

*Мишаткин В.Н., Захарченко Н.З.*

*Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, Калужской обл., vmish@gstras.ru*

### **Введение.**

Столетняя история сейсмических наблюдений в стране говорит о технических и организационных препятствиях по проведению испытаний сейсмических станций и сейсмоприемников с целью утверждения типа и последующего внесения в Государственный Реестр средств измерений. Ни одна из более 270 сейсмических станций страны не внесена в Госреестр средств измерений и никогда ранее не вносилась и их метрологические характеристики не контролировались органами Госстандарта. Сейсмическая служба страны истратила огромные средства на создание эталонов, но не достигла на этом пути ощутимых результатов. Следует отметить, что в мире только одна наша страна длительное время шла по пути создания эталонов. На сегодня доказано, что этот путь был тупиковым. Построена глобальная сейсмическая сеть GSN в составе 150 станций, международная система мониторинга МСМ в составе 170 станций контроля непроведения ядерных взрывов. Эти станции достаточно равномерно покрывают всю территорию земного шара и входят одновременно в национальные сейсмические сети, в том числе и сеть Российской академии наук, которая построена по иерархической структуре, и состоит из телесеismicкой сети страны и региональных сетей, в которые в свою очередь входят локальные сети. Все сети определяют параметры каждого сейсмического события всеми или некоторыми сейсмическими станциями в зависимости от энергии события. Таким образом, объект измерения у всех сетей один и тот же. Международное сообщество пришло к выводу, что каждое сейсмическое событие следует рассматривать как калибровочный сигнал для каждой сейсмической станции. Наша страна государственными актами присоединилась к участию в сетях МСМ и GSN и тем самым приняла выработанные международным сейсмологическим сообществом критерии оценки работы сейсмических станций [1,2].

### **Метрология в сейсмометрии.**

Объектом сейсмического мониторинга является территория России и всего мира и за его проведение ответственна сейсмическая сеть Российской академии наук. Главной целью мониторинга является определение параметров очагов землетрясений. Очаг землетрясения возбуждает широкий спектр колебаний, которые, достигая разными путями по неоднородной среде пункта сейсмических наблюдений - сейсмической станции, воздействуют на сейсмометры и акселерометры. Сейсмометры и акселерометры фиксируют параметры волнового поля (скорости и ускорения движения основания), формируемого как суперпозиция прямых, отраженных и преломленных волн, возбуждаемых в очаге землетрясения, так и множеством других источников (взрывов, работой тяжелых механизмов, колебаниями зданий и сооружений и др.), называемых сейсмическим шумом. Векторы скорости и ускорения волнового поля преобразуются в электрические сигналы, пропорциональные составляющим векторов скорости и ускорения колебаний. Электрические сигналы преобразуются в цифровой код, привязываются к шкале мирового времени и в виде пакетов данных передаются по каналам связи в центр сбора данных сети, в которую входит сейсмическая станция, или, одновременно, и в центры более высокого уровня, где данные используются для определения параметров сейсмических событий.

Глобальный характер измеряемых процессов приводит к тому, что землетрясения определенной интенсивности регистрируется большим количеством станций мировой сети сейсмических наблюдений. Причем из-за разницы эпицентральных расстояний, характеристик трасс и других условий, на входы сейсмических датчиков станций воздействуют разные как по амплитуде и спектральному составу, и другим характеристикам колебания. Эпицентральное расстояние определяет время пробега сейсмических волн, таким образом, они достигают датчиков в разное время. Учитывая ранее накопленный опыт (годографы, модели, невязки, поправки), интерпретатор решает обратную задачу, определяя параметры очага сейсмического события. При этом главным критерием работы, как оператора, так и технических и методических средств является сходимость определения параметров события. Только на этом этапе и возникает понятие точность измерения параметров объекта контроля – очага землетрясения, являющееся неотъемлемой характеристикой

любого измерения. Причем, строго говоря, каждое землетрясение, зарегистрированное более чем одной станцией, являясь объектом измерения, является и источником повышения точности. При этом именно анализ точности определения параметров событий дает возможность уточнять модель, поправки, невязки и методы вычисления. Таким образом, глобальность процессов, определяет тот факт, что, в сущности, каждое сейсмическое событие достаточной интенсивности – в терминах систем измерения является калибровочным сигналом [3].

