

Особенности диагностики технического состояния полевой аппаратуры в методах естественных сейсмических полей

- Пономаренко Д.В., Вихорева А.А., Пыхалов В.В., Рассказов А.Н., АО «Октопус», г. Астрахань
- Агафонов В.М., Неешпапа А. В., ООО «Р-Сенсорс», г. Долгопрудный
- Гарифуллин И.Р., ООО «Градиент Технолоджи», г. Казань

Аннотация

В рассматриваемой статье показаны общие позиции, имеющиеся при выполнении полевых работ методами естественных сейсмических полей и методами активной сейсморазведки. Рассмотрены вопросы отличий и особенностей подходов к оценке технической исправности полевой аппаратуры и возможностям диагностирования технического состояния сейсмических станций, используемых в методах естественных сейсмических полей.

Ключевые слова: сейсмическая станция, метод максимальной разности спектральной плотности, диагностика технического состояния сейсмических станций.

Введение

За последнее десятилетие объёмы работ по решению различного рода геологических и геолого-промысловых задач, основанных на изучении естественных сейсмических полей, значительно возросли, хотя и остаются многократно меньшими по сравнению с активной сейсморазведкой.

С ростом объёмов возросли и требования по обеспечению надёжности получаемых данных в том числе с точки зрения соответствия используемой аппаратуры решаемым геологическим задачам. Практически необходимой становится формализация набора требований и тестов, используемого в пассивных методах оборудования, обеспечивающего получения должного качества полевого материала.

Для оборудования, применяемого в активной сейсморазведке, соответствующие требования сформулированы в отраслевых инструкциях и технической документации, [3, 7 и др.] требования технических заданий на проводимые работы, и учитываются производителями оборудования при разработке аппаратных и программных средств, используемых в сейсморазведке [4]. Методы,

основанные на регистрации естественных сейсмических полей, являются относительно новыми, и аналогичные требования к полевой аппаратуре и методам ее тестирования, до сих не выработаны. Настоящая публикация направлена на преодоление указанного пробела, основана на значительном практическом опыте АО «Октопус» а также компании ООО «Р-Сенсорс», при подготовке аппаратуры для выполнения работ на основе изучения естественных сейсмических полей.

При сравнении подходов к тестированию аппаратуры, применяемой в активной сейсморазведке и в методах естественных сейсмических полей (методы пассивной сейсмики), необходимо, прежде всего, учесть отличия в используемой полевой аппаратуре, а также специфику регистрируемых сейсмических сигналов.

В активной сейсморазведке к полемому регистрирующему комплексу (сейсморегирующий комплекс) относится сейсморазведочная аппаратура, которая включает в себя сеймоприёмники, сейсморазведочные станции, кабели, передающие информацию от сейсмоприемников в сейсмическую

станцию со всей активной расстановки, преобразователь аналог-код которые могут располагаться автономно, так и входить в состав сейсмической станции и т.д. [6].

В методах естественных сейсмических полей используется сейсмическая станция (сейсмостанция), которая представляет собой «комплекс технических средств, обеспечивающих регистрацию сейсмических волн (от природных и техногенных источников) и передачу полученной информации в центры сбора и обработки данных» [5].

В комплект такой станции входят высокочувствительные многокомпонентные сейсмометры (способные работать в инфразвуковом диапазоне частот и конструктивно принципиально отличающиеся от сейсмоприёмников используемых в сейсморазведке), преобразователь аналог-код и вспомогательное оборудование.

Полевая расстановка в методах естественных сейсмических полей представлена набором отдельных автономных сейсмических станций, образующих локальную сеть.

Методы естественных сейсмических полей основаны на одновременной работе с различными типами волн естественного сейсмического поля. Энергетика волн разных типов различна. При этом, как правило, соотношение сигнал/помеха (отношение энергии полезной (изучаемой) волны к суммарной энергии всех остальных волн) меньше (иногда значительно) единицы.

Для выделения волн того или иного типа в методах естественных сейсмических полей используются алгоритмы позиционной и поляризационной обработки. Это связано с тем, что в пассивных методах изучаются волны разных типов (продольные и поперечные) и видов

(волны Лява, Рэлея, прямые, и т.д.), обладающие различиями в поляризации, имеющие различные годографы и характеризующиеся в зарегистрированном поле отсутствием первовступлений [8,9,10 и др.].

Используемой методики обработки естественных сейсмических полей накладывают общие требования к методам диагностики технического состояния сейсмических станций, которые заключаются в обеспечении высокой чувствительности, низкого уровня собственных шумов, широкого динамического диапазона, а также амплитудной и фазовой идентичности тракта записи от сейсмометров до выходного сигнала цифрового регистратора сейсмостанций, образующих локальную сеть наблюдений.

Для обеспечения этих требований перед началом полевых работ, как и в активной сейсморазведке, должны выполняться специальные исследования, обеспечивающие контроль и диагностику технического состояния используемых полевых сейсмических станций.

Особенности контроля и диагностики технического состояния сейсмических станций

Для контроля и диагностики технического состояния сейсмических станций, используемых в методах естественных сейсмических полей, ряд предприятий-изготовителей рекомендуют перед началом полевых работ выполнять калибровочные испытания. Суть таких тестов заключается в подаче со встроенного генератора импульса с известными характеристиками, на чувствительные элементы (датчики) сейсмометра. Далее производится анализ зарегистрированного сигнала сейсмостанцией, и сопоставление с импульсом посылки.

