задач, при решении которых используется данный программный продукт, числа контрактов (договоров), при выполнении которых использовался программный продукт, возможность продажи или передачи программного продукта другим пользователям и трудозатраты по его освоению.

Надежность оценивают на основании анализа устойчивости функционирования, способности продолжать работу после возникновения отклонений, вызванных сбоями технических средств, ошибками обслуживания и т.п.

Конструктивные показатели характеризуются модульностью и блочной структурой пакета программ, гибкостью, которая заключается в возможности использования программ при изменении условий, начальных или исходных данных и модифицируемостью, т.е. обеспечении простоты внесения необходимых в процессе эксплуатации изменений и доработок.

Показатели удобства применения, состоящие в легкости освоения программного продукта, в наличии, полноте и понятности пользовательской документации, удобстве ввода исходных данных, наличии MENU и возможности получения подсказок с помощью функций "help", наличии средств и наглядности визуализации результатов работы программ.

Показатели вычислительной техники, включающие типы и требования к ЭВМ для работы с программным продуктом, минимально допустимые объемы оперативной и дисковой памяти, форматы записи входной и выходной информации.

Заключение

В данной статье рассмотрены только основные технические вопросы научно-методических основ метрологического обеспечения. Хотя круг проблем и задач метрологического обеспечения геофизического изучения недр весьма широк, содержание и объем работ в указанной сфере в целом определен. Что и как нужно делать для повышения качества геологических исследований недр ясно. Неясно будут ли решаться указанные проблемы, т.к. создается впечатление, что заинтересованность в их решении имеется только у сохранившихся специалистов в области стандартизации и метрологии. Соответственно отсутствует адекватное финансирование таких работ.

Следует напомнить об отечественном опыте системного решения вопросов метрологии и стандартизации в 1970-1980-х годах. Результаты работ тех лет в значительной степени обеспечивают и современные потребности в метрологии и стандартизации, хотя с каждым годом все более перестают соответствовать современному уровню требований.

Следует обратить внимание на тот факт, что за рубежом данной сфере деятельности уделяется большое и устойчивое внимание. Так, за рубежом в настоящее время широко внедряются на предприятиях, в том числе и геологоразведочных, системы качества на базе стандартов ИСО 9000-2001. Одним из механизмов функционирования систем качества является создание систем нормативного и метрологического обеспечения в сфере деятельности предприятия.

Следует, наконец, понимать, что экономия на стандартизации и метрологии в конечном итоге оборачивается значительно большими затратами на повторные геологоразведочные работы.

Литература

1. РМГ 29-99. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения
2. МИ 2070-90. ГСИ, Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений виброперемещения, виброскорости и виброускорения
3. ГОСТ 8.562-97. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений сейсмоперемещения, сейсмосторости и сейсмоускорения в диапазоне частот 0,01-20 Гц
4. ГОСТ Р 52334-2005. Гравиразведка. Термины и определения
5. ОСТ 41-03-303-2003 Геофизическая аппаратура и оборудование. Сейсмоприемники электродинамические. Основные показатели и методы испытаний
6. ОСТ 41-03-304-2003 Геофизическая аппаратура и оборудование. Сейсморазведочные системы. Основные показатели и методы испытаний
7. ГОСТ 13017-83 Гравиметры наземные. Общие технические требования
8. МИ 1820-87 ГСИ. Методические указания. Гравиметры наземные. Методика поверки.