Таким образом, все сейсмические станции имеют общий объект контроля – очаг землетрясения. В сетях наблюдений каждое землетрясение рассматривается и как объект оценивания и как калибровочный сигнал для каждой станции. В сейсмических сетях используются свои методы контроля работы станций и свои методы проверок. Для этих целей сети строятся иерархическим образом, и каждая сеть определенного уровня имеет в своем составе опорные станции сетей более высокого уровня. Параметры очага землетрясений оцениваются по волновым формам, регистрируемым станциями, с привлечением базы знаний, моделей внутреннего строения земли, локальных особенностей геологического строения места установки станции.

Каждая сейсмическая сеть представляет собой измерительную систему, включающую информационно обрабатывающий центр с базами данных и знаний, локальную шину для сбора данных, шину связи с системой более высокого уровня. Данные поступают с сейсмических станций, состоящих из первичных измерительных преобразователей, измерительных каналов, микроконтроллеров с аналого-цифровыми преобразователями, средствами отображения и шиной передачи данных в собственный центр и другие центры. Эта измерительная система имеет свои специфические особенности, определяемые уровнем развития сейсмометрии. На настоящий момент времени ни один из определяемых сейсмической сетью *параметр очага не измеряется в физических единицах и пока не существует механизмов оценки погрешностей измерений*. Для оценки параметров очага определяют следующие основные параметры землетрясений:

- местоположение очага (координатами точки начала разрыва, хотя реально очаг может иметь протяженность более 1000км);
- время в очаге (результат обработки данных, зависит от качества используемых моделей строения);
- глубина очага (обычно по той или иной шкале приписывается глубина до 5, 10,33, 70, 300 и до 700 км);
- магнитуда как мера мощности (величины) очага землетрясения, связанная с величиной сейсмической энергии, высвобожденной в очаге землетрясения. Численное значение магнитуды определяется как десятичный логарифм амплитуды наибольшего колебания грунта, записанного при прохождении сейсмической волны того или иного типа, с внесением стандартной поправки, учитывающей расстояние от эпицентра, и не зависит от места регистрации землетрясения. Различают до 50 видов магнитуды. Численные оценки магнитуды по разным типам волн и по данным разных сейсмических станций обычно согласуются в пределах  $\pm 0.3-0.4$ .
- ожидаемая интенсивность проявления землетрясения на поверхности оценивается в баллах по 12-ти бальной шкале МСК-64. [4,5]

Для определения этих параметров используются базы знаний, теоретические модели строения Земли, модель строения основания под станцией, поправочные амплитудные и временные коэффициенты, накопленные для каждой станции за длительные интервалы наблюдений. При этом используются как станции национальной сети, так и зарубежные сейсмические станции (в настоящий момент в службе срочных донесений составляющие большее число, чем отечественные станции), естественно не подотчетные органам метрологического контроля страны. Сведения о землетрясениях оперативно передаются органам исполнительной власти страны, в международные организации и иным заинтересованным ведомствам.

Современные высокочувствительные, широкополосные сейсмические датчики с малым уровнем шума обеспечивают регистрацию, как местных слабых событий, так и удаленных событий, регистрируемых мировой сетью. Именно обработка удаленных событий, сравнение точности определения параметров с результатами мировой и национальной сетей, анализ точности полученных результатов, являются основанием для подтверждения характеристик станции [3].

Казалось бы, сейсмические станции, имеющие в своем составе первичные преобразователи и измерительные каналы, могли бы относиться к средствам измерений. Но пока ни одна станция сейсмического мониторинга ни Глобальной сети земного шара GSN, ни станции Международной системы мониторинга МСМ, ни национальных, региональных и локальных сетей не относятся к средствам измерений по принятым в РФ требованиям к средствам измерений. Причин для такой