Оценка сопоставимости поданного

генератором сигнала и отклика, зарегистрированного сейсмостанцией выполняется, либо путём визуальной оценки функций взаимной корреляции, либо с использованием количественных оценок.

Однако такое тестирование имеет свои ограничения: импульс имеет жёстко выраженную энергетическую и фазовую выдержанность во времени, ограниченный амплитудный и частотный диапазон. Кроме того, используемое импульсное калибровочное воздействие на сейсмические датчики существенно отличается от сигналов создаваемых естественным сейсмическим полем.

Внешние калибраторы для работы в частотном диапазоне ниже 1 Герца довольно мало распространены. Ими оснащены лаборатории производителей широкополосных сейсмометров, а также небольшое количество независимых лабораторий. Ряд таких лабораторий сертифицированы Росстандартом для проведения испытаний для утверждения типа средств измерений и поверки в тех случаях, когда требуется обеспечить выполнение требований по Федеральному закону от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ «об обеспечении единства средств измерений» [11].

Статьей 13 этого ФЗ предусмотрены периодические поверки средств измерений, предназначенных для применения в сфере государственного регулирования. Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться поверке в добровольном порядке, согласно статье 18 этого ФЗ.

Такой метод контроля является надёжным, однако обладает рядом недостатков, в том числе:

- межповерочный период, в который

контроль не проводится, большой, поэтому постоянный контроль не обеспечивается;

- такие работы требуют значительных временных затрат, и часто проводить поверки и калибровки в специализированных лабораториях не является экономически целесообразным;

- поверке подлежат отдельные блоки сейсмостанции (прежде всего сейсμοприемник), а для обеспечения качественной записи требуется проверка всего тракта записи, включая кабели и разъемы;

- метод не обеспечивает прямой контроль идентичности работы всех сейсмостанций составляющих локальную сеть.

В связи с вышеизложенным особое место занимают возможности диагностирования технического состояния сейсмических станций перед началом полевых работ на основе сверочных наблюдений - комплексе работ, который связан с получением и анализом одновременных полевых записей группой сейсмических станций, выполняемый непосредственно в полевых условиях, позволяющий оценить идентичность работы сейсмических станций.

Методика выполнения полевых сверочных наблюдений

Для оценки исправности сейсмостанций перед началом сверочных измерений, согласно общим правилам (рекомендованных производителями), требуется выполнить:

- визуальный осмотр;

- оценку состояния соединительных кабелей (оценка сопротивлений жил, бронированных кабелей и т.д.), которые должны соответствовать заводским характеристикам;

- оценка сейсмостанций и входящих в

неё элементов по результатам внутренних тестов оборудования, рекомендованных производителями

Надёжным критерием, подтверждающим исправное техническое состояние сейсмостанций, является идентичность единовременно зарегистрированного естественного сейсмического поля на всех сейсмостанциях в единых (позиционных и временных) условиях.

Для выполнения сверочных измерений выбирается место, удалённое от сильного влияния интенсивных техногенных помех. Для повышения надёжности оценок, если позволяют условия наблюдения, возможен вариант установки сейсмических станций на единую плиту.

Расставляются сейсмические станции по сетке, с минимальным расстоянием между приборами. Сейсмические станции ориентируются в одном направлении. Далее производится запись естественного сейсмического поля. Из практики, достаточное время одновременной записи составляет 2 часа.

Естественное сейсмическое поле не имеет первовступлений, и характеризуется сильной интерференцией разнополяризованных колебаний.

Подобные тесты с использованием активных источников используются в сейсморазведке. При этом использование значительного количества сейсмоприёмников прошедших предварительную проверку на техническую исправность, позволяет считать, что погрешности, связанные с неидентичностью работы аппаратуры, носят случайный характер и в целом соответствуют нормальному распределению.

В этом случае использование параметризации зарегистрированного волнового поля (прежде всего первовступлений продольной линейно поляризованной волны) позволяет выявить оборудование

которое является технически неисправным, если его параметры выходят за пределы порога.

Порог оценивается по формуле:

$$A_p = A_{cp} \pm 3\sigma \quad (1)$$

где A_p - пороговое значение параметра; A_{cp} - средняя величина параметра; σ - среднеквадратическое отклонение параметра.

В методах естественного поля использование принципа нормальности распределения погрешностей не всегда может быть соблюден, вследствие ограниченного количества сейсмических станций, используемых при сверке, особенностям характеристик естественного поля (отсутствие первовступлений зарегистрированного поля, сложная интерференционная картина разнополяризованных сигналов и ряд других факторов).

В силу вышеизложенного, зарегистрированные отклонения параметров естественного сейсмического поля могут не удовлетворять требованиям нормальности распределения. Поэтому в методах естественных сейсмических полей рекомендуется использовать способ, основанный на применении «контрольных станций».

«Контрольные станции» могут быть определены в процессе обработки записей сверочных наблюдений. В этом случае к «контрольным станциям» могут быть отнесены пары рядом расположенных сейсмических станций, участвующих в сверочных наблюдениях, характеризующиеся минимальным разбросом параметров единовременно зарегистрированного сейсмического поля.