ситуации несколько. Во-первых, датчики сейсмостанции, единожды установленные в определенном месте, не подлежат никаким перемещениям. Лишь после регистрации большого числа землетрясений определяются амплитудные и временные поправочные коэффициенты, характерные для данной установки, данной ориентации в пространстве и данной связи датчика с основанием, что является причиной невозможности периодически поверок с использованием для поверки эталонов, т.е. применения обычной поверочной схемы средств измерений. Во-вторых, использование схем поверки с применением эталонов движения, «эквивалентного» вызываемому землетрясением, имело какой-то смысл для датчиков, разработанных в 60 годы прошлого века, но с развитием и совершенствованием датчиков этот метод признан неприемлемым, а создание эталонов тупиковым путем. Датчики устанавливаются в специально выбранных местах с минимальным уровнем естественного сейсмического шума вдали от любых источников искусственного сейсмического шума, с созданием специальных условий, связанных с высокой стабильностью температуры и снижением баровариаций атмосферного давления. Такие условия эксплуатации нереально создать для существующих эталонов движения. *Использование эталонов потеряло всякий смысл, а метод сравнения с эталоном ограниченно использовался только в нашей стране. Существующий эталон подвержен влиянию сейсмического шума, не предусматривает стабилизацию температуры на уровне суточных вариаций в тысячные доли градуса, не может предусматривать защиту датчика от вариаций давления и, соответственно, может обеспечивать движения на три порядка выше разрешающей способности современного широкополосного датчика. Метод поверки датчиков с помощью эталона движения не позволяет определять главных и важнейших характеристик для датчика – стабильности параметров во времени и уровень собственного шума датчика. В повседневную практику поверка сейсмометров с помощью этих эталонов так и не вошла. Сложившаяся ситуация объясняется еще и тем, что регистрирующие возможности сейсмографов расширялись намного быстрее, чем возможности созданных эталонов, в а последнее десятилетие за счет применения новых сейсмографов, созданных на принципах силового баланса, это отставание сделало невозможным и бессмысленным применение созданных эталонов для поверки новых широкополосных сейсмографов с большим динамическим диапазоном и высокой чувствительностью [6].*

Из приведенных выше сведений, очевидно, что ни система сейсмического мониторинга, ни входящие в неё сейсмические станции не могут быть отнесены к средствам измерений. Требования к средствам измерений, изложенные в статье 9 Закона РФ от 26.06.2008 №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» не распространяются на средства измерения, применяемые на сейсмических станциях для решения задач сейсмического мониторинга территории, не должны относиться к сфере Государственного метрологического контроля и надзора.

Принятая в Международной Системе Мониторинга, Глобальной цифровой сейсмической сети методология обеспечения единства измерений в области сейсмического мониторинга является международной нормой, которую целесообразно применять в федеральной системе сейсмических наблюдений.

### **Принципы организации сертификации станций сейсмического мониторинга**

Прежде всего, необходимо определить существенные различия в сейсмических станциях для целей виброметрии и мониторинга. Если первые предназначены для измерения физических параметров движения объектов контроля, их датчики могут иметь безразличное положение в пространстве, не требуется привязка данных к шкале мирового времени, учет особенностей места установки, то вторые предназначены для регистрации волновой картины в специально выбираемых местах с максимально низким уровнем сейсмического шума, жестко привязываются к месту установки, должны учитывать его характеристики и особенности, обязательно привязываются к координатам места и ориентируются в пространстве, привязываются к шкале мирового времени, в процессе работы не должны перемещаться и переустанавливаться. Если первые могут контролироваться с использованием эталонов движения, то вторые используют возбуждаемые землетрясениями сигналы и в качестве калибровочных сигналов.

В процессе сертификации станций мониторинга должны приниматься во внимание все аспекты работы станции, имеющие отношение к качеству данных станции, надежности их получения и адекватности отображения волновой картины. Система сертификации должна предусматривать следующее:

Место для станции должно выбираться в соответствии с рекомендациями по выбору, где важнейшим является уровень и спектр сейсмического шума.

На станции должны быть созданы условия установки сейсмического оборудования, обеспечивающие соответствие требованиям по стабильности температуры и снижению баровариаций атмосферного давления.

На станциях используется оборудование только проверенных и заслуживающих доверия производителей, рекомендованное на основании испытаний проводимых создаваемым в ГС РАН центром сертификации.

Тестирование оборудования производится путем сравнения с оборудованием, принятым за эталонное и установленным в специально созданных условиях с минимальным уровнем сейсмического шума, и с моделью низкого земного шума.

Тестированию подлежат образцы нового или модернизированного оборудования.

Параметры оборудования на сейсмических станциях считаются соответствующими паспортным данным изготовителя.

Оборудование, используемое на станциях, должно иметь встроенные средства калибровки.

После ввода оборудования персоналом ответственным за работу оборудования производится его первичная калибровка.

Основным методом контроля работы станции является сходимость результатов обработки данных наблюдений.

В процессе эксплуатации калибровка производится после ремонта, после переустановки или изменения положения датчиков, при выявлении несходимости результатов обработки.

### **Виды испытаний**

Сейсмические станции в соответствии с классификаторами видов продукции следует отнести к программно-техническим комплексам, на которые распространяется понятие автоматизированных систем. Объем и виды испытаний для станции и составных частей её должны соответствовать требованиям ГОСТ 34.603-92 "Виды испытаний автоматизированных систем".