«Контрольные станции», расположенные в различных частях расстановки при сверочных наблюдениях, позволяют определить диапазон параметров естественного сейсмического поля, который

обусловлен месторасположением сейсмической станции при сверочных наблюдениях - то есть допустимый разброс (порог) тех, либо иных параметров, не связанный с техническим состоянием сейсмических станций.

Если используются «контрольные станции», то в этом случае величина порога может быть оценена из соотношения:

$$A_n = A_{мср} \pm Q \quad (2)$$

$A_{мср}$ – средняя величина параметра зарегистрированная «контрольными» станциями; Q - максимальное отклонение параметра для «контрольных станций».

В этом случае, если параметр сейсмического поля анализируемой сейсмостанции не выходит за пороговые значения, то тогда сейсмостанция может считаться техническим исправной.

Методика выполнения камеральных исследований результатов сверочных наблюдений

Регистрируемые сигналы (техногенные помехи мы сейчас рассматривать не будем) естественного сейсмического поля относительно маломощные. Преобладающими по энергии являются поверхностные волны (Рэлея, Лява), менее выраженными – вертикально направленными (в том числе и стоячие волны), а также прямые, преломлённые и отражённые волны, созданные локальными и удалёнными от места наблюдения источниками.

В методах естественных сейсмических полей может использоваться широкий спектр частот – от инфразвуковых, до высоких. Поведение естественного сейсмического поля в инфразвуковом диапазоне частот отлично от поведения в более высокочастотном диапазоне, что связано со спецификой естественного

сейсмического поля (дисперсия скорости, разноудалённость источников от места наблюдения и ряда других эффектов).

В связи с этим, при анализе сверочных наблюдений, подбирается тот диапазон частот, при котором обеспечивается решение геологических задач. В зависимости от методик обработки, допускается выполнение анализа в нескольких диапазонах частот.

Для диагностики технического состояния полевой аппаратуры используются амплитудные и спектральные оценки, основанные на расчёте функций взаимной корреляции [1].

Амплитудные оценки

а) Параметр центрирования сигнала

Для расчёта этого параметра выполняется разбиение полевого сигнала на отдельные кадры (аналог сейсмотрассы). Длина кадра определяется минимальной частотой полезной записи. Минимальный размер кадра (длительность кадра во времени) определяется статистически обоснованным количеством периодов в кадре (исходя из практики применения не менее 10) в случае стабильного естественного сейсмического поля. Например, если минимальный порог по частоте, рекомендованный производителем сейсмометров составляет 0,2 Гц, то минимальная длина кадра, для оценки самого низкочастотного колебания, должна составить не менее 50 секунд.

На практике используется такая длина кадра, которая будет впоследствии использоваться в процессе обработки производственных полевых записей.

Теоретически, для гармонического колебания, сумма амплитуд в пределах всего периода равна нулю. В реальности мы регистрируем суперпозицию волн

(как линейно, так и эллиптически поляризованных), созданных различными источниками. Такая сумма делает наблюдаемый сигнал не гармоническим, а квазигармоническим.

Кроме того, в результате разбиения записи на кадры, не все волны будут обладать периодами, кратными длине кадра. При этом величина сумм амплитуд, для каждой из сейсмостанций, будет отличаться друг от друга, вследствие разнесения приборов в пространстве, а также наличия собственных шумов сейсмостанций.

В результате расчёта покадровой суммы амплитуд естественного сейсмического поля, зарегистрированного при сверточных работах, на одноимённых компонентах сейсмостанций, их величины будут обладать некоторым среднеквадратическим отклонением для каждой из компонент.

В этом случае, допустимая величина параметра центрирования не должна превышать пороговой оценки, определяемой из уравнения (1), либо при использовании «контрольных станций» - уравнения 2.

Допустимо использование и иных статистических подходов к оценке величины пороговых значений параметра центрирования.

б) Параметр суммарная абсолютная амплитуда

Из записи выбираются интервалы примерно равной интенсивности.

Для каждой из сейсмической станций оценивается средняя величина амплитуды в выбранных интервалах записи.

Далее рассчитывается допустимый порог, при использовании методики «контрольных станций» - согласно уравнению 2.

Соответственно, технически исправ-

ные сейсмостанции будут характеризоваться значением параметров, не выходящих за пределы порога.

в) Параметр максимальная абсолютная амплитуда

Для расчёта этого параметра выполняется разбиение полевого сигнала на отдельные кадры (аналог сейсмотрассы). Длительность кадра выбирается такой же, как и при оценке параметра центрирования.

Суть этого теста заключается в том, что средняя величина абсолютных максимальных значений амплитуд колебаний, отобранных в каждом кадре для одноимённых компонент для всех технически исправных сейсмостанций, должна быть близкой величиной.

Далее рассчитывается допустимый порог, при использовании методики «контрольных станций» - согласно уравнению 2.

Соответственно, технически исправные сейсмостанции будут характеризоваться значением параметров, не выходящих за пределы порога.

Спектральные оценки

Оценки в спектральной области выполняются по всей длине записи, без разбиения записи на кадры. Спектральные оценки выполняются с целью определения степени сходства записей в энергетической части (анализируются амплитудно-частотные спектры), а также фазовой (анализируются фазовые спектры).

а) Расчёт идентичности амплитудно-частотных спектров

Оценка производится путём определения коэффициента корреляции Спирмена r по амплитудно-частотным спектрам, рассчитанным по всей длине

записи, зарегистрированной тестируемыми сейсмическими станциями для одноимённых компонент.

Коэффициент корреляции Спирмена вычисляется по следующей формуле[2]:

$$\rho = 1 - \frac{1}{n(n-1)(n+1)} \sum_{i=1}^n (R_i - S_i)^2 \quad (3)$$

где, R_i - ранг наблюдения x_i в ряде X , S_i - ранг наблюдения y_i в ряде Y . Ряд условно сортируется по неубыванию и i -тому наблюдению присваивается его порядковый номер в этом ряде в качестве ранга. Значение коэффициента Спирмена варьирует от -1 до 1.

Использование коэффициента корреляции Спирмена связано с его особенностями. Отличие коэффициента корреляции Спирмена от коэффициента Пирсона в том, что он меньше реагирует на выбросы, и может применяться в случае, когда распределение ряда не подчиняется нормальному закону – как это имеет место в наблюдаемых естественных сейсмических полях.

Величина порога может быть оценена из соотношения (2).

Соответственно, технически исправные сейсмостанции будут характеризоваться значением параметров, не выходящих за пределы порога

б) Расчёт идентичности фазовых спектров

Оценка фазовой идентичности выполняется путём расчета среднеквадратического отклонения разности начальных фаз каждой из гармоник (то есть среднеквадратическое отклонение фазовых спектров) между всеми парами исследуемых сейсмостанций (в том числе и контрольными).

По полевым записям рассчитываются комплексные спектры $F_\alpha(\omega)$ $F_\beta(\omega)$ (путем преобразования Фурье), для записей одноименных компонент сопос-

тавляемых сейсмостанций α и β . Вычисляется для каждой из гармоник комплексного спектра их начальные фазы $\Phi_\alpha(\omega)$ и $\Phi_\beta(\omega)$:

$$\begin{aligned} \Phi_\alpha(\omega) &= \arg(F_\alpha(\omega)), \\ \Phi_\beta(\omega) &= \arg(F_\beta(\omega)) \end{aligned} \quad (4)$$

Определяется для каждой из гармоник одноименных компонент сравниваемых пар сейсмостанций разность начальных фаз d :

$$\begin{aligned} d_{\alpha\beta}(\omega) &= \Phi_\alpha(\omega) - \Phi_\beta(\omega) = \\ &= \arg(F_\alpha(\omega) F_\beta^*(\omega)) \end{aligned} \quad (5)$$

Далее оценивается среднеквадратическое отклонение $D_{\alpha\beta}$ параметра d

$$D_{\alpha\beta} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_{\alpha\beta}(\omega_i) - \bar{d})^2} \leq std_0 \quad (6)$$

$\bar{d}$ - среднее значение разности фаз, std_0 - пороговое значение разности начальных фаз (оценивается из выражения 2). $D_{\alpha\beta}$ - среднеквадратическое отклонение разности начальных фаз, n – количество частот $\{\omega_i\}$ в спектре $F_\alpha(\omega)$.

Оценки, основанные на расчёте функций взаимной корреляции

Суть этого теста заключается в том, что параметры, по которым оценивается величина функции взаимной корреляции (ФВК) [4] между записями одноименных компонент тестируемых сейсмостанций, должны быть не менее пороговых величин.

Для расчёта функции ФВК используется выражение:

$$r(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f^*(t)g(t + \tau) dt \quad (7)$$

где, f и g - записи пар тестируемых сейсмостанций; знак * означает комплексное сопряжение.

Перед вычислением ФВК производится центрирование, для анализа взаимосвязи гармоник, исключительно на не нулевой частоте.

Параметрами, характеризующими ненормированные ФВК, могут являться: максимальная амплитуда, величина ФВК, площадь главного максимума, площадь в интервале отсчётов функции ФВК и ряд других оценок.

Соответственно, технически исправные сейсмостанции будут характеризоваться значением параметров, не выходящих за пределы порога, который рассчитывается согласно выражению (2).

Вышеприведённые методики хорошо себя зарекомендовали в частотном диапазоне от 0.5 Гц и выше.

Особую сложность при диагностировании сейсмических станций составляют инфранизкие частоты (с диапазоном частот ниже 0.5 Гц).

Для целей диагностирования сейсмических станций в диапазоне этих частот предлагается использование метода максимальной разности спектральной плотности.

Метод максимальной разности спектральной плотности

Данная методика основана на количественной оценке максимального отклонения спектральной плотности амплитудных спектров пар приборов, расположенных в одинаковых условиях приёма.

Количественным критерием устанавливается максимально допустимое значение разности спектральных плотностей сигналов тестируемого и референсного приборов согласно следующему выражению:

$$|10Lg(P_{test}) - 10Lg(P_{ref})| < \Pi \quad (8)$$

где P_{test} , P_{ref} – спектральная плотность мощности тестируемого и эталонного приборов; Π – пороговое значение в децибелах.

Производителем указывается допустимое отклонение амплитудно-частотной характеристике для сейсмометров на уровне $\pm 0,5$ Дб. Таким образом, исходя из возможных ошибок при постановке разумным видится принять границу допустимого отклонения $\pm 1,0 - \pm 2,0$ дБ.