В ситуации, когда в стране нет утвержденных технических регламентов на данный вид продукции, необходима и целесообразна разработка ведомственных методик и инструкций проведения испытаний. За основу документов, определяющих процессы и периодичность проверок и испытаний, должны быть приняты действующие нормативные акты, и они могут быть дополнены методиками, существующими в международной практике. Подход к станции как к программно-техническому комплексу, определяет объем и виды испытаний станции, комплект нормативной, технической и эксплуатационной документации. Такой подход должен быть реализован при создании и вводе в эксплуатацию новых станций и сертификации существующих сейсмических станций.

Схема контроля должна быть следующей:

- Входной контроль приобретаемых комплектующих изделий
- Предварительные автономные и комплексные испытания
- Опытная эксплуатация
- Приемочные испытания
- Подготовка станции к сертификационным испытаниям
- Сертификация станции
- Периодическая калибровка и эксплуатационные испытания.

Первые виды испытаний должен проводить центр сертификации, который целесообразно организовать на базе сейсмической станции «Обнинск», где имеются все необходимые условия для проведения испытаний. Подземное сооружение имеет достаточные площади для одновременных испытаний многих комплектов оборудования.

Центр сертификации должен определить технические требования (ТТ) к различным видам и классам станций мониторинга, их оборудованию и характеристикам и особенностям станций, начиная от мест установки станций.

Центр должен располагать эталонным оборудованием для регистрации данных, средствами статической и динамической калибровки сейсмических каналов. Также в центре должно быть оборудование для проверки эксплуатационных характеристик оборудования: механической устойчивости, температурного диапазона, степени защищенности сейсмического оборудования и т. д. Центр должен располагать возможностями привлечения к испытаниям специализированных лабораторий для проверки, например, электромагнитной совместимости, радиационной стойкости и других видов испытаний, необходимость в которых может возникать при установке станций мониторинга в специфических местах.

В начале своей деятельности центр сертификации должен разработать систему классификации сейсмических станций, определить минимальные технические требования к оборудованию станций и условиям его эксплуатации.

Система предусматривает следующее:

На станциях используется оборудование только проверенных и заслуживающих доверия производителей.

Тестирование производится путем сравнения с моделью низкого земного шума и с оборудованием, принятым за эталонное, устанавливаемое в специально созданных условиях с минимальным уровнем сейсмического шума.

Тестированию подлежат образцы нового или модернизированного оборудования.

Оборудование, используемое на станциях, должно иметь встроенные средства калибровки.

После ввода оборудования персоналом ответственным за работу оборудования производится его первичная калибровка.

Основным методом контроля работы станции является сходимость результатов обработки данных наблюдений.

В процессе эксплуатации калибровка производится после ремонта, после переустановки или изменения положения датчиков, при выявлении несходимости результатов обработки.

### **Заключение**

Принятая в международной системе мониторинга МСМ и глобальной сейсмической сети GSN методология обеспечения единства измерений в области сейсмического мониторинга является международной нормой и должна применяться в национальной системе сейсмических наблюдений. Каждое сейсмическое событие достаточной интенсивности – в терминах систем измерения является калибровочным сигналом. Соответственно, работа любой станции в составе сейсмической сети позволяет постоянно контролировать её параметры и характеристики. Причем в сейсмологии задача обеспечения единства измерений стоит не только и не столько в силу требования обеспечения соответствия национальным и международным стандартам, сколько в силу глобальности изучаемых процессов и решение проблемы единства средств и методов измерений, её решение должно строиться на базе единого подхода к проблеме специалистов всех заинтересованных стран. В нашей стране для этого должны быть подготовлены и утверждены соответствующие ведомственные распорядительные документы.

### **Список литературы**

1. Global Seismographic Network, <http://www.iris.edu/hq/programs/gsn>
2. "О ратификации Соглашения между Правительством Российской Федерации и Подготовительной комиссией Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний о проведении мероприятий в отношении объектов Международной системы мониторинга, предусмотренной Договором о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний" Федеральный закон от 15 декабря 2006 г. N 229-ФЗ
3. IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Редактор Питер Борман. Центр геофизических исследований, Потсдам, 2002г.
4. Аранович З.И., Кирнос Д.П., Фремд В.М. Аппаратура и методика сейсмических наблюдений в СССР. М.: Наука, 1974.
5. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений / М. ИФЗ АН СССР. 1966
6. Кривцов Е.П., Янковский А.А. Воспроизведение и передача размера единицы линейного ускорения в акселерометрии и сейсмометрии.// Сейсмические приборы. 2008. № 10.