Недостатком данной методики являются ограничения по частотному диапазону. Для маломощных сейсмических датчиков, как правило, надёжное исследование параметров по этому методу обеспечено только в области низкочастотных микросейсм (сигналы с периодами от 2 до 10 секунд) и в области от 2 Гц до 20-30 Гц. При этом, как правило, наблюдающиеся в отсутствии сейсмических событий провалы в спектральной плотности сигналов между 2 Гц и 2 секундами, а также для сигналов с периодами более 10 секунд, приводят к преобладающему влиянию собственных шумов приборов на разность спектров. Данные в этой области игнорируются.

Для анализа по этому методу требуется проведение записи значительной длины. В зависимости от низкочастотной границы исследования и параметра разбиения, оптимальная длина записи для широкополосного сейсмометра составляет не менее 1,5–2 часа.

Расчет спектральной плотности мощности для исходной записи может быть проведен с помощью любого программного пакета, предназначенного для обработки сигналов. Например, это может быть функция PSD из специализированного программного пакета DaDisp.

Поскольку сверочная запись предполагает проведение записи в удаленном

от промышленных источников месте, отношение сигнал/помеха в рабочей полосе имеет отношение порядка единицы. Как следствие, компоненты полученного спектра имеют значительную погрешность. Для исключения ее влияния применяется процедура усреднения значений спектра с коэффициентом усреднения от 8 до 16.

Увеличение этого коэффициента приводит к лучшему усреднению, с другой стороны, для получения одного и того же набора точек спектра требуется пропорционально удлинять исходную запись. В результате оптимальной длиной записи для анализа можно принять 8-16 кратную от максимального периода представляющего интерес сигнала, что для широкополосных сейсмометров составляет от одного до двух часов.

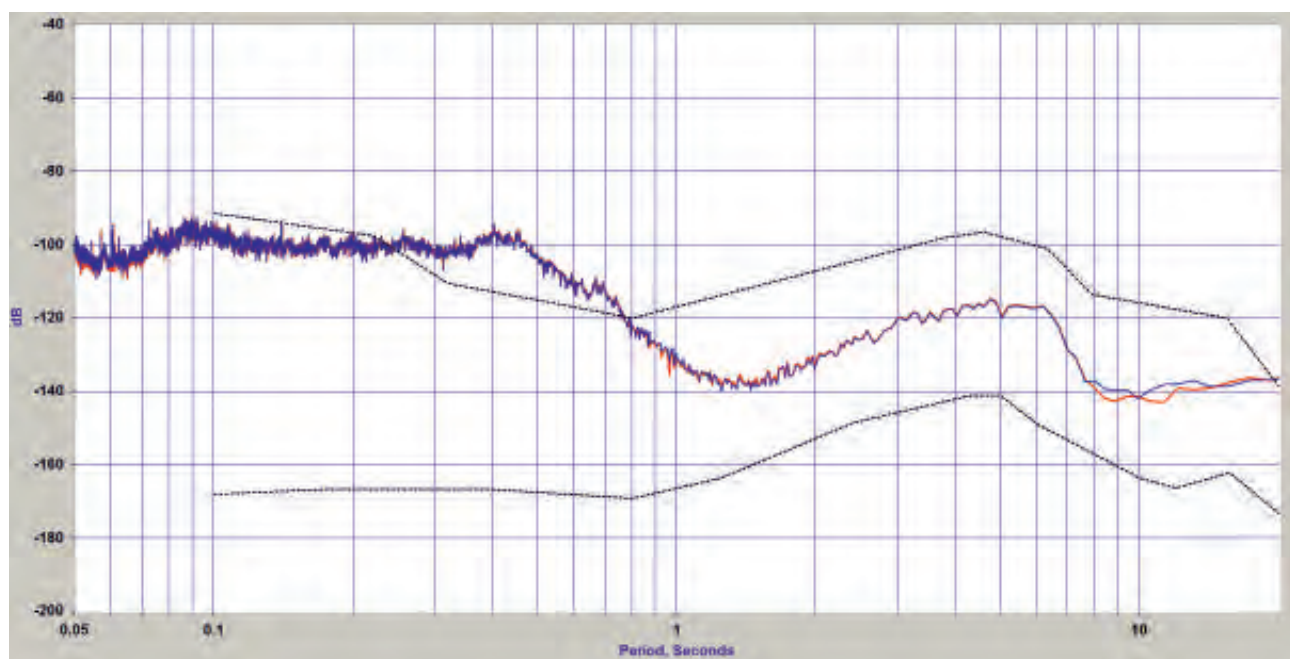
На рисунке 2 представлены примеры усредненных спектров сигналов тестируемого и контрольного сейсмометров, наложенные друг на друга. Для получения более принятого в сейсмологии представления полученные спектры пересчитываются в Дб мощности относи-

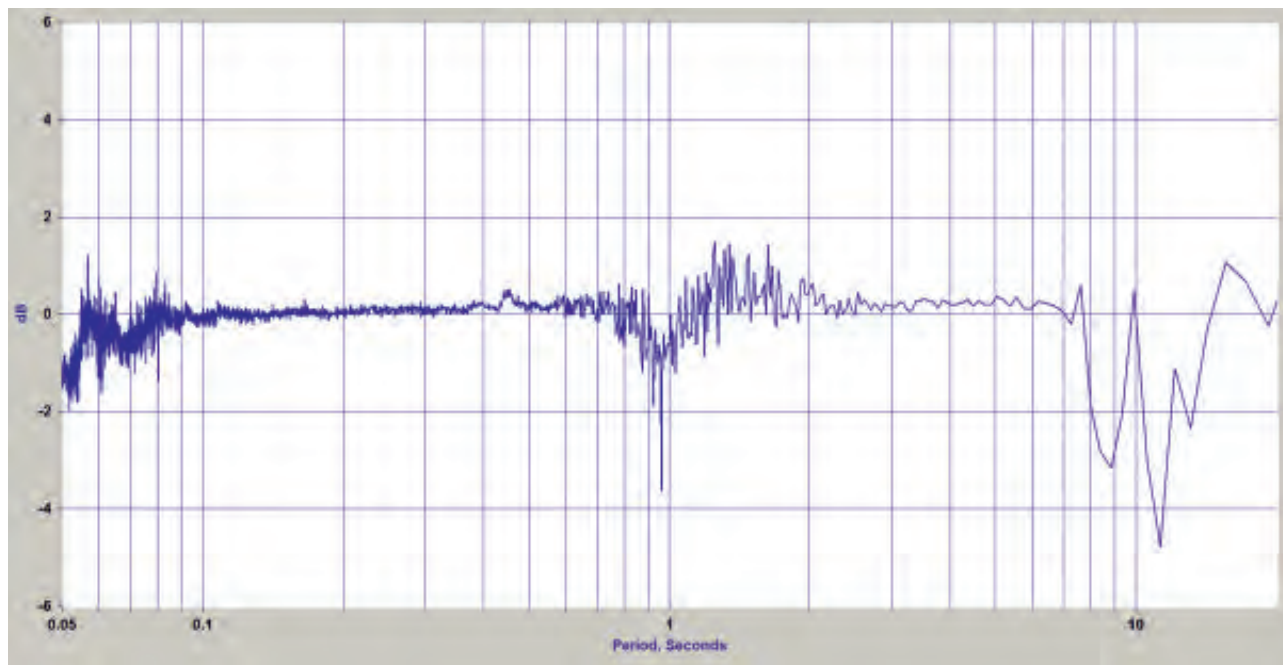
тельно $1 \frac{m}{c^2 \sqrt{G_{11}}}$ а по горизонтальной оси отложен период сигнала. Кроме сравнения спектров, приведенные графики позволяют оценить положение уровней сигналов относительно модельных кривых NLNM и NHNM Петерсона [12].

Кроме того, для оценки качества исследуемого прибора относительно контрольного, строится график разности спектральных плотностей двух приборов (рисунок 2) от периода сигнала. Как обсуждалось выше, надежными являются данные в диапазонах периодов 0.1-0.8 секунды, а также 2-8 секунд. В данном примере, прибор следует принять прошедшим тестирование при пороговом значении $P = 1$.

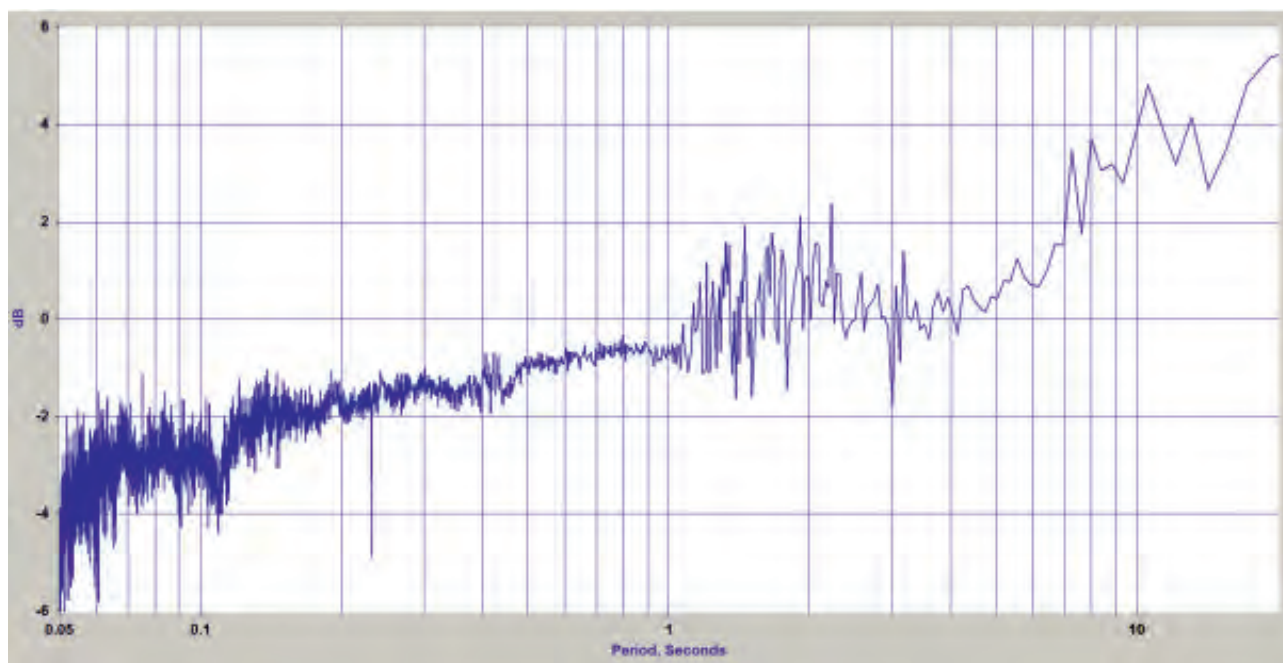
В случае же, если разность спектральных плотностей отклоняется больше допустимого от своего среднего значения, прибор следует признать не прошедшим сверку и подлежащим настройке или ремонту. На рисунке 3 представлена разность спектров контрольного прибора и прибора, который не прошел проверку.

▼ Рис. 1. Спектры двух приборов СМЕ-6111ND (красный, синий) при сверке, по вертикали – Дб. Черным цветом представлены кривые NLNM и NHNM Петерсона.





▲ Рис. 2. Разность спектров двух исправных приборов CME-6111ND при сверке, по вертикали – Дб.

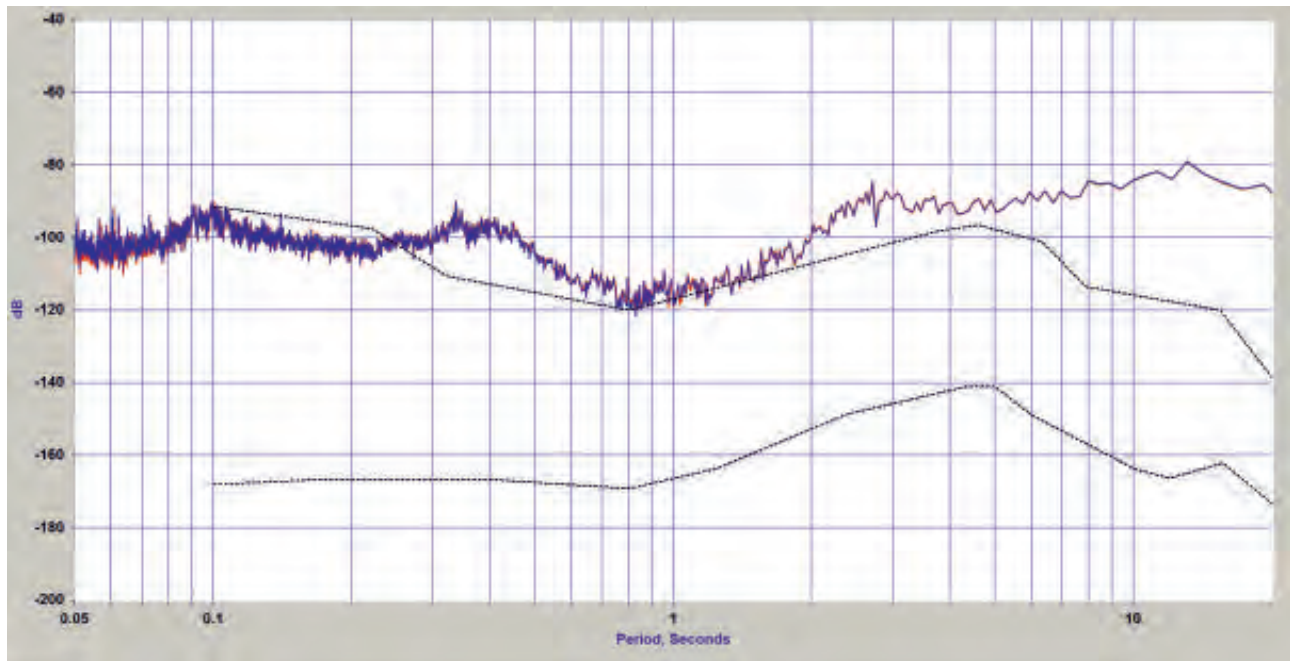


▲ Рис. 3. Разность спектров двух приборов CME-6111ND с расхождением при сверке, по вертикали – Дб.

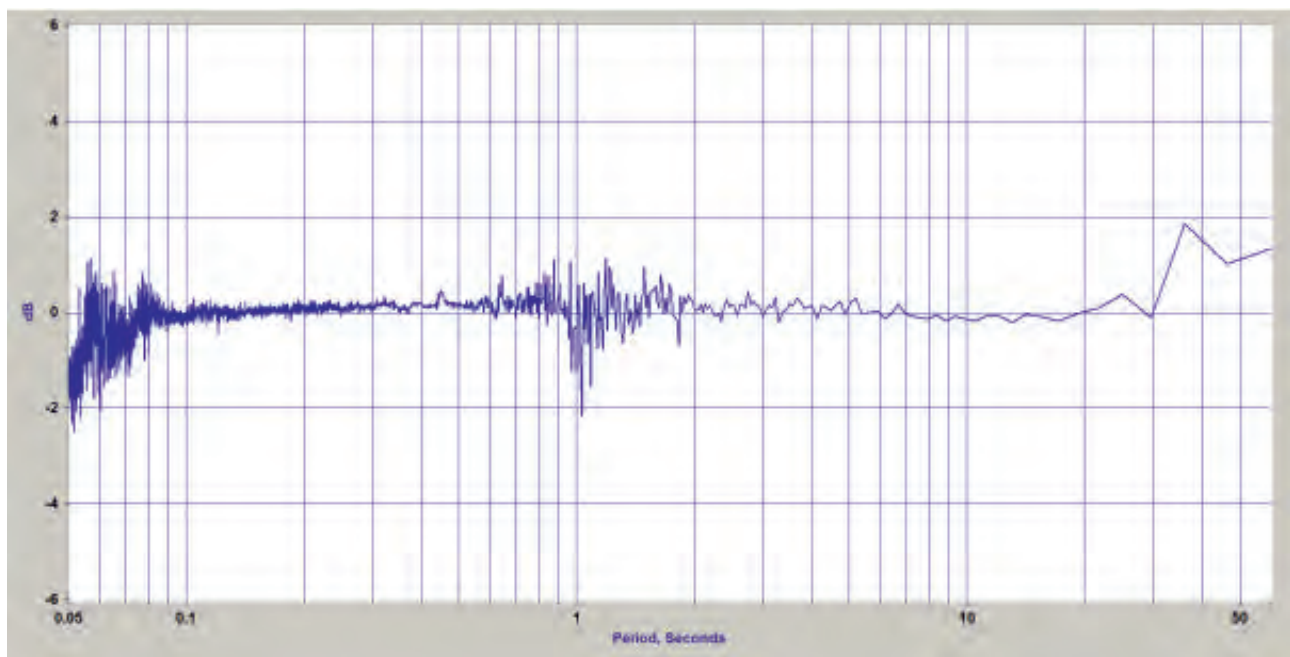
Исследование параметров датчика в низкочастотной области с периодами более 10 секунд возможно только при наличии в пределах записи сравнительно мощных землетрясений, сигналы которых содержат требуемые низкочастотные компоненты. На рисунке 4 показан спектр записи двух исправных сейсмометров типа CME-6111ND в момент

землетрясения М6,8 в Мургабе, Таджикистан 23 февраля 2023 года 00:37:40 UTC.

Построенная по участку записи с землетрясением разность спектральных плотностей, представленная на рисунке 5, позволяет продлить диапазон оценки совпадения спектров в низкочастотной области до 30 секунд.



▲ Рис. 4. Спектры мощного землетрясения двух исправных приборов SME-6111ND (красный, синий) при сверке, по вертикали – Дб. Черным - модельные кривые NLNM и NNNM Петерсона.



▲ Рис. 5. Разность спектров двух исправных приборов SME-6111ND при сверке по участку с мощным землетрясением, по вертикали – Дб..

Однако время ожидания подходящего сейсмического события может составлять до нескольких месяцев, что делает данный метод не всегда пригодным с практической точки зрения.

Заключение

Требования к диагностике технического состояния сейсмических станций в

методах естественных сейсмических полей близки к требованиям, предъявляемым к полевым регистрирующим комплексам, используемым при активных методах сейсморазведки. Отличительные особенности связаны с широкой частотной полосой и малой амплитудой полезных регистрируемых сигналов.

Основу методики диагностики техни-

ческого состояния сейсмических станций перед началом полевых работ в методах естественных сейсмических полей составляет проверка идентичности зарегистрированного сейсмического поля на всех диагностируемых сейсмостанциях характеристик, путём проведения сверочных наблюдений.

Для диагностики технического состояния сейсмических станций используется ряд критериев, к которым относятся представленные в данной работе величины амплитудных, спектральных и корреляционных оценок, значения которых не должны выходить за установленные допуски относительно значения, определяемого по контрольным станциям.

По имеющемуся у авторов опыту можно заключить, что для частот выше 2 Гц наиболее эффективными являются методы корреляционного анализа и проверки фазовой идентичности, на более низких частотах целесообразно использовать спектральные оценки по амплитуде или мощности. Наиболее сложной является проверка идентичности в области частот ниже 0.1 Гц в силу того, что естественные сейсмические поля в этом частотном диапазоне обычно имеют малую интенсивность и тестовая запись должна быть весьма продолжительной, чтобы включить в себя регистрацию хотя бы одного удаленного землетрясения, являющегося естественным источником низкочастотного сигнала.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 22–69–00231.

Литература

1. Белоусов А.В. Стандартные оценки качества полевого сейсмического материала. / Приборы и системы разведочной геофизики. №3, стр.31–36.
2. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. — 816 с.
3. Инструкция по сейсморазведке 1986 г.
4. Боганик, Г.Н. Сейсморазведка: Учебник для вузов [Текст] / Г.Н. Боганик, И.И. Гурвич / Тверь: Издательство АИС, 2006. — 744 с.
5. Старовойт О.Е. Сейсмическая станция. Большая российская энциклопедия.
6. Сейсморазведка. Термины и определения ГОСТ 16821-91.
7. Инструкция по сейсморазведке 2003 г.
8. Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Корблев Г.Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм // Физика Земли. 2008. № 7. С. 66–84.
9. Красильников В.А., Крылов В.В. Поверхностные акустические волны // М.: Знание, 1985. 64 с.
10. Аки К. Количественная сейсмология: Теория и методы. Т. 1. / К. Аки, П. Ричардс. — М.: Мир, 1983. — 520 с.
11. Федеральный закон от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ «об обеспечении единства средств измерений». Принят Государственной Думой 11 июня 2008 года. Одобрен Советом Федерации 18 июня 2008 года
12. J. Peterson. Observation and modeling of seismic background noise. USGS open file report 93-322. Albuquerque, New Mexico, 1993